

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Bakalářská práce

**Problematika výroby a využití energie z
obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního
provozu.**

Vojtěch Kašpar

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Kašpar

Zemědělské inženýrství
Zemědělská technika

Název práce

Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu.

Název anglicky

Issues of generation and use of energy from renewable sources in island operation

Cíle práce

Na základě literární rešerše popsat možnosti a způsoby výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů – solární, větrné a vodní energie. Na vybraném objektu rodinného domu popsat možnosti využití vyrobené energie v tzv. ostrovním provozu. Provést technicko-ekonomický rozbor použitého řešení.

Metodika

Zpracovat literární rešerši. Navrhnout řešení výroby a akumulace energie pro rodinný dům. Provést technicko-ekonomický rozbor použitého řešení.

Pozn.:

- struktura práce: Úvod, Materiál a metody, Výsledky, Diskuse, Závěr. V pracích rešeršního charakteru lze sloučit Materiál a metody s Výsledky a stejně tak Diskusi se Závěrem.
- jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je Obsah, Abstrakt, Seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a Seznam použité literatury.
- je nezbytné respektovat citační pravidla dle ČSN ISO 690:2011
- vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

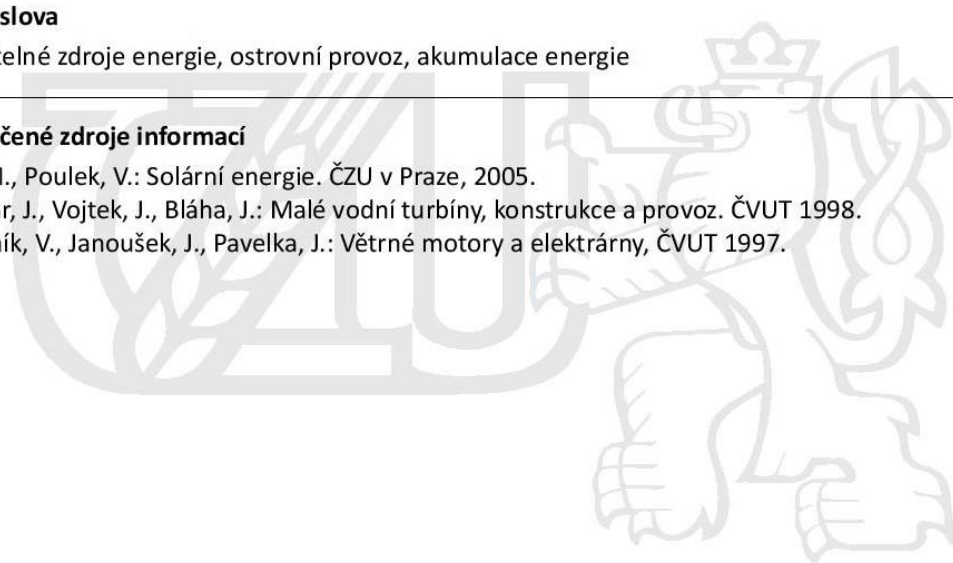
Obnovitelné zdroje energie, ostrovní provoz, akumulace energie

Doporučené zdroje informací

Libra, M., Poulek, V.: Solární energie. ČZU v Praze, 2005.

Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: Malé vodní turbíny, konstrukce a provoz. ČVUT 1998.

Rychetník, V., Janoušek, J., Pavelka, J.: Větrné motory a elektrárny, ČVUT 1997.



Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2019

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 06. 02. 2021

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Vojtěch Kašpar

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D. za jeho odborné rady, připomínky, ochotu a trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu.

Abstrakt:

Práce se zabývá možnostmi výroby a akumulace energie z obnovitelných zdrojů. V první části jsou popsány jednotlivé způsoby získávání energie ze slunce, větru, vody a biomasy. Je zde představen potenciál těchto obnovitelných zdrojů na území ČR a jejich vhodnost pro využití v ostrovním provozu rodinného domu. V teoretické části jsou popsány možnosti akumulace energie. Druhá část se zaměřuje na návrh systému výroby a akumulace energie pro konkrétní rodinný dům. Systém byl navržen pomocí výpočetního programu PVGIS pro fotovoltaickou elektrárnu tak, aby bylo možné dům celoročně provozovat v ostrovním režimu. Celý systém využívá fotovoltaickou elektrárnu a kotel pro spalování biomasy, tedy ty zdroje energie, které mají v našich podmínkách největší potenciál. Na závěr práce je navržený systém zhodnocen z ekonomického pohledu návratnosti investice.

Klíčová slova:

Obnovitelné zdroje energie, ostrovní provoz, akumulace energie

Issues of generation and use of energy from renewable sources in island operation

Summary:

The bachelor thesis deals with ways of generation and accumulation of energy from renewable sources. In the first part of the work ways of generation energy form solar, wind, hydro and biomass sources are mentioned. It also describes potentiality of the renewable sources in the Czech Republic and also its applicability for an off-grid housing system. In the theoretical part ways of accumulation energy are introduced as well. The second part of the work focuses on generation and accumulation of energy for a particular house. The system was set by a specific photovoltaic software PVGIS to guarantee a year-round off-grid running. The whole system uses a photovoltaic system and a biomass burner in winter months. At the end of the work the whole project is financially analysed and the degree of profitability is assessed.

Key words:

Renewable sources, off-grid system, accumulation of energy

Obsah

1. ÚVOD	1
2. Cíle práce:	2
3. Metodika práce:.....	2
4. Obnovitelné zdroje energie	3
5. Fotovoltaická elektrárna – FVE	3
5.1. Princip výroby elektřiny FVE.....	4
5.2. Potenciál FVE v ČR.....	5
5.3. Vhodnost FVE pro ostrovní režim.....	6
6. Větrná elektrárna – VTE	6
6.1. Princip výroby elektřiny VTE.....	7
6.2. Potenciál VTE v ČR	8
6.3. Vhodnost VTE pro ostrovní režim.....	9
7. Vodní elektrárna – VE.....	10
7.1. Princip výroby elektřiny VE	10
7.2. Potenciál VE v ČR.....	12
7.3. Vhodnost VE pro ostrovní režim	12
8. Energie biomasy	13
8.1. Princip výroby elektřiny a energie z biomasy	13
8.2. Potenciál biomasy v ČR.....	14
8.3. Vhodnost využití biomasy pro ostrovní režim.....	15
9. Akumulace energie.....	15
9.1. Akumulátory na chemické bázi	15
9.1.1. Olověné akumulátory	16
9.1.2. Lithiové akumulátory	16
9.1.3. Vodíkové články.....	17
9.2. Uložení energie ve formě kinetické či potenciální energie.....	17
9.3. Uložení energie do jinak využitelné formy energie.....	19
9.3.1. Ohřívání a akumulace teplé vody	19
10. Využití fotovoltaického systému s akumulací v objektu rodinného domu	21
10.1. Popis vybraného objektu a jeho spotřeby energií.....	21
10.1.1. Výpočet průměrné spotřeby elektřiny	22
10.2. Návrh energetické soběstačnosti rodinného domu.....	23
10.2.1. Aplikace Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).....	24
10.2.2. Vstupní parametry	25
10.2.3. Návrh velikosti elektrárny a akumulátoru	27

10.2.4. Návrh komponent systému	29
10.3. Ekonomické zhodnocení projektu.....	31
10.3.1. Návrh komponent systému	35
11. Diskuse k vypočteným hodnotám	36
12. Závěr.....	37
13. Seznam literatury.....	39
14. Seznam použitých zkratk.....	42
15. Seznam obrázků	42
16. Seznam tabulek	43
17. Seznam příloh.....	43

1. ÚVOD

První průkopníci, jako například Alessandro Volta, André-Marie Ampère nebo Georg Simon Ohm, jejichž jména nesou i některé jednotky používané v elektrotechnice, objevili již v první polovině 19. století důležité zákony platící v elektrotechnice. Od té doby uběhlo mnoho let a lidstvo se naučilo elektřinu vyrábět a využívat do takové míry, že už si většinová společnost ani život bez elektřiny nedovede představit.

V České republice, stejně jako ve všech dalších vyspělých zemích, je možnost připojení na elektřinu v obydlených oblastech v kteroukoli dobu naprostým standardem. Závislost na elektrické energii je však velká, nehledě na to, že zatím většina elektřiny, která je dodávána do distribuční sítě, je vyráběna spalováním fosilních paliv. Vymanit se z této závislosti na elektřině z distribuční soustavy kontinentální Evropy, která dnes propojuje většinu evropských států, je již reálná. A to hlavně díky stále trvajícím trendům posledních let, zvyšující se efektivitě a snižující se ceně potřebných elektronických komponent. Vyrábět si elektřinu pro svoji vlastní domácnost pouze z obnovitelných zdrojů, které jsou nevyčerpatelné a zároveň minimalizují vliv na změnu klimatu v důsledku omezení produkce skleníkových plynů, se tak výrazně přiblížilo možnostem každého z nás.

Několik základních způsobů výroby a akumulace energie bude popsáno v první části bakalářské práce. Ve druhé části bude odhadnuta spotřeba rodinného domu a také navržena jedna z mnoha možných variant realizace, jak pokrýt tuto spotřebu výrobou a akumulací energie z obnovitelných zdrojů. Toto pokrytí spotřeby by mělo být dostatečné, aby dům mohl fungovat v ostrovním režimu (off-grid), tedy bez připojení k distribuční síti. Nezůstane opomenuta ani otázka ekonomické výhodnosti celého projektu, za jakých podmínek je tato realizace smysluplná.

2. Cíle práce:

V teoretické části představit základní možnosti získávání energie z obnovitelných zdrojů, zaměřit se na možný potenciál využití daných zdrojů v ostrovním režimu na našem území. V praktické části navrhnout vhodné řešení výroby a akumulace energie pro rodinný dům, aby mohl poskytovat veškerý komfort a fungovat v ostrovním režimu, tedy bez připojení k distribuční síti. Navrhnuté řešení zhodnotit z ekonomického pohledu návratnosti investice.

3. Metodika práce:

Na základě odborné literatury zpracovat literární rešerši. Za pomoci simulací z moderní výpočetní aplikace navrhnout systém pro konkrétní rodinný dům na základě reálné spotřeby energií v domácnosti. Navrhnuté řešení zhodnotit z ekonomického hlediska.

4. Obnovitelné zdroje energie

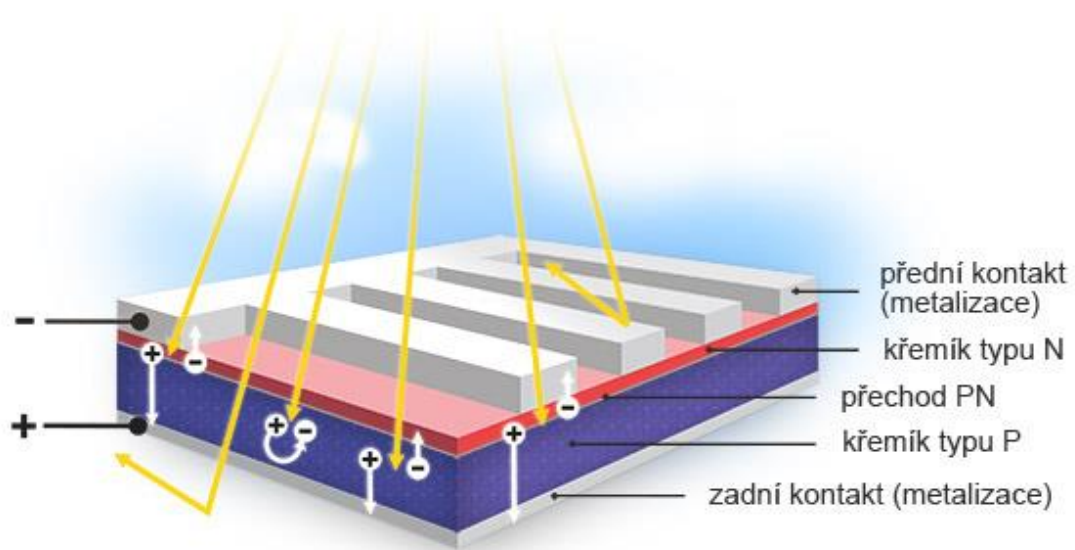
Většina energie využívaná jako zdroje obnovitelné energie pochází ze slunce. Energie, která by dopadla na m^2 kolmo postavené plochy se nazývá sluneční konstanta a ta je rovna 1,4 kW. Tato hodnota je samozřejmě redukována odrazem energie při průchodu atmosférou a počtem hodin, kdy je slunce stíněno oblačností, skrz kterou prochází jen část energie. V oblasti ČR tak dopadá v průměru něco přes 1 000 kWh/ m^2 slunečního záření za jeden rok. Tuto energii můžeme využívat přímo jako zdroj tepelné energie, nebo ji můžeme přeměňovat pomocí fotovoltaických panelů na energii elektrickou. Pokud ji necháme působit na naši planetu, můžeme sledovat, jak díky této energii může kolovat voda v přírodě, foukat vítr, či se tato energie přemění na biomasu. Všechny tyto projevy sluneční energie umíme dnes již také přeměňovat na energii elektrickou, která se stala pro lidstvo nepostradatelnou. (Kleczek, 2004)

5. Fotovoltaická elektrárna – FVE

Získávání elektřiny přímo ze slunce pomocí fotovoltaických panelů má mnoho výhod, mezi ty hlavní patří především fakt, že fotovoltaická elektrárna nemá žádné pohybující se mechanické části, tudíž má minimální nároky na údržbu. Když vezmeme v úvahu dlouhodobý trend, kdy se jen mezi roky 2009 a 2014 snížily ceny fotovoltaických panelů o více než 50 %, (Cost of Solar, 2015) stává se z fotovoltaiky dostupná a uživatelsky nenáročná varianta, jak si pohodlně zajistit výrobu elektrické energie pro potřebu svoji domácnosti. Fotovoltaika má samozřejmě i své nevýhody, mezi které patří především velké rozdíly mezi výrobou v letních měsících a v těch zimních, kdy se slunce ukáže jen na pár hodin nízko nad obzorem.

5.1. Princip výroby elektřiny FVE

Základem fotovoltaického článku je velkoplošný přechod P-N polovodiče, který je tvořen dvěma tenkými vrstvami křemíku, jedné typu P s převahou děr a druhé typu N s převahou elektronů. (Bechník, 2014) Z přední a zadní strany je aplikován vodivý kontakt, který umožňuje odvod napětí z celé plochy fotovoltaického článku, jak můžete vidět na obrázku 1.

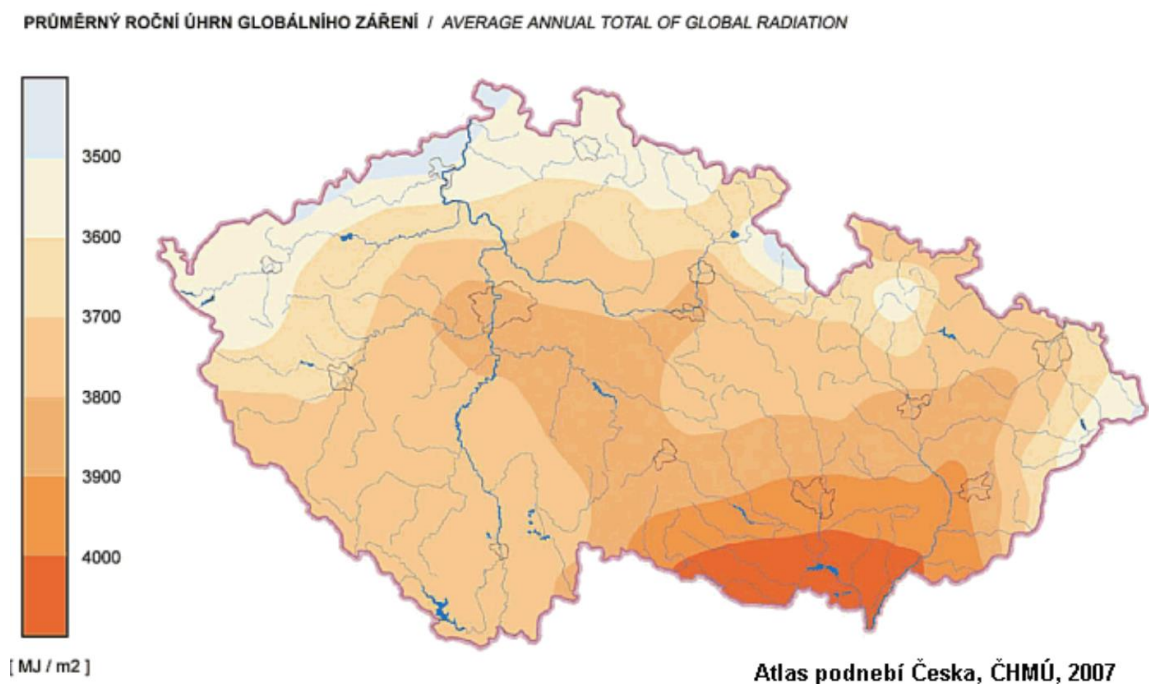


Obr. 1 - Schéma fotovoltaického článku (SOLARTEC HOLDING a.s.)

Díky fotoelektrickému jevu dokáže tento přechod P-N pohlcovat fotony a uvolňovat volné elektrony, tím vzniká v článku elektrický náboj. Napětí jednoho článku o rozměrech cca. 10x10 cm se pohybuje okolo 0,5 V. Tyto články se poté spojují sériově, nebo paralelně pro dosažení optimálních hodnot proudu a napětí. Dohromady tvoří tyto spojené články solární panel (modul), který je zapouzdřen vrstvami fólie a skla, aby byly články chráněny před povětrnostními vlivy. (Bechník, 2014)

5.2. Potenciál FVE v ČR

Na území ČR dopadá záření v rozsahu přibližně od 950 do 1 340 kWh/m² za jeden rok. Na obr. 2, který znázorňuje průměrný roční úhrn záření si můžeme všimnout, že největší intenzita záření je na jižní Moravě, kde sytě oranžová barva v této oblasti značí, že zde dopadne více než 1 111 kWh/m² za rok. Naopak nejméně energie bude FVE vyrábět v oblasti Krušných hor, tam je bledě modrou barvou vyznačena oblast s ročním úhrnem slunečního záření menším než 972 kWh/m². Tento poměrně malý rozdíl ukazuje velkou výhodu fotovoltaických systémů, kdy je zřejmé, že na celém území ČR je globálně dostatečný potenciál slunečního záření pro fungování FVE.



Obr. 2 - Roční úhrn globálního záření v ČR [MJ/m²] (Tolasz, a další, 2007)

Jediná omezení, která mají zásadní vliv na potenciál využití FVE, jsou tedy místní krajinné prvky umístěné především ve směru na jih od FVE, jako například vzrostlý les či příkrý svah v horách. V městské zástavbě pak může být výrazné stínění slunečního záření jinými stavbami. Tyto překážky mohou výrazně zkrátit dobu osvitů panelů během dne. Například v prosinci a lednu, kdy je slunce i v pravé poledne pouze 16 až 22° nad obzorem, mohou tyto překážky stínit třeba celé dny. (Reinberk)

5.3. Vhodnost FVE pro ostrovní režim

Fotovoltaické panely jsou díky svému téměř bezúdržbovému provozu, vhodné pro většinu uživatelů. V případě poruch lze snadno vyměnit celý modul, nebo s obětováním výkonu jednoho modulu jej stačí pouze odpojit ze série panelů, aby ostatní mohly nadále vyrábět. Roční produkci elektřiny o velikosti přibližně 1 000 kWh lze na našem území získat z elektrárny o jmenovitém instalovaném výkonu 1 000 W_p. Tedy výkonu elektrárny 1 000 W za standardních testovacích podmínek (STC), které jsou definované kolmým osvitem 1 000 W/m² v referenčním spektru AM1,5 a teplotě panelů 25 °C. S počáteční investicí na klíč do fotovoltaické elektrárny, která se pohybuje kolem 30 000,- Kč/kW_p, je FVE velice vhodný zdroj elektřiny. (Novotný, 2008) Velkou nevýhodou pro ostrovní provoz však zůstává nerovnoměrnost dodávaného výkonu během roku, kdy v měsících, listopadu, prosinci a lednu, se měsíční průměr výroby FVE pohybuje pouze kolem 30 % oproti průměrné měsíční výrobě zbytku roku. (European Commission, Joint Research Centre, 2019) Tento velký rozdíl se musí pokrýt značným předimenzováním instalovaného výkonu, aby i v zimních měsících zvládla FVE vyrobit dostatek elektřiny, protože právě v zimních měsících mají domácnosti největší spotřebu elektrické energie.

6. Větrná elektrárna – VTE

Využití větrné energie sahá v Evropě až do antiky, kdy se začal vítr využívat jako hybná síla pro pohyb lodí po moři. Později se využívání větrné energie přesunulo i na souš, kde sloužila především k čerpání vody větrnými čerpadly, nebo mletí obilí větrnými mlýny. V roce 1887 byla postavena první větrná elektrárna v Clevelandu (Ohio), která dokázala vyrábět elektřinu o výkonu 12 kW. (Koč, 2015) Další velký milník následoval po ropné krizi v polovině 70. let minulého století, kdy si svět uvědomil zranitelnost spočívající v závislosti na jednom druhu paliva. Mezi průkopníky v Evropě patří Dánsko. Vzniklo zde mnoho firem zabývajících se vývojem a výrobou větrných elektráren, které dodnes tvoří značnou část světové produkce. Díky celosvětové poptávce po větrných elektrárnách mohlo být investováno do výzkumu a vývoje větrných elektráren, a tak se nadále zlepšuje spolehlivost, zvyšují výkony a tím i klesá cena v přepočtu na jednotku energie. (Cetkovský, a další, 2010)

Dnes se v Nizozemsku testuje prototyp větrné turbíny o výkonu tisíckrát větším, než měla první větrná elektrárna z roku 1886, tedy 12 MW. Tato větrná turbína by se měla dostat jako největší na světě do sériové výroby v druhé polovině roku 2021. (General Electric, 2019)

6.1. Princip výroby elektřiny VTE

První větrné motory, které přeměňovaly kinetickou energii větru na energii mechanickou, byly motory odporové. Ty fungují na principu aerodynamického odporu plochy, na kterou naráží proud vzduchu. Tento odpor vytváří sílu, která je převáděna na rotační pohyb, vzniklý točivý moment může být využit pro pohon generátoru elektrické energie. Účinnost odporových větrných motorů se však pohybuje pouze mezi 15–23 %, proto se dnes v energetice téměř nepoužívají. (Petr Mastný, a další, 2011)

V energetice jsou nejvíce využívané motory vztlakové. Jejich konstrukce je lehčí, ale konstrukčně jsou složitější. Lopatky tohoto motoru využívají vztlakové síly vznikající obtékáním vzduchu tvarovaného listu stejně jako je tomu u křídla letadla. Tato vztlaková síla je opět převáděna na rotační pohyb a tím vzniká kroutící moment. Účinnost těchto vztlakových motorů se pohybuje kolem 48 %. (Petr Mastný, a další, 2011) Výkon větrné turbíny lze vypočítat dle vzorce (1), kde třetí mocnina rychlosti větru ve vzorci ukazuje významný vliv této veličiny na výsledném výkonu.

$$P = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot S \cdot \rho \cdot v^3 \quad [W] \quad (1)$$

kde:

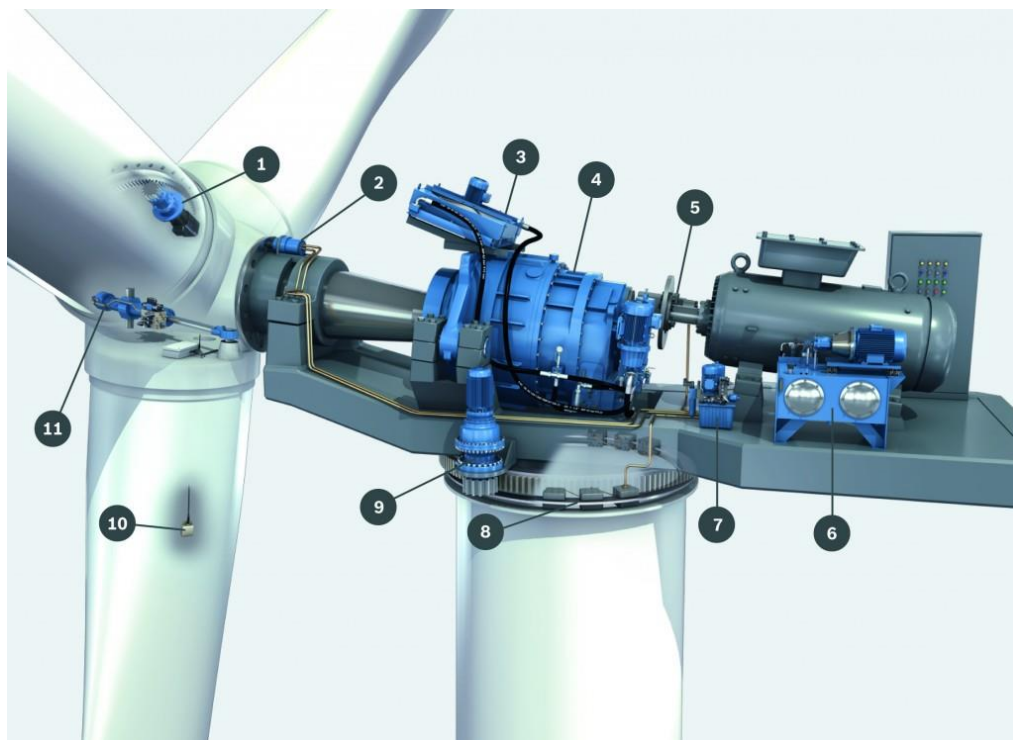
c_p – výkonový součinitel [-]

S – plocha kterou protne list rotoru za jednu otáčku [m^2]

ρ – hustota vzduchu [kg/m^3]

v – rychlost větru [m/s]

Technologii moderních větrných turbín můžete vidět na obr. 3, včetně jeho ovládacích a bezpečnostních prvků.



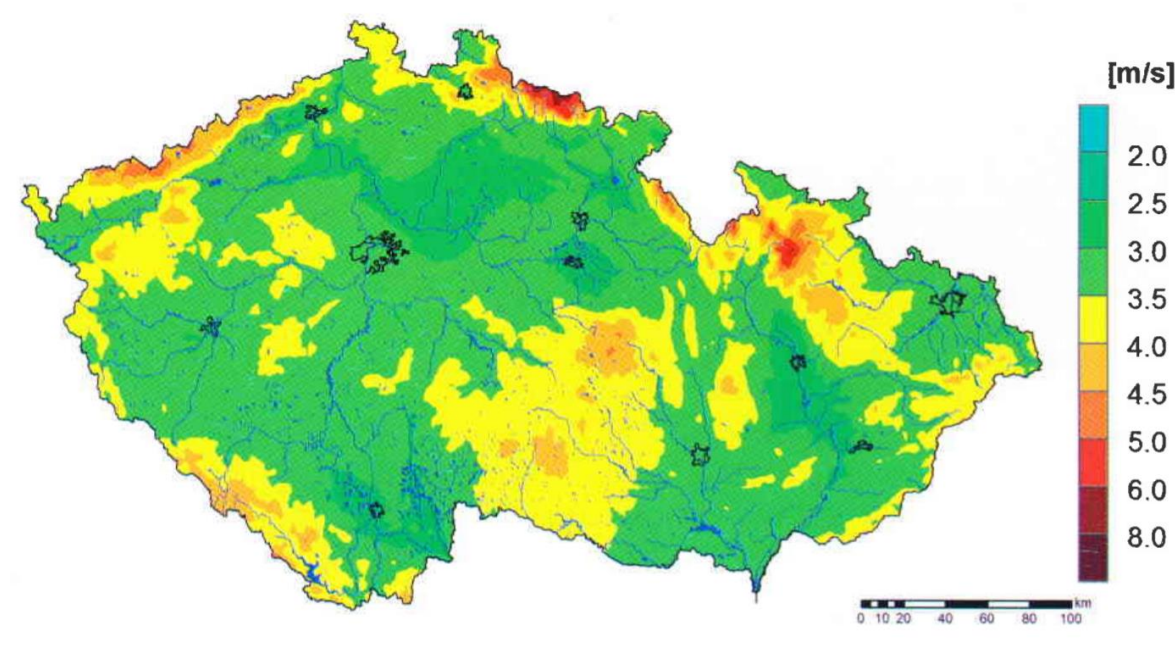
Obr. 3 - Technologie moderní větrné turbíny (Wave & Tidal Energy)

1 – elektrický pohon natáčení lopatek, 2 – zámek otáčení rotoru, 3 – mazací a chladicí systém, 4 – hlavní převodovka, 5 – vysokorychlostní výstupní hřídel, 6 – hydraulický agregát ovládnání natáčení lopatek, 7 – agregát ovládnání brzdy, 8 – brzda otočného mechanismu, 9 – pohon otočného mechanismu, 10 – monitoring ovládnání lopatek, 11 – hydraulický pohon natáčení lopatek

6.2. Potenciál VTE v ČR

Pro rozběh malých větrných elektráren je potřeba rychlost větru okolo 4 m/s. Od této rychlosti většinou výkon rovnoměrně stoupá až do rychlosti 13 – 15 m/s, který přináší maximální výkon větrné elektrárny. (Petr Mastný, a další, 2011) Energetický regulační úřad vydal vyhlášku, v níž je pro provoz velké větrné elektrárny stanovena minimální průměrná rychlost větru 6 m/s. (Vyhláška č. 296/2015 Sb., 2015) Větrnou mapu s průměrnou rychlostí větru očištěnou od lokálních vlivů v rastru 2 x 2 km můžete vidět na obr. 4. Z tohoto obrázku je zřejmé, že pro stavbu větrné elektrárny jsou vhodné především horské oblasti v pohraničí. S nižším výkonem by byla využitelná i oblast Vysočiny, kde se ale průměrná rychlost v 10 m nad zemí pouze přibližuje průměrné rychlosti 5 m/s. Ve všech těchto lokalitách je však

nutné vybírat místa především podle tvaru zemského povrchu. Vždy bude vítr proudit s větší intenzitou na vrcholcích kopců oproti uzavřeným údolím. U stavby malé větrné elektrárny záleží také na objektech v blízkém okolí, protože proudění ve výšce kolem 10 m je výrazně ovlivňováno tím, jestli se v okolí vyskytují nějaké překážky, například okolní stavby či stromy, které snižují rychlost proudícího větru. (Hanslian, 2012) Z tohoto pohledu je vhodných míst v ČR pro stavbu větrné elektrárny poměrně málo, navíc značná část lokalit s největší průměrnou rychlostí větru se nachází na vrcholcích hor v přírodně chráněných oblastech, kde by pravděpodobně stavba větrné elektrárny nebyla povolena. (Hanslian, a další, 2008)



Obr. 4 – Větrná mapa ČR ve výšce 10 m nad povrchem (Hanslian, a další, 2014)

6.3. Vhodnost VTE pro ostrovní režim

Výhodou větrné elektrárny je, že díky průměrně vyšším rychlostem větru v zimních měsících vyrábí větrná elektrárna více elektřiny v době, kdy je i spotřeba v domácnostech vyšší. (Markvart, 2012) Přesto se může stát, že je nutné v zimním období větrnou elektrárnu na několik dní odstavit, kvůli namrzání lopatek. (Motlík, a další, 2003) Výkon větrné elektrárny je značně závislý na průměrné rychlosti větru v dané lokalitě. Při dostatečné velikosti větrné elektrárny a ve vhodných podmínkách, kde se průměrná rychlost větru

pohybuje nad 5 m/s, může být větrná elektrárna vhodnou volbou. Těchto oblastí však není rozhodně mnoho a běžně se zde nestaví rodinné domy, proto by mohlo být toto řešení vhodné například pro horské chaty na hřebenech hor.

7. Vodní elektrárna – VE

Stejně jako využití větrné energie i využití energie vody sahá až do doby antiky. Obří vodní kola byla převážně využívána na čerpání vody při zavlažování polí. Později se pohon vodním kolem začal využívat i k mletí obilí. Až do přelomu 18. a 19. století byla vodní kola využívána jako hlavní zdroj energie pro mechanizaci pil, bucharů a mnoha dalších průmyslových odvětví. Tehdy využívání vodních kol z velké části vytlačil parní stroj. (Honzák, a další, 2011) Průmyslová revoluce a tím i obrovský rozmach využívání fosilních paliv zastavilo značnou část vodních kol v ČR, přesto využití vody jako zdroje energie zůstalo nadále atraktivní. S vynálezy vodních turbín se podařilo ještě zvýšit účinnost soustrojí a bylo možné využívat mnohonásobně větší spády a průtoky, tím se i instalovaný výkon, který byl u vodních kol v řádu maximálně desítek kW, posunul až na stovky MW výkonu jedné turbíny. (Petr Mastný, a další, 2011)

7.1. Princip výroby elektřiny VE

Výkon vodní elektrárny můžeme spočítat dle vzorce (2).

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \quad [W] \quad (2)$$

kde:

ρ – hustota vody [kg/m³]

g – gravitační zrychlení [m/s²]

Q – průtok [m³/s]

H – spád [m]

η – účinnost [-]

Je zřejmé, že hustota vody a gravitační zrychlení bude u všech vodních elektráren stejná, účinnost se u moderních elektráren také zásadně neliší, tudíž dvě hlavní hodnoty, které budou rozhodující pro výsledný výkon, budou spád a průtok. Průtok je dán vodním tokem, na kterém chceme vodní elektrárnu stavět. Můžeme ho spočítat podle vzorce (3).

$$Q = S \cdot v \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (3)$$

kde:

S – plocha průřezu vody kolmého na směr toku [m^2]

v – rychlost proudění vody [m/s]

Spád je dán rozdílem hladiny nad turbínou a hladinou odpadu elektrárny, ten je však nutné pro výpočty snížit o ztrátový spád, který nejsme schopni využít. Celkový spád dokážeme uměle zvýšit vzdouvacím zařízením, kterým může být hráz, jez či přehrada, a tím dosáhnout vyššího výkonu elektrárny. Budování těchto staveb je však nákladné. (Melichar, a další, 1998) Samotné vodní kolo či turbína je rozpořívána proudem vody, který naráží na lopatky oběžného kola. Tím se turbína roztáčí a předává svoji energii hřídeli na generátor, který ji mění na energii elektrickou.

Vodní turbíny se dělí na rovnotlaké a přetlakové. U rovnotlakých je stejný tlak při vstupu do oběžného kola jako při výstupu, tím tato turbína využívá pouze kinetickou část energie vody. Mezi přední představitele rovnotlakých turbín patří Peltonova a Bánkiho turbína. Peltonova turbína je vhodná především na velké spády a menší průtoky. Na konci přívodního potrubí se nachází dýza, která mění tlakovou energii na energii kinetickou a do oběžného kola tak stříká pouze paprsek vody.

U přetlakových turbín se využívá kromě kinetické energie i energie tlaková, proto je na vstupu do oběžného kola větší tlak než na výstupu. Turbína proto musí být kompletně zaplavená vodou. Nejpoužívanější přetlakové turbíny jsou Francisova a Kaplanova. První zmíněná je používána i v přečerpávacích elektrárnách díky možnosti pracovat v čerpadlovém režimu při opačném směru otáčení. (Hanania, a další, 2020)

7.2. Potenciál VE v ČR

Hydroenergetický potenciál pro velké vodní elektrárny je už z velké části v ČR vyčerpán. V oblasti malých vodních elektráren (do výkonu 10 MW) je situace o něco lepší, ve zprávě ministerstva životního prostředí se píše o zhruba 30 % dosud nevyčerpaného hydroenergetického potenciálu vhodného pro stavby malých vodních elektráren. Tyto hodnoty však reflektují ekonomický pohled investice, kde se považuje za minimální spád hodnota 1,5 metru a minimální průtok 2 m³/s. (Vodohospodářský rozvoj a výstavba a. s., 2015)

Pro stavbu vodní elektrárny, která by byla schopna zásobovat elektřinou rodinný dům a nebylo by na ni nahlíženo jako na lukrativní energetickou investici by však bylo možné využívat i menší spády a průtoky. Ekonomicky výhodné může být využití odstředivého čerpadla v režimu turbíny, (Elbatran, a další, 2015) nebo například bezlopatkové odvalovací turbíny určená pro využití velmi nízkých spádů, které dokážou pracovat s malým průtokem a se spádem kolem 0,5 metru. (Polák, 2013) Z tohoto pohledu by bylo možné využít značnou část vodní toků, největším problémem při stavbě elektrárny na nové lokalitě tak může být problém legislativní. Z tohoto pohledu je snazší využít lokalitu, kde již v minulosti nějaký objekt využívající energii vody byl a zároveň tím lze ušetřit velkou část investice, která by byla vynaložena na vybudování nového vzdouvacího zařízení.

7.3. Vhodnost VE pro ostrovní režim

Využití energie vody pro zásobování elektřinou rodinného domu, který nebude napojen na distribuční síť, je velice vhodná varianta. Oproti dříve zmíněným obnovitelným zdrojům elektřiny může vodní elektrárna vyrábět elektřinu 24 hodin denně každý den v roce a tím je výroba elektřiny během roku stabilní. Existují jistá omezení, kdy je třeba i vodní elektrárnu odstavit. Například v zimě, během silných mrazů, může být provoz elektrárny zastaven kvůli ledu na hladině a zamrznání různých částí celé elektrárny-od česlí a stavidel až po samotnou turbínu či vodní kolo. Pokud nestojí elektrárna na řece s dostatečným průtokem, může dojít v létě díky suchu k výraznému poklesu hladiny a tím k omezení výkonu či k úplnému zastavení elektrárny.

8. Energie biomasy

Využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie pro dům v ostrovním provozu má mnoho výhod. Příroda nám nabízí sluneční energii, která je naakumulována v rostlinách a může tak být za vhodných podmínek uložena po dobu mnoha týdnů, měsíců nebo i let, bez ztrát svého energetického potenciálu. Tímto se výrazně odlišuje od všech dříve zmíněných obnovitelných zdrojů energie, kde bývá akumulace energie nákladná, nebo dochází po delší době k značným ztrátám. (Malat'ák, a další, 2008)

Nevýhodou využití biomasy však zůstává technologicky náročný proces přeměny energie biomasy na energii elektrickou. Například bioplynové stanice s kogenerační jednotkou na výrobu elektrické energie a tepla se běžně využívají až od instalovaného výkonu v řádu desítek kilowatt, kde by bylo možné energetické zásobování menší vesnice, či energeticky nezávislého komplexu zemědělských budov navazujících technologií, nikoli pouze pro jeden samostatně stojící dům. Pro dům se však nabízí možnost spalování biomasy a tím získávání tepelné energie, která může být využita pro ohřev teplé vody a vytápění v zimních měsících, kdy například výkon fotovoltaické elektrárny klesá na minimum. (Ministerstvo zemědělství, 2013)

8.1. Princip výroby elektřiny a energie z biomasy

Metody získávání energie z biomasy můžeme rozdělit do třech základních skupin:

Suchá biomasa

Využití suché biomasy patří mezi nejstarší způsoby získávání energie. Suchou biomasu můžeme přímo spalovat a s vysokou účinností přesahující 90 % využívat vzniklé teplo. (Stupavský, 2010) Dnes s nástupem moderních technologií dokážeme v kogeneračních jednotkách získávat ze spalování biomasy jak elektrickou energii, tak tepelnou energii, kterou můžeme taktéž využívat. Tyto kogenerační jednotky dokážou pracovat s celkovou účinností 80 až 90 %. (Krbek, a další, 2007)

Mokrý biomasa

Mokrý nebo také tekutý biomasa je vhodný především pro výrobu bioplynu. Rozkladem organických materiálů dochází při procesu anaerobní fermentace k uvolňování bioplynu, který obsahuje 50-75 % metanu. Tento plyn je spalován v kogeneračních jednotkách, odkud se získává elektrická a tepelná energie. Vedlejším produktem z provozu bioplynové stanice je digestát, který můžeme použít jako hnojivo. (Ministerstvo zemědělství, 2013)

Speciální

Další možností získávání energie je využití speciálních plodin, jako jsou olejiny, škrobové a cukernaté plodiny. Vylisovaný rostlinný olej je možné v procesu zvaném esterifikace přeměnit na bionaftu, ta může být použita jako palivo vznětových motorů. Z plodin, které obsahují větší podíl škrobu, je možné alkoholovým kvašením a následnou destilací získat ethanol, který může sloužit jako palivo zážehových motorů. (Ministerstvo zemědělství, 2013)

8.2. Potenciál biomasy v ČR

Velkou výhodou využívání biomasy je její lokální dostupnost na většině území ČR. Přeprava biomasy na větší vzdálenosti by byla ekonomicky nevýhodná, proto je dobré využívat zdroje nacházející se co nejblíže samotnému zpracování a následného využití. V nížinách můžeme využívat především energetické rostliny nebo odpad ze zemědělské prvovýroby v podobě slámy. V hornatějších oblastech připadá v úvahu spíše využití dřevní hmoty a odpadu z lesního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu. Jako energeticky nejsnadněji využitelná forma biomasy pro potřeby rodinného domu je palivové dřevo ať už pěstované na plantážích v podobě rychle rostoucích dřevin, nebo biomasa získaná přímo z lesních porostů. (Ministerstvo zemědělství, 2013)

8.3. Vhodnost využití biomasy pro ostrovní režim

Využitelná energie biomasy v provozu ostrovního rodinného domu je hlavně ve formě tepelné energie. Můžeme ji tedy využít jak na vytápění domu v zimních měsících, tak i na ohřev teplé vody. Druhá zmíněná možnost je velice vhodná především v kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou, kdy můžeme ušetřit značnou část elektrické energie pro ohřev teplé vody v období, kdy fotovoltaická elektrárna vyrábí minimální množství energie. Další velkou výhodou je možnost přeměňovat energii uloženou v biomase, kdykoli ji skutečně potřebujeme, nezávisle na počasí.

9. Akumulace energie

Dostupnost elektrické energie získané z obnovitelných zdrojů je často závislá na aktuálních klimatických podmínkách, které nemůžeme nijak ovlivnit. Aby byl zajištěn maximální komfort bydlení v domě a elektrická energie byla v dostatečné míře dostupná 24 hodin denně, je nutné elektrickou energii ukládat. Například nejpoužívanější akumulátory na bázi lithia, které každý den využíváme v drobné elektronice, mají kapacita v řádu jednotek Wh. Existují však i velká úložiště určená pro stabilizaci distribuční sítě s kapacitou desítek MWh. Zdokonalování a vývoj nových technologií ukládání elektrické energie neustále pokračuje a vědci se snaží vylepšit parametry, jakými jsou měrná hustota energie, účinnost nebo životnost. V neposlední řadě je kladen důraz na snižování ceny akumulátorů a tím i rozšíření využití v běžné praxi. (Petr Mastný, a další, 2011)

9.1. Akumulátory na chemické bázi

Nejčastěji používané akumulátory využívají elektrochemický proces, při kterém dochází k přeměně dodávané elektrické energie na energii chemickou. V tomto stavu dokáže akumulátor po určitý čas energii uchovat a později ji přeměnit zpět opačným procesem na energii elektrickou. Článků, které využívají elektrochemický proces, je celá řada. Využívá se u nich mnoho různých druhů materiálů, podle kterých se pak mění i vlastnosti

jednotlivých akumulátorů. Hlavním nedostatkem, který tyto akumulátory spojuje, je jejich životnost pohybující se v řádu stovek až tisíců cyklů. Během této životnosti se postupně snižuje kapacita akumulátoru. (Mastný, 2012)

9.1.1. Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou nejstarší sériově vyráběné nabíjecí akumulátory, i dnes jsou často využívány především při startování spalovacích motorů automobilů, a to díky jejich schopnosti krátkodobého vybíjení velkými proudy, výhodné ceně a jejich spolehlivosti. Přestože princip kombinující slitiny olova (elektrody) a kyselinu sírovou (elektrolyt) je pořád stejný, konstrukce těchto baterií se částečně přizpůsobila modernějším požadavkům na komfortní provoz. Elektrolyt tak může být vázán v separátoru či ve formě gelu a celá baterie je pak „hermeticky“ uzavřena bez nutnosti doplňování destilované vody. Díky těmto změnám je možné baterii používat i v různých polohách, bez nebezpečí vytečení elektrolytu. Životnost těchto baterií se pohybuje v rozmezí 200 až 3000 cyklů, v závislosti na hloubce vybití. Hlubším vybíjením se životnost startovacích olověných baterií výrazně zkracuje. (Hammerbauer, 1998)

9.1.2. Lithiové akumulátory

Baterie na bázi lithia jsou hojně využívány ve veškerých drobných elektrospotřebičích a elektromobilech díky poměrně vysoké měrné hustotě energie na jednotku hmotnosti (kWh/kg). To je zásadní parametr pro všechny mobilní aplikace, kde je důležitá hmotnost celého zařízení. Další výhodou proti olověnému akumulátoru je životnost, kdy dnešní moderní články dosahují životnosti několika tisíc cyklů. Během této životnosti postupně klesá kapacita akumulátoru, i potom jsou však využitelné například jako stacionární baterie, kde již nezáleží tolik na měrné hustotě energie. Dobrým příkladem druhého využití této baterie by mohla být právě baterie pro rodinný dům ve spojení s obnovitelnými zdroji energie. Průměrná cena těchto baterií neustále klesá, v posledních deseti letech tak ceny spadly téměř o 90 %. V roce 2020 tak byla průměrná cena 137 USD/kWh. (Bullard, 2020) (Abraham, a další, 2013)

9.1.3. Vodíkové články

Vodíkový článek umožňuje výrobu elektrické energie z vodíku a kyslíku procesem opačným, než je elektrolýza. Při tomto procesu jako vedlejší produkty získáváme teplo a vodu, které můžeme v rodinném domě také využít. Vodík potřebný jako palivo je možné získávat mnoha způsoby z různých zdrojů. Mezi ty nejlevnější patří běžně používaná fosilní paliva, například zemní plyn. Ty však nejsou obnovitelná, proto se jimi nebudeme dále zabývat. Výroba vodíku z obnovitelných zdrojů je možná elektrolýzou vody, pokud jako zdroj elektřiny využijeme některý z obnovitelných zdrojů. Ve vodíku pak máme uloženou energii, kterou můžeme v případě potřeby zpětně přeměnit na elektrickou energii. (Porš, 2002)

Ve fázi prototypů již existují systémy určené pro ostrovní domy, které dokážou vyrábět vodík z vody a elektřiny, vyrobené fotovoltaickou elektrárnou. Tento vodík je stlačen a uložen v tlakových lahvích o celkovém objemu dvou kubických metrů jejíž kapacita přepočtená na elektrickou energii odpovídá 350 – 1 000 kWh. V zimním období, během kterého fotovoltaická elektrárna vyrábí minimum elektřiny, dokáže systém opačným procesem vyrábět elektřinu z vodíku. Díky velké měrné hustotě energie vodíku 33,3 kWh/kg, což je zhruba stokrát více než běžné akumulátory, je možné na poměrně malém prostoru uložit obrovské množství energie. (Zilvar, 2019)

9.2. Uložení energie ve formě kinetické či potenciální energie

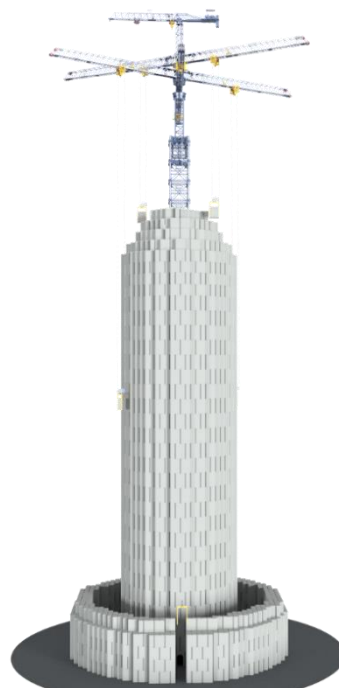
Akumulátory využívající kinetickou nebo potenciální energii můžeme nazvat jako mechanické. Zpravidla obsahují elektromotor a generátor nebo generátor, který umožňuje provoz i v motorovém režimu. V době přebytku elektrické energie motor uvádí do pohybu využívanou hmotu, která tím získává kinetickou či potenciální energii. Naopak ve chvíli, kdy je potřeba dodávat elektrickou energii je ve funkci generátor, který naakumulovanou energii převádí zpět na elektrickou. Ať už se jedná o kinetickou či potenciální energii, kapacita akumulátoru bude závislá na hmotě, které budeme tuto energii předávat. Hlavní výhodou těchto mechanických akumulátorů je absence chemicky nebezpečných či toxických látek.

Setrvačníky

Setrvačnick jako akumulátor je znám již několik tisíc let, funguje na jednoduchém principu, kdy působící silou roztáčíme kolem své osy rotor ve tvaru prstence či válce o určité hmotnosti. S narůstající rychlostí otáčení se i kinetická energie naakumulovaná v setrvačnicku zvětšuje. Když energii potřebujeme využít zpět, připojíme na setrvačnick generátor, který ho brzdí a tím přeměňuje kinetickou energii zpět na elektrickou. Setrvačnickové akumulátory se hodí především na pokrytí krátkých výpadků elektřiny například, než se spustí záložní agregát. To je dáno jejich vlastnostmi, mezi které patří velice rychlý náběh plného výkonu, dokážou dodávat velký výkon, ale pouze po krátkou dobu, protože nemají velkou kapacitu. Mají velkou životnost, která je dána pouze opotřebováním mechanických částí. (Dvořák, a další, 2011)

Gravitační akumulátor

Stejně jako přečerpávací vodní elektrárna i takzvané gravitační akumulátory využívají potenciální energii. Vypadají jako velký stavební jeřáb s více rameny, které, místo čerpání vody do horní nádrže, postupně skládají betonové bloky na sebe, až obestaví celý jeřáb do maximální výšky. Vizualizaci celého zařízení si můžete prohlédnout na obr. 5. V případě potřeby elektrické energie se betonové bloky opět spouští dolu na zem a rekuperační elektromotory tím získávají zpět elektrickou energii. Oproti přečerpávacím elektrárnám jsou výhodné tím, že je možné je postavit i v nížinách v blízkosti měst, kde by nebylo možné dosáhnout dostatečného spádu pro přečerpávací vodní elektrárnu. Jedno takové gravitační úložiště o kapacitě 35 MWh bylo v posledních letech postaveno ve Švýcarsku, kde právě probíhá zkušební provoz. (Energy Vault)



Obr. 5 - Vizualizace gravitačního akumulátoru (Energy Vault)

Přečerpávací vodní elektrárna

Přečerpávací elektrárny slouží velice dobře jako stabilizátor distribuční sítě. V době, kdy jsou přebytky elektrické energie v síti, ji může přečerpávací elektrárna spotřebovávat tím, že pracuje v čerpadlovém provozu a pomocí reverzní turbíny nebo čerpadla čerpá vodu z dolní nádrže do té horní. Tam je uložena v podobě potenciální energie vody, která je dána objemem vody a rozdílem hladin obou nádrží. V době, kdy je naopak nedostatek elektrické energie v distribuční síti, se může spustit turbínový provoz, kdy je voda z horní nádrže opět tlakovým potrubím přiváděna k turbíně a ta ve spojení s generátorem vyrábí elektrickou energii. Přečerpávací elektrárny dokážou tento cyklus provádět s účinností přes 70 %. (Bechník, 2015)

9.3. Uložení energie do jinak využitelné formy energie

Rodinný dům pro svůj provoz a pro zajištění maximálního komfortu jejich obyvatel využívá i jiné formy energií než energii elektrickou. Jedná se především o tepelnou energii, která může být v domácnosti využitelná jak pro vytápění, tak v podobě teplé vody potřebné pro provoz domácnosti a osobní hygienu. Tepelnou energii můžeme standartně přeměňovat z elektrické energie, ať už bojlerem, průtokovým ohřivačem nebo tepelným čerpadlem. Lze ji ale v době nedostatku elektrické energie výhodně získávat i z biomasy. (Dufka, 2018)

9.3.1. Ohřívání a akumulace teplé vody

Velká část celkové spotřeby energií v domácnosti je použita na ohřev vody. Dle podkladů v normě ČSN 06 0320 pro dimenzování zařízení na ohřev teplé vody se uvažuje potřeba teplé vody pro jednu osobu na den až 82 litrů. Reálná spotřeba teplé vody však bývá 36–52 litrů. (Horáková, a další, 2015) Kdybychom počítali čtyřčlennou rodinu, je třeba denně ohřát přibližně 160 l vody na teplotu 55 °C. Pokud vezmeme v úvahu vstupní teplotu vody 10 °C, energie potřebná pro ohřev vody pak dle vzorce (4) vychází přibližně 8,5 kWh.

$$E = \frac{m \cdot c_{Wh} \cdot (t_2 - t_1)}{\eta} \quad [Wh] \quad (4)$$

kde:

m - je hmotnost vody [kg]

c_{Wh} - je měrná tepelná kapacita vody $[\frac{Wh}{kg \cdot K}] = (1,163 \frac{Wh}{kg \cdot K})$,

t_2 - je výstupní teplota [$^{\circ}C$]

t_1 - je vstupní teplota [$^{\circ}C$]

η - účinnost ohřevu

$$E = \frac{160 \cdot 1,163 \cdot (55 - 10)}{0,99} = 8\,458 \text{ Wh}$$

Tuto energii, kterou každý den potřebujeme pro ohřev teplé vody tedy nemusíme ukládat do akumulátoru elektrické energie, ale můžeme ji ukládat ve formě teplé vody v akumulární nádrži, kde je cena v přepočtu na kapacitu uložené energie výrazně nižší. Další velká výhoda využití akumulární nádrže je, že můžeme k ohřevu vody využít jak elektrickou energii například z fotovoltaické elektrárny v letním období, tak můžeme tuto vodu ohřívat kotlem na spalování biomasy v době, kdy je nedostatek elektrické energie. Nevýhodou jsou poměrně velké ztráty tepla, které závisí na velikosti akumulární nádrže. Proto je třeba velikost akumulární nádrže pro daný provoz správně navrhnout. (Tramba, 2018)

10. Využití fotovoltaického systému s akumulací v objektu rodinného domu

Z výše uvedené rešeršní části je zřejmé, že systém založený na vodní elektrárně by byl poměrně spolehlivý a byla by potřeba minimální kapacita akumulátoru díky stabilitě tohoto zdroje, jeho potenciál v ČR je však poměrně malý. Toto řešení by bylo tedy zajímavé tehdy, kdyby byl navrhován ostrovní systém například pro starý mlýn, kde by byl dostatečný hydroenergetický potenciál a bylo by možné využít vzdouvací zařízení či starý náhon a tím i výrazně snížit počáteční investice celého projektu.

Kombinace větrné elektrárny s fotovoltaickou se vzájemně vhodně doplňují z hlediska objemu výroby elektrické energie v letním a zimním období. Touto kombinací lze dosáhnout snížení pořizovacích nákladů oproti variantám, kdy je využit pouze jeden ze zmíněných zdrojů. Vhodných lokalit pro stavbu větrné elektrárny ale také není mnoho. Tato kombinace by tak mohla být vhodná například pro horskou chatu, kde by byla průměrná rychlost větru na dostatečné úrovni.

Pro návrh výroby energie z obnovitelných zdrojů v rodinném domě byla zvolena kombinace fotovoltaické elektrárny společně s využitím biomasy pro vytápění a ohřev teplé vody v zimních měsících. Hlavními důvody tohoto výběru je možnost spolupráce těchto dvou zdrojů v průběhu roku, největší pokrytí potenciálu těchto dvou obnovitelných zdrojů na našem území a pro obsluhu velice jednoduchý provoz fotovoltaické elektrárny bez složitějších servisních úkonů. Proto může být tato kombinace vhodná pro největší počet rodinných domů v ČR, a tím oslovit a inspirovat nejvíce lidí aspoň k částečné soběstačnosti a získávání energie z obnovitelných zdrojů.

10.1. Popis vybraného objektu a jeho spotřeby energií

Pro návrh celého systému byl zvolen zděný rodinný dům postavený v roce 2002, jehož půdorys má rozměry 10 x 10 m. Střecha je sedlového tvaru a využitelná část střechy umožňující instalaci fotovoltaické elektrárny směřuje pod azimutem 178°, tedy 12° od jižního směru blíže k východu. Její sklon od vodorovné roviny je 45°. Plocha této části střechy je přibližně 70 m². Rodinný dům stojí v rovinaté oblasti Polabí bez větších kopců. Je situován na okraji obce, kde z jižní strany již nestojí žádné další objekty, proto ani v zimních měsících nehrozí stínění fotovoltaické elektrárny. Do objektu je jako jediný zdroj energie

přivedena elektřina a k vytápění se využívá kotel pro spalování biomasy ve formě kusového dřeva s akumulací nádrží na teplou vodu o objemu 1 000 litrů. V domácnosti žije čtyřčlenná rodina.

10.1.1. Výpočet průměrné spotřeby elektřiny

Pro návrh celého systému je potřeba znát spotřebu daného objektu. V tab. 1 jsou sepsány využívané spotřebiče s jejich příkonem, průměrným časem provozu během dne a z toho vypočtená celková denní spotřeba elektrické energie. Zvlášť v tabulce stojí spotřeba energie pro ohřev teplé vody, která byla vypočtena v kapitole 9.3.1. Výroba této energie bude v zimním období realizována společně s vytápěním domu spalováním biomasy. Proto bude fotovoltaická elektrárna dimenzována na zimní provoz (topná sezóna) bez této spotřeby. V letním období, kdy elektrárna dodává více energie, bude voda ohřívána elektřinou z fotovoltaické elektrárny.

Spotřebiče	Příkon [W]	Čas provozu [hod]	Denní spotřeba [kWh]
Osvětlení	8 x 10	5	0,4
Rychlovarná konvice	2 000	0,1	0,2
Kávovar	1 200	0,05	0,06
Varná deska	2 000	0,25	0,5
Digestoř	200	0,25	0,05
Horkovzdušná trouba	2 500	0,2	0,5
Mikrovlňná trouba	1 200	0,2	0,24
Lednice	100	3,3	0,33
Mrazák	100	3,3	0,33
Televize	85	3	0,255
Počítač	180	2	0,36
Notebooky	2 x 30	2,5	0,15
Telefony	4 x 8	1	0,032
Vodárna	550	1	0,55
Vysavač	900	0,1	0,09
Pračka	2 200	0,3	0,66
Drobné elektro nářadí	1 000	0,1	0,1
Vlastní spotřeba elektrárny	25	24	0,6
Celkem			5,407
Ohřev vody			8,5

Tab. 1 - Odhad průměrné denní spotřeby domácnosti

Odhadovaná průměrná denní spotřeba energie v tab. 1 byla vynásobena počtem dní v roce (365) a tím vypočítaná roční spotřeba, jak můžete vidět v tab. 2. Tyto hodnoty byly pro kontrolu porovnány se skutečnými hodnotami ročních vyúčtování za poslední tři roky, které můžete vidět v tab. 3. Delší časový horizont nebylo možné použít, protože dříve v domácnosti žilo více osob, tudíž byla spotřeba elektrické energie větší. Z porovnání je zřejmé, že krom odpovídajícího výsledku celkové spotřeby elektrické energie, je i rozdělení spotřeby na ohřev vody a na ostatní spotřebu, respektive nízký a vysoký tarif, uvažováno správně a je zde pouze malá odchylka.

(Denní spotřeba *365 dní)	celková spotřeba [kWh]	ostatní spotřebiče [kWh]	ohřev vody [kWh]
Roční spotřeba vypočtena z tabulky 1	5 077	1 974	3 103

Tab. 2 - Roční spotřeba vypočtená z denní spotřeby spotřebičů

Období	celková spotřeba [kWh]	vysoký tarif [kWh]	nízký tarif [kWh]
VII.2017-VII.2018	5 324	1 864	3 460
VII.2018-VII.2019	4 811	1 733	3 078
VII.2019-VII.2020	4 996	1 873	3 123
Roční průměr za období VII.2017-VII.2020	5 044	1 823	3 220

Tab. 3 - Skutečná spotřeba domu z ročních odečtů elektroměru

10.2. Návrh energetické soběstačnosti rodinného domu

Pro návrh celého systému je třeba určit vstupní parametry zadání, které byly částečně popsány v předchozí kapitole. Následný návrh bude probíhat za pomoci online webové aplikace PVGIS, díky které bude nalezeno nejvhodnější řešení z hlediska minimálních pořizovacích nákladů. Porovnáváním výsledků pro různá zadání počtu fotovoltaických panelů a podle toho navržená velikost akumulátoru tak, aby byly splněny podmínky vstupních parametrů.

10.2.1. Aplikace Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

Aplikace PVGIS byla vyvinuta v European Commission Joint Research Centre v Ispře v Itálii a funguje od roku 2001. V průběhu let byla aplikace vylepšována a rozšiřována na základě výstupů mnoha výzkumných projektů, které v rámci PVGIS proběhly. Poslední verze, která bude využita i pro výpočty v této práci je PVGIS 5.

Aplikace PVGIS využívá pro odhad intenzity slunečního záření data z geostacionárních meteorologických družic Meteosat. Velkou výhodou využití těchto družic je dlouhá historie dat přesahující 30 let. PVGIS využívá data s frekvencí jednoho snímku za hodinu. Tyto data jsou dále upravována díky informacím o koncentraci prachových částic, vodní páry a ozonu v atmosféře, které částečně pohlcují záření určitých vlnových délek. Takto vypočtená data slunečního záření ze satelitních snímků jsou porovnávána s měřením pozemních stanic.

Vliv stínění terénem má PVGIS k dispozici pro jakoukoli geografickou polohu v rozlišení přibližně 90 metrů. Systém tak v případě zastínění počítá pouze s difuzní částí záření. Pokud nestačí rozlišení v rozsahu 90 metrů, je možné vytvořit a nahrát tvar horizontu, který přesně odpovídá situaci v daném místě. Je tak možné do výpočtu zanést stínění okolními domy nebo jinými překážkami.

Aplikace PVGIS dále počítá s těmito vlivy:

- Vliv odrazu záření od fotovoltaického panelu
- Vliv změn ve slunečním spektru
- Vliv intenzity ozáření na výkonu fotovoltaického panelu
- Vliv teploty modulu na výkonu fotovoltaického panelu

Aplikace PVGIS naopak nezohledňuje tyto účinky:

- Sníh. Když jsou fotovoltaické panely pokryty částečně nebo úplně sněhem, dodávají výrazně méně výkonu.
- Prach a špína také snižují výkon fotovoltaických panelů.
- Částečné zastínění fotovoltaických panelů.

Výpočet v aplikaci PVGIS pro systém v režimu off-grid probíhá v těchto krocích:

1. Pro každou hodinu spočítej sluneční záření dopadající na fotovoltaický panel a výkon fotovoltaických panelů.
2. Pokud je výkon fotovoltaických panelů větší než aktuální spotřeba, přebytečnou energii ukládej do akumulátoru.
3. Pokud je výkon fotovoltaických panelů menší než aktuální spotřeba, získej potřebnou energii z akumulátorů.
4. Pokud se akumulátor plně nabije, spočítej množství přebytečné energie, kterou nelze spotřebovat ani uložit.
5. Pokud se akumulátor vybití, spočítej chybějící energii a připočítej den k počtu dní, kdy systému došla energie.

Z výše zmíněného postupu je zřejmé, že pro získání co nejpřesnějších výsledků je nutné znát rozložení spotřeby během dne, tzv. hodinovou spotřebu. Pro výpočet lze využít přednastavenou hodinovou spotřebu nebo nahrát svůj vlastní soubor s hodinovou spotřebou, která odpovídá skutečnému využívání spotřebičů v domácnosti v průběhu dne.

10.2.2. Vstupní parametry

Obecné

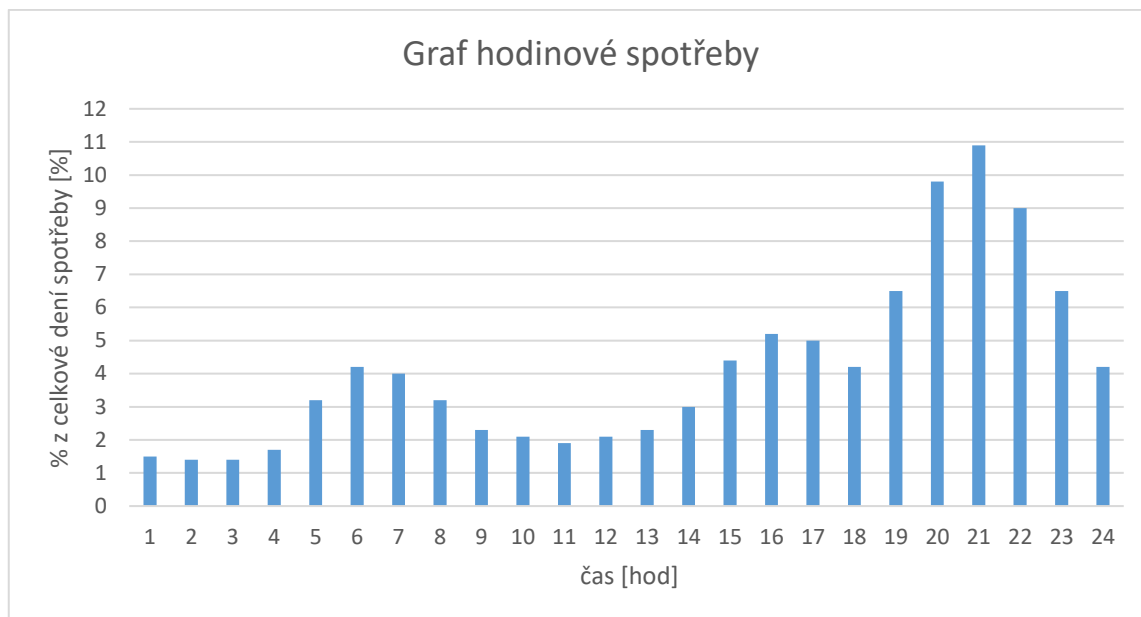
- Maximální využitelná plocha střechy 70 m²
- Fotovoltaický panel cca. 1 x 2 m, 450 W_p

Z dvou výše uvedených bodů vyplývá maximální možný výkon elektrárny 15 750 W_p

- Pro návrh výkonu fotovoltaické elektrárny budou zadávány násobky 450 W_p
- Mezní hodnota vybití akumulátoru LiFePO₄ – 20 %

Doporučená hodnota pro dlouhou životnost akumulátorů

- Pro návrh akumulátoru budou zadávány násobky 100 Wh
- Uvažovaná orientační cena akumulátoru LiFePO₄ – 10 000 Kč za 1 kWh
- Uvažovaná orientační cena panelů včetně nosné konstrukce – 8 500 Kč za 1 kW_p
- Uvažované rozložení spotřeby elektřiny během 24 hodin v grafu v obr. 6



Obr. 6 – Graf zadané hodinové spotřeby

Zimní provoz

- Období – od října do března
- Průměrná denní potřeba elektrické energie – 5,4 kWh
- Ohřev teplé vody je zajištěn společně s vytápěním spalováním biomasy
- Maximální procento dní v měsíci, kdy může dojít k vybití akumulátoru – 6,7 %

Tato hodnota (6,7 % \approx 2 dny v měsíci), byla zvolena jako kompromis. Část spotřeby elektrické energie lze omezit nebo odložit na základě nepříznivé předpovědi počasí a tím toto období překlenout.

Letní provoz

- Období – od dubna do září
- Velikost akumulární nádrže 1 000 litrů

Ohřátí 1 000 litrů vody z 10 °C na 65 °C podle vzorce (4) = 64,6 kWh

- Mezní hodnota „vybití“ akumulární nádrže na teplou vodu – 55 %

Navrženo, aby neklesla teplota v akumulární nádrži pod 40 °C

- Tepelné ztráty akumulární nádrže na vodu jsou uvažovány 4 kWh za 24 hodin
- Průměrná denní spotřeba elektrické energie – 17,9 kWh

(5,4 kWh elektřina, 8,5 kWh ohřev potřebné vody, 4 kWh tepelné ztráty akumulární nádrže)

- Maximální procento dní v měsíci, kdy může dojít k vybití akumulátoru – 6,7 %

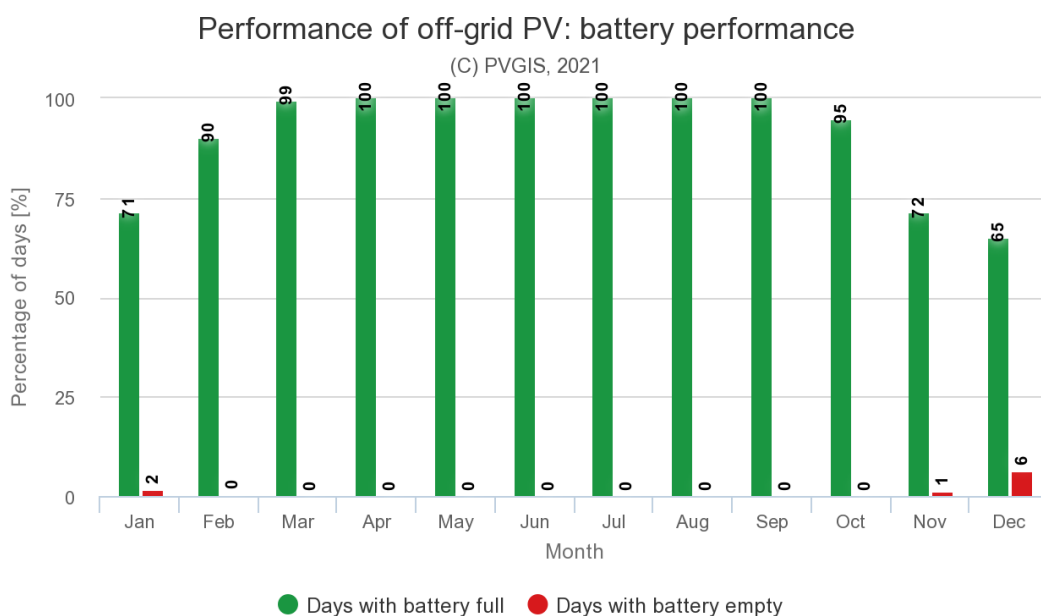
10.2.3. Návrh velikosti elektrárny a akumulátoru

Do aplikace PVGIS byl zadáván výkon FVE podle počtu fotovoltaických panelů a k danému výkonu byla vždy hledaná minimální velikost akumulátoru, aby byla splněna podmínka maximálního počtu dní v měsíci, kdy může dojít k vybití akumulátoru. Ze zadaných parametrů byla zjištěna cenově nejvýhodnější kombinace velikosti fotovoltaické elektrárny a kapacity LiFePO₄ akumulátoru pro zimní provoz. V tab. 4 můžete vidět výsledky zjištěných dat. Vybrané řešení je tučně zvýrazněno. Červeně označená pole značí cenově ještě vhodnější řešení, ale prostor na střeše neumožňuje instalovat více než 15 750 W_p. Proto musela být zvolena varianta s maximálním možným pokrytím střechy fotovoltaickými panely a k tomu odpovídající velikost akumulátoru 11 900 Wh.

Zimní provoz - 8,5 Kč/W _p , 10 Kč/Wh				
Fotovoltaická elektrárna [W _p]	Akumulátor [Wh]	Fotovoltaická elektrárna [Kč]	Akumulátor [Kč]	Cena celkem [Kč]
14 850	13 700	126 225	137 000	263 225
15 300	13 100	130 050	131 000	261 050
15 750	11 900	133 875	119 000	252 875
16 200	11 400	137 700	114 000	251 700
16 650	11 200	141 525	112 000	253 525

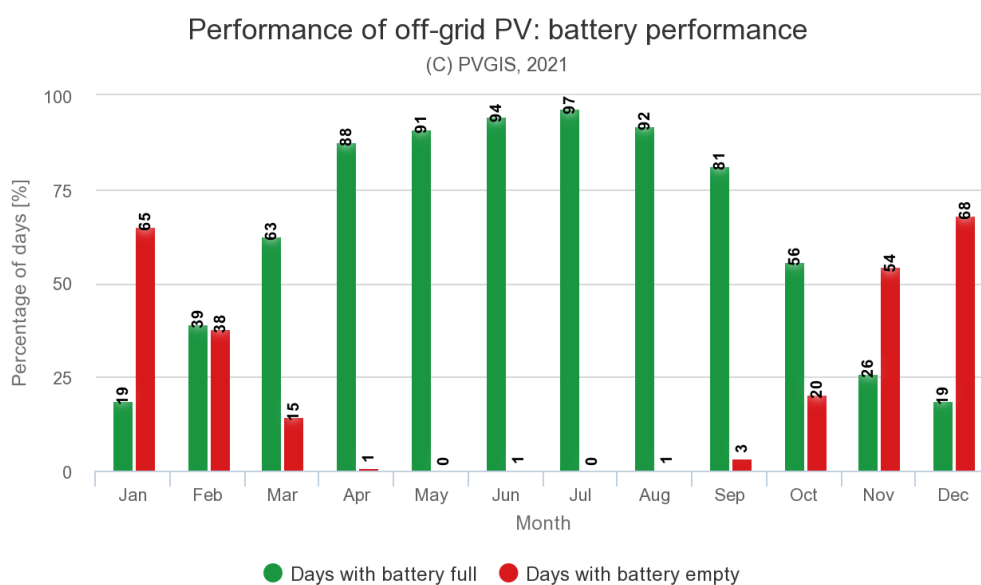
Tab. 4 - Výsledky pro zadané parametry - zimní provoz

Vybrané řešení z návrhu pro zimní provoz, kdy je nutné pokrýt pouze denní spotřebu 5,4 kWh, můžete vidět na obr. 7, ze kterého je zřejmé, že nejhorší období je v prosinci, kde může dojít v 6 % dní k vybití akumulátoru.



Obr. 7 - Výsledek zadání-FVE 15 750 W_p, Akumulátor LiFePO₄, Spotřeba 5 400 Wh
(European Commission, Joint Research Centre, 2019)

Toto řešení bylo následně zkontrolováno i pro letní provoz, kdy dochází i k nahřívání akumulární nádrže energií z fotovoltaické elektrárny a tím se průměrná denní spotřeba energie zvýší na 17,9 kWh. Jak můžete vidět na obr. 8, zvolená velikost fotovoltaické elektrárny bude dostatečná i pro letní provoz. Počet dnů, kdy dojde k vybití akumulátoru v jednotlivých měsících od dubna do září také nepřesáhne 6,7 %.



Obr. 8 - Výsledek zadání-FVE 15 750W_p, akumulární nádrž, Spotřeba 17 900 Wh
(European Commission, Joint Research Centre, 2019)

10.2.4. Návrh komponent systému

Pro zvolenou velikost fotovoltaické elektrárny a akumulátoru, která byla navržena v předchozí kapitole, byly navrženy ostatní komponenty potřebné k fungování celého systému:

- **Solární panel ELERIX Mono 450W_p, ESM-450H**

Špičkový výkon – 450 W_p

Napětí na prázdko – 49,3 V

Zkratový proud – 11,6 A

Zapojení serioparalelní do třech stringů (řetězců) ke třem MPPT regulátorům si můžete prohlédnout v příloze 3. Zapojení je provedeno tak, aby byl dodržen maximální proud a maximální napětí MPPT regulátoru.

- **Solární regulátor MPPT Victron 250/100**

Maximální zkratový proud - 70 A

Maximální vstupní napětí - 250 V

- **Měnič hlavní – Victron Energy Quattro 48V/8000VA**

Trvalý AC výkon 6 500 W (25 °C)

- **Měnič záložní - Victron Energy MultiPlus-II 48V/3000VA**

Trvalý AC výkon 2 400 W (25 °C)

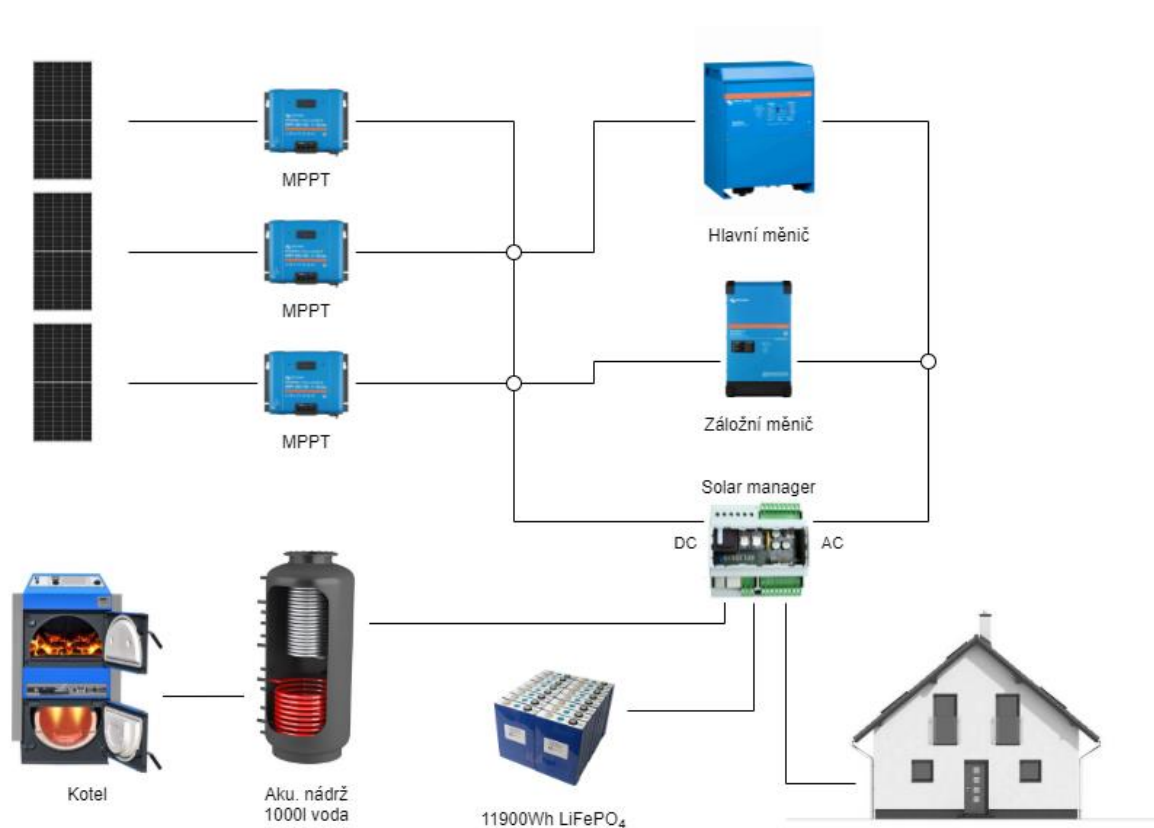
- **Vytěžovač – Solar Manager**

Programovatelný manager pro AC i DC část, pro řízení spotřeby domácnosti a řízení přebytků.

- **Topné těleso do akumulační nádrže**

6,6 kW

Kombinace dvou měničů je zvolena z důvodu zálohy v případě poruchy. Další výhodou použití těchto dvou měničů je snížení vlastní spotřeby v méně vytížené hodiny. Například v noci je možné použít pouze menší z nich, který navíc umožňuje provoz v úsporném režimu, kdy v případě nulové spotřeby dokáže snížit vlastní spotřebu pouze na 3 W. V případě velké spotřeby mohou běžet oba měniče najednou a pokrýt tak spotřebu střídavého proudu až 8,9 kW. (Victron Energy) Schéma uspořádání hlavních částí celého systému můžete vidět na obr. 9.



Obr. 9 - Schéma hlavních částí ostrovního systému

10.3. Ekonomické zhodnocení projektu

Pořizovací náklady

Celkové náklady na ostrovní systém včetně montáže budou 600 000 Kč, jednotlivé položky můžete vidět v tab. 5.

Komponenta	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Cena celkem [Kč]
Solární panel 450Wp	3 171	35	111 000
Nosná konstrukce panelů	1 000	35	35 000
Akumulátor sada 11900 Wh	140 000	1	140 000
MPPT regulátor 250/100	26 600	3	80 000
Střídač-Hlavní	87 000	1	87 000
Střídač-Záložní	30 000	1	30 000
Solar Manager	18 000	1	18 000
Topné těleso 6,6 kW	4 500	2	9 000
Ostatní elektromateriál	20 000	1	20 000
Instalace			70 000
Celková cena fotovoltaické elektrárny			600 000

Tab. 5 - Pořizovací náklady

Průměrné náklady na provoz bez FVE

Předpokládané náklady na energie bez FVE můžeme určit z tabulky 3 vynásobením průměrné spotřeby ve vysokém, respektive nízkém tarifu, se sazbou za odebranou kWh ve vysokém, respektive nízkém tarifu. A s připočtením fixních poplatku za jistič. Celkové roční náklady za elektřinu bez FVE jsou rozepsány v tab. 6.

	Průměrná roční spotřeba [kWh]	Cena za kWh [Kč]	Cena za rok [Kč]
Vysoký tarif	1 823	4,95	9 024
Nízký tarif	3 220	2,65	8 533
Fixní poplatek za jistič (3x25A)			3 113
Celkové náklady			20 670

Tab. 6 - Roční náklady za elektřinu bez FVE (ceny dle vyúčtování z r.2020)

Zvýšení spotřeby biomasy díky ohřevu teplé vody v zimním období

Pro výpočet teoretického zvýšení spotřeby biomasy díky ohřevu teplé vody byly použity výsledky získané z výpočtu aplikace PVGIS pro letní provoz, tedy se spotřebou, která zahrnuje i ohřev vody pomocí fotovoltaické elektrárny. V tab. 7 je zobrazen počet dní, kdy nestačí FVE pokrýt celkovou spotřebu 17,9 kWh, a tudíž bude nutné chybějící energii doplňovat spalováním biomasy. V detailním výsledku aplikace PVGIS pro výpočet v letním provozu v příloze 2, je zobrazeno i průměrné množství chybějící energie, které vyšlo 7 713 Wh. Od této hodnoty průměrné chybějící energie však můžeme odečíst tepelné ztráty akumulční nádrže, které byly uvažovány 4 000 Wh. K těmto ztrátám dochází, i když není akumulční nádrž využívána pro ohřívání teplé vody, ale pouze pro otopnou vodu na vytápění.

	Procenta dní s nedostatkem elektřiny v měsíci [%]	Počet dní v měsíci	Počet dní s nedostatkem elektřiny
říjen	20	31	6,2
listopad	54	30	16,2
prosinec	68	31	21,1
leden	65	31	20,2
únor	38	28	10,6
březen	15	31	4,7
Celkem			79

Tab. 7 - Počet dní v zimním období s nedostatečným pokrytím ohřevu vody z FVE

Z výše zmíněných výsledků byla spočítaná energie, kterou bude nutné navíc získat spalováním biomasy za jeden rok.

$$E_Z = d_N \cdot (E_{ch} - t_Z)$$

kde:

d_N - počet dní s nedostatkem elektřiny

E_{ch} - průměrné množství chybějící energie

t_Z - tepelné ztráty akumulční nádrže

$$E_Z = 79 \cdot (7\,713 - 4\,000) = 293\,327 \text{ Wh}$$

$$E_Z = 293,3 \text{ kWh}$$

Toto množství energie bylo orientačně přepočítáno na cenu za palivové dřevo, aby ji bylo možné dále započítat do doby návratnosti projektu.

Uvažujeme:

$$1 \text{ kg dřeva} \approx 4 \text{ kWh} \quad - \quad E_d = 4 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ dřeva} \approx 500 \text{ kg} \quad - \quad \rho_d = 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Celková účinnost systému} \quad - \quad \eta_d = 0,8$$

$$\text{Cena dřeva} \quad - \quad C_d = 1\,400 \frac{\text{Kč}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Hmotnost potřebného dřeva} \quad m_{pd} = \frac{E_Z}{E_d \cdot \eta_d} = \frac{293,3}{4 \cdot 0,8} = 91,7 \text{ kg}$$

$$\text{Objem potřebného dřeva} \quad V_d = \frac{91,7}{500} = 0,183 \text{ m}^3$$

$$\text{Roční zvýšení nákladů} \quad Z_N = V_d \cdot C_d = 0,183 \cdot 1\,400 = 256 \text{ Kč}$$

Množství nevyužitá energie

Množství nevyužitá energie bylo spočítané také za pomoci dat z aplikace PVGIS. V tab. 8 byly sečteny dny, kdy došlo k plnému nabití baterie i k maximálnímu nahřátí akumulární nádrže a dále již nebylo možné získanou elektřinu využívat. Tento počet dnů byl následně vynásoben průměrným přebytečným množstvím elektřiny v jednom dni, ve kterém došlo k přebytkům. To je dle výpočtu PVGIS 34 640 Wh.

	Procento dní v měsíci s přebytkem elektřiny [%]	Celkový počet dní v měsíci	Počet dní v měsíci s přebytkem
leden	18,7	31	5,8
únor	39	28	10,9
březen	62,6	31	19,4
duben	87,5	30	26,3
květen	91,1	31	28,2
červen	94,4	30	28,3
červenec	96,8	31	30,0
srpen	91,9	31	28,5
září	81,4	30	24,4
říjen	55,6	31	17,2
listopad	25,8	30	7,7
prosinec	18,6	31	5,8
Celkem za rok			232,6

Tab. 8 - Roční přebytky elektrické energie z FVE

Výpočet množství nevyužité energie

$$E_N = E_{pp} \cdot d_p$$

kde:

E_{pp} – průměrné přebytečné množství energie za den s přebytečnou energií

d_p – počet dní s přebytečnou energií

$$E_p = 34\,640 \cdot 232,6 = 8\,057\,264 \text{ Wh}$$

$$E_p = 8\,057 \text{ kWh}$$

10.3.1. Návratnost projektu

Pro zjištění efektivnosti tohoto projektu byla vypočítaná doba návratnosti. Od pořizovací ceny byly každý rok odečítány ušetřené náklady na provoz.

Roční úspora nákladů

$$CF = R_U - Z_N$$

$$CF = 20\,670 - 256 = 20\,414 \text{ Kč}$$

kde:

R_U – roční náklady na elektřinu bez FVE (z tabulky 6)

Z_N – roční zvýšení nákladů za palivové dřevo

Prostá návratnost investice

$$T_S = \frac{IN}{CF}$$

kde:

T_S – doba návratnosti investice

IN – počáteční investice

CF – roční úspora nákladů

$$T_S = \frac{600\,000}{20\,414} = 29,39 \text{ let}$$

11. Diskuse k vypočteným hodnotám

Výsledek prosté návratnosti investice blížící se hodnotě 30 let není nijak lákavý s přihlédnutím k tomu, že životnost použitých komponent tuto dobu pravděpodobně nebude o mnoho převyšovat. Tato doba návratnosti však byla vypočtena se standardním využíváním domu a energie, jako když je připojen k distribuční síti a poplatky za odebranou kilowatthodinu se platí dle běžných ceníků. Díky tomu, že je celý systém navržen tak, aby bylo možné pokrýt spotřebu i v zimních měsících, kdy je výroba FVE výrazně menší, produkuje elektrárna převážně v letních měsících značné přebytky. Tyto přebytky je možné využít mnoha způsoby a tím zkrátit dobu návratnosti projektu.

Jednou z možných variant je v případě připojení k distribuční síti do ní tyto přebytky dodávat. Výkupní cena elektřiny z FVE je však bez dotací poměrně nízká a pohybuje se přibližně v rozmezí 0,5 – 0,95 Kč/kWh. Přesto, s ročními přebytky o velikosti přibližně 8 057 kWh, jde o poměrně zajímavé zkrácení doby návratnosti investice na přibližně 21,3 – 24,5 roku.

V případě, že by dům nebyl napojen na distribuční síť by se nabízelo například využívání klimatizace či ohřívání vody v bazénu. Tato spotřeba přebytků by sice teoreticky nezkrátila dobu návratnosti, protože k této spotřebě dříve nedocházelo, ale může mít přidanou hodnotu v podobě zvýšeného komfortu bydlení.

Další z možností, která by mohla být do budoucna velice zajímavá a z těchto variant nejvýhodnější, je využití přebytků pro nabíjení elektromobilu či plug-in hybridního vozu. Tím by byly přebytky opravdu efektivně využívány, protože by se vůz nemusel nabíjet z distribuční sítě. Doba návratnosti investice by se tím mohla zkrátit i pod úroveň 15let. Tato možnost je samozřejmě podmíněna tím, že tento vůz vlastníte, což zatím v ČR není moc běžné.

V případě stavby nového domu, u kterého by se od začátku počítalo, že bude provozován v ostrovním provozu, by bylo možné ušetřit prostředky za přípojku k distribuční síti, což může být také úspora, která pomůže o pár let zkrátit dobu návratnosti.

12. Závěr

Bakalářská práce v teoretické části představuje různé druhy získávání energie z obnovitelných zdrojů, slunce, větru, vody a biomasy. Kromě popisu základního principu je kladen důraz na možný potenciál těchto obnovitelných zdrojů na našem území a jeho vhodnost pro využití v ostrovním systému. V teoretické části jsou dále shrnuty možnosti akumulace energie, ať už elektrické, tak i tepelné. V ostrovním systému rodinného domu je vhodná akumulace tepelné energie v akumulární nádrži na vodu z důvodu velké denní spotřeby energie pro ohřev vody. Další výhodou je poměr kapacity energie, kterou je možné uložit v akumulární nádrži, k pořizovacím nákladům a v neposlední řadě možnost kombinovat ohřívání vody jak elektrickou energií z FVE, tak kotlem na biomasu.

Praktická část se pak zaměřuje na návrh ostrovního systému pro konkrétní rodinný dům, ve kterém žijí čtyři dospělí lidé. K návrhu bylo nejdříve nutné spočítat průměrnou denní spotřebu energie v tomto domě, která vyšla 5,4 kWh pro běžné spotřebiče a 8,5 kWh pro ohřev teplé vody. Tyto hodnoty byly porovnány i s reálnými hodnotami z vyúčtování odběru elektřiny za poslední tři roky, kde byla zjištěna jen minimální odchylka. Následný návrh využití sluneční energie prostřednictvím fotovoltaické elektrárny probíhal za pomoci výpočetní aplikace PVGIS. Ta využívá pro odhad intenzity záření mimo jiné i snímky z družic Meteosat s historií použitých dat přesahující 30 let. Data o intenzitě záření systém dále využije k výpočtu energie produkované FVE. Pro výpočet v off-grid režimu byla zadána tzv. hodinovou spotřebu, která znázorňuje předpokládaný průběh spotřeby během dne. Výpočet byl rozdělen na dvě části podle období. V zimním období, kdy je výkon FVE minimální, je počítáno pouze se spotřebou elektřiny pro běžné spotřebiče. Ohřev vody je v zimním období zajišťován společně s vytápěním kotlem na biomasu. V letním období, mimo topnou sezónu, je výkon FVE dostatečný na to, aby pokryl spotřebu elektřiny pro běžné spotřebiče i energii potřebnou na ohřev vody. Pro tyto stavy byla nalezena varianta, která při minimálních pořizovacích nákladech zabezpečovala potřebu energií pro rodinný dům. Nakonec musela být zvolena varianta, která nebyla v kolizi s další podmínkou, a to maximální plochu střechy rodinného domu, kde není možné na střechu umístit více než 35 fotovoltaických panelů. Instalovaný výkon FVE byl tedy 15 750 W_p a k tomu dle výpočtu navržený akumulátor o kapacitě 11 900 Wh.

Kombinace FVE s kotlem na biomasu byla vybrána z důvodu největšího možného potenciálu obnovitelných zdrojů na našem území a zároveň možnost vzájemného doplňování těchto zdrojů.

Cena kompletního systému výroby a akumulace elektrické energie z FVE vyšla na 600 000 Kč. Bez dalšího využívání nebo prodávání přebytečné energie se tak v našem konkrétním případě návratnost blížila hranici 30 let. To z pohledu většiny investorů rozhodně nebude přijatelná hodnota, proto je nutné hledat možnosti, jak tuto dobu zkrátit. Mezi nejlepší možnosti zkrácení doby návratnosti systému je smysluplné využití přebytečné energie. To by se mohlo realizovat například dobíjením elektromobilu a tím od března do října využívat elektromobil s minimálními náklady na provoz.

V reálné situaci elektromobil v domácnosti zatím není a dům je standartně připojen k distribuční síti, proto by nebylo vhodné instalovat takto masivní systém, který by zajistil energetickou soběstačnost. Ze získaných poznatků se však ukazuje jako nejefektivnější instalace menšího systému, který bude sloužit především pro ohřívání vody z FVE a případnou zálohu nejn nutnějších spotřebičů v případě výpadku proudu. Tento systém bude pravděpodobně v blízké době skutečně realizován a odhaduji, že jeho návratnost nepřesáhne 5 let.

13. Seznam literatury

- Abraham, K. M., van Schalkwijk, Walter a Hassoun, Jusef. 2013.** *Lithium batteries : advanced technologies and applications*. Pennington : ECS-The Electrochemical Society, 2013. ISBN 978-1-118-18365-6.
- Bechník, Bronislav. 2015.** Možnosti akumulace elektřiny z širšího pohledu. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 5. Leden 2015. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/12195-moznosti-akumulace-elektřiny-z-sirsiho-pohledu>. ISSN 1801-4399.
- Bechník, Bronislav. 2014.** Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 29. Září 2014. [Citace: 11. Březen 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>. ISSN 1801-4399.
- Bullard, Nathaniel. 2020.** This Is the Dawning of the Age of the Battery. *Bloomberg Green*. [Online] Bloomberg Finance, 17. Prosinec 2020. [Citace: 10. Leden 2021.] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-12-17/this-is-the-dawning-of-the-age-of-the-battery?srnd=green>.
- Cetkovský, Stanislav, Frantál, Bohumil a Štekl, Josef. 2010.** *VĚTRNÁ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE: HODNOCENÍ PROSTOROVÝCH VZTAHŮ, ENVIRONMENTÁLNÍCH ASPEKTŮ, A SOCIOEKONOMICKÝCH SOUVISLOSTÍ*. Brno : Ústav geoniky Akademie věd ČR, v.v.i., 2010. ISBN 978-80-86407-84-5.
- Cost of Solar. 2015.** Solar Energy Price At All-Time Low: Average Price of Solar In U.S. Falls To 5¢/kWh. *Cost of Solar*. [Online] Cost of Solar, 30. Září 2015. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://www.costofsolar.com/average-price-of-solar-energy-u-s-falls-5%20a2kwh/>.
- Dufka, Jaroslav. 2018.** Ohřev vody, aneb příprava teplé vody, I. díl. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 6. Srpen 2018. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/17724-ohrev-vody-aneb-priprava-teple-vody-i-dil>. ISSN 1801-4399.
- Dvořák, Petr, Bača, Petr a Pléha, David. 2011.** Akumulace elektřiny. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 9. Květen 2011. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektřiny>. ISSN 1801-4399.
- Elbatran, A.H., a další. 2015.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Amsterdam : Elsevier, 2015. ISSN 1364-0321.
- Energy Vault. Operating Parameters.** *Energy Vault*. [Online] Energy Vault. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://energyvault.com/#operating-parameters>.
- European Commission, Joint Research Centre. 2019.** PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV. *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. [Online] European Commission, Joint Research Centre, 15. 10 2019. [Citace: 11. 3 2021.] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP.
- General Electric. 2019.** General Electric. *GE's Haliade-X 12 MW, the World's Most Powerful Offshore Wind Turbine, Produces Its First kWh*. [Online] General Electric, 7. 11 2019. [Citace: 11. 3 2021.] <https://www.ge.com/news/press-releases/ges-haliade-x-12-mw-worlds-most-powerful-offshore-wind-turbine-produces-first-kwh>.
- Hammerbauer, Jiří. 1998.** *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. Plzeň : Západočeská univerzita, 1998. ISBN 80-7082-411-5.
- Hanania, Jordan, a další. 2020.** Hydro turbine. *Energy education*. [Online] 28. Duben 2020. [Citace: 10. Březen 2021.] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Hydro_turbine.

- Hanslian, David. 2012.** Větrné podmínky pro malé větrné elektrárny. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o, 12. 3 2012. [Citace: 11. 3 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/8358-vetrne-podminky-pro-male-vetrne-elektrarny>. ISSN 1801-4399.
- Hanslian, David, a další. 2014.** *Meteorologické zprávy*. Praha : Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2014.
- Hanslian, David, Hošek, Jiří a Štěkl, Josef. 2008.** *ODHAD REALIZOVATELNÉHO POTENCIÁLU VĚTRNÉ ENERGIE NA ÚZEMÍ ČR*. Praha : Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2008.
- Honzák, František, a další. 2011.** *MOTOR CIVILIZACE*. Praha : ČEZ, 2011.
- Horáková, Alena a Mrázek, Karel. 2015.** *STANOVENÍ REFERENČNÍ A VÝPOČTOVÉ POTŘEBY TV PRO ENERGETICKOU CERTIFIKACI BUDOV*. Praha : STÚ-E s.r.o., 2015.
- Kleczek, Josip. 2004.** Slunce a jeho energie. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 27. Duben 2004. [Citace: 11. Březen 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>. ISSN 1801-4399.
- Koč, Břetislav. 2015.** Větrné elektrárny I. – Historie do roku 1975. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o, 16. 11 2015. [Citace: 11. 3 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/13452-vetrne-elektrarny-i-historie-do-roku-1975>. ISSN 1801-4399.
- Krbek, Jaroslav a Polesný, Bohumil. 2007.** *Kogenerační jednotky - Zřízení a provoz*. Praha : GAS s.r.o., Praha, 2007. ISBN 978-80-7328-151-9.
- Malat'ák, Jan a Vaculík, Petr. 2008.** *Biomasa pro výrobu energie*. Praha : Česká zemědělská univerzita , 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.
- Markvart, Tomáš. 2012.** Dimenzování hybridních systémů fotovoltaika-vítr. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o, 25. 6 2012. [Citace: 11. 3 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/8747-dimenzovani-hybridnich-systemu-fotovoltaika-vitr>. ISSN 1801-4399.
- Mastný, Petr a kol. 2012.** *Navrhování systémů s využitím obnovitelných zdrojů energie pro budovy dle principu trvale udržitelné výstavby*. Brno : Národní stavební centrum, 2012. ISBN 978-80-87665-11-4.
- Melichar, Jan, Vojtek, Jan a Bláha, Jaroslav. 1998.** *Malé vodní turbíny konstrukce a provoz*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01808-0.
- Ministerstvo zemědělství. 2013.** *Možnosti energetického využití biomasy*. Praha : Ministerstvo zemědělství, 2013. ISBN 978-80-7434-122-9.
- Motlík, Jan, a další. 2003.** *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*. Praha : ČEZ, 2003.
- Novotný, Petr. 2008.** Ekonomická návratnost investice do fotovoltaické elektrárny k pokrytí vlastní spotřeby podniku (2. část). *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 22. 1 2008. [Citace: 11. 3 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/16839-ekonomicka-navratnost-investice-do-fotovoltaicke-elektrarny-k-pokryti-vlastni-spotreby-podniku-2-cast>. ISSN 1801-4399.
- Petr Mastný, Drápela Jiří a MIšák, Stanislav. 2011.** *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- Polák, Martin. 2013.** *Bezlopatková miniturbína - cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů*. Praha : ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05233-4.
- Porš, Zdeňek. 2002.** *Palivové články*. Řež Husinec : Ústav Jaderného Výzkumu Řež, a.s. Divize jaderné bezpečnosti a energetiky, 2002.
- Reinberk, Zdeňek.** Výpočet oslunění/zastínění okenní plochy. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o. [Citace: 11. 3 2021.] <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/54-vypocet-osluneni-zastineni-okenni-plochy>. ISSN 1801-4399.

SOLARTEC HOLDING a.s. What you must know. *SOLARTEC*. [Online] SOLARTEC HOLDING a.s. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://www.solartec.eu/en/small-installation/information-about-photovoltaic/what-you-must-know>.

Stupavský, Vladimír. 2010. České sdružení pro biomasu. *Zplynovací kotel na kusové dřevo, polena a dřevěné brikety*. [Online] CZ Biom - České sdružení pro biomasu, 1. 1 2010. [Citace: 10. 3 2021.] <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovaci-kotel-na-kusove-drevo-polena-a-drevene-brikety>. ISSN 1801-2655.

Tolasz, Radim, a další. 2007. *Atlas podnebí Česka*. Praha : Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-244-1626-7.

Tramba, David. 2018. DO VODY NEBO DO BATERIE. *Zpravodajský servis ČVUT*. [Online] ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, 15. Říjen 2018. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://aktualne.cvut.cz/zpravy-z-medii/20181015-do-vody-nebo-do-baterie>.

Victron Energy. Stahování, návody. *Victron Energy*. [Online] Victron Energy B.V. [Citace: 21. března 2021.] <https://www.victronenergy.cz/support-and-downloads/manuals>.

Vodohospodářský rozvoj a výstavba a. s. 2015. *Analýza efektivního využití MVE z hlediska přírodníhopotenciálu vodních toků jako energetického zdroje*. Praha : Ministerstvo životního prostředí, 2015.

Vyhláška č. 296/2015 Sb. 2015. vyhláška o technicko-ekonomických parametrech. [Online] Energetický regulační úřad, 26. Říjen 2015. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://www.eru.cz/documents/10540/463078/Technicko+ekon+parametry+2015/c90e54b7-2eaa-4f59-a5ca-c19d319b6de0>.

Wave & Tidal Energy. Bosch Rexroth – A Market Leading Supplier in the Wind Industry. *Wave & Tidal Energy*. [Online] Wave & Tidal Energy. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://www.wavetidalenergynetwork.co.uk/enhanced-entries/bosch-rexroth/>.

Zilvar, Jiří. 2019. Topíme a svítíme palivovým článkem, část 2. – vodík a metanol. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 18. Červenec 2019. [Citace: 10. Březen 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/19331-topime-a-svitime-palivovym-clankem-cast-2-vodik-a-metanol>. ISSN 1801-4399 .

14. Seznam použitých zkratk

FVE – Fotovoltaická elektrárna

STC – Standard Test Conditions (Standardní testovací podmínky)

VTE – Větrná elektrárna

VE – Vodní elektrárna

PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System

MPPT – Maximum Power Point Tracking

AC – Střídavý proud

DC – Stejnoseměrný proud

15. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma fotovoltaického článku (SOLARTEC HOLDING a.s.)	4
Obrázek 2 - Roční úhrn globálního záření v ČR [MJ/m ²] (Tolasz, a další, 2007).....	5
Obrázek 3 - Technologie moderní větrné turbíny (Wave & Tidal Energy).....	8
Obrázek 4 – Větrná mapa ČR ve výšce 10 m nad povrchem (Hanslian, a další, 2014)	9
Obrázek 5 - Vizualizace gravitačního akumulátoru (Energy Vault)	18
Obrázek 6 – Graf zadané hodinové spotřeby	26
Obrázek 7 - Výsledek zadání-FVE 15 750 Wp, Akumulátor LiFePO ₄ , Spotřeba 5 400 Wh (European Commission, Joint Research Centre, 2019)	28
Obrázek 8 - Výsledek zadání-FVE 15 750Wp, akumulční nádrž, Spotřeba 17 900 Wh (European Commission, Joint Research Centre, 2019)	28
Obrázek 9 - Schéma hlavních částí ostrovního systému.....	30

16. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Odhad průměrné denní spotřeby domácnosti	22
Tabulka 2 - Roční spotřeba vypočtená z denní spotřeby spotřebičů	23
Tabulka 3 - Skutečná spotřeba domu z ročních odečtů elektroměru	23
Tabulka 4 - Výsledky pro zadané parametry - zimní provoz	27
Tabulka 5 - Pořizovací náklady	31
Tabulka 6 - Roční náklady za elektřinu bez FVE (ceny dle vyúčtování z r.2020)	31
Tabulka 7 - Počet dní v zimním období s nedostatečným pokrytím ohřevu vody z FVE ...	32
Tabulka 8 - Roční přebytky elektrické energie z FVE	34

17. Seznam příloh

Příloha 1 - Výsledek PVIGS vybraného řešení pro podmínky zimního provozu.....	I
Příloha 2 - Výsledek PVGIS vybraného řešení pro letní provoz.....	II
Příloha 3 - Schéma spojení fotovoltaických panelů do stringů.....	III
Příloha 4 - Datasheet fotovoltaický panel Elerix ESM-450H.....	IV
Příloha 5 - Datasheet Victron Energy MPPT 250/100.....	VI
Příloha 6 - Datasheet Victron Energy Quattro 48V/8000VA.....	VIII
Příloha 7 - Datasheet Victron Energy MultiPlus-II 48V/3000VA.....	X

Příloha 1: Výsledek PVGIS vybraného řešení pro podmínky zimního provozu

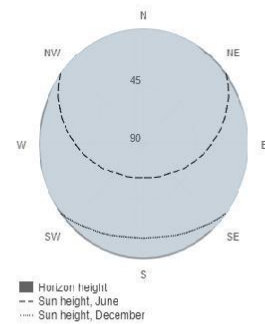


PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

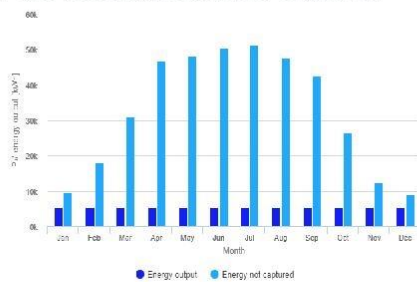
Provided inputs

Latitude/Longitude:	50.08 14.84	Slope angle:	45 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	-12 °
Database used:	PVGIS-SARAH	Simulation outputs	
PV installed:	15750 Wp	Percentage days with full battery:	91.03 %
Battery capacity:	11900 Wh	Percentage days with empty battery:	0.82 %
Cutoff limit:	20 %	Average energy not captured:	36112.4 Wh
Consumption per day:	5400 Wh	Average energy missing:	1203.97 Wh

Outline of horizon at chosen location:



Power production estimate for off-grid PV:



Monthly average performance

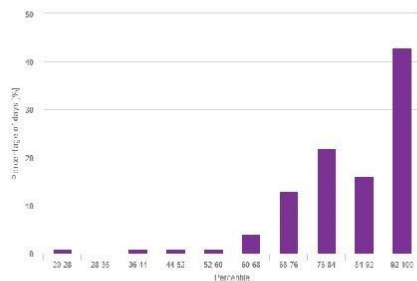
Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	5357.4	9791.9	71.4	1.6
February	5458.4	18184.0	90.2	0.3
March	5409.0	31085.4	99.5	0.0
April	5412.8	46631.2	100.0	0.0
May	5411.5	48171.1	100.0	0.0
June	5404.8	50450.7	100.0	0.0
July	5390.2	51357.0	100.0	0.0
August	5390.4	47766.1	100.0	0.0
September	5386.1	42475.5	100.0	0.0
October	5377.2	26337.7	94.9	0.0
November	5346.8	12521.0	71.7	1.4
December	5335.3	9078.9	65.0	6.5

E_d: Average energy production per day [Wh/day].
 E_l: Average energy not captured per day [Wh/day].
 f_f: percentage of days when battery became full [%].
 f_e: percentage of days when battery became empty [%].

Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



Cs	Cb
20-28	1.0
28-36	0.0
36-44	1.0
44-52	1.0
52-60	1.0
60-68	4.0
68-76	13.0
76-84	22.0
84-92	16.0
92-100	43.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].
 Cb: percentage of days with this charge state [%].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.

However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

The information is:

- i) of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity,
- ii) not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date,
- iii) sometimes linked to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility,
- iv) not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Joint
Research
Centre

PVGIS © European Union, 2001-2021.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged,
 save where otherwise stated.

Report generated on 2021/04/03

Příloha 2: Výsledek PVGIS vybraného řešení pro letní provoz

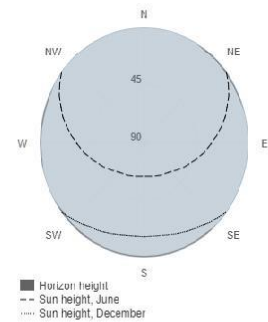


PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

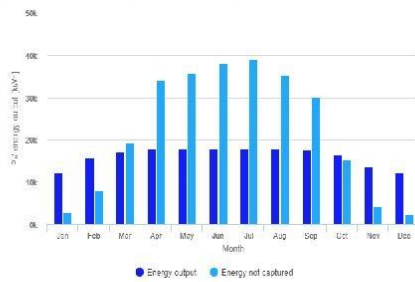
Provided inputs

Latitude/Longitude:	50.08 14.84	Slope angle:	45 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	-12 °
Database used:	PVGIS-SARAH	Simulation outputs	
PV installed:	15750 Wp	Percentage days with full battery:	63.65 %
Battery capacity:	64600 Wh	Percentage days with empty battery:	21.84 %
Cutoff limit:	55 %	Average energy not captured:	34649.82 Wh
Consumption per day:	17900 Wh	Average energy missing:	7729.97 Wh

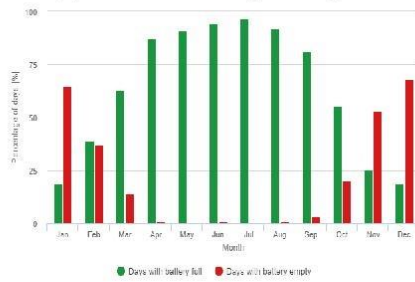
Outline of horizon at chosen location:



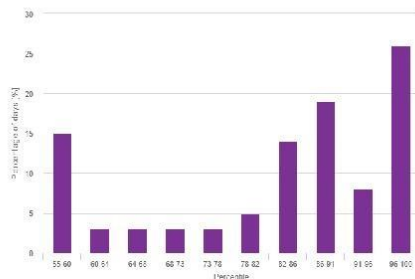
Power production estimate for off-grid PV:



Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



Monthly average performance

Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	12318.1	2831.2	18.7	64.7
February	15657.7	7984.8	39.0	36.9
March	17311.5	19182.9	62.6	14.3
April	17835.8	34208.2	87.5	0.8
May	17922.5	35660.1	91.1	0.0
June	17910.5	37945.0	94.4	0.6
July	17881.1	38866.1	96.8	0.0
August	17885.3	35271.3	91.9	0.5
September	17675.7	30185.9	81.4	3.1
October	16310.9	15403.9	55.4	20.2
November	13647.2	4220.6	25.3	53.3
December	12198.6	2215.6	18.6	68.0

E_d: Average energy production per day [Wh/day].
 E_l: Average energy not captured per day [Wh/day].
 f_f: percentage of days when battery became full [%].
 f_e: percentage of days when battery became empty [%].

Cs	Cb
55-60	15.0
60-64	3.0
64-68	3.0
68-73	3.0
73-78	3.0
78-82	5.0
82-86	14.0
86-91	19.0
91-96	8.0
96-100	26.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].
 Cb: percentage of days with this charge state [%].

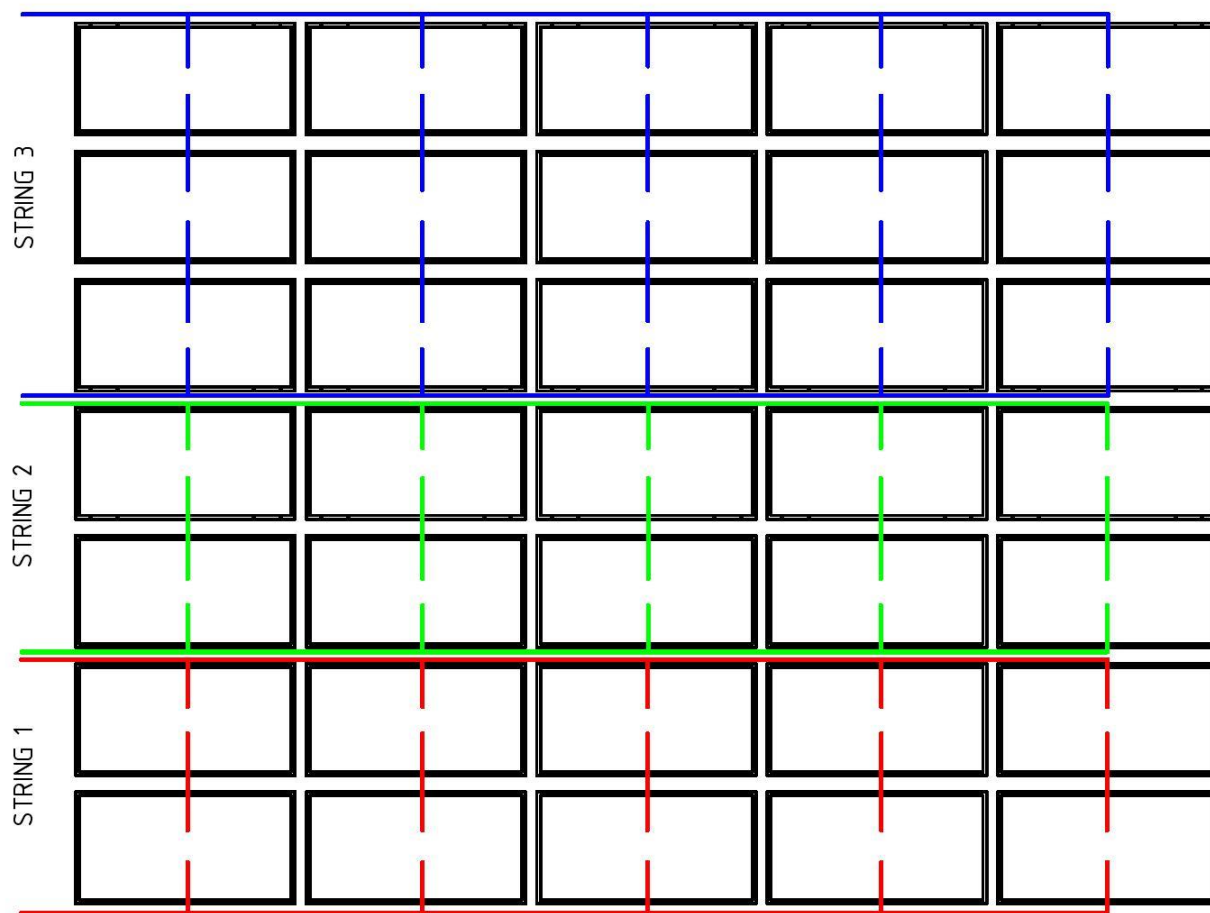
The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.
 However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
 The information is:
 i) of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity,
 ii) not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date,
 iii) sometimes linked to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility,
 iv) not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).



PVGIS ©European Union, 2001-2021.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2021/04/24

Příloha 3: Schéma spojení fotovoltaických panelů do stringů

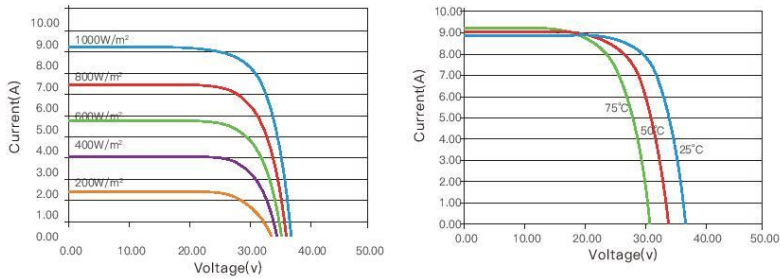


Příloha 4: Datasheet fotovoltaický panel Elerix ESM-450H



www.elerix.com

IV Curve



Electrical Specification	Unit	ESM-435H	ESM-440H	ESM-445H	ESM-450H	ESM-455H
Maximum Power (Pmax)	W	435	440	445	450	455
Module Efficiency	%	20.00	20.20	20.50	20.70	20.90
Open Circuit Voltage (Voc)	V	48.70	48.90	49.10	49.30	49.50
Short Circuit Current (Isc)	A	11.39	11.46	11.53	11.60	11.66
Maximum Power Voltage (Vmp)	V	40.89	41.10	41.30	41.50	41.70
Maximum Power Current (Imp)	A	10.64	10.71	10.77	10.84	10.91
Maximum System Voltage	V		ICE 1500VDC/ UL1500(VDC)	ICE 1500VDC/ UL1500(VDC)	ICE 1500VDC/ UL1500(VDC)	ICE 1500VDC/ UL1500(VDC)
Maximum Series Fuse Rating	A		20	20	20	20

Electrical DATA@NOCT	ESM-435H	ESM-440H	ESM-445H	ESM-450H	ESM-455H
Pmax [W]	324.9	328.6	332.3	336.1	339.8
Vm [V]	38.10	38.30	38.50	38.60	38.80
Imp [A]	8.53	8.59	8.64	8.70	8.75
Voc [V]	45.70	45.80	46.00	46.20	46.40
Isc [A]	9.21	9.27	9.33	9.38	9.43

NOCT: Irradiance: 800W/m², Ambient Temperature: 20°C, Air Mass: 1.5, Wind Speed: 1m/s

www.elerix.com



www.elerix.com

Mechanical Specification

Solar Cell Type	Mono Crystalline 166x166mm
Number of Cells	144 pcs (24x6)
Module Size	2094x1038x35mm
Weight	23.5kg
Glass	3.2mm tempered glass
Back Sheet	White or Black
Frame	Anodized aluminum alloy, silver or black
Junction Box	IP68
Quantity of Diodes	3 pcs
Cable	4.0mm ² 1100mm
Connector	MC4 Compatible
Wind/Snow Load	3600pa/5400pa

Packaging Configuration

Modules per ox	30 pieces
Number per 20GP	275 pieces
Modules per 40' HQ	660 pieces

Temperature Characteristic

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C (±3°C)
Temperature Coefficient of P _{MAX}	- 0.36%/°C
Temperature Coefficient of U _{OC}	- 0.26%/°C
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.04%/°C

Maximum Ratings

Operational Temperature	-40 to +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC(IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	20A
Snow Load	54000Pa (3600Pa)
Wind Load	3600Pa (1600Pa)

*design load with safety factor 1.5
(DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)



[PRODUCT WEBPAGE](#)

www.elerix.com

Příloha 5: Datasheet Victron Energy MPPT 250/100



SmartSolar Charge Controllers with VE.Can interface MPPT 250/70 VE.Can up to MPPT 250/100 VE.Can



**SmartSolar Charge Controller
MPPT 250/100-Tr VE.Can
with optional pluggable display**



**SmartSolar Charge Controller
MPPT 250/100-Tr VE.Can
without display**



**Bluetooth sensing:
Smart Battery Sense**



**Bluetooth sensing:
BMV-712 Smart Battery Monitor**



Bluetooth sensing: SmartShunt



SmartSolar pluggable display



Ultra-fast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a clouded sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30 % compared to PWM charge controllers and by up to 10 % compared to slower MPPT controllers.

Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power (MPP) points may be present on the power-voltage curve. Conventional MPPTs tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP. The innovative SmartSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

Outstanding conversion efficiency

No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 99 %.

Flexible charge algorithm

Fully programmable charge algorithm, and eight pre-programmed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details).

Extensive electronic protection

Over-temperature protection and power derating when temperature is high. PV short circuit and PV reverse polarity protection. PV reverse current protection.

Bluetooth Smart built-in

The wireless solution to set-up, monitor, update and synchronise SmartSolar Charge Controllers.

Internal temperature sensor and optional external battery voltage, temperature and current sensing via Bluetooth

A Smart Battery Sense, a BMV-712 Smart Battery Monitor or a SmartShunt can be used to communicate battery voltage and temperature (and current, in case of a BMV 712 or a SmartShunt) to one or more SmartSolar Charge Controllers.

VE.Direct or VE.Can

For a wired data connection to a Color Control GX, other GX products, PC or other devices.

Synchronized parallel charging with VE.Can or Bluetooth

Up to 25 units can be synchronized with VE.Can, and up to 10 units with Bluetooth.

Fully discharged battery recovery function

Will initiate charging even if the battery has been discharged to zero volts. Will reconnect to a fully discharged Li-ion battery with integrated disconnect function.

VE.Can: the multiple controller solution

Up to 25 units can be synchronised with VE.Can.

Remote on-off

To connect for example to a VE.BUS BMS.

Programmable relay

Can be programmed to trip on an alarm, or other events.

Optional: SmartSolar pluggable LCD display

Simply remove the rubber seal that protects the plug on the front of the controller, and plug-in the display.

SmartSolar Charge Controller with VE.Can interface	250/70	250/85	250/100
Battery voltage	12/24/48 V Auto Select (36 V: manual)		
Rated charge current	70 A	85 A	100 A
Nominal PV power, 12 V 1a,b)	1000 W	1200 W	1450 W
Nominal PV power, 24 V 1a,b)	2000 W	2400 W	2900 W
Nominal PV power, 36 V 1a,b)	3000 W	3600 W	4350 W
Nominal PV power, 48 V 1a,b)	4000 W	4900 W	5800 W
Max. PV short circuit current 2)	35 A (max 30 A per MC4 conn.)	70 A (max 30 A per MC4 conn.)	
Maximum PV open circuit voltage	250 V absolute maximum coldest conditions 245 V start-up and operating maximum		
Maximum efficiency	99 %		
Self-consumption	Less than 35 mA @ 12 V / 20 mA @ 48 V Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (adjustable with: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)		
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (adjustable: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)		
Charge voltage 'float'	Default setting: 16,2 V / 32,4 V / 48,6 V / 64,8 V (adjustable)		
Charge voltage 'equalization'	multi-stage adaptive (eight pre-programmed algorithms) or user defined algorithm		
Charge algorithm	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C		
Temperature compensation	PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature		
Protection	-30 to +60 °C (full rated output up to 40 °C)		
Operating temperature	95 %, non-condensing		
Humidity	5000m (full rated output up to 2000m)		
Maximum altitude	Indoor, unconditioned		
Environmental condition	PD3		
Pollution degree	VE.Can, VE.Direct and Bluetooth		
Data communication	Yes (2 pole connector)		
Remote on/off	DPST AC rating: 240 VAC / 4 A DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1 A up to 60 VDC		
Programmable relay	Yes, parallel synchronised operation with VE.Can (max. 25 units) or Bluetooth (max. 10 units)		
Parallel operation	ENCLOSURE		
Colour	Blue (RAL 5012)		
PV terminals 3)	35 mm ² / AWG2 (Tr models) Two pairs of MC4 connectors (MC4 models)	35 mm ² / AWG2 (Tr models) Three pairs of MC4 connectors (MC4 models)	
Battery terminals	35mm ² / AWG2		
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)		
Weight	3 kg	4,5 kg	
Dimensions (h x w x d) in mm	Tr models: 185 x 250 x 95 mm MC4 models: 215 x 250 x 95 mm	Tr models: 216 x 295 x 103 MC4 models: 246 x 295 x 103	
STANDARDS			
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2		
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power. 1b) The PV voltage must exceed Vbat + 5 V for the controller to start. Thereafter the minimum PV voltage is Vbat + 1 V. 2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller. 3) MC4 models: several splitter pairs may be needed to parallel the strings of solar panels Maximum current per MC4 connector: 30 A (the MC4 connectors are parallel connected to one MPPT tracker)			



With VE.Can up to 25 Charge Controllers can be daisy-chained and connected to a Color Control GX or other GX device
Each Controller can be monitored individually, for example on a Color Control GX and on the VRM website

Příloha 6: Victron Energy Quattro 48V/8000VA



Quattro Inverter/Charger

3kVA - 15kVA Lithium Ion battery compatible

www.victronenergy.com



Quattro
48/5000/70-100/100



Quattro
48/15000/200-100/100

Two AC Inputs with Integrated transfer switch

The Quattro can be connected to two independent AC sources, for example the public grid and a generator, or two generators. The Quattro will automatically connect to the active source.

Two AC Outputs

The main output has no-break functionality. The Quattro takes over the supply to the connected loads in the event of a grid failure or when shore/generator power is disconnected. This happens so fast (less than 20 milliseconds) that computers and other electronic equipment will continue to operate without disruption. The second output is live only when AC is available on one of the inputs of the Quattro. Loads that should not discharge the battery, like a water heater for example, can be connected to this output.

Virtually unlimited power thanks to parallel operation

Up to 6 Quattro units can operate in parallel. Six units 48/10000/140, for example, will provide 48kW / 60kVA output power and 840 Amps charging capacity.

Split phase options

Two units can be stacked to provide 120-0-120V, and additional units can be paralleled up to a total of 6 units per phase, to supply up to 30kW / 36kVA of split phase power.

Alternatively, a split phase AC source can be obtained by connecting our autotransformer (see data sheet on www.victronenergy.com) to a 'European' inverter programmed to supply 240V / 60Hz.

Three phase capability

Three units can be configured for three phase output. But that's not all: up to 6 sets of three units can be parallel connected to provide 144kW / 180kVA inverter power and more than 2500A charging capacity.

PowerControl – Dealing with limited generator, shore side or grid power

The Quattro is a very powerful battery charger. It will therefore draw a lot of current from the generator or shore side supply (16A per 5kVA Quattro at 230VAC). A current limit can be set on each AC input. The Quattro will then take account of other AC loads and use whatever is spare for charging, thus preventing the generator or mains supply from being overloaded.

PowerAssist – Boosting shore or generator power

This feature takes the principle of PowerControl to a further dimension allowing the Quattro to supplement the capacity of the alternative source. Where peak power is so often required only for a limited period, the Quattro will make sure that insufficient mains or generator power is immediately compensated for by power from the battery. When the load reduces, the spare power is used to recharge the battery.

Solar energy: AC power available even during a grid failure

The Quattro can be used in off grid as well as grid connected PV and other alternative energy systems. Loss of mains detection software is available.

System configuring

- In case of a stand-alone application, if settings have to be changed, this can be done in a matter of minutes with a DIP switch setting procedure.
- Parallel and three phase applications can be configured with VE.Bus Quick Configure and VE.Bus System Configurator software.
- Off grid, grid interactive and self-consumption applications, involving grid-tie inverters and/or MPPT Solar Chargers can be configured with Assistants (dedicated software for specific applications).

On-site Monitoring and control

Several options are available: Battery Monitor, Multi Control Panel, Color Control GX or other GX devices, smartphone or tablet (Bluetooth Smart), laptop or computer (USB or RS232).

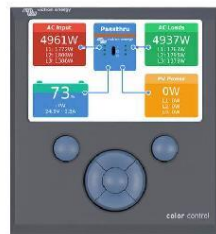
Remote Monitoring and control

Color Control GX or other GX devices.

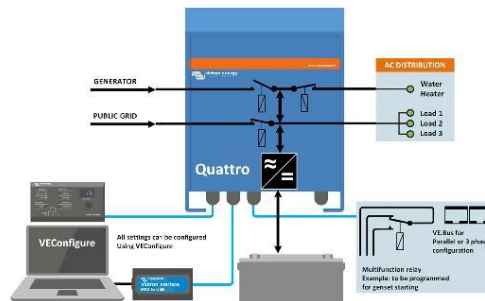
Data can be stored and displayed on our VRM (Victron Remote Management) website, free of charge.

Remote configuring

When connected to the Ethernet, systems with a Color Control GX or other GX device can be accessed and settings can be changed remotely.



Color Control GX, showing a PV application



Quattro	12/3000/120-50/50 24/3000/70-50/50	12/5000/220-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/8000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
PowerControl / PowerAssist	Yes				
Integrated Transfer switch	Yes				
AC inputs (2x)	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz Power factor: 1				
Maximum feed through current (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
INVERTER					
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Output (1)	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1%				
Cont. output power at 25°C (VA) (3)	3000	5000	8000	10000	15000
Cont. output power at 25°C (W)	2400	4000	6500	8000	12000
Cont. output power at 40°C (W)	2200	3700	5500	6500	10000
Cont. output power at 65°C (W)	1700	3000	3600	4500	7000
Peak power (W)	6000	10000	16000	20000	25000
Maximum efficiency (%)	93 / 94	94 / 94 / 95	94 / 96	96	96
Zero load power (W)	20 / 20	30 / 30 / 35	60 / 60	60	110
Zero load power in AES mode (W)	15 / 15	20 / 25 / 30	40 / 40	40	75
Zero load power in Search mode (W)	8 / 10	10 / 10 / 15	15 / 15	15	20
CHARGER					
Charge voltage 'absorption' (V DC)	14,4 / 28,8	14,4 / 28,8 / 57,6	28,8 / 57,6	57,6	57,6
Charge voltage 'float' (V DC)	13,8 / 27,6	13,8 / 27,6 / 55,2	27,6 / 55,2	55,2	55,2
Storage mode (V DC)	13,2 / 26,4	13,2 / 26,4 / 52,8	26,4 / 52,8	52,8	52,8
Charge current house battery (A) (4)	120 / 70	220 / 120 / 70	200 / 110	140	200
Charge current starter battery (A)	4 (12V and 24V models only)				
Battery temperature sensor	Yes				
GENERAL					
Auxiliary output (A) (5)	25	50	50	50	50
Programmable relay (6)	3x	3x	3x	3x	3x
Protection (2)	a-g				
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration				
General purpose com. port	2x	2x	2x	2x	2x
Remote on-off	Yes				
Common Characteristics	Operating temp.: -40 to +65°C Humidity (non-condensing): max. 95%				
ENCLOSURE					
Common Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection category: IP 21				
Battery-connection	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)				
230 V AC-connection	Screw terminals 13 mm ² (6 AWG)	Bolts M6	Bolts M6	Bolts M6	Bolts M6
Weight (kg)	19	34 / 30 / 30	45 / 41	51	72
Dimensions (h x w x d in mm)	362 x 258 x 218	470 x 350 x 280 444 x 328 x 240 444 x 328 x 240	470 x 350 x 280	470 x 350 x 280	572 x 488 x 344
STANDARDS					
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1				
Emission, Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3				
Road vehicles	12V and 24V models: ECE R10-4				
Anti-islanding	See our website				
1) Can be adjusted to 60 HZ. 120 V models available on request					
2) Protection key:	3) Non-linear load, crest factor 3:1				
a) output short circuit	4) At 25°C ambient				
b) overload	5) Switches off when no external AC source available				
c) battery voltage too high	6) Programmable relay that can a.o. be set for general alarm,				
d) battery voltage too low	DC under voltage or genset start/stop function				
e) temperature too high	AC rating: 230 V / 4 A				
f) 230 VAC on inverter output	DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1 A up to 60 VDC				
g) input voltage ripple too high					



Digital Multi Control Panel

A convenient and low cost solution for remote monitoring, with a rotary knob to set PowerControl and PowerAssist levels.



VE.Bus Smart Dongle
Measures battery voltage and temperature and allows monitoring and control of Multis and Quattros with a smartphone or other Bluetooth enabled device.



Computer controlled operation and monitoring

Several interfaces are available:



Color Control GX and other GX devices

Monitoring and control. Locally, and also remotely on the [VRM Portal](#).



MK3-USB (VE.Bus to USB interface)

Connects to a USB port ([see 'A guide to VECconfigure'](#))



VE.Bus to NMEA 2000 interface

Connects the device to a NMEA2000 marine electronics network. See the [NMEA2000 & MFD integration guide](#)



BMV-712 Smart Battery Monitor

Use a smartphone or other Bluetooth enabled device to:

- customize settings,
- monitor all important data on single screen,
- view historical data, and to
- update the software when new features become available.

Příloha 7: Victron Energy MultiPlus-II 48V/3000VA



MultiPlus-II Inverter/Charger 48/3000/35-50

120 V

► Victron online product page

<https://ve3.nl/6H>



A MultiPlus, plus ESS (Energy Storage System) functionality

The MultiPlus-II is a multifunctional inverter/charger with all the features of the MultiPlus, plus an external current sensor option which extends the PowerControl and PowerAssist function to 100A.



PowerControl and PowerAssist - Boosting the capacity of the grid or a generator

A maximum grid or generator current can be set. The MultiPlus-II will then take account of other AC loads and use whatever is extra for battery charging, thus preventing the generator or grid from being overloaded (PowerControl function).

PowerAssist takes the principle of PowerControl to a further dimension. Where peak power is so often required only for a limited period, the MultiPlus-II will compensate insufficient generator, shore or grid power with power from the battery. When the load reduces, the spare power is used to recharge the battery.

Solar energy: AC power available even during a grid failure

The MultiPlus-II can be used in off grid as well as grid connected PV and other alternative energy systems. It is compatible with both solar charger controllers and grid-tie inverters.

Two AC Outputs

The main output has no break functionality. The MultiPlus-II takes over the supply to the connected loads in the event of a grid failure or when shore/generator power is disconnected. This happens so fast (less than 20 milliseconds) that computers and other electronic equipment will continue to operate without disruption.

The second output is live only when AC is available on the input of the MultiPlus-II. Loads that should not discharge the battery, like a water heater for example, can be connected to this output.

Virtually unlimited power thanks to parallel, split phase and three phase operation

Up to 6 Multis can operate in parallel to achieve higher power output. Six 48/3000/35 units, for example, will provide 15 kW / 18 kVA output power with 210 Amps charging capacity.

In addition to parallel connection, two units of the same model can be connected for a 240V split phase output, and three units of the same model can be configured for three phase output. But that's not all: up to 6 sets of three units can be parallel connected per phase.

On-site system configuring, monitoring and control

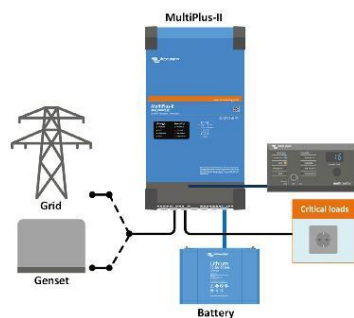
Settings can be changed in a matter of minutes with VECConfigure software (computer or laptop and MK3-USB interface needed).

Several monitoring and control options are available: Color Control GX, Venus GX, Octo GX, CANvu GX, laptop, computer, Bluetooth (with the optional VE.Bus Smart dongle), Battery Monitor, Digital Multi Control Panel.

Remote configuring and monitoring

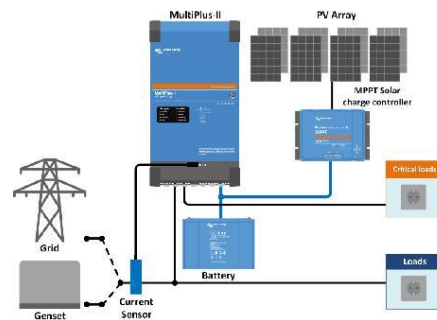
Install a Color Control GX or other GX product to connect to the internet.

Operational data can be stored and displayed on our VRM (Victron Remote Management) website, free of charge. When connected to the internet, systems can be accessed remotely, and settings can be changed.



Standard marine, mobile or off-grid application

Loads that should shut down when AC input power is not available can be connected to a second output (not shown). These loads will be taken into account by the PowerControl and PowerAssist function in order to limit AC input current to a safe value when AC power is available.



Grid parallel topology with MPPT solar charge controller

The MultiPlus-II will use data from the external AC current sensor (must be ordered separately) or power meter to optimise self-consumption and, if required, to prevent grid feed. In case of a power outage, the MultiPlus-II will continue to supply the critical loads



Color Control Panel (CCGX)
Provides intuitive system control and monitoring. Besides system monitoring and control the CCGX enables access to our free remote monitoring website: the VRM Online Portal



VRM Portal
Our free remote monitoring website (VRM) will display all your system data in a comprehensive graphical format. System settings can be changed remotely via the portal. Alarms can be received by e-mail.



VRM app
Monitor and manage your Victron Energy system from your smart phone and tablet. Available for both iOS and Android.



VE.Bus Smart Dongle
Measures battery voltage and temperature and allows monitoring and control with a smart phone or other Bluetooth enabled device.



Connection Area



Current sensor 100A-50mA
To implement PowerControl and PowerAssist and to optimize self-consumption with external current sensing.
Maximum current: 100A.
Length of connection cable: 1 m. or 5m.



Digital Multi Control Panel
A convenient and low-cost solution for remote monitoring, with a rotary knob to set PowerControl and PowerAssist levels.

MultiPlus-II 120V	
MultiPlus-II 120V	48/3000/35-50
PowerControl & PowerAssist	Yes
Transfer switch	50A
Maximum AC input current	50A
INVERTER	
DC Input voltage range	38 – 66 V
Output	Output voltage: 120 VAC ± 2% Frequency: 60 Hz ± 0,1% (1)
Cont. output power at 25°C (3)	3000 VA
Cont. output power at 25°C	2400 W
Cont. output power at 40°C	2200 W
Cont. output power at 65°C	1700 W
Maximum apparent feed-in power	2500 VA
Peak power	5500 W
Maximum efficiency	93%
Zero load power	13 W
Zero load power in AES mode	9 W
Zero load power in Search mode	3 W
CHARGER	
AC Input	Input voltage range: 90-140 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz
Charge voltage 'absorption'	57,6 V
Charge voltage 'float'	55,2 V
Storage mode	52,8 V
Maximum battery charge current (4)	35 A
Battery temperature sensor	Yes
GENERAL	
Auxiliary output	Yes (50 A)
External AC current sensor (optional)	100 A
Programmable relay (5)	Yes
Protection (2)	a – g
VE.Bus communication port	For parallel, split phase and three phase operation, remote monitoring and system integration
General purpose com. port	Yes, 2x
Remote on-off	Yes
Operating temperature range	-40 to +65°C (fan assisted cooling)
Humidity (non-condensing)	max 95%
ENCLOSURE	
Material & Colour	Steel, blue RAL 5012
Protection category	IP22
Battery-connection	M8 bolts
230 V AC-connection	Screw terminals 13 mm ² (6 AWG)
Weight	19 kg
Dimensions (hwxwd) mm	536 x 275 x 147
STANDARDS	
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN 55014-1, EN 55014-2
Emission, Immunity	EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3
Uninterruptible power supply	Please consult the certificates on our website.
1) Can be adjusted to 50Hz	3) Non-linear load, crest factor 3:1
2) Protection key:	4) At 75°F / 25°C ambient
a) output short circuit	5) Switches off when no external AC source available
b) overload	6) Programmable relay which can be set for general alarm, DC under voltage or genset start/stop function. AC rating: 120V / 4A, DC rating: 4A up to 35VDC and 1A up to 60VDC
c) battery voltage too high	7) A.o. to communicate with a Lithium Ion battery
d) battery voltage too low	
e) temperature too high	
f) 230 VAC on inverter output	
g) input voltage ripple too high	