

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh ostrovního systému pro potřeby rodinného domku

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

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

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela ULBRICHTOVÁ**
Osobní číslo: **E13N0139P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Návrh ostrovního systému pro potřeby rodinného domku**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Uveďte základní vlastnosti solárních systémů při aplikaci na rodinný dům.
2. Popište další alternativy využití obnovitelných zdrojů energie.
3. Zhodnoťte spotřebu energie ve zvoleném rodinném domku.
4. Navrhněte ostrovní systém pro krytí spotřeby zvoleného objektu.

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

1. přednášky KEE/SOES

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


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




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

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předložená diplomová práce se zabývá problematikou návrhu ostrovního systému pro rodinný dům. Dělí se do několika tematických částí, kde v první je popis využití obnovitelných zdrojů energie.

Druhá část navazuje na větrnou a sluneční energii, zde jsou popsány grid-off systémy s jejich rozdělením. Třetí část uvádí komponenty autonomních systémů a jejich využití. Čtvrtá část je zaměřena na samotný objekt a jeho návrh. V páté části je rozepsána spotřeba elektrické energie, a byly vytvořeny návrhy ostrovního systému. Nakonec byly návrhy ekonomicky, energeticky a environmentálně zhodnoceny.

Klíčová slova

Grid-off, solární systémy, fotovoltaický panel, větrná elektrárna, akumulace energie, regulátor, inverter.

Abstract

This thesis deals with problematics of the grid-off system project for family house. It is divided into several thematic parts, in the first part is a description of the use of renewable energy sources.

The second part follows the wind and solar energy, there are described grid-off systems with their distribution. The third part shows the components and use of autonomous systems. The fourth part is focused on the object and design. The fifth part includes a description electricity consumption and designs of the grid-off systems were made. Finally, the designs were economic, energy and environmental evaluated.

Key words

Grid-off, solar systems, photovoltaic panel, wind power plant, energy storage, controller, inverter.

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 12.5.2016

Bc. Michaela Ulrichtová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Milanovi Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	12
1.1 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE	12
1.2 ENERGIE PROSTŘEDÍ.....	13
1.3 BIOMASA.....	14
1.4 VODNÍ ENERGIE.....	16
1.5 VĚTRNÁ ENERGIE	18
1.5.1 Využití větné energie a stavba větrných elektráren	20
1.5.2 Rozdělení větrných motorů.....	21
1.6 SLUNEČNÍ ENERGIE	25
1.6.1 Pasivní solární systémy	28
1.6.2 Aktivní solární systémy.....	30
2 GRID-OFF SYSTÉM	42
2.1 DĚLENÍ A VYUŽITÍ GRID-OFF SYSTÉMŮ.....	42
2.2 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY AUTONOMNÍHO SYSTÉMU	45
2.2.1 Akumulace energie	45
2.2.2 Regulátor nabíjení.....	47
2.2.3 Invertor.....	48
3 NÁVRH GRID-OFF SYSTÉMU PRO RODINNÝ DŮM	48
3.1 POPIS LOKALITY	49
3.1.1 Sluneční energie a větrná energie	49
3.2 POPIS OBJEKTU	50
3.2.1 Spotřeba elektrické energie	51
3.3 ŘEŠENÍ GRID-OFF SYSTÉMU	53
3.3.1 Systém s VTE	54
3.3.2 Systém grid-off s VTE a FV	59
3.3.3 Domovní řídicí jednotka LPC Foxtrot.....	62
3.3.4 Ekonomické a environmentální zhodnocení	62
ZÁVĚR	67
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	69
PŘÍLOHY	1

Úvod

S rozvojem lidské populace každý den vzrůstají nároky na elektrickou energii a její potřebu. Nejde jen o nárůst spotřebovaného množství, ale také na distribuci a její stabilní dodávku. V místech, kde není rozvinutá infrastruktura, je problém s dodávkou a možností zisku energie.

V dnešní době při možnosti využití rozvinuté technologie k výrobě elektrické energie, je možnost využít obnovitelné zdroje energie, které jsou nevyčerpatelné.

Energii tohoto typu lze získat z větru, slunce, vody, země a biomasy. Určité množství každé energie je k dispozici všude, bohužel není to vždy energie stálá, a nebo využití této malé části energie by bylo velmi nákladné.

Odběratel energie je často závislý na stabilní a kontinuální dodávce. Protože není připojen na elektrickou distribuční síť, je nutné vyřešit problém, jak dodávat energii i v době, kdy není v provozu zdroj energie nebo ho není možné využít. Vhodným systémem je akumulovat energii v době, kdy je jí přebytek a pak využívat v době nedostatku.

Takovéto uzavřené systémy jsou zcela autonomní, celý systém se zdrojem a spotřebičem není připojený k elektrické síti, se nazývá ostrovní neboli grid-off.

S vyspělejšími technologiemi, se stávají dostupnějšími součásti takto složitých systémů a lze je aplikovat i na místech, kde to bylo před pár lety technicky nemožné nebo finančně nereálná investice.

Právě dostupnost těchto systémů, jde v ruku v ruce s vyšší poptávkou po energetické soběstačnosti.

Hlavním cílem této práce je návrh ostrovního systému pro rodinný dům, včetně environmentálního a ekonomického zhodnocení. Dále pak popsání základních solárních systémů při aplikaci na rodinný dům a popsání dalších alternativ využití obnovitelných zdrojů včetně větrné energie. V neposlední řadě také zhodnocení spotřeby elektrické energie v daném objektu, což je důležitou součástí návrhu celého ostrovního systému.

Seznam symbolů a zkratek

A_x	Plocha opisovaná rotorem [m^2]
λ	Rychlostní součinitel
E_k	Kinetická energie proudící hmoty [J]
ΔE_k	Změna kinetické energie proudící hmoty [J]
F_a	Axiální síla [N]
v	Rychlost větru [$m \cdot s^{-1}$]
m	Hmotnost [kg]
ρ	Hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]
V	Objem vzduchu [m^3]
c_p	Součinitel výkonu [-]
η_t	Účinnost větrného motoru [-]
TUV.....	Teplá užitková voda
FV.....	Fotovoltaický panel
FVE.....	Fotovoltaická elektrárna
TČ.....	Tepelné čerpadlo
VTE.....	Větrná elektrárna
γ	Gama záření
E	Energie [J]
c	Rychlost světla ve vakuu [$m \cdot s^{-1}$]
h	Planckova konstanta [$J \cdot s$]
f	Frekvence [Hz]
λ	Vlnová délka [m]
Ss.....	Stejnoseměrný
St.....	Střídavý
η	Účinnost fotovoltaického článku [%]
P'	Získaná energie, výkon [W]
P	Intenzita záření [W]
P_{vte}	Výkon větrné elektrárny [W]
P_{vtet}	Výkon turbíny [W]
P_{pp}	Průměrný potřebný výkon [W]
C	Kapacita baterie [W]

C_h Jmenovitá kapacita baterii [Ah]

t_v Doba výpadku [h]

c_l Články [-]

P_{ch} Výkon [%]

1 Obnovitelné zdroje energie

Růst světové populace, závislost na energii a snižující se zásoby fosilních paliv mají za následek tlak na spolehlivost dodávek energie. Ochrana životního prostředí, která velmi ovlivňuje využívání zdrojů, se snaží zamezit nadprodukcí CO₂ a zastavit růst skleníkového efektu. Nároky na energii jsou stále na vzestupu a musí se najít kompromis a tím je využívání obnovitelných zdrojů energie. Lze využít biomasu, větrnou, vodní, sluneční a geotermální energii, také lze využít energii prostředí, tedy nízkopotenciální teplo.

1.1 Geotermální energie

Jedná se o energii uvolňující se ze země, jejímž základem jsou fyzikální a chemické reakce. Základní nosné médium energie je voda, která proniká hluboko do podloží, zde se ohřívá a vrací se zpět k povrchu, gejzíry a vroucími prameny.

Tento zdroj patří mezi dlouhodobě využitelné. Má stabilní a stálý výkon oproti jiným obnovitelným zdrojům.

Geotermální energii můžeme rozdělit na nízkoteplotní zdroje, které najdeme do stovek metrů pod povrchem a teploty zde nepřesáhnou 150°C. Středně tepelné zdroje dosahují teploty 150-200°C, jsou vhodné pro vytápění i k výrobě elektrické energie. Poslední, několik kilometrů hluboko, jsou vysokoteplotní zdroje s teplotou nad 200°C, nejvhodnější přímo pro výrobu elektrické energie. [13]

Získává se pomocí hlubinných vrtů a předpokládaná životnost je desítky let. Geotermální energii lze čerpat různými způsoby, v praxi je využívána metoda mokrých par, pracuje na systému, kdy se voda čerpá na povrch, při změně tlaku (nižší tlak na povrchu) expanduje a následně je vyrobena pára, která pohání turbínu. Modernější zařízení pracují se dvěma turbínami, kde první zpracovává páru o vyšších parametrech, jedná se o Rankin-Clausiusův oběh. Hloubky vrtů jsou 3-5 km. [9]

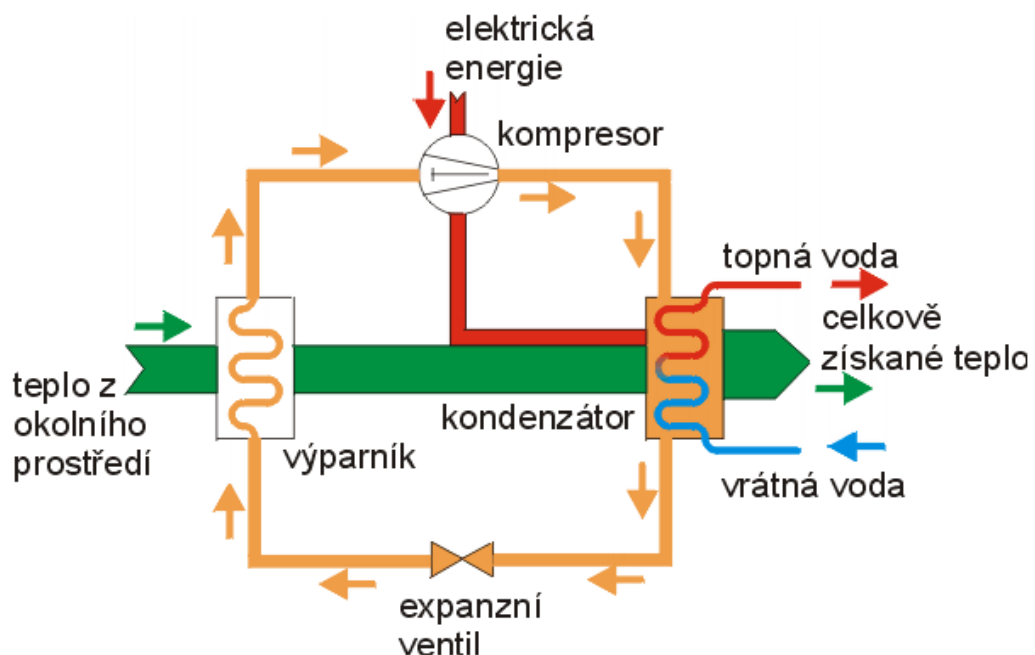
Geotermální energie nemusí být využita jen pro výrobu elektřiny, ale i čistě k vytápění, například celé vesnice. Nespornou výhodou je také skoro bezobslužný provoz. Pro vytápění postačují vrty okolo 500 m hloubky, při teplotách nad 50°C lze teplo využít přímo. Při nižších teplotách se využívá tepelné čerpadlo, toto řešení lze nalézt nainstalované v ZOO Ústí nad Labem, kde je využita teplota 32°C z vrtu

s hloubnou 515 m. [12]

1.2 Energie prostředí

Energii prostředí je nízkopotenciální teplo, které je možno využít pomocí tepelného čerpadla. TČ energii nevyrábí, ale „přečerpává“ ji na vyšší teplotní úroveň, teplo z okolí má nízkou úroveň a nelze jej využít přímo. Pracuje na principu Carnotova cyklu. V praxi to vypadá, tak, že z jednoho místa, například ze země, odebíráme několik málo °C a o ty pak ohřejeme vodu v topné soustavě domu. Země je tedy ochlazena z 9°C na 4°C a TČ zajistí ohřátí topné vody z 35°C na 40°C. Země je ohřívána nejen geotermální energií, ale také sluncem, při odebrání energie je teplota srovnána okolní půdou a v letních měsících akumulací sluneční energie. TČ je označeno jako země-voda, využívá nízkopotenciální teplo ze zemního kolektoru uloženého minimálně 2 m pod povrchem. Kolektor může být uložený také ve vertikálním suchém vrtu.

Systém přečerpávání energie ze zdroje nízkopotenciálního tepla platí i pro ostatní, jako je vzduch, ať už se jedná o vzduch okolí nebo odpadní teplo u objektů s nuceným větráním. Jedním z nejlépe hodnocených zdrojů tohoto tepla je voda. Možnost využití je široká, od stojaté povrchové vody nebo tekoucí až po vrty, zavodněné šachty dolů a studny.



Obrázek 1.1 Princip a funkce tepelného čerpadla [13]

Na obrázku 1.1 je znázorněn princip TČ. Na primární straně TČ je výměník tepla, který odebírá teplo z nízkopotenciálního zdroje pomocí teplotnosného média chladiva. Chladivo se zde změnou teploty odpaří a je přivedeno do kompresoru, kde se stlačí a silně zahřeje, přidá se zde i ztrátová energie z elektromotoru kompresoru a energie vzniklá třením jeho pohybových částí. Tato energie ve formě stlačeného chladiva na výtlaku kompresoru má vyšší teplotu než voda v topné soustavě. Energie z chladiva pomocí výměníku (tzv. kondenzátoru) je předána do vody topného systému. Chladivo se po předání energie zkapání a expanzní ventil ho vstříkují zpět do výparníku tepla.

Hlavní typy TČ se označují dvouslovnými názvy, kde první slovo označuje místo odkud odebíráme teplo a druhé určuje teplotnosné médium:

- voda-voda
- vzduch-voda
- voda-vzduch
- vzduch-vzduch
- země-voda

Topný faktor, který je dán u každého TČ, je to poměr vyprodukovaného tepla k množství dodané energii. Ukazuje množství energie, které je nutné dodat do systému k získání určitého množství tepla. Do celkové energie potřebné pro chod TČ, je nutné započítat energii pro kompresor, oběhová čerpadla a ventilátory, pokud jsou součástí daného systému. Jeho hodnota se pohybuje mezi 2-5, čím je toto číslo větší, tím je provoz TČ efektivnější. Za provozu se tato hodnota neustále mění v závislosti na teplotě vstupu a výstupu TČ. Pro vyšší účinnost je výhodné využít TČ tam, kde nejsou velké výkyvy teplot.

1.3 Biomasa

Biomasa lze popsat jako přeměněnou sluneční energii, zachycenou v rostlinách a uloženou ve formě chemické energie. Jedním z hlavních faktorů, který ovlivňuje kvalitu biomasy, je obsah vody, ta negativním způsobem ovlivňuje spalování a její výhřevnost je nižší než u suché biomasy. Optimální obsah vody je do 20 %.

Biomasa pěstovaná na energetické účely je cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová

třtina, olejniny, energetické dřeviny. Využívá se také odpadní biomasa, jakou jsou rostlinné zbytky ze zemědělské výroby, odpady z živočišné výroby, komunální organické odpady z venkovních sídel, organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob a lesní odpady (dendromasa). [9]

Jako palivo pro spalovací procesy je použitelný téměř každý materiál od dřeva a odpadu z dřevozpracujícího průmyslu, přes slámu, obilí, různé zbytky ze zemědělské výroby a organický a komunální odpad.

Spalovací proces prochází čtyřmi fázemi: [13]

1. Sušení, v materiálu se postupně snižuje obsah vody a začne se zahřívat.
1. Pyrolýza, po dosažení správné teploty (cca 200 °C) se materiál postupně rozkládá na hořlavé plyny
2. Spalování plynné složky, hoření plynných složek prodlužuje plamen a zvyšuje teplotu plynných spalin.
3. Spalování pevných látek, dohořívají pevné látky, vzniká oxid uhelnatý (CO), který se oxiduje na oxid uhličitý (CO₂).

Předpokladem pro ekologicky přijatelné efektivní spalování biomasy je dostatečné množství kyslíku, vysoký obsah sušiny a provozní teplota nad hranicí zápalné směsi materiálu.

Dále je možnost využití biomasy při zplyňování a pyrolýze. Zplyňování je částečná chemická přeměna pevného paliva na plynné za pomoci zplyňovacích látek. Pyrolýzu využívají nejmodernější kotle na spalování dřeva a pelet.

Pyrolýza probíhá bez přístupu vzduchu a nevznikají při ní dioxiny, probíhá při teplotách 400 – 700°C, vzniká plynná směs uhlovodíků a pevná složka s vysokým podílem uhlíku. Plyn ze zplyňování se využívá v kogeneračních jednotkách a samotná pyrolýza je považována za velmi perspektivní technologii, především pro průběh v nízkých teplotách. [9]

Zplyňování využívá především odpadní dřevo nebo slámu a vyrobený plyn je uskladňován nebo spalován ve spalovacích motorech. První fáze zplyňování je přeměna pevné biomasy na spaliny a syntézní plyn, vše probíhá při 600°C. Plyn se dále ochlazuje a filtruje, než je přiveden do motoru. [12]

Poslední je možnost využití aerobní fermentace, kdy se v praxi zpracovávají především odpady z živočišné výroby nebo z potravinářského průmyslu. Lze také využít

komunální odpad, dřevo, sláma, obilniny a jiný odpad ze zemědělství. Alkoholová fermentace využívá škrobové a cukernaté energetické plodiny (brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, obiloviny, odpad z potravinářské výroby.

Aerobní fermentace odpadů z živočišné výroby je vícestupňový proces, kde se postupně přeměňují sacharidy, tuky a bílkoviny na bioplyn působením metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů. [9]

Anaerobní fermentace v bioplynových stanicích probíhá ve čtyřech fázích:

1. Hydrolyza – rozklad polymerů (polysacharidy, bílkoviny, tuky) na jednodušší organické látky.
2. Acidogeneze – vzniká CO_2 , vodík a kyselina octová, které umožňují bakteriím tvorbu metanu, dále vznikají alkoholy, organické kyseliny.
3. Acetogeneze – hlavním produktem je kyselina octová, která vzniká z vyšších mastných kyselin vznikajících v acidogenezi.
4. Metanogeneze – rozklad kyseliny octové na metan a oxid uhličitý působením metanogenních bakterií .

Vyrobený bioplyn má několik možností využití, mezi ty hlavní patří první je přímé spalování, výroba elektrické energie a kogenerace a pohon spalovacích motorů.

1.4 Vodní energie

Jedna z možností využití energie z vody jsou vodní elektrárny na vodních tocích. Využití lze přímo potenciální energie na konkrétním spádu, tento princip využívá vodní kolo. Lze ho také spolu s kinetickou energií, kdy voda roztáčí turbínu, která je spojena hřídelí s generátorem, celek tvoří turbogenerátor a generuje elektrickou energii. Dochází zde k přeměně mechanické energie na energii elektrickou. Vodní turbíny patří mezi technicky nejdokonalejší mechanické motory, mají činnost až 95 %.

Rozdělení vodních elektráren podle instalovaného výkonu:

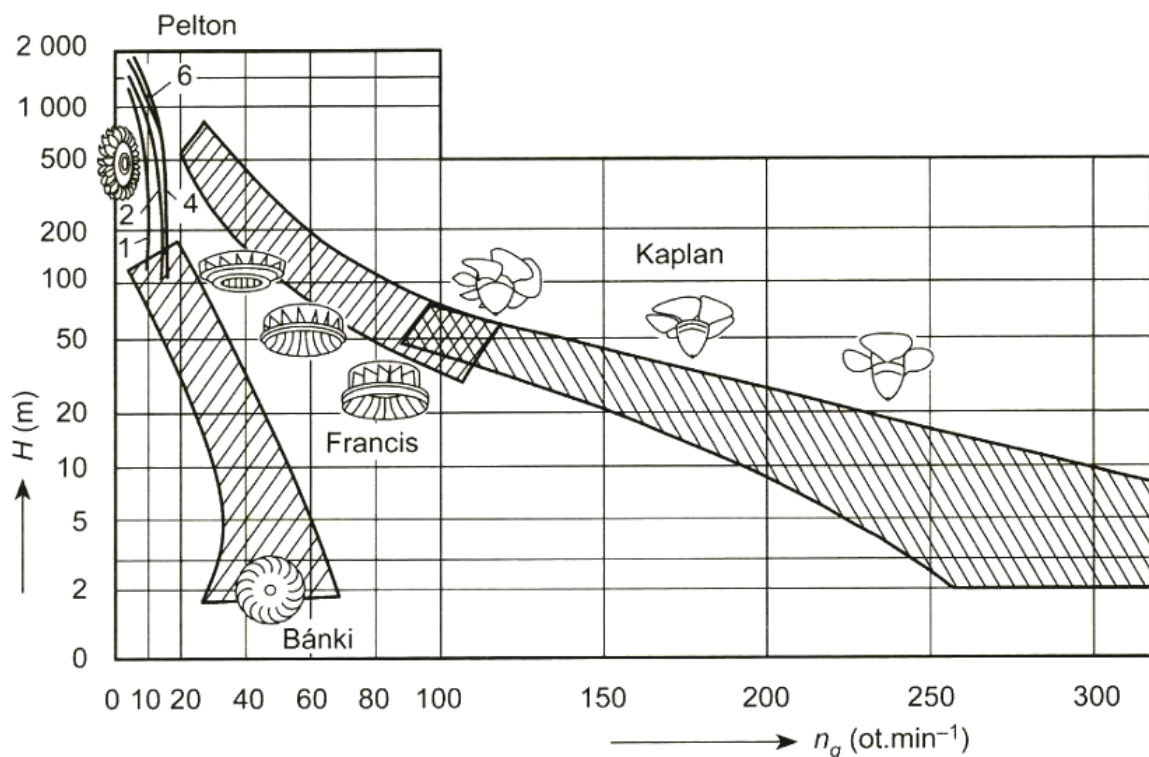
- malé – do 10 MW
- střední – do 100 MW
- velké – nad 100 MW

Hydroenergetický potenciál určuje možnost využití daného toku, je to základní údaj určující jakou energii ($\text{kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$) unáší jeho průtok. Je dán spádem, výškový rozdílem, tíhovým zrychlením, hustotou vody a účinností turbíny. [11]

Průtočné vodní elektrárny využívají právě aktuální hodnotu průtoku vody řečištěm. Pracovní pásmo těchto elektráren je v základní oblasti diagramu zatížení, zde patří také derivační vodní elektrárny. Na rozdíl od nich regulační vodní elektrárny patří do špičkové a pološpičkové části diagramu. Tyto elektrárny akumulují potenciál vodní energie, jsou to přehradní, jezové a přečerpávací elektrárny. [10]

Přehradní elektrárny jsou postavené přímo na toku a regulují celý jeho průtok danou oblastí. Přečerpávací elektrárny disponují dvěma nádržemi, horní nádrž je akumuláční, kde se voda čerpá v době přebytku elektrické energie v distribuční síti a dolní nádrž je na toku řeky, který zásobuje celou elektrárnu vodou. Tyto elektrárny pak dodávají do distribuční sítě ve špičkách. Pro tento typ elektrárny se používají turbíny s reverzním chodem.

Na obrázku 1.2 je uveden diagram pro optimální přiřazení spádu k typu turbíny, která je charakterizována příslušnou hodnotou otáček. Její výběr závisí na účelu a podmínkách celého vodního díla.



Obrázek 1.2 Diagram vhodnosti využití vodních turbín [11]

Kaplanova turbína patří mezi přetlakové turbíny (tlak před oběžným kolem je vyšší než za ním) a využívá se pro spády do 30 m a průtoky 0,15 až několik $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Je vhodná pro jezové a říční malé vodní elektrárny. Francisova turbína se v minulosti využívala nejčastěji. Je to radiálně-axiální přetlaková turbína vhodná pro malé (1,5 - 5 m) a větší (30–500 m) spády. Peltonova turbína je rovnotlaková a je vhodná pro velké spády (až 500 m a více) s malým a střední průtokem. Bánkiho turbína je také rovnotlaková s dvojnásobným průtokem oběžného kola, vhodná pro spády 2 - 80 m s průtokem 0,01 – 0,9 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. [11]

Poslední možností využití vodní energie je energie přílivu a odlivu, tyto jevy jsou úzce spjaty z gravitací Slunce a Měsíce a tuto energii využívají slapové elektrárny. Principem je využití kinetické energie vody při přílivu a odlivu, na rozdíl těchto hladin má zásadní vliv tvar pobřeží. Tyto elektrárny při přílivu otevřou hráz a nechají dovnitř natéct vodu. Při odlivu se voda čerpá zpět přes turbíny s generátory pro výrobu elektrické energie. Využití tohoto jevu je možné jen v oblastech s výškou hladin při odlivu a přílivu minimálně 6 m. V současné době nejsou využívány ve větším měřítku pro svou technickou náročnost.

1.5 Větrná energie

Veškerý pohyb vzduchu je podmíněn tlakem vzduchu a jeho rozdíly, které jsou dány různými tepelnými kapacitami zemského povrchu. Kdyby se Země nepohybovala, vzduch by proudil po spádnicích, kolmo na izobary ve směru nižšího tlaku vzduchu. Coriolisova síla, která působí na částice vzduchu, má za následek stáčení proudění vzduchu na severní polokouli vpravo a na jižní zase vlevo. Tato síla působí, protože se Země otáčí stejnou konstantní úhlovou rychlostí a účinek síly se zvyšuje úměrně s rychlostí přemísťujícího se vzduchu. Je také závislá na zeměpisné šířce, při totožné rychlosti je nejsilnější na pólech a na rovníku klesá k nule. [16]

Neméně důležitá je také odstředivá síla, ta odchyluje pohybující se částice ven od středu křivky. Tento účinek narůstá s narůstajícím zakřivením drah pohybu. [16]

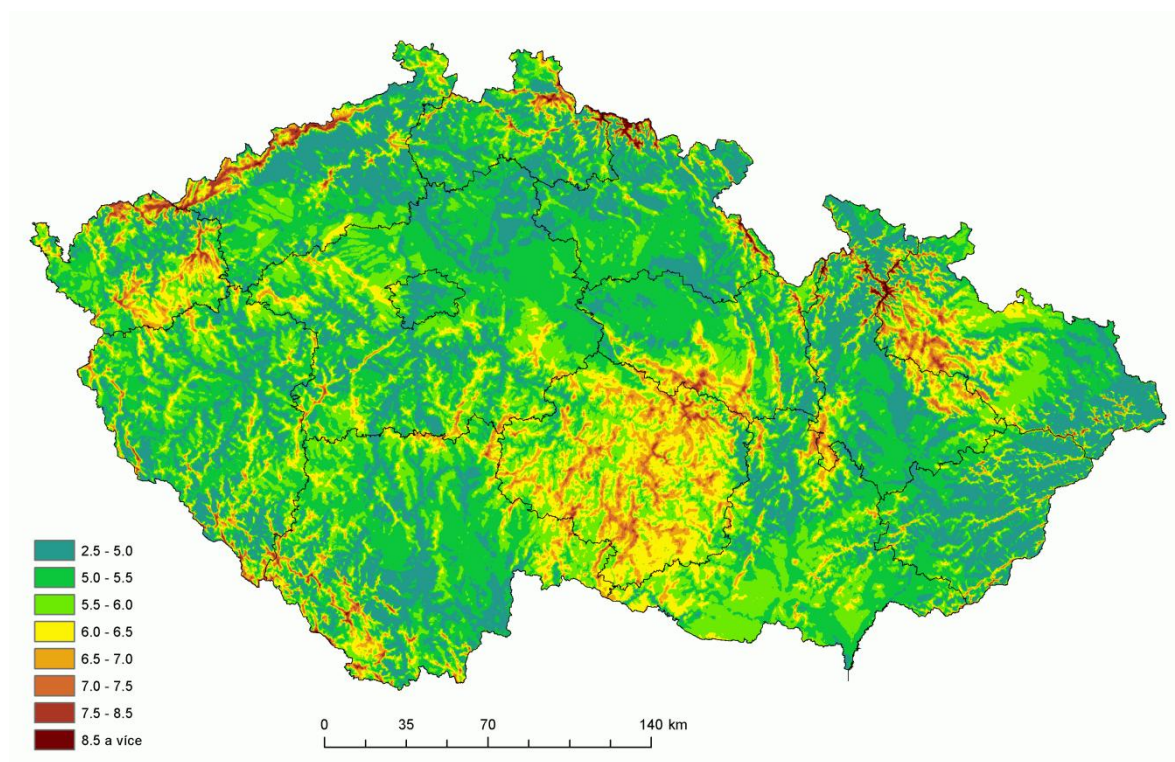
Při proudění vzduchu u zemského povrchu vzniká tření, působí proti pohybu sil již zmíněných. Do výšky 1000 m není směr pohybu částic rovnoběžný s izobarami, ale odchyluje se na stranu nižšího tlaku vzduchu, takto se vyrovnávají rozdíly v tlaku vzduchu. [15, 16]

Velký vliv na proudění vzduchu má střídání teplot mezi pevninou a oceánem, horami a údolími, zalesněnými plochami a holými. Směrem k rovníku proudí pasáty a opačně zase antipasáty v horních vrstvách. V jihovýchodní Asii je možné pozorovat půlroční střídání od moře vanoucích monzunů s antimonzunou, vanoucími opačným směrem. [15]

Mimo uvedené faktory působí na pohyb atmosféry gravitace Slunce a Měsíce. Hranice, kdy je možné využít vztlak vzduchu, je mezi 60 – 80 km (tzv. von Karmanova linie) a ve výškách 120 – 200 km prakticky není odpor vzduchu, zde leží hranice mezi atmosférou a kosmickým prostorem.

Pro určení vhodného druhu VTE nebo vhodné lokality je důležitý větrný potenciál na daném území. Zemský povrch nezpůsobuje jen tření, ale také deformuje vítr. Z vlastností zmíněných dříve je jisté, že v nížinách bude intenzita větru nižší než v horských oblastech. Podmínky v hodné pro výstavbu s rostoucí výškou přibývají.

Nejen rychlost větru, ale také jeho směr je zásadním parametrem pro VTE. Pro odhad větrných podmínek slouží tzv. větrné mapy, z obrázku 1.3 je možno vyčíst průměrné rychlosti větru ve 100 m nad povrchem pro Českou republiku.



Obrázek 1.3 Větrná mapa rychlosti větru ve 100 m [1]

1.5.1 Využití větrné energie a stavba větrných elektráren

Snížením rychlosti vzdušného proudění získávají svoji energii turbíny větrné elektrárny, takto dochází k částečné přeměně kinetické energie vzduchu na kinetickou energii rotoru VTE.

Kinetická energie proudící hmoty je dána vztahem:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2 [J] \quad (1.1)$$

kde m je hmotnost, v rychlost větru, ρ hustota vzduchu a V objem vzduchu.

Využitím veškeré kinetické energie větru proudícího jednotkovou plochou, která je kolmá na směr proudění, je možné získat výkon, toto je označováno jako hustota výkonu větru se vztahem:

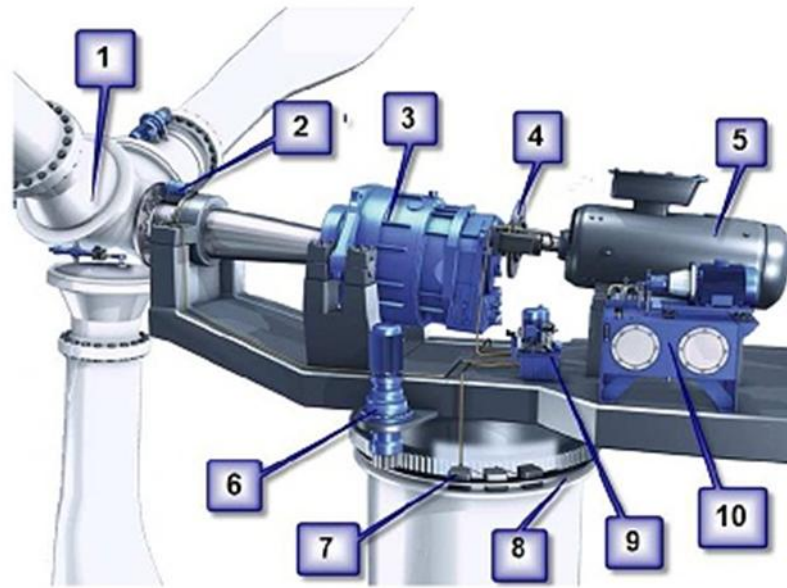
$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 [W] \quad (1.2)$$

Výkon větrné turbíny je dán vztahem:

$$P = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot A \cdot v^3 [W] \quad (1.3)$$

kde c_p označuje součinitel výkonu. Nabývá maximální hodnoty 0,593, reálná hodnota je nižší a pohybuje se kolem hodnoty 0,4 a je závislá na rychlosti větru a typu větrné turbíny. A je plocha opisovaná rotorem.

VTE využívá aerodynamických sil větru, působících na rotorové listy. Na stožáru umístěná větrná turbína mění kinetickou energii na rotační mechanickou energii, tím je uváděna do pohybu. Plocha listu rotoru klade odpor proudícímu větru a uvádí rotor do pohybu, který je uvnitř gondoly spojen přes převodovku a hřídel do generátoru, který vyrábí elektrickou energii. Poškození zabraňují mechanické brzdy. Impuls k zastavení rotoru může vycházet od snímače otáček rotoru nebo rychlosti větru. Tyto údaje jsou vyhodnocovány počítačem, který kontroluje i řadu dalších důležitých údajů.



Obrázek 1.4 Základní části větrné elektrárny [17]

- | | |
|---|---|
| 1. rotor s rotorovou hlavicí; | 7. brzda točny strojovny (gondoly); |
| 2. brzda rotoru; | 8. ložisko točny strojovny; |
| 3. planetová převodovka; | 9. hydraulický agregát brzdy rotoru a generátorového hřídele; |
| 4. spojka a brzda generátorového hřídele; | 10. hydraulický agregát změny geometrie opatek rotoru |
| 5. generátor; | |
| 6. pohon natáčení strojovny; | |

1.5.2 Rozdělení větrných motorů

Větrný motor je mezistupeň transformace větrné energie na energii elektrickou. Podle aerodynamických vlastností lze motory rozdělit na:

- vztlkové
- odporové

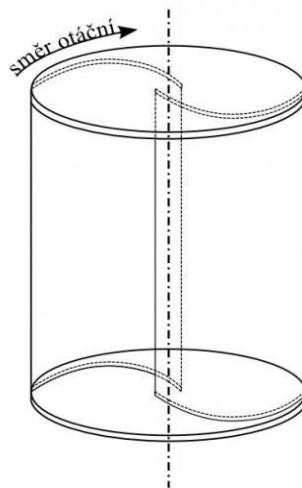
Lze je také dělit podle rychlostního součinitele λ na rychloběžné a pomaloběžné a podle osy rotace na horizontální a vertikální.

Dělení podle výkonu: [18]

- Mikroelektrárny – výkon menší než 1 kW, napájení jednotlivých zařízení, nejsou tedy připojeny do sítě, dodávají napětí obvykle 12V nebo 24 V.

- Malé větrné elektrárny – výkon do 15 kW, napájení např. rodinného domu, na svém výstupu mají napětí 230 V (případně 400 V).
- Středně velké elektrárny – výkon do 100 kW, možné napájení více objektů, obvykle bývají připojeny do elektrické sítě, dodávají napětí 400 až 690 V.
- Velké elektrárny – Výkon stovky kW až jednotky MW, mohou napájet celé vesnice, vždy bývají připojeny do elektrické rozvodné sítě.

Podstatou odporových větrných motorů je plocha nastavená proti proudění větru, vytváří mu aerodynamický odpor. Na ploše lopatek se generuje síla, která se transformuje na rotační pohyb. Na obrázku 1.5 je příklad tohoto typu motoru, je to Savoniův větrný motor.

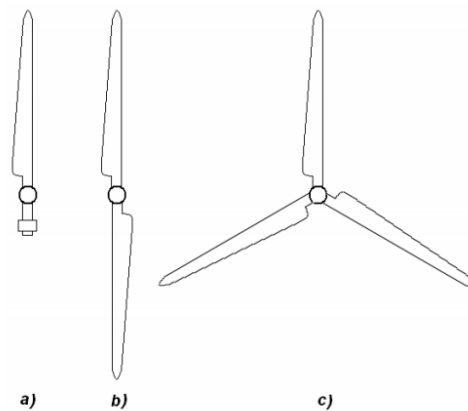


Obrázek 1.5 Savoniův větrný motor [19]

U tohoto typu motorů musí být rychlost větru větší než obvodová rychlost rotoru, aby mohl vzniknout hnací moment. Účinnost odporových motorů je 15 – 23 % a využívají se jen zřídka. Mezi jejich výhody patří jednoduchá konstrukce, využití při malých rychlostech větru, přímý přenos kroučícího momentu na hřídel. Pokud mají vertikální osu rotace, jsou nezávislé na směru větru. Nevýhody jsou nižší efektivita, nízké otáčky a vysoké hodnoty točivého momentu.

Nejpoužívanější větrné motory jsou založené na vztakovém principu. Nejčastěji je možné se setkat s motory s horizontální osou rotace, je natočená kolmo na směr větru. Jejich výhoda spočívá v menším namáhání a rotor může být ve větší výšce nad terénem. Jsou založeny na principu přeměny tahu na rotační pohyb.

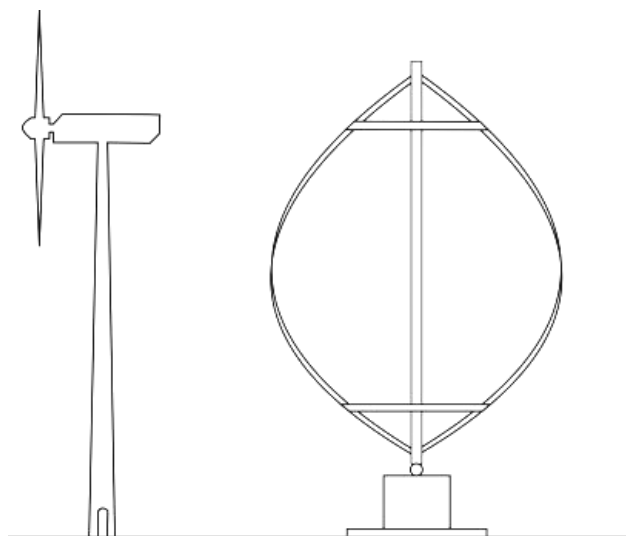
Příklad tohoto typu je na obrázku 1.6, nejvíce používané jsou dvou až třílisté, méně pak jednolísté a čtyřlísté.



Obrázek 1.6 Vztlakové motory a) jednolísté, b) dvoulisté, c) třílisté [9]

V poslední době prošly zdokonalením převážně třílisté varianty a jejich účinnost je až 40 %. Jednolístá varianta má obvodovou rychlost patnáctinásobku rychlosti větru, jsou to velké rychlosti, u kterých je obtížné dimenzování. U dvoulistých je to desetinásobek a u třílistých variant sedminásobek rychlosti větru. Na obrázku 1.7 lze vidět klasickou třílistou variantu a speciální typ vztlakového motoru Darrieus.

Darrieus je nejčastěji využívaný motor s vertikální osou rotace, není závislý na směru větru, jeho obvodová rychlost je cca pětinašobek rychlosti větru a účinnost se pohybuje na 35 %. Vrtule do pohybu uvádí vztlaková síla, kterou vytváří vzduch obtékající lopatku.



Obrázek 1.7 V levé části VTE s horizontální osou a v pravé VTE Darrieus [19]

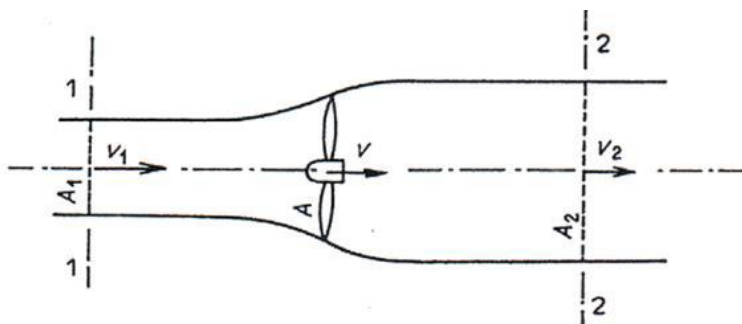
Konstrukce větrných motorů s horizontální osou rotace je jednodušší, mohou dosahovat vyšších otáček a je zde snadnější vývod výkonu. Nevýhodou je malá výška rotoru nad terénem a kratší životnost vzhledem k dynamickému namáhání.

U vztakových motorů vycházíme z rovnice kontinuity. Větrný motor odebere proudícímu větru část kinetické energie protékající pracovní plochou, tím dojde k poklesu rychlosti větru za větrným motorem.

Pokud na obrázku 1.8, kde je prostor ohraničen proudovými plochami, budeme předpokládat, že se nepřenáší hmota ani energie, bude platit rovnice kontinuity:

$$v_1 \cdot A_1 = v \cdot A = v_2 \cdot A_2 \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (1.4)$$

kde v je označení rychlost větru a A je plocha opisovaná špičkou listu větrné turbíny.



Obrázek 1.8 Princip vztakového rotoru

$$v_1 \cdot A_1 = v \cdot A = v_2 \cdot A_2 \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (1.5)$$

Ze zákona zachování hybnosti lze odvodit axiální sílu F_a působící na listy větrného motoru:

$$F_a = \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2) \quad [N] \quad (1.6)$$

Výkon větru lze definovat jako rovnice:

$$P = F_a \cdot v = \rho \cdot A \cdot v^2 \quad [W] \quad (1.7)$$

Pro výkon určený ze změny kinetické energie ΔE_k proteklého vzduchu za jednotku

času platí:

$$P = \frac{\Delta E_k}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) [W] \quad (1.8)$$

Porovnáním rovnic získáme vztah pro rychlost:

$$v = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} [m \cdot s^{-1}] \quad (1.9)$$

Když se dosadí do rovnic (1.6) a (1.7) pro F_a a P dostaneme:

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) [N] \quad (1.10)$$

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) [W] \quad (1.11)$$

Ideální účinnost přeměny kinetické energie na mechanickou je možno definovat jako poměr výkonu motoru k výkonu větru. Při uvažování ideálního větrného motoru s nekonečným počtem lopatek pracujících bez aerodynamického odporu je možno pro účinnost napsat vztah:

$$\eta_t = \frac{(v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2)}{2 \cdot v_1^3} [-] \quad (1.12)$$

Výše uvedené rovnice popisují ideální stav, definují pouze výkon vzduchové hmoty. Pro definování výkonu větrného motoru protékaného touto hmotou, je nutné rovnici výkonu větru vynásobit součinitelem výkonnosti c_p . Tento součinitel udává, kolik energie z proudícího vzduchu se využívá na turbíně, není konstantní a je funkcí rychlosti větru.

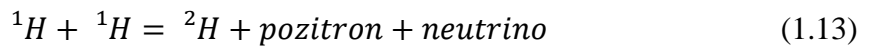
1.6 Sluneční energie

Slunce je koule složená z plazmatu, které neustále produkuje velké množství energie. Do kosmického prostoru vyzařuje zářivý tok $3,85 \cdot 10^{17}$ GW a měrný tok na povrchu je $6 \cdot 10^7$ W·m⁻². Jeho složení je 70 % H, 28 % He a 2 % ostatních prvků.

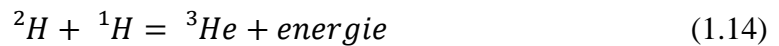
V jeho nitru dochází k samoregulované termonukleární reakci, při níž se H přeměňuje za vysokých teploty přibližně $13 \cdot 10^6$ K a tlaku $2 \cdot 10^{10}$ MPa na He. Za těchto podmínek jsou všechny atomy zcela ionizovány a jádro atomu H má vyšší hmotnost a ztrácí svůj záporně nabitý obal elektronů. Ty narážejí při rychlostech $1000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ do jiných atomů H.

Termonukleární reakce probíhá ve 3 fázích a její grafické znázornění je na obrázku 1.9. [20]

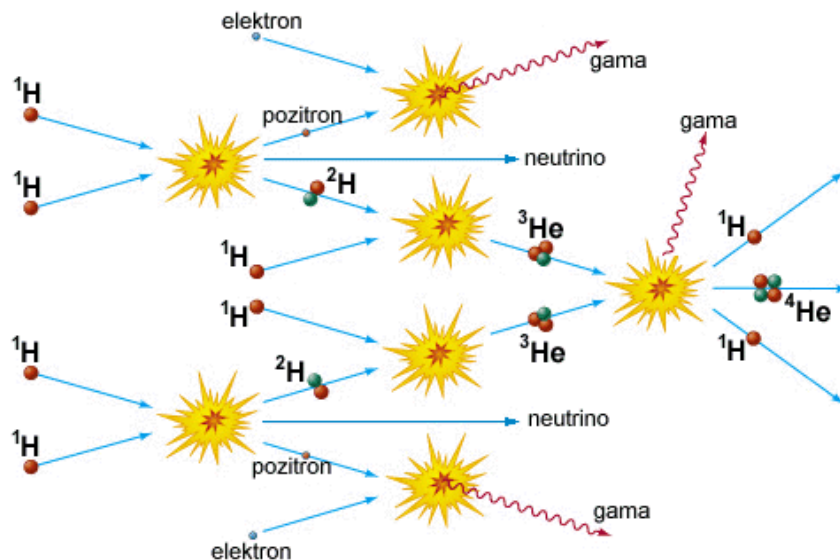
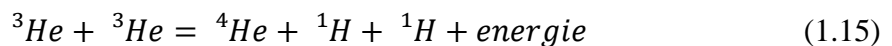
1. fáze - dvě vodíková jádra se slučují na deuterium za vzniku pozitronu a neutrina.



2. fáze - jádro deuteria se slučuje s jádrem vodíku, vzniká izotop helia a uvolní se energie ve formě záření gama.



3. fáze - sloučením dvou jader izotopu helia vznikne jádro helia, dvě jádra vodíku a opět se uvolní energie.

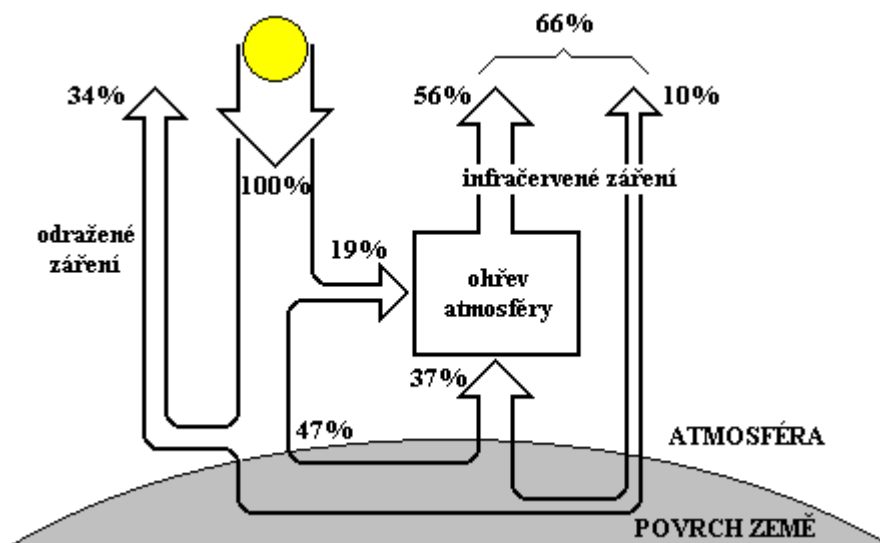


Obrázek 1.9 Diagram termonukleární reakce [20]

Vyzářená energie z povrchu Slunce je ve formě elektromagnetického záření o frekvenci 10^{16} Hz. Tato energie je nesena fotony, které původně vznikají jako záření γ . Energie fotonu je přibližně 10^{-18} J. Na povrch Země dopadá jen zlomek energie z původní reakce.

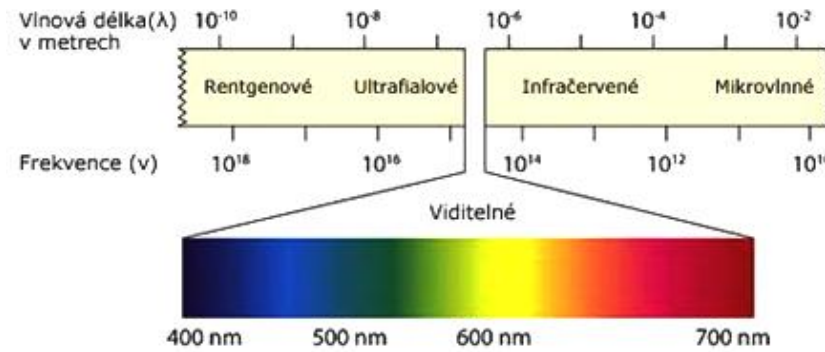
Sluneční záření dopadající na zemský povrch vstupuje do atmosféry přibližně ve výšce 1000 km nad povrchem Země. Atmosféra je ochranný obal, který chrání Zemi před velkými teplotními rozdíly a sluneční a kosmickou radiací.

Z celkového množství dopadajícího na zemský povrch se 34 % odrazí, vlivem odrazu od vodní páry, znečištění atmosféry a odrazu od povrchu. Atmosféra pohltí 19 % a zemský povrch 47 %, energie se zde transformuje na teplo a jako infračervené záření 14 % je pohlceno víceatomovými prvky, které způsobují skleníkový efekt. Část energie je spotřebována na výpar vody z povrchů a vodních ploch. Zbývá část slunečního záření je pohlcena zemským povrchem a konvekcí odveden jako stoupající teplý vzduch. Celý tento proces je znázorněn na obrázku 1.10. [12, 22]



Obrázek 1.10 Energetická bilance Země [22]

Slunce můžeme považovat za absolutně černé těleso s povrchovou teplotou 5900 K, spektrální složení slunečního světla je vidět na obrázku 1.11 a jeho hodnoty se pohybují od 30 do 3000 nm, energetické maximum je v 500 nm. Lze jej rozdělit na ultrafialové s vlnovou délkou nižší než 300 nm, pro lidské oko neviditelné, fotosynteticky aktivní má vlnové délky 400 - 780 nm a infračervené záření s vlnovou délkou nad 800 nm.



Obrázek 1.11 Vlnová délka slunečního záření [23]

Energie fotonů je různá, je zde přímá úměra mezi vlnovou délkou a jeho velikostí. Čím je větší vlnová délka, tím je má foton více energie, která se udává v elektronvoltech. Červené světlo s nižší frekvencí a delší vlnovou délkou má energii fotonů 1,57 eV oproti fialovému s vyšší frekvencí, kratší vlnovou délkou a energii fotonu 3,18 eV. [23]

S pomocí dnešní technologie stále nedokážeme vyrobit fotovoltaické články, které by dokázaly přeměnit veškeré dopadající světlo na elektrickou energii.

1.6.1 Pasivní solární systémy

Tento druh solárního systému využívá princip skleníkového efektu, tepelná energie se využívá přímo v místě vzniku, bez aktivního transportu. Každá budova nebo její část konstrukce, využívá tepelnou energii okolí. Budovy, které využívají v co největší míře sluneční energii v rámci své konstrukce, jsou nazývány pasivní heliocentrické budovy. K využití tohoto systému je důležitá orientace objektu nebo jeho části s pasivním systémem na jižní stranu, kde jsou zisky sluneční energie nejvyšší. Mezi základní a často používané solární systémy jsou solární okno, veranda, pergola, clona nebo žaluzie a v neposlední řadě zimní zahrada.

Pasivní solární systémy lze rozdělit na: [24]

- a) podle způsobu využití sluneční energie:
 - přímé (sluneční záření prochází přímo do místnosti přes zasklení)
 - nepřímé (sluneční záření se do místnosti dostává ve formě tepelné energie, kterou vyzářuje akumulární stěna)
 - hybridní

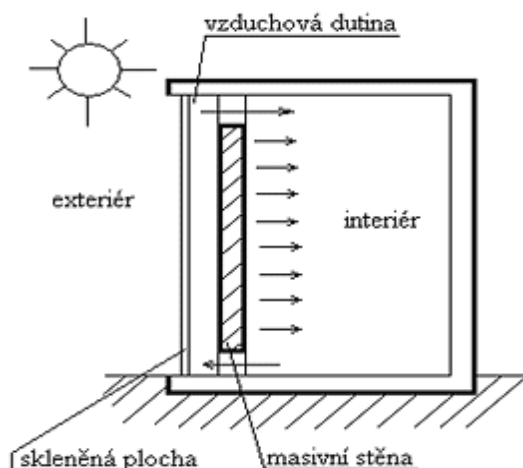
b) podle umístění v konstrukci:

- prvky umístěné v obvodových stěnách orientovaných na jih
- střešní prvky
- přídatné prvky

Jednou z možností jsou energetické fasády, pracující na principu jednoduchého vzduchového kolektoru. Transparentní vrstva je skleněná deska a absorpční povrch je fasáda objektu. Systém pracuje jako větrací šachta s přirozenou cirkulací vzduchu. Výhoda je možnost zásobovat teplem celý objekt. [5, 24]

Dvojitě transparentní fasády jsou také na principu vzduchového kolektoru, je tvořen skleněnými deskami umístěnými před obvodovou konstrukcí, která je prosklená. Ve vzniklé mezeře jsou umístěny stínící prvky a otvory umožňujícími proudění a regulaci vzduchu ve vnějším plášti. Je to koncepční řešení větrání a zlepšení tepelné izolace. [24]

Další možností jsou akumulční solární stěny. Jižní strana funguje na principu kolektoru. Funkci zásobníku tepla plní masivní stěna a podlaha, zabraňuje přehřátí a následně uvolňuje teplo. Toto je základní princip Trombeho stěny viz obrázek 1.12.



Obrázek 1.12 Trombeho stěna [24]

Jedná se o stěnu z masivního materiálu s tmavou barvou z vnější strany. Před ní je umístěna prosklená plocha ve vzdálenosti asi 10 cm. U podlahy a u stropu je stěny vybavena uzavíratelnými průduchy. Teplo je šířeno do místnosti radiací ze stěny a konvekcí přes průduchy. Vytápění je možné regulovat uzavíráním a otevíráním průduchů.

Další možností je nezasklený solární vzduchový kolektor, jehož základem je tmavý, děrovaný trapézový plech, jenž se umísťuje na fasádu ve vzdálenosti 2 - 4 cm od zateplené obvodové stěny. Podtlak mezi fasádou a plechem se vytvoří ventilátorem, vzduch pak stoupá dutinou, ohřeje se a je distribuován běžným větracím zařízením. Teplotu vzduchu je možné zvýšit o 10 - 25 °C, systém má účinnost 60 - 70 % a snižuje tepelné ztráty.

U energetické střechy se jedná o vzduchový kolektor, který je zabudovaný do roviny střešní konstrukce. Většinou se kombinuje se stěnovým vzduchovým kolektorem. Pro dosažení účinného vztaku v letním období s přirozenou cirkulací vzduchu je nutný daný výškový rozdíl mezi vstupem a výstupem proudění vzduchu, systém je tedy vhodný pro šikmé střechy se sklonem minimálně 30°. [24]

Transparentní tepelné izolace jsou vyráběny ze skleněného nebo plastového materiálu, výhodně kombinují dobrou propustnost slunečního záření a nízkou tepelnou ztrátu, tím se snižují potřeby tepelné energie v budovách. V praxi se před masivní stěnou umístí transparentní izolace, která umožní projít slunečnímu záření, ale vzhledem ke svému vysokému tepelnému odporu omezí přenos tepla zpět do exteriéru. Tepelná energie se proniká stěnou do interiéru, je to systém tepelně akumulacím vlastností stěny.

Objekty je také nutné chránit proti nadměrným tepelným ziskům zejména v letních měsících. Lze to pomocí clonění okenních otvorů, jak pevných lamelových nebo roštových, tak pohyblivých jako jsou markýzy, pohyblivé lamely a žaluzie, shrnovací žaluzie aj. Je možností využít také okenní výplně se sklem se sníženou propustností slunečního záření, tedy antireflexní fólie.

1.6.2 Aktivní solární systémy

Aktivní solární systémy využívají sluneční energii k výrobě elektrické energie, a nebo tepelnou energii k ohřevu teplotnosného média.

1.6.2.1 Solární kolektory

Solární kolektory se nejvíce používají na ohřev TUV a můžou mít mnoho provedení.

Monovalentní systémy

Neobsahují žádný přídavný zdroj tepla, pracují pouze se solárními kolektory. V našich klimatických podmínkách jsou vhodné jen pro sezónní ohřev vody. V případě využití tohoto systému je nutné využití velkých kolektorových ploch pro zajištění dostatečného množství tepla. Jako přídavný zdroj tepla může být plyn, elektřina nebo tepelné čerpadlo.

Jednookruhové a dvouokruhové

Tyto varianty systému se odvíjejí od způsobu cirkulace teplonosné kapaliny.

Samotížné systémy využívají k cirkulaci gravitaci, chladnější kapalina s vyšší hustotou klesá. Zásobníky tepla se umísťují výše než kolektory. Tento systém má své nevýhody, jedním je již zmíněné umístění zásobníku výše než kolektory, kolektory bývají umísťovány na střechu objektu a celek systému bez přídavného čerpadla je špatně regulovatelný.

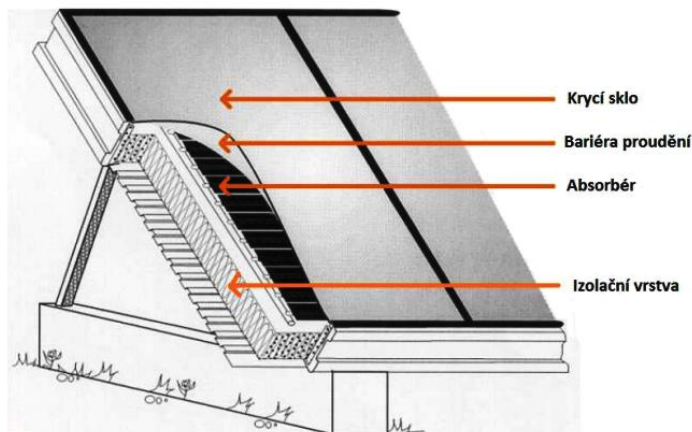
V dnešní době se využívá nucený oběh s čerpadlem.

Jednookruhové systémy jsou bez výměníku tepla, voda je ke spotřebě přivedena přímo z kolektorů. Řešení je jednoduché a levné, ale má i několik rizik. Voda proudící kolektory nesmí obsahovat nemrznoucí látky a může v chladném období zamrznout, bude docházet k zanášení kolektoru usazeninami, můžou se zde tvořit řasy a bakterie a pitná voda se zde může kontaminovat. Tento systém je nejvhodnější na ohřev vody v bazénech. [25, 26]

Ve dvouokruhovém systému je voda určená ke spotřebě oddělená od kapaliny v kolektorech. Předání tepelné energie je provedeno pomocí výměníku tepla v tepelném zásobníku. Primární okruh s kolektorem obsahuje speciální teplonosnou kapalinu. [26]

Ploché kolektory

Pro ohřev TUV jsou nejčastěji využívány ploché kolektory viz obrázek 1.13. Koncentrující kolektory nejsou vhodné, nevyužívají skoro žádné difúzní záření.

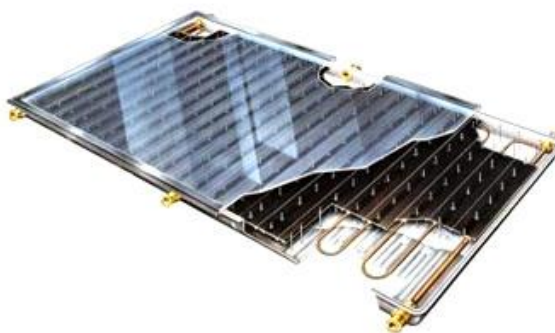


Obrázek 1.13 Plochý kolektor [26]

Sluneční záření proniká přes krycí sklo na absorbér, kde se mění v teplo. Teplo je předáno teplotonosné tekutině, která proudí pod absorpční plochou. Proti tepelným ztrátám je pod absorbérem izolace. Nátěrová vrstva je určena k tomu, aby absorbér zachytil co největší množství tepelné energie ze slunečního záření, zabraňuje také o 5 – 10 % tepelným ztrátám sáláním a zachytává více difuzního záření. Celková účinnost kolektorů je 75 – 80 %. [25, 26]

Kolektor může obsahovat další vrstvu a to tenkou transparentní folii na vrstvě skla, která má za úkol zabránit cirkulaci vzduchu mezi absorbérem a krycím sklem. Umisťuje se tak, aby se nedotýkal absorbéru, vrstva snižuje propustnost slunečního záření a není tedy vždy využívána.

Do varianty plochých kolektorů patří vakuové, viz obrázek 1.14, tedy s nízkým tlakem vzduchu okolo 100 Pa. Podtlak snižuje ztráty prouděním, je technologicky náročné ho udržet. Vniklý vzduch je nutné občas odčerpat, aby byly kolektory vyplněny vakuem. Jako výplň je možné použít jeden ze vzácných plynů a to krypton. Tato dvě řešení jsou drahá a obvykle se využívají kolektory vyplněny vzduchem. [4, 25, 26]



Obrázek 1.14 Plochý vakuový kolektor [24]

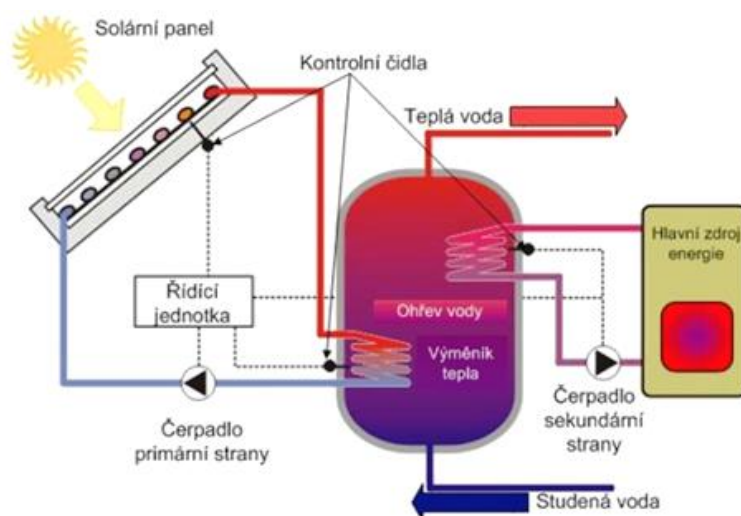
Vakuový trubicový kolektor

Kolektory jsou tvořeny řadami skleněných trubic a uvnitř nich je uložen absorber. Vakuum se v takém typu kolektoru udržuje snadněji, vzhledem jiným mechanickým vlastnostem než u ploché desky kolektoru. Mezi nevýhody patří nižší propustnost slunečního záření, ale ta je kompenzována velmi nízkými ztrátami proudění a tepelnou vodivostí. Účinnost tohoto typu kolektoru, který je na obrázku 1.15, je v letních měsících přes 80 %.



Obrázek 1.15 Vakuový trubicový kolektor [27]

Má vyšší účinnost v zimní období, protože jeho absorber je izolovaný od okolního vzduchu a v chladném období nedochází téměř k žádnému přenosu tepla. Proti této výhodě však stojí účinná plocha kolektoru, jelikož je absorber umístěn v trubici, musí být od sebe více vzdáleny a tím je plocha celého kolektoru větší. Mají svůj význam pro celoroční provoz.



Obrázek 1.16 Solární dvouokruhový systém [24]

Solární systém

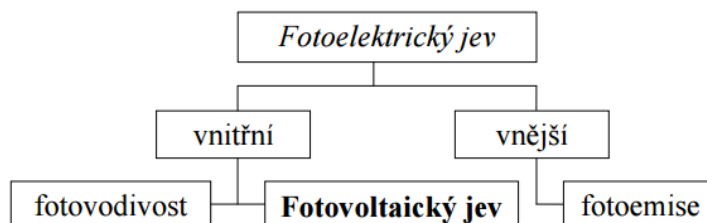
Na obrázku 1.16 je znázorněn dvouokruhový solární systém a jeho části. Základní částí je teplonosná kapalina, která má nízkou viskozitu, vysokou tepelnou kapacitu, pro odvod tepla z kolektorů a nesmí být agresivní vůči jiným částem systému. Kombinaci těchto podmínek splňují nemrznoucí směsi v kombinaci s čistou vodou.

V tepelném zásobníku dochází k předávání a akumulaci tepla z kolektoru. Je to objemná tepelně izolovaná tlaková nádoba, nejčastěji válcovitého tvaru. Uvnitř je výměník tepla, který zajišťuje předání tepelné energie z jednoho okruhu do druhého. Pro správnou cirkulaci vody a zabránění vrstvení různých teplot je solární výměník vždy umístěn ve spodní části tepelného výměníku.

Čerpadlo je hnací částí systému a zajišťuje cirkulaci v daném okruhu systému, ve kterém je napojeno. Spojovací části jsou z měděných trubek a měly by být co nejmenší délky, aby nedocházelo ke ztrátám tepla. Celý systém je řízený autonomní jednotkou pro automatickou regulaci.

1.6.2.2 Fotovoltaika

Fotovoltaika je technologie pro přímou přeměnu slunečního záření na elektřinu za pomoci fotoelektrického jevu. Je považována za trvale udržitelnou technologii, a to ze dvou důvodů. První je, že využívá nejdostupnější obnovitelný zdroj energie na Zemi, a to je sluneční záření. Další důvod je, že energie vložená do výroby fotovoltaických panelů a dalších komponent se v podmínkách České republiky vrátí asi za 2 roky, přičemž očekávaná životnost panelů přesahuje 30 let.



Obrázek 1.17 Rozdělení fotoelektrického jevu [28]

Vnější fotoelektrický jev, tedy fotoemise, je v praxi využívána k registraci světelných toků pomocí fotonek či fotonásobičů. Technicky nelze fotoemisi využít k výrobě elektrického proudu. Účinnost přeměny sluneční energie na energii elektronů je

velmi nízká, kolem 0,01 %.

Každé záření má duální charakter, charakter vlnění a částicový. Skládá se z částic, fotonů, které v určitých podmínkách vykazují vlastnosti vlnové energie, jež je nesena částicemi. Tuto energii je možné vyjádřit vztahem:

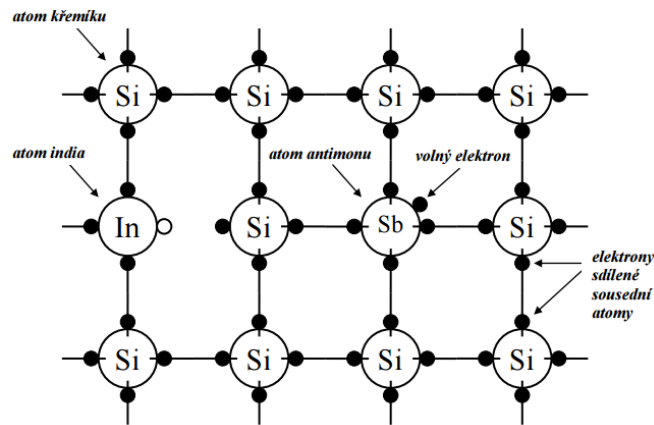
$$E = h \cdot f = \frac{(h \cdot c)}{\lambda} \quad [J] \quad (1.16)$$

kde E je energie, c je rychlost světla ve vakuu, $2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, h je Planckova konstanta, $6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, f je frekvence a λ je vlnová délka.

Pokud dodáme uvedenou energii na povrch materiálu, může dojít k odtrhnutí valenčních elektronů od mateřských atomů v krystalické mřížce materiálu. K odtržení dojde jen za předpokladu dodání určitého množství energie, ta závisí na vlnové délce záření a na materiálu. Čím vyšší je frekvence (čím je kratší vlnová délka záření), tím větší je energie jeho kvant. [28]

Fotovodivost je jev, který se využívá u fotovoltaických článků. Jde o jev, kdy se elektrony vázané v krystalické mřížce pevné látky vybudí do vyššího energetického stavu absorbováním určitého kvanta záření. Elektrony se tak stanou volnými a mohou zprostředkovávat vodivost, která je závislá na množství absorbovaného elektromagnetického záření. Jedná se o polovodiče vyrobené převážně Si. Tento prvek je za nízkých teplot dobrým izolantem. Zvýšením teploty se stává elektricky vodivým, to způsobí zvýšení kmitání atomů v krystalické mřížce Si. Následkem toho uvolní vazby v krystalické mřížce, uvolní se elektrony a po jejich odtržení vznikají kladné díry, které představují kladné nosiče náboje. Aby došlo k přeměně energie záření na energii volných nábojů, musí dojít k překonání zakázaného pásu, který je mezi valenčním a vodivostním pásem polovodiče. K tomu je zapotřebí dostatečné množství energie a v případě materiálu z čistého Si, musí být připojena baterie, aby došlo k usměrněnému pohybu elektronů. [24, 28]

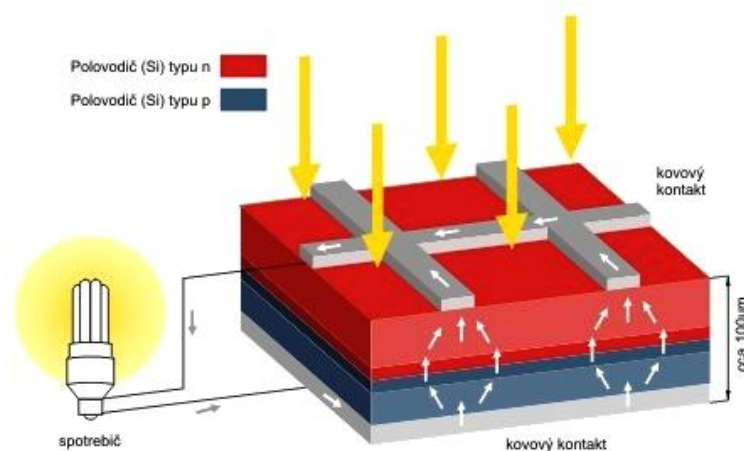
Jak je vidět na obrázku 1.17, fotovoltaický jev je další část z celkového fotoelektrického jevu. Při záměrném znečištění Si troj nebo pětimocnými prvky se mění vodivost, především při nízkých teplotách. Při teplotě okolo 20°C je počet nábojů a vodivost na teplotě prakticky nezávislá.



Obrázek 1.18 Znárodnění struktury polovodiče [27]

Pokud bude do Si s čtyřmi valenčními elektrony přimísen pětimocný prvek, např. Sb, bude jeden elektron jen slabě vázán. Postačí tedy poměrně malá energie, aby byl od atomu odtržen, vytvoří se volný záporný nosič, který tvoří majoritní nosiče. Kladné díry vzniklé ve valenčním pásu reprezentují minoritní nosiče. Takto dotovaný křemík je polovodič typu n, tedy donor, protože dává volné elektrony do vodivostního pásu. Schéma znázornění je na obrázku 1.18.

Pokud bude Si dotován prvkem trojmocným, například In, vazbě se sousedním atomem se může podílet pouze třemi elektrony. Čtvrtý může být dodán ze sousední křemíkové vazby, tak se vytvoří díra ve valenčním pásu polovodiče, která je volně pohyblivá uvnitř krystalu a způsobuje vodivost materiálu. Zde jsou díry nosiči majoritními a elektrony pouze minoritními. O této vodivosti mluvíme jako o vodivosti typu p. Když budou mřížky těchto dvou polovodičů na sebe navazovat vznikne uprostřed hraniční vrstva. Kde mohou volné nosiče v obou materiálech volně difundovat, elektrony především z polovodiče typu N do P a díry právě obráceně.

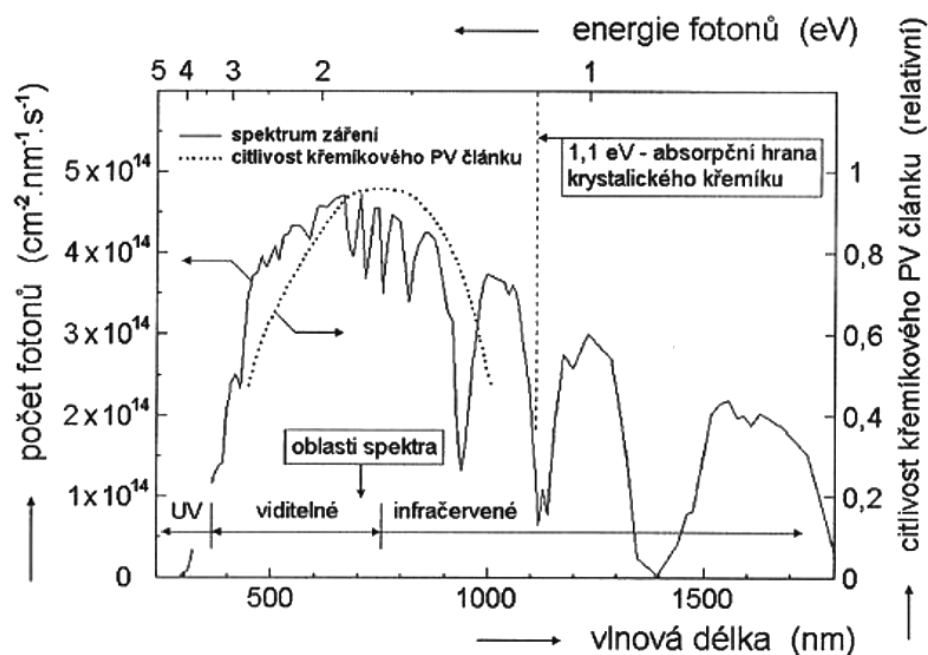


Obrázek 1.19 Princip činnosti fotovoltaického článku [27]

Fotovoltaický článek je ve své podstatě velkoplošná dioda tvořená PN přechodem, princip činnosti je znázorněn na obrázku 1.19. Na rozhraní typu P a N materiálu vzniká přechodová vrstva PN, jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci. V této vrstvě je elektrické pole určité intenzity a způsobuje pohyb volných nosičů náboje, vznikajících při absorpci elektromagnetického záření.

Ve fotovoltaickém článku, na který působí fotony o určité vlnové délce, jsou generovány elektricky nabitě částice, pár elektron – díra. Elektrony se poté separují působením vnitřního elektrického pole PN přechodu. Zátěží, která je připojena mezi kladný a záporný pól článku, protéká ss proud. Protékající proud je přímo úměrný ploše fotovoltaického článku, intenzitě a vlnové délce dopadajícího světla.

Spektrální citlivost souvisí se spektrem dopadajícího elektromagnetického záření, je přímo určena šířkou zakázaného pásu daného polovodiče, v nejběžnějších případech mono nebo polykrystalického křemíku. Šířka tohoto pásu Si je 1,1eV. Fotony s energií menší, než je šířka zakázaného pásu, projdou. Fotony s větší energií jsou pohlceny. Dojde k excitaci elektronů přes pás, vzniknou volné vodivostní elektrony a díry. Při interakci fotonů s velmi vysokou energií dojde k excitaci elektronů přes pás do vyšších hladin vodivostních pásů. Elektrony se ale snaží umístit co nejbližší zakázaného pásu. Energie elektronu, který absorboval elektromagnetické záření, je větší než energie elektronů v nejnižším vodivostním orbitalu. Rozdíl energie elektronu s vysokou energií je přeměněna na fotony.



Obrázek 1.20 Spektrální citlivost fotovoltaického článku – monokrystalický křemík [27]

Účinnost fotovoltaického článku je poměr mezi intenzitou dopadajícího záření, energií fotonů dopadajících na fotovoltaický článek a energií přeměněnou článkem.

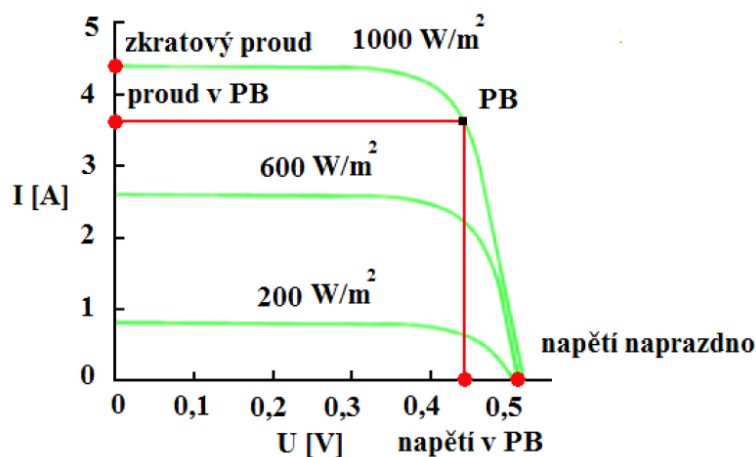
$$\eta = \frac{P'}{P} \cdot 100 [\%; W, W] \quad (1.17)$$

Kde η je účinnost,

P' - získaná energie,

P - intenzita záření.

Solární článek je možné charakterizovat V-A charakteristikou při různých intenzitách světlení. Pracovní bod této charakteristiky je ten, ve kterém solární článek aktuálně pracuje. Jeho poloha je závislá na charakteristice proudu, napětí a na připojeném spotřebiči.

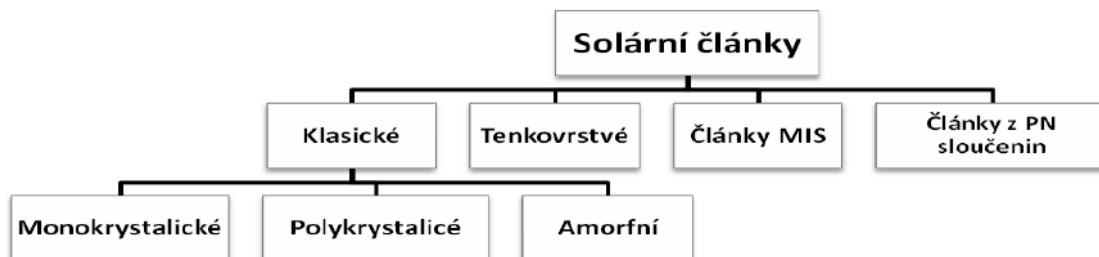


Obrázek 1.21 V-A charakteristika Si solárního článku [30]

Výkon fotovoltaického článku je možné vyjádřit jako součin proudu a napětí. Graficky na obrázku 1.21, plocha pod červenou křivkou vymezenou pracovním bodem. Jeho pracovní napětí je stanoveno připojeným akumulátorem nebo invertorem. Každý solární článek má svůj vlastní bod na charakteristice, ve kterém výkon dosahuje maxima tzv. MMP. U článku s rozměrem 10 na 10 cm a proudu 3 - 6 A tato hodnota MMP v rozmezí 1,5 až 3 W. V bodě režimu naprázdno a nakrátko je článek bez výkonu. Dalším faktorem, který ovlivňuje výkon, je pracovní teplota. Článek je závislý na ochlazování okolím a na intenzitě dopadajícího záření.

Druhy solárních článků

Na obrázku 1.22 je znázorněno dělení solárních článků. Klasické solární články jsou děleny na monokrystalické, polykrystalické a amorfni články. Jejich tloušťka je 0,2 - 0,3 mm.



Obrázek 1.22 Rozdělení solárních článků [28]

Monokrystalické solární články jsou vyráběny z velmi čistého Si, který je běžně užíván v mikroelektronických aplikacích. Tyto solární články mají účinnosti pohybující se v praxi kolem 12 - 18 %.

Polykrystalické solární články jsou v dnešní době nejběžnější typ solárních článků s účinností 11 - 13 %. Tyto články jsou oproti výše uvedeným článkům vyráběny odléváním Si. Tato metoda je méně nákladná, ale dochází zde k zhoršení elektrických vlastností článků. Mezi jednotlivými krystaly je větší odpor.

Amorfni solární články mají oproti článkům monokrystalickým a polykrystalickým řadu výhod. Od méně nákladné a flexibilní výroby po další, jako je velké napětí naprázdno a vysoká absorpce světla. Tyto články mají účinnost 5 - 7 %, až 13 % s vícevrstvou strukturou. Jejich nejčastější použití je jako krycí fólie na střeších domů nebo v oblasti malých výkonů, např. přenosné solární nabíječky.

Tenkovrstvé solární články mají tloušťku několika mm. Dokáží lépe využívat dopadající světelného záření, mají kratší dráhu k PN přechodu. Nejběžnější tenkovrstvé solární články jsou vyráběny z amorfniho Si nebo sloučenin $\text{CuInSe}_2\text{-ZnO}$ nebo CdTe-CdS s účinností 12 - 14 %.

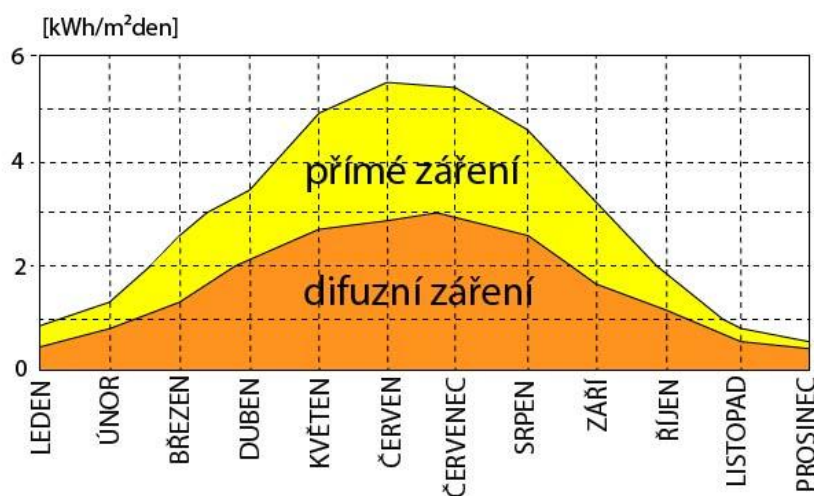
Solární články MIS (kov - izolátor - polovodič) s inverzní vrstvou používají polykrystalický nebo monokrystalický Si. Tyto články pracují jako polovodičové diody s indukovaným PN přechodem. V laboratorním prostředí dosahují tyto články účinnosti až 15 %.

Solární články z PN sloučenin jsou vyráběny z GaAs, CdS, nebo CdTe. Jedná se o vícevrstvé struktury, které mají lepší využití energie ze slunečního záření a tím i vyšší účinnost. Sluneční spektrum obsahuje fotony o různých vlnových délkách, pro jejich úplné využití je vhodná vícevrstvá struktura, kde každá může využít jinou část spektra.

V současnosti je rozpracovávána celá řada dalších konceptů, které slibují zvýšení účinnosti. Většina z nich je pouze ve fázi teoretického jednání se například o: [28]

- Nanostruktury, které umožňující řídit šířku zakázaného pásu.
- Termo-fotovoltaické články, selektivní absorber ohříváný slunečním zářením vyzařuje dlouhovlnné záření v úzkém pásmu, to odpovídá šířce zakázaného pásu.

Fotovoltaické panely složené z monokrystalických nebo polykrystalických fotovoltaických článků jsou nejvhodnější pro přímé záření, na rozdíl od tenkovrstvých, které umějí dobře využít i záření difuzní. Rozdělení difuzního a přímého záření viz obrázek 1.23. V celoročním úhrnu vyrobí tenkovrstvý panel více energie z jednotky instalovaného výkonu, maximálně o 10 %.

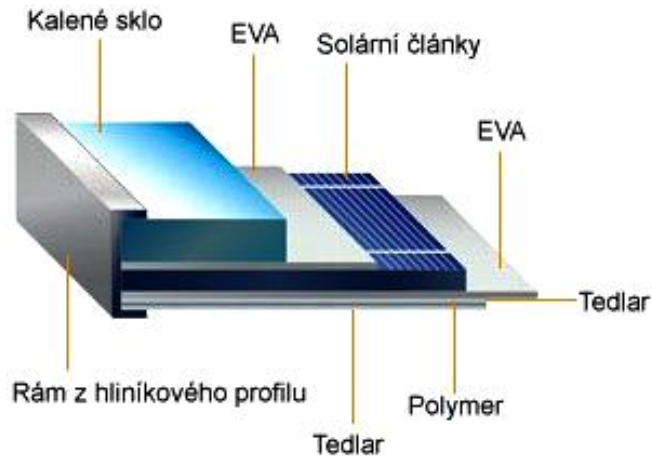


Obrázek 1.23 Závislost přímého a globálního záření na ročním období [7]

Jediný fotovoltaický článek má velmi malé využití a výstupní napětí je 0,5 V. Články se podle napětí a odebraného proudu spojují, vytvářejí tak fotovoltaický modul neboli panel. FV je složen s článků zapojených sériově, pro napětí 12V je obvykle nutno tato zapojit 36 článků. Proti poškození jsou moduly ukládány do hermeticky uzavřených pouzder.

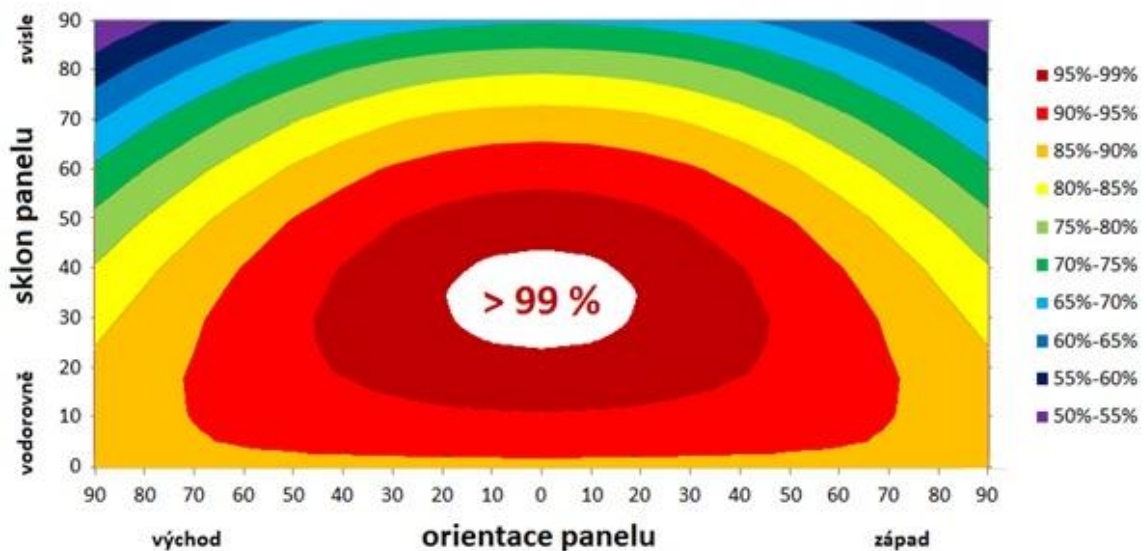
Konstrukce panelu je znázorněna na obrázku 1.24. Celý panel je zasazen do hliníkového rámu pro lepší stabilitu a možnost uchycení, na horní straně modulu kalené sklo s vysokou propustností a nízkou odrazivostí slunečních paprsků, to chrání

křemíkové články proti mechanickému poškození. Etylvinylacetátové fólie neboli EVA, odděluje články od skla a od izolačních částí jako je tedlar a polymer.



Obrázek 1.24 Konstrukce FV [28]

Hlavním kritériem pro výběr FV je rovnoměrná výroba elektrické energie v průběhu daného období. Tento hlavní aspekt ovlivňuje klimatické podnebí, sklon střechy, odklon od jižní strany, aktuální roční období.



Obrázek 1.25 Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci FV [24]

V současné době je výhodnější umístit panely na střechu paralelně se střešní krytinou. Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci FV panelu je na obrázku 1.25.

Existuje několik způsobů, jak zvýšit výkon FV. Jedním z nich je pohyblivý stojan. Pokud je FV umístěn pevně, není schopen kopírovat trajektorii slunce tak, aby splňoval ideální úhel dopadu slunečního záření na fotovoltaický článek. Pokud využijeme konstrukci, která pomocí motorů umí sledovat trajektorii slunce, zvýšíme výkon solárního systému. Mezi výhodami je značné zvýšení celkové účinnosti solárního systému a mezi nevýhodami náklady na pohyblivé konstrukce a jejich zabudování, energie na provoz natáčecích motorů a elektroniky a nároky na prostor.

Další možností jsou koncentrátoři, tedy zrcadla. Osvětlení panelů je pak dané součtem dopadajícího přímého záření a odraženého záření zrcadel. Výhodou je samozřejmě zvýšená účinnost a jednoduchá konstrukce. Mezi nevýhody patří další náklady, rozměry konstrukce, možnost znečištění zrcadel a neméně zanedbatelné větší zahřívání záření.

Dalšími systémy na bázi koncentrátorů jsou systémy z čoček, nejčastěji Fresnelovy s lineárním ohniskem v řezu v kombinaci se zrcadly. Systém má bohužel složité provedení a není moc využívaný.

2 Grid-off systém

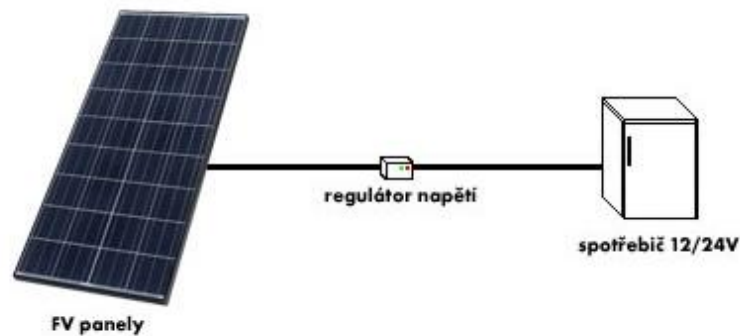
Grid-off neboli ostrovní systém, jak už sám název napovídá, je instalace nezávislá na distribuční síti a není s ní spojena. Realizace probíhá v případech, kdy není možné napájet objekt z veřejné distribuční sítě nebo tam, kde by náklady na vybudování přípojky byly nerentabilní. V těchto systémech je kladen důraz na minimální ztráty energie, toto je spojeno s využíváním energeticky úsporných spotřebičů, aby návratnost nákladů na výstavbu celého systému byla co nejdříve.

Systém lze využít pro napájení kapesních systémů, přes malé zařízení s výkonem stovek wattů, až po napájení celých obytných budov s výkonem v kilowattech. Vše závisí na instalovaném výkonu fotovoltaických nebo větrných elektráren, výkonu jednotlivých zdrojů. Důležité je také velikost akumulčních zařízení a na zařízeních, která grid-off systém napájí.

2.1 Dělení a využití grid-off systémů

Nejjednodušší varianta dělení grid-off je systém s přímým napájením viz obrázek 2.1. Napájené elektrické zřízení je funkční jen po dobu slunečního svitu. Je to jen

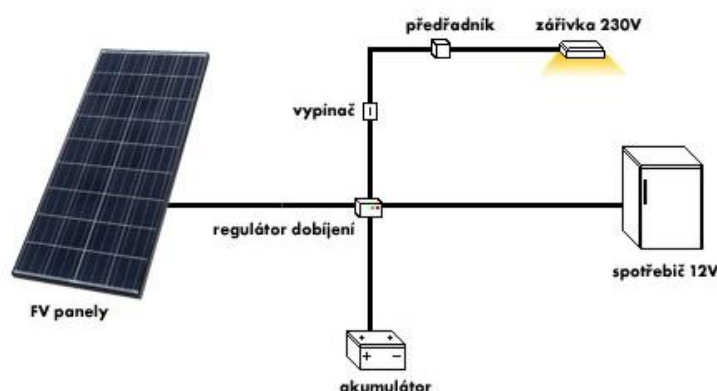
propojení FV panelů se spotřebičem přes regulátor napětí. Využití například pro napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu TUV, pohon protislunečních clon nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů. [7, 8, 21]



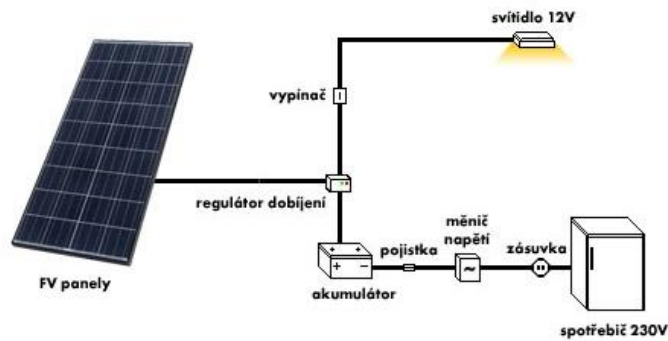
Obrázek 2.1 Systém s přímým napájením [8]

Druhá varianta se využívá v případech, kdy je potřeba elektrické energie i v době bez slunečního záření, je tedy nutné akumulovat energii. Nejvhodnější jsou baterie pro pomalé nabíjení a vybití, toto je zajištěno regulátorem dobíjení. Do systému lze připojit spotřebiče na stejnosměrný proud (12/24 V) viz obrázek 2.2, při potřebě běžného spotřebiče je nutné napájení přes měnič napětí, viz obrázek 2.3.

Systémy lze využít jak na napájení objektů, dopravní signalizace nebo telekomunikačních zařízení, ať už jen solární zařízení pro nabíjení telefonu nebo napájení celého vysílače. Dále to můžou být zařízení na monitorování přístrojů v terénu, zahradní osvětlení, světelné reklamy, parkovací automaty atd. [7, 8, 21]

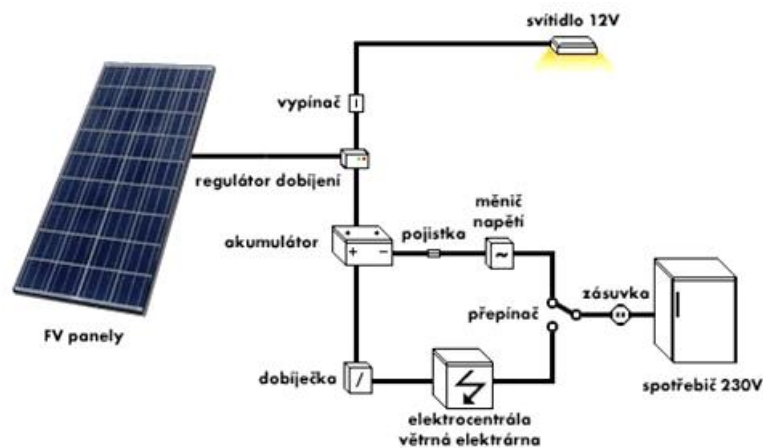


Obrázek 2.2 Systém s akumulací elektrické energie (12/24 V) [8]



Obrázek 2.3 Systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [8]

Poslední varianta je hybridní solární systém a je znázorněn na obrázku 2.4. Instaluje se, tam kde je celoroční provoz a kde se využívá zařízení s vysokým příkonem. Jen FVE je nutné dimenzovat na zimní provoz, kdy je výtěžnost zdroje podstatně menší než v letních měsících. Zvyšují se tím i pořizovací náklady. Nejlepší alternativou je rozšíření systému o další zdroj elektrické energie, který bude pokrývat výpadky nebo období s nedostatečným slunečním svitem. Doplňkový zdroj v takovémto případě může být elektrocentrála, kogenerační jednotka, větrná elektrárna, vodní elektrárna nebo kombinace již zmíněných zařízení. [7, 8, 21]



Obrázek 2.4 Hybridní systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [8]

Ostrovní systémy se převážně budují na rekreačních objektech, kde není možné připojení k distribuční síti. Objekty nejsou využívány celoročně a instalované výkony se ve většině případů pohybují do 10 kW.

Aplikace pro rodinné domy jsou složitější a instalované výkony přesahují 10 kW, především když je objekt vytápěn elektrickou energií.

V menším a jednodušším měřítku je to například elektrická energie pro zahradní

doměk, mobilní domy, karavany a lodě. V neposlední řadě také pro zavlažování a čerpání vody. V suchých oblastech je někdy FV systém pro pohánění čerpadla pro čerpání vody ze studní nebo vrtu jedinou možností pro zásobování vodou.

Neméně významné jsou systémy, které jsou součástí univerzit a výzkumných pracovišť, kde se využívají při výuce a výzkumu nových kombinací, vylepšení a regulace.

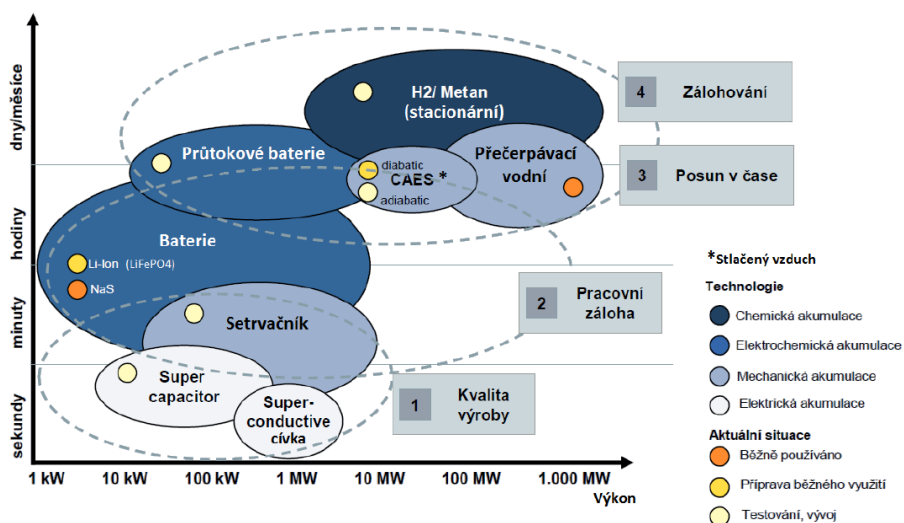
2.2 Základní komponenty autonomního systému

Mezi základní části grid-off systému patří, s ohledem na jeho typ, zdroj elektrické energie jako je elektrocentrála, kogenerační jednotka, fotovoltaika, větrná elektrárna nebo jejich kombinace. Další části jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

2.2.1 Akumulace energie

V dnešní době je na trhu celá řada systémů pro akumulaci energie. Pro tyto systémy je charakteristický požadavek na jejich vysokou účinnost, dlouhodobou stálost, vysokou životnost, dále nízké požadavky na údržbu, vysokou hustotu akumulované energie a často také nízkou hmotnost.

Z Obrázku 2.5 je patrné, že v systémech grid-off je nejlepší volba akumulace pomocí baterií. U správně navržených systémů předpokládáme potřebu akumulace maximálně v rádech hodin.



Obrázek 2.5 Akumulace elektrické energie [31]

Baterie pracují na principu elektrochemické akumulace, jde o systém kladné a záporné elektrody ponořené do elektrolytu. Dělí se podle materiálu elektrody a druhu elektrolytu.

Ni-Cd akumulátory

Kladná elektroda této baterie je pokryta aktivním materiálem NiOOH, na záporné elektrodě je houbovitě Cd. Elektrolytem je roztok KOH. Vynikají vysokou spolehlivostí za extrémních provozních stavů, vysokou hustotou energie na jednotku hmotnosti a objemu $100 \text{ Wh}\cdot\text{dm}^3$, dobrou odolnost na přebíjení a nadměrné vybíjení, nízké samovybíjení a jsou odolné vysokým teplotám. Životnost je 500 – 8000 cyklů, kapacita je 40 – 1110 Ah. Provozní teplota se pohybuje od -50°C do 70°C . Nevýhodou baterií je tzv. paměťový efekt, pokles kapacity. [31]

Ni-MH akumulátory

Nejsou zatíženy v takové míře paměťovým efektem jako Ni-Cd. Mají objemovou koncentraci energie $300 \text{ Wh}\cdot\text{dm}^3$. Životnost je 500 - 1000 cyklů dle hloubky vybití. Mezi nevýhodami je vysoká cena, samovybíjení a nižší provozní teploty do 0°C . [24,31]

Li-ion akumulátory

Anoda je tvořena uhlíkem, katoda je tvořena oxidem kovu a elektrolyt je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Má vysokou objemovou koncentraci $1000 \text{ Wh}\cdot\text{dm}^3$, malé samovybíjení a nemá paměťový efekt. Mezi nevýhodami je vysoká cena, špatné snášení vysokých teplot, přebíjení a podbíjení. Životnost okolo 3000 cyklů s provozními teplotami -40°C až 75°C . [24, 31]

LiFePO₄ akumulátory

Tyto akumulátory patří mezi nejmodernější nástupce lithiových baterií. Oproti nim mají vysoké vybíjecí a nabíjecí proudy, ale při jejich využití se zkracuje jejich životnost. Výhodné je provozovat baterie v rozmezí 30-90 % celkové kapacity, nedochází k poškozování článku a baterie je možné lépe využívat. Tento typ nemá téměř žádné samovybíjení a paměťový efekt, Jejich provozní teplota je -45°C – 85°C . Životnost akumulátoru je závislá na počtu a hloubce vybíjecích cyklů. Mezi nevýhody patří nutnost balancování při spojení více článků. [24, 31]

Olověné akumulátory

V dnešní době nejrozšířenější způsob akumulace v grid-off systémech.

Lze je rozdělit:

- Se zaplavenou konstrukcí.
- Řízené ventilem, bezúdržbové - VRLA

Dělení podle typu elektrod:

- deskové,
- trubkové,
- spirálové.

Deskové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí patří mezi nejlevnější, jsou relativně velké těžké. Hustota energie kolem $50 \text{ Wh} \cdot \text{dm}^3$. Životnost se pohybuje mezi 0,5 až 3 roky, tedy nízká.

Trubkové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí mají vyšší životnost 5 až 8 let. Tento typ je náchylný na sedání elektrolytu, což vede ke snížení kapacity a maximálního proudu akumulátoru. Tomuto jevu se dá předejít, nutností je tedy údržba, kontrola a doplňování elektrolytu vodou.

2.2.2 Regulátor nabíjení

Je řídicí člen každého grid-off systému, který využívá akumulace energie v akumulátorech. Regulátor se zapojuje do série mezi FV, případně jiným zdrojem elektrické energie, a akumulátorem. Reguluje průběh nabíjení a zajišťuje:

- Optimální nabíjení akumulátoru, pro dosažení nejdelší životnosti. Při úplném nabití akumulátoru regulátor odpojuje generátory elektrické energie, nebo omezuje nabíjecí napětí po určité době na hodnotu koncového nabíjecího napětí, které je přípustné pro danou baterii.
- Zabraňuje vybíjení akumulátoru, při zapojení FV se za tmy panel chová jako spotřebič, je to dáno jeho vnitřním odporem.
- Ochrana akumulátoru před hlubokým vybitím, regulátor odpojuje připojené spotřebiče a zabrání tak poškození akumulátoru.

Regulátory s integrovaným převodníkem ss napětí regulují napětí tak, aby FV mohly

pracovat při optimálním napětí, protože provozní napětí systému je závislé na napětí v akumulátorech, toto může snížit činnost FV až o 30 %.

2.2.3 Invertor

Neboli měnič napětí jeho úkolem je převod ss na st proud. Tento převod je nezbytný při využívání běžných spotřebičů v domácnosti. Převod ss na st se provádí pomocí elektronických výkonových tranzistorů nebo diodového usměrňovače, vzniklý signál se dále transformuje na požadované výstupní napětí s danou frekvencí, např. 230V 50 Hz.

Výkon měniče je dán předpokládanému příkonu spotřebičů. Musí mít vysokou účinnost i při nízké zátěži, odolný vůči krátkodobému přepětí, malou vlastní spotřebu, musí zvládat krátkodobé vysoké hodnoty rozběhového proudu. Ochrana proti přepětí je samozřejmostí.

V ostrovním systému je invertor připojen na svorkovnice akumulátorů a střídavý proud vyrábí z napětí 12 V/24 V.

3 Návrh grid-off systému pro rodinný dům

Při návrhu grid-off systému a jeho správnou funkci je důležitým hlavním předpokladem optimální volba zdrojů elektrické energie. Při předimenzování systému nebude optimálně využíván, přebytečná energie se bude muset umořovat nebo se zdroj bude muset odstavovat. Investiční náklady budou zbytečně vysoké a umořování vyrobené energie nebude ekonomické. Při volbě poddimenzovaného systému bude chybějící energie dodávána záložním zdrojem, její výroba bude ekonomicky náročnější a budou vzrůstat provozní náklady. Nabíjení a vybíjení baterií nebude prováděno správním způsobem, to může mít za následek jejich poškození.

Aby systém mohl fungovat, musí být celý oddělený „elektrickým oddělením“ od veřejné distribuční sítě. Podstata této ochrany je v galvanickém oddělení proudového okruhu spotřebiče nebo celého objektu od veřejné elektrické distribuční sítě. Jako oddělovací prvky se většinou používají oddělovací transformátory.

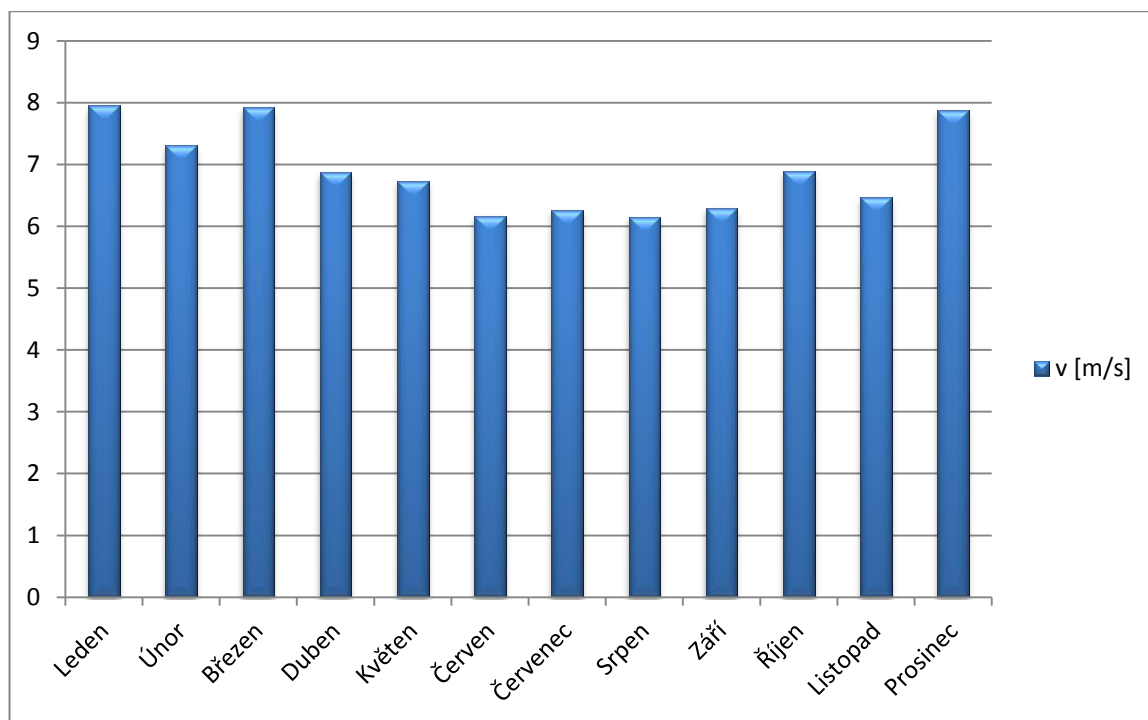
3.1 Popis lokality

Pro energetickou soběstačnost domu je nutné zohlednit kritéria umístění objektu, umístění v zástavbě, je nutné počítat s vhodnými rychlostmi proudění větru. Data, která budou využita pro návrhy ostrovního systému, byla naměřena meteorologickou stanicí WARIO ME13, stanice je umístěna na jiném nedaleko stojícím objektu, který je také na hranici zástavby jako uvažovaný objekt.

Měření rychlosti větru 0 až $45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s rozlišením měří od $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, sluneční záření 0 až $1250 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ s rozlišením měření $\pm 10\%$. Venkovní teplota -55 až $+125 \text{ }^\circ\text{C}$ s rozlišením měření $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (-10 až $+85 \text{ }^\circ\text{C}$). [33]

3.1.1 Sluneční energie a větrná energie

Na základě získaných dat meteorologické stanice za rok 2015, která jsou pro větší názornost znázorněna v grafu na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 Rychlost větru v roce 2015

Objekt na severní straně sousedí s volnou plochou, s polem. Ze zbylých tří stran je v zástavbě rodinných domků, viz příloha A. Vzhledem k umístění objektu na vyvýšeném

místě na konci zástavby a sousedstvím s polem, je prostor z velké části otevřený a nejsou zde větší překážky, které by mohly ovlivnit rychlost větru.

Sluneční záření je spolehlivý zdroj energie, v tabulce 3.1 jsou hodnoty průměrné denní intenzity slunečního záření pro Opavu na plochu s úhlem 30° za denní dobu 16 hodin, měřené stejnou meteorologickou stanicí jako rychlost větru. Roční úhrn slunečního záření za rok 2015 je $1046 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$.

Tabulka 3.1 Průměrné denní a měsíční hodnoty slunečního svitu v Opavě [33]

	Denní průměrná intenzita globálního záření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	Měsíční úhrn slunečního záření [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$]	Denní úhrn slunečního záření [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$]
Leden	64,52	32	1,0
Únor	104,91	47	1,7
Březen	171,37	85	2,7
Duben	239,58	115	3,8
Květen	274,19	136	4,4
Červen	277,08	133	4,4
Červenec	304,44	151	4,9
Srpen	272,18	135	4,4
Září	197,92	95	3,2
Říjen	151,21	75	2,4
Listopad	54,17	26	0,9
Prosinec	32,26	16	0,5
Roční úhrn slunečního záření [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$]		1046	

3.2 Popis objektu

Grid-off systém bude navrhován na rodinný dům, který se postaví na okraji města Opavy, s GPS souřadnicemi $49^\circ56'29.6''\text{N}$ a $17^\circ52'47.7''\text{E}$. Nachází se samostatně na pozemku nadmořskou výškou okolo 280 m.n.n. s výměrou 1000 m^2 a je celoročně využíván k bydlení čtyřčlennou rodinou.

Dům byl zkolaudován v roce 2001, s celkovou užitnou plochou 250 m^2 , která je rozdělena na dvě podlaží. Jeho čelní strana je situována na jih, kolem pozemku, ani na něm, nerostou žádné vysoké stromy, které by stínily na střechu, nebo bránily proudění vzduchu potřebného pro větrnou elektrárnu.



Obrázek 3.2 Jižní strana domu

Objekt je primárně vytápěn tepelným čerpadlem země-voda, jako další možnost vytápění je zde krb na dřevo, který se využívá jen minimálně. Tepelné čerpadlo IVT Greenline E11 má jmenovitý topný příkon 2,6 kW, jmenovitý topný výkon 11,2 kW a topný faktor 4,3. Jeho elektrický přívod je 400 V, N 3-fázový. Topný faktor byl ověřen měřením, které probíhalo 1.2.2013 - 31.3.2013. [4] A také využíváním a vytápěním objektu ve velmi nízkých teplotách, kdy není potřeba do -15°C topit v krbu na dřevo pro udržení 22°C v obytných prostorách.

Tepelná ztráta objektu je při -15°C 11 kW a průměrná teplota v topné sezóně je $3,9^{\circ}\text{C}$, výpočet byl proveden podle normy ČSN 73 0540. [4]

Objekt je dosud připojen k elektrické distribuční síti, jeho majitel má v plánu provést rekonstrukci, v rámci níž by se měl dům stát energeticky autonomní. Bude tedy provedeno odpojení od elektrické distribuční sítě a využití obnovitelných zdrojů energie jako grid-off systém

3.2.1 Spotřeba elektrické energie

Spotřebiče využívány v objektu nebyly nějak specificky vybírány, jsou určeny na síťové napětí 230 V a frekvenci 50 Hz. Seznam všech nejpoužívanějších spotřebičů je uveden v tabulce 3.2, kde u každého spotřebiče je udán jeho maximální jmenovitý příkon a doba provozu za den. Je zde také počítáno i s 10 % rezervou elektrické energie na den. Celou tabulku uzavírá celková spotřeba energie za den a měsíc.

Tabulka 3.2 Seznam spotřebičů a předpokládaná spotřeba

	Příkon [W]	Počet kusů [ks]	Provoz [h·den ⁻¹]	Spotřeba za den [kWh]	Spotřeba za měsíc [kWh]
Pračka	200	1	0,023	0,0046	0,14
Sušička	800	1	0,017	0,0136	0,41
Myčka	400	1	0,013	0,0052	0,16
Odsávač par	105	1	0,017	0,0018	0,05
Trouba	1850	1	0,012	0,0222	0,67
Mrazák	22	1	24,000	0,5280	16,05
Router	4	1	24,000	0,0960	2,92
Mikrovlnná trouba	700	1	0,100	0,0700	2,13
Varná konvice	2000	1	0,083	0,1660	5,05
Kávovar	1460	1	0,083	0,1212	3,68
Indukční deska	4600	1	0,500	2,3000	69,92
Lednička	27	1	24,000	0,6480	19,70
Vysavač	1400	2	0,009	0,0252	0,77
Televize	50	1	1,000	0,0500	1,52
Televize	125	2	2,000	0,5000	15,20
Osvětlení	2	7	0,500	0,0070	0,21
Osvětlení	4	6	0,500	0,0120	0,36
Osvětlení venkovní	10	7	0,500	0,0350	1,06
Osvětlení	12	20	1,000	0,2400	7,30
Vytápění terária	15	1	9,000	0,1350	4,10
Osvětlení terária	10	1	9,000	0,0900	2,74
Notebook	40	2	1,500	0,1200	3,65
Notebook	45	2	1,500	0,1350	4,10
Žehlička na vlasy	50	2	0,002	0,0002	0,01
Fén	2000	2	0,001	0,0040	0,12
Iphone	5	4	1,000	0,0200	0,61
Ipad	7,5	1	0,070	0,0005	0,02
Rádio	12	1	0,041	0,0005	0,01
Rádio	15	1	0,300	0,0045	0,14
Rezerva	600	1	1,000	0,6000	18,24
Suma	16571		101,77	5,9555	181,05

Kdyby byly všechny spotřebiče v provozu ve stejnou dobu, bude odebírán výkon 18,5 kW. Každý spotřebič má také při svém startu maximální nárazový výkon, převážně je to několiknásobek jmenovitého příkonu, někdy až 2,5 násobek. Pokud by byly spuštěny naráz všechny spotřebiče, může se jednat o špičkový výkon až 46,25 kW.

Takový odběr elektrické energie je nutné zohlednit a může být kritický pro dimenzování celého ostrovního systému. Nejvíce pro invertor, baterie, jištění a záložní zdroj tedy generátor.

Jako ochrana před spínáním větších spotřebičů ve stejnou dobu, bude objekt vybaven řídicí PLC jednotkou, viz v kapitole domovní řídicí jednotka. Tato řídicí jednotka řídí dle daného nastavení chod celého domu. V době nedostatku energie je také vhodné odložit start některých spotřebičů.

V tabulce 3.3 je znázorněna energetická náročnost objektu, kde celková spotřeba za daný měsíc byla vyhodnocena odečítáním spotřeby elektrické energie z elektroměru vždy posledního dne daného měsíce. Vytápění a příprava TUV byly vypočteny odečtením průměrné denní spotřeby za spotřebiče vynásobené počtem dní v měsíci. Pro porovnání jsou v tabulce uvedeny průměrné měsíční teploty za sledované období 2015 v Opavě. [33]

Tabulka 3.3 Energetická náročnost objektu

	HODNOTY ZA MĚSÍC			HODNOTY ZA DEN
	Průměrná teplota [°C]	Vytápění a příprava TUV [kWh]	Celková spotřeba [kWh]	Celková spotřeba [kWh]
2015				
Leden	0,4	1139,07	1325,07	42,74
Únor	-0,2	1097,27	1265,27	45,19
Březen	3,7	1168,50	154,50	43,69
Duben	7,6	813,36	993,36	33,11
Květen	11,9	611,36	797,36	25,72
Červen	15,9	344,98	524,98	17,50
Červenec	19,9	316,70	502,70	16,22
Srpen	20,9	311,80	497,80	16,06
Září	13,6	495,19	675,19	22,51
Říjen	7,6	814,27	1000,27	32,27
Listopad	5,7	813,74	993,74	33,12
Prosinec	3,3	1008,51	1194,51	38,53
CELKEM		8934,75	10924,75	30,56

3.3 Řešení grid-off systému

Vzhledem k tomu, že do spotřeby elektrické energie je započítáno i vytápění, které

není v letních měsících, je v provozu jen minimálně. A pokud bychom dimenzovali systém na pokrytí přibližně veškeré spotřeby v zimních měsících, docházelo by v letních naopak k obrovským přebytkům. Průměrná spotřeba za den za oba roky je 29,75 kWh. Pokud vezmeme nejvyšší denní spotřebu za dané období, která byla v únoru 2015 45,19 kWh, tak průměrná spotřeba je skoro 66 % této hodnoty. Naopak u nejnižší hodnoty ze srpna 2015, kde byla spotřeba 16 kWh, se jedná o dvojnásobek k průměrné hodnotě. I přes tyto hodnoty bude systém dimenzován na přibližnou hodnotu 30 kWh za den, po započítání všech ztrát a další potřeby pro napájení autonomního systému bude celková výtěžnost systému nižší.

3.3.1 Systém s VTE

Vzhledem k náročnosti objektu na celkovou spotřebu elektrické energie jsem vybrala VTE FD5-5/10, s výkonem 5 kW od společnosti Wind Energy Resources a turbínu Aeolos-V 5 kW a Aeolos-V 3 kW od společnosti Aeolos Wind Energy. [34, 35] Větrné turbíny jsem vybírala převážně podle závislosti výkonu na rychlosti větru s ohledem na naměřené rychlosti větru v dané lokalitě.

Tabulka 3.4 Závislost výkonu větrných turbín na rychlosti větru

Měsíc	Spotřeba objektu za den [kWh]	Rychlost větru za měsíc [m·s ⁻¹]	FD5-5/10		Aeolos-V 5 kW		Aeolos-V 3 kW	
			P _{vte} [W]	P _{vte} za den [kWh]	P _{vte} [W]	P _{vte} za den [kWh]	P _{vte} [W]	P _{vte} za den [kWh]
1.	42,74	7,95	3,60	86,40	1,6	38,4	1,6	38,4
2.	45,19	7,30	2,25	54,00	1,3	31,2	1,4	33,6
3.	43,69	7,93	3,15	75,60	1,9	45,6	1,6	38,4
4.	33,11	6,87	1,80	43,20	1,2	28,8	1,1	26,4
5.	25,72	6,73	1,62	38,88	1,1	26,4	1,1	26,4
6.	17,50	6,17	1,35	32,40	1	24	0,65	15,6
7.	16,22	6,26	1,35	32,40	1	24	0,65	15,6
8.	16,06	6,15	1,35	32,40	1	24	0,65	15,6
9.	22,51	6,29	1,44	34,56	1	24	0,65	15,6
10.	32,27	6,89	1,71	41,04	1,2	28,8	1,1	26,4
11.	33,12	6,48	1,62	38,88	1	24	0,95	22,8
12.	38,53	7,88	3,15	75,60	1,5	36	1,6	38,4
Celkem	30,56			48,78		29,6		26,1

Pro hodnoty rychlosti větru, které byly změřeny a návrh ostrovního systému jen s VTE je nejvhodnější typ turbíny Aeolos – V 5 kW, který vyrobí za den průměrně stejné množství energie, jako je spotřeba domu, viz tabulka 3.4.

Aeolos-V 5 kW je VTE na odporovém principu s vertikální osou rotace, třemi listy a průměrem rotoru 3,6 m. Výkonu 5 kW dosahuje při rychlosti větru $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Výška stožáru je variabilní od 6 m do 36 m. V případě navrhovaného objektu je nejvhodnější 12 m neboť výška okolních budov nepřesahuje 8 m.

Typ generátoru: 3f AC generátor s permanentními magnety

Napětí generátoru: 3 x 48 VAC

Rozběhová rychlost: $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Maximální rychlost větru: $55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Brzda: elektromagnetická

Bližší specifikace vybrané VTE a výkonová křivka zařízení jsou v příloze B.

Pro kontrolu, že daná turbína bude splňovat průměrný potřebný výkon, z průměrné denní spotřeby objektu P_d vypočítáme průměrný potřebný výkon P_{pp} podle vzorce:

$$P_{pp} = \frac{P_d}{t} = \frac{30000 \text{ Wh}}{24 \text{ h}} = 1250 \text{ W} \quad (3.1)$$

Průměrný výkon VTE musí být tedy vyšší z důvodu ztrát. Podle grafu na obrázku 3.1 je patrné, že nejčastější rychlost větru je $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a to z více než 70 % času. Při rychlosti $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vyrobí turbína 2000 W. Vše dosadíme do vzorce:

$$P_{vtet} = P_{vtet} \cdot \frac{t}{100} = 2000 \text{ W} \cdot \frac{70\%}{100} = 1400 \text{ W} \quad (3.2)$$

P_{vtet} je výkon turbíny po určitý čas a VTE tedy splňuje všechny požadavky.

Záložní zdroj

U každého autonomního systému by měl být záložní zdroj, v době kdy standardní zdroje nedokáží pokrýt dodávku energie, ať kvůli klimatickým podmínkám nebo technické poruše, je nutné zachovat dodávku energie. Záložní zdroj by měl pokrýt celou spotřebu systému nebo alespoň základní požadavky. Důležité je u takového zdroje, aby měl obdobný výkon na jedné fázi jako měnič napětí nebo nižší, a zároveň s ním byl kompatibilní. Vhodným záložním zdrojem je pro daný systém je elektrocentrála GG4SS-

3A-11000-ES. Jedná se o 3 fázovou vzduchem chlazenou benzinovou elektrocentrálu s výkonem 9,2 kW. Elektrocentrálu jsem vybrala podle potřebných parametrů a také funkce elektrického startu a možností připojení na inverter. Provoz elektrocentrály v ostrovním systému by měl být výjimečně, neboť její provoz je nákladný. Bližší specifikace v příloze G.

Regulátor napětí

Při volbě této části systému je nutné dodržet výkonovou řadu, regulátor napětí musí být použitelný pro nominální výkon VTE. Napěťová hladina musí být stejná v celém systému a bude to 48 V, pro tuto hladinu musí být kompatibilní všechny části. Regulátor napětí musí být vhodný pro 3 fázový generátor větrné turbíny. Důležitými parametry jsou také vhodnost baterií a účinnost zařízení. Vzhledem k těmto podmínkám a parametrům vybrané VTE jsem vybrala Customized MPPT 6KW Wind Turbine - Hybrid Controller.

Je vhodný pro systémy s výkonem 6 kW na 3 fáze, pro napětí do 48 V – 120 V a je vhodný pro FVE. Více specifikací v příloze C.

Na regulátor napětí musí být připojena zátěž, aby při nabití baterií nemusel být zdroj energie odpojený, jedná se odpory, které se využívají k vytápění atd. V návrhu systému se může přebytek energie řešit ohřevem TUV, kde by bylo zapotřebí přidat, nebo vyměnit topné těleso, další způsoby více v kapitole domovní řídicí jednotka. Další možnost je propojení s invertorem a baterie připojit na něj.

Baterie

Baterie se volí na základě regulátoru napětí a invertoru, důležitá je napěťová hladina a také nabíjecí a vybíjecí proud pro baterii. Další faktor, který je důležité zohlednit, je počet cyklů, tedy životnost. Baterie by měly pokrýt výpadky zdroje, které se většinou dimenzují na 2 dny, pokud nejsou k dispozici reálná data s četností délky výpadku. Tato část systému je nejvíce nákladná a nejlepší je zohlednit kombinaci nákladů a velikost dimenzování. Výpočet kapacity baterií C pro 1,5 dne:

$$C = P_d \cdot t_v = 30 \text{ kWh} \cdot 1,5 \text{ dne} = 45 \text{ kWh} \quad (3.3)$$

Kde P_d je průměrná spotřeba domu a t_v je doba trvání výpadku zdroje.

Za předpokladu, že kapacita baterií se za dobu používání sníží o 5 % především v důsledku opotřebení, musí být o tuto hodnotu navýšeny:

$$C_h = \frac{c}{0,9} = \frac{52500}{0,95} = 47,368 \text{ kWh} \quad (3.4)$$

Když tuto hodnotu vydělíme jmenovitým napětím celého systému, tak získáme kapacitu v Ah.

$$C_h = \frac{c}{0,9} = \frac{47368 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 986,8 \text{ Ah} \quad (3.5)$$

Vybraná baterie by neměla tedy mít menší kapacitu než 986,8 Ah. LiFePo₄ baterie mají články s napětím 3,2 V a počet článků lze stanovit:

$$cl = \frac{48 \text{ V}}{3,2 \text{ V}} = 15 \text{ ks} \quad (3.6)$$

Do systému bude tedy potřeba 15 článků LiFePo₄ baterií, vybrala jsem typ Winston WB-LYP1000AHA, s napětím 3,2 V a kapacitou 1000 Ah. Bližší technické specifikace v příloze D. Tyto baterie jsem vybrala, protože mají minimální počet dobíjecích cyklů 2000, nemají skoro žádný samovybití a paměťový efekt. V dalším návrhu bude použit jiný typ baterií.

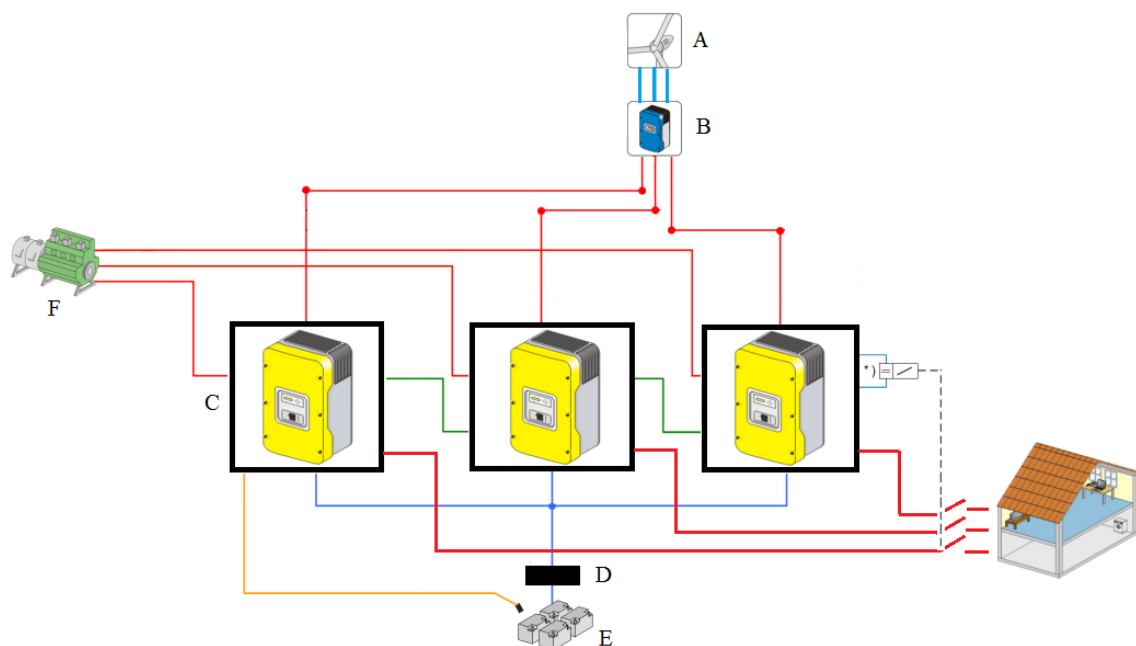
Baterie budou umístěny v objektu s dobře odvětrávanou místností a zapojeny do sériového zapojení, které je výhodnější pro hlídání provozu. Baterie mohou být zapojeny i paralelně. V jednotném systému je nutné použití stejných akumulátorů, o stejné kapacitě, typu, od totožného výrobce a pocházející ze stejné série.

Důležitou částí k LiFePo₄ bateriím je balancer, ten zajistí správné dobíjení každého článku, tím je bude možné využívat efektivněji a prodloužit jim životnost. Balancer by měl dokázat umořit v pomocné zátěži velkou část výkonu. Musí disponovat dostatečným množstvím vstupů pro daný počet článků. Podle potřebných parametrů jsem vybrala balancer GWL/Power SBM16/60 Board (48 V / 60 A). S bližšími specifikacemi v příloze E. Balancer jsem tedy vybrala podle napěťové hladiny systému a počtu baterií a také kompatibility.

Invertor

Měnič napětí je závislý na napětí daných spotřebičů v objektu a to je 230/400 VAC. Pro možnost využití energie z baterií je nutné do systému instalovat tento prvek. Musí

být kompatibilní s napětovou hladinou a jeho výkon musí být dostatečně velký pro pokrytí souběhu spotřebičů. Pokud by běžely všechny spotřebiče současně, musel by být pokryt 16 kW. Souběh všech spotřebičů není trvalý, jsou zde zahrnuty spotřebiče, které se využívají jen pár minut. Lze tedy předpokládat, že při zvolení invertoru s výkonem 4,6 kW a protože se jedná o 3 f systém, musí být zařízení na každé fázi, bude výkon $3 \times 4,6 \text{ kW}$ dostačující. Při volbě jsem hodnotila i výstupní charakter měniče a zvolila jsem dražší zařízení s čistým sinusovým průběhem a to Sunny Island 6.0H. Tento měnič napětí od společnosti SMA je určený pro grid-off systémy s bližšími specifikacemi v příloze F.



Obrázek 3.3 Zapojení grid-off s VTE

Na obrázku 3.3 je možné vidět znázorněné zapojení navrhovaného systému. Modrá a červená barva jsou silové rozvody, oranžová, zelená a přerušovaná čára je značení komunikace. Zapojení systému bylo navrhováno pro systém s VTE a FVE s FV podle znázornění v příloze L a dokumentace společnosti SMA.

Kde: A – větrná turbína

B – regulátor napětí

C – invertor 3x

D – balancer

E – baterie

F – elektrocentrála

Do celého systému je nutné zahrnout také ztráty, největší jsou vždy na akumulátoru, ztráty při jeho nabíjení, ty se mohou pohybovat okolo 10 %. Záleží také na životnosti a daném typu baterií.

Zohledníme především ztráty na generátoru včetně elektrárny, ty jsou 4 %, inverter má 5 % a ztráty v kabelech a svorkách jsou 2 %. Pro přesný výpočet účinnosti využijeme množství vyrobené energie VTE a vynásobíme ho součinem všech účinností komponentů systému. Můžeme tedy počítat s celkovou účinností systému 0,77 při využití baterií, bez využití baterií je to 0,85.

3.3.2 Systém grid-off s VTE a FV

Jako další možnost jsem zvolila kombinaci VTE a fotovoltaických panelů. Podle tabulky 3.4 bude nejvhodnějším zdrojem energie větru Aeolos-V 3 kW s kombinací FV panelů, neboť tato větrná turbína nepokryje průměrnou spotřebu domu. Má podobné parametry jako Aeolos-V 5 kW, její přesné specifikace jsou v příloze H. Na rozdíl od výkonnější verze je její výkon při $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 800 W. Při dosazení do rovnice 3.2 bude výkon turbíny 560 W po 70 % času, to je méně než požadovaných 1250 W. Bude tedy nutné přidat další zdroj energie. Umístěna bude také na stožáru ve výšce 12 m.

Pokud do systému zařadíme regulátor napětí Customized MPPT 6 kW jako v předchozím případě, při nevyužití maximálního možného připojeného výkonu, je možné regulátor nastavit a také k němu připojit i FV panely menšího instalovaného výkonu.

Jmenovité napětí celého systému bude stejné jako v předchozím případě a to 48 V.

Také do systému budou také zařazeny 3 invertory Sunny Island 6.0H.

Solární panely

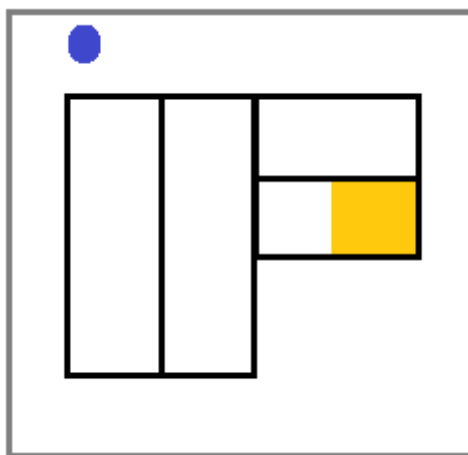
Vzhledem k naměřeným datům není nutné přepočítávat intenzitu slunečního záření, neboť byla měřena plochou s úhlem 30° a instalace FV panelů proběhne na střeše s úhlem 40° . Solární panely se na regulátor napětí připojují na jednu fázi. Vybrala jsem dva tyty panelů, které mají provozní napětí 24 V. Každý typ bude použit v jednom z návrhů. Panely jsem vybrala pro jejich rozdílnou účinnost a stejného výrobce, kvůli srovnání. Také pro jejich provozní napětí.

Solární panel VICTRON ENERGY - BlueSolar SPM300 je monokrystalický panel

s výkonem 300 W_p, účinností 15,6 % a plochou 1,4 m². Pro navrhovaný systém jich bude potřeba 6 kusů. Victron Solarmodul SPP250 je polykrystalický s výkonem 250 W_p, účinností 14,2 % a plochou 1,6 m². Pro navrhovaný systém jich bude potřeba 6 kusů.

Panely budou v obou případech zapojeny po dvou do série a dvojice pak paralelně, specifikace panelů viz příloha I aj.

Solární panely budou orientovány na jih a podle znázornění na obrázku je jejich umístění značeno žlutou barvou a VTE modrou. Vzhledem k malému počtu panelů, které budou vždy umístěny k okraji plochy střechy, která se nenapojuje na druhou část, nebudou během dne zastíněny. Plocha střechy umístěné na jih je 40 m². Umístění FVE bude stejné i pro první návrh, tedy na okraji pozemku, který sousedí s polem.

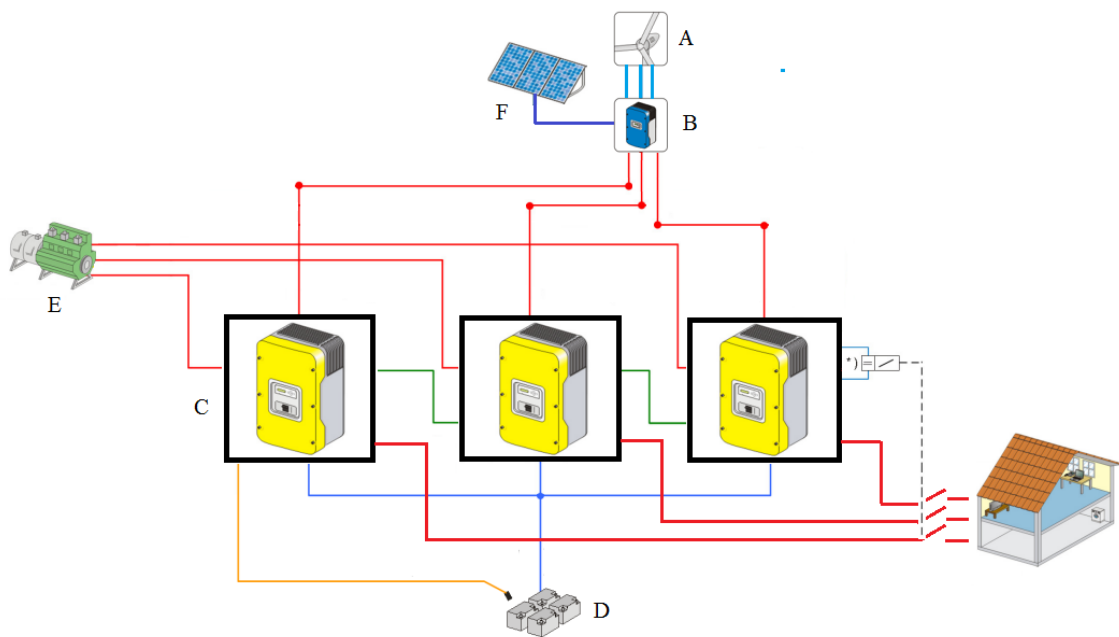


Obrázek 3.4 Umístění VTE a FV pozemku a objektu

Tabulka 3.5 Výpočet výroby elektrické energie pomocí FV s 10 % ztrátami

	Denní úhrn slunečního záření [kWh·m ₂]	SPM300	SPP250
		P pro 6 FV za den [kWh]	P pro 6 FV za den [kWh]
Leden	1,0	1,2	1,3
Únor	1,7	2,0	2,2
Březen	2,7	3,2	3,5
Duben	3,8	4,5	4,9
Květen	4,4	5,2	5,6
Červen	4,4	5,2	5,7
Červenec	4,9	5,7	6,3
Srpen	4,4	5,1	5,6
Září	3,2	3,7	4,1
Říjen	2,4	2,9	3,1
Listopad	0,9	1,0	1,1
Prosinec	0,5	0,6	0,7
Celkem		40,5	44,2

Průměrný denní úhrn slunečního záření je za období 16 hodin v každém dni z daného měsíce. Abychom získaly skutečný výkon panelů je potřeba denní úhrn slunečního záření vynásobit účinností a plochou panelů. Pro celkový dodávaný výkon panelů jsem započítala i 10 % ztráty, tedy ztráty vlivem teploty jsou okolo 7 % a ztráty vlivem úhlové odrazivosti jsou okolo 3 %. Vypočítaný výkon panelů je srovnatelný, rozdíl je především v ceně.



Obrázek 3.5 Zapojení grid-off s VTE a FV

Znázornění zapojení tohoto druhu systému je na obrázku 3.5

Kde: A – větrná turbína

B – regulátor napětí

C – invertor 3x

D – baterie

E – elektrocentrála

F – FV

Baterie v tomto návrhu budou 2 V Tubular Gel Batteries s kapacitou 1250 Ah, jejich kapacita vystačí na pokrytí výpadku 1,9 dne. Výpočet proběhl podle vzorců 3.4 a 3.5. Počet baterií byl vypočítán podle vzorce 3.6 a při systému 48 V je to 24 kusů. Tento typ baterií nepotřebuje balancery, blíže v příloze L.

Elektrocentrála bude v tomto návrhu stejná jako v předchozím.

3.3.3 Domovní řídicí jednotka LPC Foxtrot

Jedná se o systém řízení inteligentních budov, který je složen z různých částí a podsystémů, je velmi variabilní a lze jej přizpůsobit podle daných požadavků. Systém může ovládat i uzamčení domu, žaluzie a další.

Celý systém bude vždy připojen v rozvaděči, ze kterého bude řízen. Okruhy budou rozděleny do kategorie podle priority. A navzájem budou propojeny, aby nedocházelo ke spouštění více spotřebičů s velkým příkonem současně.

V kategorii jedna budou okruhy běžně využívané, tedy 3f přívod na indukční desku, 3f přívod na tepelné čerpadlo. Osvětlení v celém domě, zásuvkový obvod v obývacím pokoji, kde je jen PC a televize, okruhy, kde jsou pokoje s počítačem a další televizi. Jeden zásuvkový okruh z kuchyně, na kterém je mrazák a lednička.

V prioritě dvě bude zásuvkový okruh v kuchyni, na kterém je varná konvice, myčka a připojují se další spotřebiče. Dále dva okruhy s chodbou v přízemí a koupelny, kde se zapojuje vysavač a v koupelnách fén, žehlička na vlasy atd. V jedné z koupelen je také zapojena sušička a pračka, tyto dva spotřebiče nikdy nejsou v provozu zároveň.

A poslední kategorie je v době přebytku. Přebytky energie v zimě a v létě budou řešeny spínáním dvou klimatizačních zařízení s příkonem 2000 W pro vnitřní a 2050 W pro vnější jednotku. Jednotky bude řídit řídicí jednotka v domě, bude je stačit jen sepnout. Jejich nastavení, tedy topení nebo klimatizace zůstává nastavena na předvoleném programu. Systém může být také časem připojen na vyhřívání, či chlazení vody v bazénu.

V systému je možné také určit prioritu jednotlivým okruhům a dané kategorii. Spotřebu energie lze také omezit a nepřetěžování systému pomůže i rozfázování indukční desky. Ta je zapojena jako třífázový spotřebič, její příkon je tedy rozdělen mezi všechny fáze, nezatěžuje tak jednu samotnou velkým odběrem.

3.3.4 Ekonomické a environmentální zhodnocení

V následujících třech tabulkách (3.6, 3.7 a 3.8) jsou uvedeny seznamy komponentů podle sestaveného systému. Ceny, které byly v jiné měně než korunách, byly přepočteny

podle aktuálního kurzu. V položkách elektromateriál a práce byly zahrnuty položky jako kabeláž, kotvicí prvky, jiný instalační materiál a práce, odhad této položky byl na základě zkušenosti odborníka.

Tabulka 3.6 Shrnutí investičních nákladů pro systém s VTE

	Cena	Počet	Cena bez DPH	Cena s DPH
Větrná elektrárna Aeolos-v 5 kW	218000	1	218000	263780
Regulátor napětí Customized	36000	1	36000	43560
Baterie Winston	31824	15	477360	577606
Balancér SBM16/60	2400	1	2400	2904
Invertor Sunny Island 6.0H	63127	3	189381	229151
Elektrocentrála GG4SS	61527	1	61527	74448
Elektromateriál a práce	100000	1	100000	121000
Celková cena			1084668	1312448

Tabulka 3.7 Shrnutí investičních nákladů pro systém s VTE s FV 1

	Cena	Počet	Cena bez DPH	Cena s DPH
Větrná elektrárna Aeolos-v 3 kW	160800	1	160800	194568
Regulátor napětí Customized	36000	1	36000	43560
1250AH 2V Tubular Gel Batteries	544926	1	544926	659360
Invertér Sunny Island 6.0H	63127	3	189381	229151
Solární panel SPM300	12510	6	75060	90823
Elektrocentrála GG4SS	61527	1	61527	74448
Elektromateriál a práce	120000	1	120000	145200
Celková cena			1187694	1437110

Tabulka 3.8 Shrnutí investičních nákladů pro systém s VTE s FV 2

	Cena	Počet	Cena bez DPH	Cena s DPH
Větrná elektrárna Aeolos-v 3 kW	160800	1	160800	194568
Regulátor napětí Customized	36000	1	36000	43560
1250AH 2V Tubular Gel Batteries	544926	1	544926	659360
Invertér Sunny Island 6.0H	63127	3	189381	229151
Solární panel SPP250	5854	6	35124	42500
Elektrocentrála GG4SS	61527	1	61527	74448
Elektromateriál a práce	120000	1	120000	145200
Celková cena			1147758	1388787

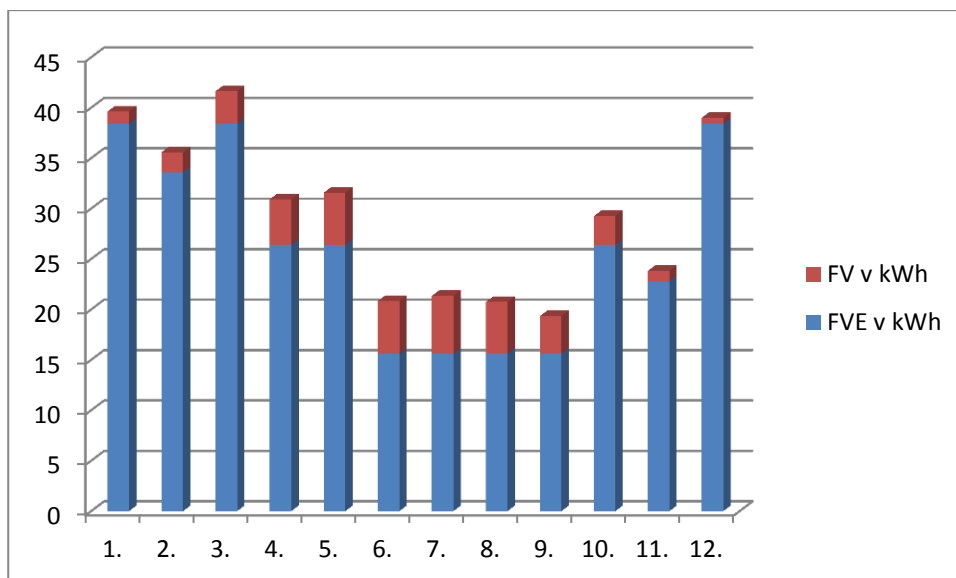
Největšími ukazateli pro posouzení systému nejsou jen náklady, ale také správnost dimenzování systému, tedy jeho konečná výroba a schopnost pokrytí potřeby elektrické

energie daného objektu. V následující tabulce jsou uvedeny pro navrhované varianty jejich výroba elektrické energie bez započítání ztrát v akumulaci, ostatní ztráty v systému započítány jsou. Vše je možno porovnat se spotřebou objektu a následné přebytky nebo nedostatek energie v %. U dimenzování se v praxi používá u grid-off systémů 80 % pokrytí spotřeby energie systémem a 20 % pokrytí záložním generátorem. Je však na investorovi, jak chce daný systém dimenzovat. V tabulce 3.9 můžeme vidět, že varianty dokáží pokrýt přibližně průměrnou spotřebu objektu. Hlavní rozdíly jsou v letních měsících, kdy i přes slábnoucí výrobu z VTE, se zapojují do výroby v hybridním systému i FV a jsou zde přebytky. Výhoda hybridního systému VTE a FV je v tom, že nejsme závislí na jednom zdroji energie. U energie z větru a slunce platí, že když jeden zdroj energie není kvůli počasí možné využít, s velkou pravděpodobností je možné využít zdroj druhý. Hybridní systémy jsem dimenzovala, tak aby nedocházelo k extrémním přebytkům v letním období.

Tabulka 3.9 Shrnutí výroby energie pro navrhované varianty

Měsíc	Spotřeba objektu za den [kWh]	VTE			VTE a FV 1		VTE a FV 2	
		P za den [kWh]	P _{0,85} za den [kWh]	P _{ch} %	P za den [kWh]	P _{ch} %	P za den [kWh]	P _{ch} %
1.	42,7	38,4	32,6	-23,6	33,9	-20,8	34,0	-20,5
2.	45,2	31,2	26,5	-41,3	30,5	-32,4	30,7	-32,0
3.	43,7	45,6	38,8	-11,3	35,9	-17,9	36,2	-17,2
4.	33,1	28,8	24,5	-26,1	27,0	-18,6	27,4	-17,3
5.	25,7	26,4	22,4	-12,8	27,6	7,4	28,1	9,2
6.	17,5	24,0	20,4	16,6	18,5	5,7	19,0	8,4
7.	16,2	24,0	20,4	25,8	19,0	17,2	19,5	20,4
8.	16,1	24,0	20,4	27,0	18,4	14,6	18,9	17,5
9.	22,5	24,0	20,4	-9,4	17,0	-24,5	17,3	-23,0
10.	32,3	28,8	24,5	-24,1	25,3	-21,6	25,6	-20,8
11.	33,1	24,0	20,4	-38,4	20,4	-38,4	20,5	-38,1
12.	38,5	36,0	30,6	-20,6	33,2	-13,7	33,3	-13,6
Průměr	30,6	29,6	25,2	-17,3	20,9	-15,0	21,1	-14,4
Celkem za rok			9183,4		7628,0		7695,83	[kWh]

Na obrázku 3.6 je znázorněna výroba u hybridních systému, modrá je výroba z FVE z kWh a červená z FV v kWh. Jak lze předpokládat vyšší výroba energie z FV je v letních měsících.



Obrázek 3.6 Vyrobená energie návrh FVE s FV

Ministerstvo životního prostředí zahájilo dotační program Nová zelená úsporám, tento program dotuje snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů, výstavbu rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností a efektivní využití zdrojů energie. Lze tak získat dotace na výstavbu FV panelů do výkonu 3 kW. V navrhovaných variantách je celkový výkon FV do 1,8 kW. Výše podpory může dosáhnout až 70 000 Kč. [45]

Dotace na Výstavbu VTE dotační program neposkytuje.

Ekonomická návratnost je doba, za kterou se vynaložená do grid-off systému navracena. Tyto instalace se vyplatí, jen pokud je cena za pořízení elektrické přípojky stejná nebo vyšší, než je cena autonomní instalace. A nebo pokud se náklady na investici vrátí před koncem životnosti většiny částí systému. V hodnocení lze také přihlídnout na požadavek investora a nezávislost na distribuční síti.

Varianta VTE, kde jsou náklady na pořízení 1 312 448,- Kč a za rok by systém vyrobil 9,183 MWh. Investiční náklady na tento systém s instalovaným výkonem 5 kW za 365 dní je na 1 W_p 262,5,- Kč. Náklady na jednu vyrobenou Wh jsou 0,14,- Kč. Podle platného ceníku je na sazbu pro tepelné čerpadlo hodnota za vyrobenou Wh 0,0015,- Kč. [46] Pokud zanedbáme požití elektrocentrály, jejíž využívání můžeme omezit šetřením energií, tak systémová výtěžnost bude 13 775,- Kč při ceně 0,0015,- Kč. Návratnost investice bude 95 let.

Varianta VTE s FV 1, kde náklady tohoto systému jsou 1 437 110,- Kč. Za rok by systém vyrobil 7,628 MWh. Systém má instalovaný celkový výkon 4,8 kW a investiční

náklady na 1 W_p jsou 299,- Kč. Náklady na jednu vyrobenou Wh jsou 0,19,- Kč. Systém nahradí energii za rok za cenu 11 442,- Kč a celková návratnost by byla přes 100 let.

Varianta VTE s FV 2, kde jsou náklady tohoto systému 1 388 787,- Kč. Za rok by systém vyrobil 7,695 MWh. Systém má instalovaný celkový výkon 4,5 kW a investiční náklady na 1 W_p jsou 309,- Kč. Náklady na jednu vyrobenou Wh jsou 0,18,- Kč. Systém vyrobí energii za rok za 11 543,- Kč, návratnost by přes 100 let.

Instalace grid-off systémů je v současné době velmi finančně nákladná a nemůže konkurovat cenou elektřině z rozvodné sítě.

Hlavní výhodou navržených systémů je, že jsou šetrné k životnímu prostředí. Výroba elektrické energie není zatížena produkcí emisí a ani odpadů. Části systémů se po své životnosti mohou dále recyklovat a využít, je to menší zátěž na životní prostředí.

Environmentální dopady je možné dělit dle jejich vzniku na přímé a nepřímé. Přímé dopady souvisí s daným výrobním procesem. Například zábory půdy, emise při těžbě surovin, spotřeba vody ve výrobním procesu, chemické látky a jejich odpařování atd.

Mezi nepřímé dopady můžeme zařadit emise při výrobě fotovoltaického systému, větrné turbíny, a nebo při spotřebě elektrické energie při dopravě a skladování.

Navržený grid-off systém je umístěn již na postaveném objektu a jen VTE bude umístěna mimo objekt, zabírání půdy bude minimální.

Systém při výrobě elektrické energie nebude produkovat žádné emise, pokud nedojde k využití elektrocentrály. Benzinové elektrocentrály produkují při své činnosti, 5 až 10 % oxidu uhelnatého, 2000 - 3000 ppm uhlovodíku a 1200 - 2500 ppm oxidů dusíku.

Při srovnání benzinové elektrocentrály například s plynovou, tak plynová produkuje podstatně méně emisí, jejich nevýhoda je vyšší cena a také nutnost tlakového zásobníku na plyn. Po srovnání nákladů na výrobu 1 kWh má elektrocentrála na LPG náklady o 25 % než benzinová a na zemní plyn o 50%.

Vzhledem k tomu, že ostrovní systémy nemohou vždy konkurovat systémům připojeným k síti elektrické distribuční sítě. Jsou v dnešní době více prestižní, především s ohledem na ekologii a možnost nezávislého provozu objektu. Při neustálém růstu cen energií a zvyšování dostupnosti nových technologií, lze předpokládat další rozvoj těchto systémů, které budou ekologicky a ekonomicky výhodné.

Závěr

Cílem této práce bylo popsání využitelnosti obnovitelných zdrojů a návrh ostrovního systému pro rodinný dům. Prvním nezbytným bodem bylo zhodnocení lokality vzhledem k dostupnosti a využitelnosti obnovitelných zdrojů jako zdrojů energie. Podle naměřených dat z meteorologické stanice v dané lokalitě je nevhodnější využít potenciál větru, s průměrnou rychlostí nad $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Intenzita slunečního záření je za rok 2015 $1046 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. Vzhledem k těmto základním údajům jsem se rozhodla využít především potenciál větru pro návrhy ostrovního systému. Dalším důležitým parametrem je spotřeba domu, kde za rok 2015 byla průměrná spotřeba 30 kWh. Při výběru větrné elektrárny jsem vybírala zařízení podle daných parametrů a pak několik z nich srovnala. Pro samostatný návrh větrné elektrárny vyšla nejlépe větrná turbína Aeolos-V s výkonem 5 kW, která by vyrobila průměrně 70 % spotřeby elektrické energie objektu, zbylých 30 % by bylo potřeba vyrobit elektrocentrálou. Záloha v akumulátorech by pokryla spotřebu domu na 1,5 dne. Náklady na celý systém by byly 1 312 448,- Kč.

Druhá varianta byla návrh kombinace větrné elektrárny a fotovoltaických panelů. Pro tento návrh jsem zvolila větrnou turbínu s menším výkonem a to 3 kW Aeolos- V se stejnými parametry jako v předchozím návrhu. Do tohoto hybridního systému jsem zařadila monokrystalické fotovoltaické panely BlueSolar SPM300 s výkonem 300 W_p a počtem šesti kusů. Celkový instalovaný výkon systému by byl 4,8 kW. Náklady na tento systém by se vyšplhaly na 1 437 110,- Kč bez DPH. Tento systém by pokryl průměrné energetické nároky objektu skoro na 80 %, v zimním období by docházelo jen k malým nedostatkům energie, kde by bylo vhodné v systému využívat částečné topení dřevem a nevyužívat tak plně tepelné čerpadlo. Dimenzování akumulátoru gelovými bateriemi, by pokrylo spotřebu domu skoro na dva dny. V tomto systému by docházelo k větším přebytkům energie v letním období.

Poslední varianta je obdobná jako druhá s využitím stejné větrné turbíny, ale s využitím polykrystalických panelů SPP250 s výkonem 250 W_p a počtem 6 kusů. Celkový instalovaný výkon je teda 4,5 kW a celkovými náklady 1 388 787,- Kč. Také zde byly využity stejné gelové akumulátory jako v předchozím návrhu. V tomto případě by systém vyráběl v letních měsících podobné přebytky jako předchozí varianta.

Nedostatek energie by mohl být řešen jak elektrocentrálou, tak topením v krbu, při nedostatečném výkonu krbu TČ automaticky začne dohřívat vodu v topném systému.

Po ekonomické stránce a výpočtu návratnosti s ohledem na nízkou sazbu elektrické energie pro tepelné čerpadlo, by doba návratnosti systému převyšovala jeho životnost. Systém tedy není návratnou investicí a doporučila bych jen instalaci elektrocentrály, která by pokryla spotřebu elektrické energie při problémech s distribucí v distribuční síti.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Ústav fyziky atmosféry* [online]. Akademie věd ČR, 2011 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/index.php>
- [2] *Mapy.cz. Mapy.cz* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [3] *Územní teploty. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV: Resort životního prostředí* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>.
- [4] ULBRICHTOVÁ, Michaela. *Měření provozu tepelného čerpadla země-voda rodinného domu*. Opava, 2013. Bakalářská práce. SLEZSKÁ UNIVERZITA V OPAVĚ. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vala, CSc.
- [5] Beranovský, Jiří; Truxa, Jan. *Alternativní energie pro váš dům*. Brno: EkoWATT :ERA, 2003. ISBN 80-86517-59-4
- [6] Global Horizontal Irradiation: GeoModel. *Solar GIS* [online]. GeoModel Solar, 2015 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://solargis.info>
- [7] BAŘINKA, Radim, Jiří BÁRTEK a Jaromír ŘEHÁK. *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování* [online]. Praha: Česká energetická agentura Vinohradská 8, 120 00 Praha 2 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf
- [8] ELG-ELECTRIC. *FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY* [online]. 2012 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.elgelectric.com/>
- [9] MASTNÝ, P., DRÁPELA J., MIŠÁK S., MACHÁČEK J., PTÁČEK M., RADIL L., BARTOŠÍK T., PAVELKA T.. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [10] VOBOŘIL, David. *O energetice: Vodní elektrárny – princip a rozdělení. Vodní elektrárny – princip a rozdělení* [online]. 2015 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni/>
- [11] MELICHAR, Jan, Jaroslav BLÁHA a Jan VOJTEK. *Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0.
- [12] SRDEČNÝ, Karel. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2009. ISBN 978-80-7212-518-0.
- [13] SLEZÁČKOVÁ, Lenka, Jaroslav CHLUBNÝ, Jaroslav LEDNICKÝ a Radek SEDLAČÍK. *Biom: Obnovitelné zdroje energie* [online]. , 62 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/obnovitelne_zdroje_energie_energeticka_agentura_zlinskeho_kraje.pdf
- [14] *Jak pracuje tepelné čerpadlo?. Teplototechnika* [online]. 2011 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.teplototechnika.cz/funkce-tepelneho-cerpadla>
- [15] CETKOVSKÝ, S., FRANTÁL, B., ŠTEKL, J. A KOL. *Větrná energie v České republice*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, v.v.i., 2010, 208 stran. ISBN 978-80-86407-84-5
- [16] JIŘÍČEK, I., RÁBL, V. *Větrná energie* [on line]. Poslední revize: duben 2005, 22 stran. [cit. 2016-04-24] Dostupné z: http://www.vscht.cz/ktt/studium/zdrene/3.0_V%C4%9Btrn%C3%A1_energie.pdf
- [17] *Ústav fyziky atmosféry* [online]. Akademie věd ČR, 2011 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/index.php>

- [18] MOTLÍK, J., ŠAMÁNEK, L. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR*. ČEZ, a. s., Praha: 2007
- [19] *Vývoj HW profesionální elektronika* [online]. 2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/>
- [20] ČEZ [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/>
- [21] EWING, Rex A. *Power with nature: solar and wind energy demystified*. 1st ed. Masonville, CO: PixyJack Press, 2003. ISBN 0965809854.
- [22] Encyklopedie fyziky [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
- [23] *Solární články* [online]. Automatizace, c2009 [cit. 2016-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/nove-technologie-pro-levne-i-vykonne-solarni-clanky>>
- [24] TZB-info [online]. Topinfo s.r.o., 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [25] TRIER, Daniel. *Solar collectors* [online]. Solar district heating, 2012- [cit. 8. 3. 2016]. Dostupné z: http://www.solar-district-heating.eu/Portals/0/Factsheets/SDH-WP3_FS-7-1_SolarCollectors_version3.pdf
- [26] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 2005. ISBN: 80-900759-5-9
- [27] THEMEßL, Armin, WEISS, Werner. *Solární systémy - Návrhy a stavba svépomocí*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0589-3
- [28] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02802-X.
- [29] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektrina ze slunce*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [30] *Solární články* [online]. Automatizace, c2009 [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/nove-technologie-pro-levne-i-vykonne-solarni-clanky>>
- [31] MICHALÍČEK, M. *Větrné farmy Siemens a akumulace energie. Větrná energie v České republice 2012*. Praha, 5.12.2012, ISBN: 978-80-87534-45-8
- [32] KŘIVÍK, P., BAČA, P. *Současné možnosti akumulace elektrické energie ve fotovoltaických aplikacích*. In 28. Nekonvenční zdroje elektrické energie. Rožnov pod Radhoštěm: SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm, 2007.s. 39-44. ISBN: 978-80-02-01961-9
- [33] *Manuál IP Meteostanice WARIO ME13: wario inside*. 2014. Dostupné také z: <http://www.meteo-pocasi.cz/download-navod-manual-meteostanice/>
- [34] *Aeolos Wind Energy* [online]. Aeolos Wind Energy Ltd [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.windturbinestar.com/>
- [35] *Wind Energy Resources* [online]. WIND ENERGY RESOURCES, 2010 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://wind-energy-resources.com/>
- [36] *Wind & Sun Powering the future: World Class Distributors & Providers of Renewable Energy Solutions*[online]. V8Media [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.windandsun.co.uk/>
- [37] *Coleman Air: Empowering Innovation* [online]. Coleman Air, 2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.colemanair.us/>
- [38] *SMA Solar Technology* [online]. SMA Solar Technology AG [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.sma.de/>
- [39] *EV-Power: GWL POWER* [online]. Global World Logistic Ltd., 2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.ev-power.eu/>
- [40] *IMATECH* [online]. IMATECH GROUP s.r.o., 2015 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://imatech.cz/>

- [41] *GIGU* [online]. GIGU, 2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.gigu-gigu.com/>
- [42] *AUSSIE: Batteries and solar* [online]. Aussie Batteries & Solar [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.aussiebatteries.com.au/>
- [43] *TERMS* [online]. TERMS a.s., 2013 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/>
- [44] *Photovoltaik4all* [online]. Photovoltaik4all [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.photovoltaik4all.de/>
- [45] *NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/>
- [46] *ČEZ* [online]. ČEZ, a. s., 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: www.cez.cz

Přílohy

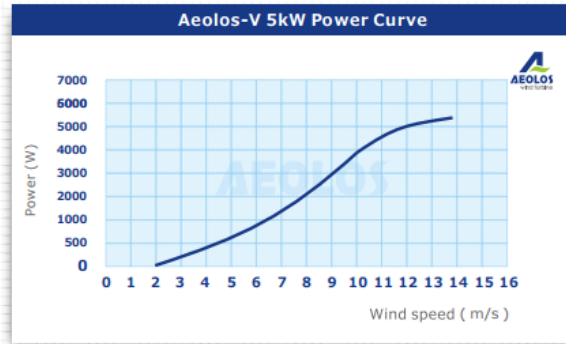
Příloha A – Situační znázornění objektu, který je označen červeně [2]



Příloha B Technické specifikace větrné turbíny Aeolos-V 5 kW [34]

Specification

Generator Type: Three Phase Permanent Magnet
 Rotor Height: 3.6m (11.8 ft)
 Rotor Width: 4m (13.1 ft)
 Turbine Weight: 285kg (633.5 lbs)
 Blades Material: Aluminum Alloy
 Blade Quantity: 3 pcs
 Working Temperature: -20 °C to 50 °C
 Design Lifetime: 20 years



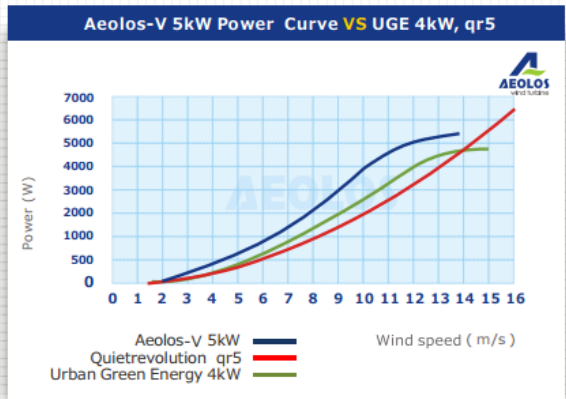
Performance

Rated Power: 5000 W
 Max Output Power: 6000 W
 Cut In Wind Speed: 2.5m/s (5.6 mph)
 Rated Wind Speed: 12m/s (26.8 mph)
 Survival Wind Speed: 55m/s (122.65 mph)
 Generator Efficiency: 96%
 Noise Level: < 45 dB(A)
 Warranty: 5 year

Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	1752 kWh	8 m/s	17520 kWh
4 m/s	3942 kWh	9 m/s	26280 kWh
5 m/s	5256 kWh	10 m/s	35040 kWh
6 m/s	7008 kWh	11 m/s	41172 kWh
7 m/s	10512 kWh	12 m/s	44676 kWh

Safety

Blades RPM Limitation: 100 RPM
 PWM Dump Load: 7.5 kW Box
 Mechanical Brake: Manual/Auto



Optional

Remote Monitoring System (Internet/Wireless)
 Auto Hydraulic Brake System (Unattended Site)
 Off Grid : 48 V or 96 V
 Grid Tie : 300 V



Příloha C Technické specifikace regulátoru napětí Customized MPPT 6 kW Wind Turbine & Solar Panel Hybrid Controller [41]

Customized MPPT 6KW Wind Turbine & Solar Panel Hybrid Controller

This controller can be set to adapt to all 3-phase AC/DC turbine from 6000W to 100W every 100W by pressing S1 once to decrease 100W, say 5900W, 5800W, 5700W...300W, 200W, 100W. This controller is ideal for you if you have a 6KW turbine. This controller is also ideal for you if you have a 2KW...1KW...600W... turbine.

Production specifications:

1. Automatically unload while the wind turbine generator is overloaded.
2. Batteries overcharge protection (Customizing as per customer's requirements).
3. Protect from connecting batteries inversely.
4. Protect batteries from charging solar panel at night.
5. Electric shock protection.
6. MPPT (set from 6000W to 100W every 100W according to the wind turbine)
7. Digital panel: wind turbine voltage, battery voltage, charging current and power.
8. Autobrake and manual brake

Rated power: 6.0 KW (The controller can be set to adapt to all 3-phase AC/DC turbine from 6KW to 100W every 100W by pressing S1 once to decrease 100W, say 5900W, 5800W, 5700W...300W, 200W, 100W)

Rated DC voltage: DC 48V/96V/110V/120V/220V/240V or any voltage specified by the customer

Solar power: any voltage specified by the customer

Wind generator: 3-phase AC/DC output

Recover time of auto braking: 30min (The controller can be customized)

Batteries overcharge protection: any voltage (The overcharge protection voltage can be set by the customer. Press S1 once to increase 0.1V, and hold for 3 seconds to increase 1V.)

Batteries overcharge recovering: overcharge protection voltage minus 1V

Protection(IP): IP20/IP54

Allowable ambient temperature(⁰C): -10-40

Dimension: 40cm×31cm×22cm

Net weight: 11.5kg

The overcharge protection voltage can be set by the customer. Press S1 once to increase 0.1V, and hold for 3 seconds to increase 1V.

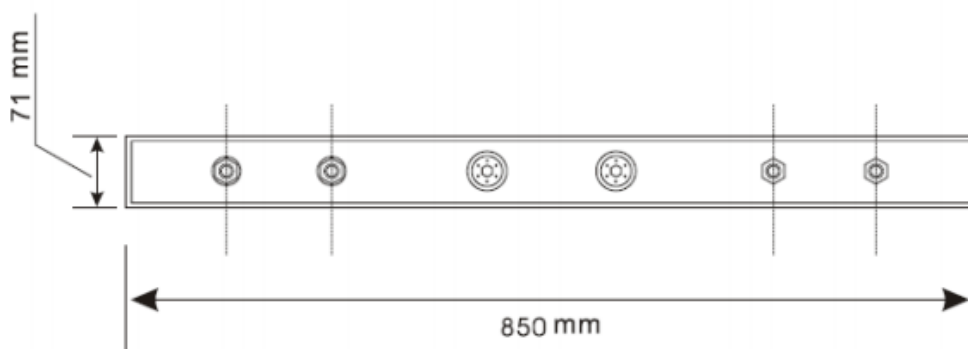
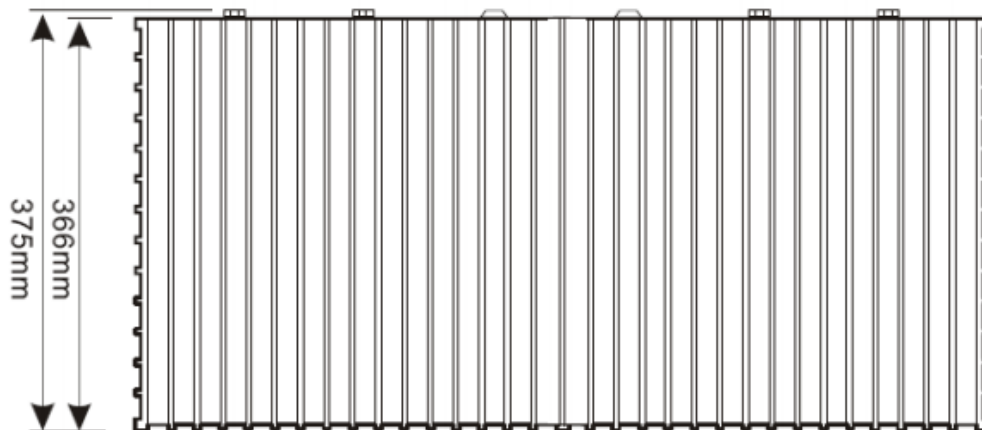
Příloha D Technické specifikace baterii Winston WB-LYP1000AHA [39]

GWL/ Power Group Technology Solutions – Stay Powered for the Future

LFP1000AH – WB-LYP1000AHA



Model name	LFP1000AHA	Older marking TS-LFP1000AHA, TS-LYP1000AHA
Nominal voltage	3.2 V	Operating voltage under load is 3.0 V
Capacity	1000 AH	+/- 5%
Operating voltage	max 4.0V - min 2.8V	At 80% DOD
Deep discharge voltage	2.5 V	The cells is damaged if voltage drops bellow this level
Maximal charge voltage	4.0 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Optimal discharge current	< 500 A	0.5 C
Maximal discharge current	< 3000 A	3 C, continuous for max 15 minutes from full charge
Max peak discharge current	< 20000 A	20 C, maximal 5 seconds in 1 minute
Optimal charge current	< 500 A	0.5 C
Maximal charge current	< 3000 A	< 3 C with battery temperature monitoring
Maximal continuous operating temperature	80 °C	The battery temperature should not increase this level during charge and discharge
Dimensions	850x71x375 mm	Millimeters (tolerance +/- 2 mm)
Weight	35 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)

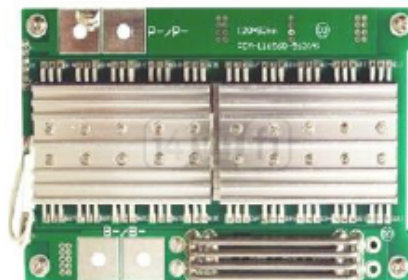
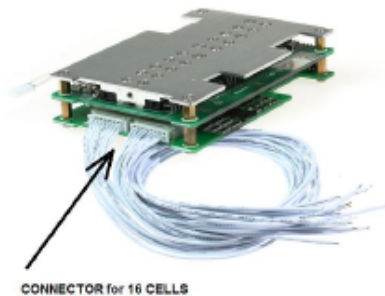


Příloha E Technické specifikace balanceru GWL/Power SBM16/60 Board [39]

SBM16/60 Board 16 cells (48V/60A)



Model name	SBM16/60	GWL/Power Simple Battery Management Board 16 cells (48V/60A)
Voltage	Charging voltage	C:57.6V 3.6V/Cell
	Balance voltage for single cell	3.6V±0.003V
Current	Balance current for single cell	72±10mA
	Current consumption for single cell	≤20µA
	Max. continuous current	60A
Overcharge Protection	Over charge detection voltage	3.90V±0.025V
	Over charge detection delay time	0.96S~1.4S
	Over charge release voltage	3.80±0.025V
Over-discharge Protection	Over discharge detection voltage	2.0±0.05V
	Over discharge detection delay time	115~173mS
	Over discharge release voltage	2.3±0.05V
Over Current Protection	Over current detection voltage	0.62V
	Over current detection current	200±30A
	Detection delay time	7.2ms~11ms
	Release condition	Automatic Recovery
Short Protection	Detection condition	Exterior short circuit
	Detection delay time	200-500µs
	Release condition	Automatic Recovery
Resistance	Protection circuitry	≤20mΩ
Temperature	Operating temperature range	-40~+85°C
	Storage temperature range	-40~+125°C
Dimensions	L * W * T	120 * 80 * 30mm
Weight	220g	Grams (tolerance +/- 2g)



Příloha F Technické specifikace invertoru Sunny Island 6.0H [38]

Technical data	Sunny Island 6.0H
AC output (loads / stand-alone grid)	
Rated line voltage / AC voltage range	230 V / 202 V ... 253 V
Rated frequency / frequency range (adjustable)	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz
Rated power (for $U_{nom, f_{nom}} / 25\text{ °C} / \cos\phi = 1$)	4600 W
AC power at 25 °C for 30 min / 5 min / 3 sec	6000 W / 6800 W / 11000 W
Rated current / maximum output current (peak)	20 A / 120 A
Total harmonic distortion output voltage / power factor with rated power	< 4 % / -1 ... +1
AC input (PV array, grid or MC-Box)	
Rated input voltage / AC input voltage range	230 V / 172.5 V ... 264.5 V
Rated input frequency / allowable input frequency range	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Maximum AC input current / adjustable	50 A
Maximum AC input power	11500 W
Battery DC input	
Rated input voltage / DC voltage range	48 V / 41 V ... 63 V
Maximum battery charging current / DC rated charging current	110 A / 100 A
Battery type / battery capacity (range)	FLA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah
Charge control	IUoU charging process with automatic full and equalization charge
Efficiency / self-consumption	
Maximum efficiency	95 %
Self-consumption without load / standby	< 26 W / < 4 W
Protective device (equipment)	
AC short circuit / AC overload	● / ●
DC reverse polarity protection / DC fuse	- / -
Overtemperature / battery deep discharge	● / ●
Overvoltage category as per IEC 60664-1	III
General data	
Dimensions (width x height x depth)	467 mm x 612 mm x 242 mm
Weight	63 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C
Protection class according to IEC 62103	I
Climatic category according to IEC 60721	3K6
Degree of protection according to IEC 60529	IP54
Features / function	
Operation and display / multifunction relay	external with SRC-20 / 2
3-phase systems / parallel connection	● / ●
Integrated bypass / multicluster operation	- / ●
State of charge calculation / full charge / equalization charge	● / ● / ●
Integrated soft start / generator support	● / ●
Battery temperature sensor / communication cables	● / ●
Certificates and approvals	www.SMA-Solar.com
Warranty (5 / 10 / 15 / 20 / 25 years)	● / ○ / ○ / ○ / ○
Accessories	
Battery cable / battery fuse	○ / ○
Interface SI-COMSMA (RS485) / SI-SYSCAN (Multicluster)	○ / ○
Extended generator start "GenMan"	○
Load-shedding contactor / battery current measurement	○ / ○
Type designation	SI6.0H-10

Příloha G Technické specifikace elektrocentrály GG4SS-3A-11000-ES [40]**Elektrocentrála GG4SS-3A-11000-ES**

Zvukově izolovaný generátor elektrické energie 400 (230) V / 50Hz (3-fázový) včetně vzduchem chlazeného 2-válcového benzínového motoru a výstupním výkonem 12kVA (9,2kW)

- Elektronické řízení motoru s ukazatelem na displeji
- Přehled nad napětím, proudem, frekvencí a výkonem
- Automatické zastavení motoru při oznámení chyby generátoru či motoru
- Vzduchem chlazený, 2-válcový 614ccm dieselový motor – EG4-2V-0614-E
- 3-fázový 230V/10kW průmyslový generátor s elektronickou regulací napětí a kartáčky
- Přístroj bude dodán a připraven k použití včetně detailního návodu k obsluze v ČJ
- Skrze schopnost dálkového ovládání přístroje přes kontakt je taktéž možné jej propojit se solárními měniči.
- Vybaven jednotkou motoru Rotek ECU-RTG3s.

Technické parametry:

Model: GG4SS-3-11000-ES

Špičkový výkon (15min): 12 kVA / 9,2kW (400V)

Trvalý výkon (12h): 11 kVA / 8,5kW (400V)

Napětí: 400 (230) V, 50 Hz

Snížení napětí proudu skrze: zásuvku CEE400V/32A

Typ generátoru: KTS10-3

Konstrukce generátoru: 3-fázový, synchronní generátor v hvězdicovém zapojení nulového vodiče s kartáčky.

Regulace napětí: řízeno elektronicky

Maximální fázový proud: 17,3 A

Motor: EG4-2V-0614-E

Typ motoru: 614 ccm, 2-válec, benzínový motor

Regulátor otáček motoru: mechanický regulátor odstředivosti

Chlazení motoru: chlazení vzduchem (cirkulace vzduchu)

Palivo: bezolovnatý benzín

Spotřeba paliva: na volnoběh: 3 l/h, 4,5kW 4,3 l/h, 9kW 6,3 l/h

Objem nádrže: 18 l

Řízení motoru: elektronické, Typ: ROTEK ECU-RTG3s

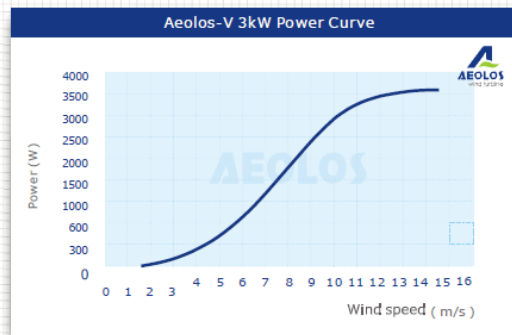
Rozměry (délka x hloubka x výška): 995 x 645 x 950 mm, výška bez kola: 895 mm

Hmotnost: 232 kg

Příloha H Technické specifikace větrné turbíny Aeolos-V 3 kW [34]

Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	3.0m (9.84ft)
Rotor Width:	2.4m (7.87ft)
Turbine Weight:	106kg (235.6lbs)
Blades Material:	Aluminum Alloy
Blade Quantity:	3 pcs
Working Temperature:	-20 °C to 50 °C
Design Lifetime:	20 years



Performance

Rated Power:	3000 W
Max Output Power:	3600 W
Cut In Wind Speed:	2.5m/s (5.58mph)
Rated Wind Speed:	10m/s (22.3mph)
Survival Wind Speed:	55m/s (122.65mph)
Generator Efficiency:	96%
Noise Level:	< 45 dB(A)
Warranty:	5 year

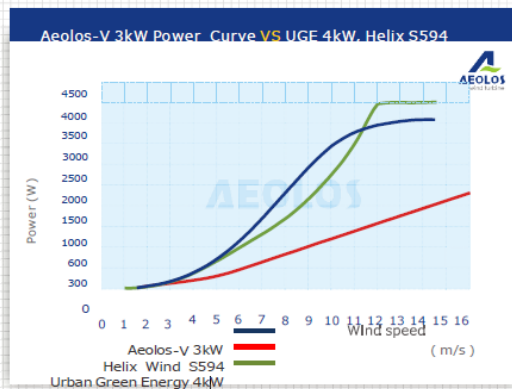
Aeolos-V 3kW Wind Turbine Annual Energy Output			
Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	892 kWh	8 m/s	15768 kWh
4 m/s	2365 kWh	9 m/s	21637 kWh
5 m/s	4029 kWh	10 m/s	26280 kWh
6 m/s	6307 kWh	11 m/s	29433 kWh
7 m/s	10162 kWh	12 m/s	30660 kWh

Safety

Blades RPM Limitation:	320 RPM
PWM Dump Load:	5kW Box
Mechanical Brake:	Manual

Optional

Remote Monitoring System (Internet/Wireless)	
Auto Hydraulic Brake System (Unattended Site)	
Off Grid :	48 V or 96 V
Grid Tie :	300 V



Příloha I Solární panely Solární panel VICTRON ENERGY - BlueSolar SPM300 [43]

Type	Module Size	Glass size	Weight	Electrical data under STC ⁽¹⁾				
				Nominal Power	Max-Power Voltage	Max-Power Current	Open-Circuit Voltage	Short-circuit Current
				P _{MPP}	V _{MPP}	I _{MPP}	V _{oc}	I _{sc}
Module	mm	mm	Kg	W	V	A	V	A
SPM30-12	450 x 545 x 25	445 x 535	2.5	30	18	1.67	22.5	2
SPM51-12	645 x 540 x 35	640 x 535	5.2	50	18	2.78	22.2	3.16
SPM81-12	1005 x 540 x 35	1000 x 535	7	80	18	4.45	22.3	4.96
SPM101-12	1210 x 540 x 35	1205 x 535	8	100	18	5.56	22.4	6.53
SPM131-12	1110 x 808 x 35	1105 x 802	11.5	130	18	7.23	22.4	8.49
SPM190-24	1580 x 808 x 35	1574 x 802	14.5	190	36	5.44	43.2	5.98
SPM300-24	1956 x 992 x 50	1950 x 986	23.5	300	36	8.06	45.5	8.56
Module	SPM30-12	SPM51-12	SPM81-12	SPM101-12	SPM131-12	SPM190-24	SPM300-24	
Nominal Power (±3% tolerance)	30W	50W	80W	100W	130W	190W	300W	
Cell type	Monocrystalline							
Number of cells in series	36					72		
Maximum system voltage (V)	1000V							
Temperature coefficient of P _{MPP} (%)	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C
Temperature coefficient of V _{oc} (%)	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C
Temperature coefficient of I _{sc} (%)	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.05/°C	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.037/°C
Temperature Range	-40°C to +85°C							
Surface Maximum Load Capacity	200kg/m ²							
Allowable Hail Load	23m/s, 7.53g							
Junction Box Type	PV-JH03-2	PV-JH02	PV-JH02	PV-JH02	PV-RH0301	PV-JH03	PV-JH200	
Connector Type	MC4							
Length of Cables	450mm	750mm	900mm	900mm	900mm	900mm	1000mm	
Output tolerance	+/-3%							
Frame	Aluminium							
Product warranty	2 years							
Warranty on electrical performance	10 years 90% + 25 years 80% of power output							
Smallest packaging unit	1 panel							
Quantity per pallet	40 panels	40 panels	20 panels	20 panels	20 panels	20 panels	20 panels	

Příloha J Solární panely Victron Solarmodul SPP250-24 [43]

Typ	Modulgröße	Glas-Größe	Gewicht	Elektrische Daten unter Standardtestbedingungen (STC) (1)				
				Nennleistung	Max. Spannung	Max. Stromstärke	Leerlaufspannung	Kurzschlussstrom
				P _{MPP}	V _{MPP}	I _{MPP}	V _{oc}	I _{sc}
Modul	mm	mm	kg	W	V	A	V	A
SPP30-12	735x350x25	730x345	3.5	30	18	1.67	22.5	1.85
SPP40-12	670x475x25	665x470	4.5	40	18	2.22	22.5	1.85
SPP51-12	540x670x35	535x665	5.7	50	18	2.78	22.2	3.09
SPP75-12	780x670x25	775x665	7.9	75	18	4.17	22.2	4.64
SPP81-12	915x670x35	910x665	8	80	18	4.44	21.6	5.06
SPP101-12	1005x670x35	1000x665	9	100	18	5.56	21.6	6.32
SPP140-12	1480x670x35	1474x664	15	140	18	7.78	21.6	8.85
SPP250-24	1650x992x40	1644x986	20,3	250	30	8.33	36.01	9.40
SPP280-24	1956x992x50	1950x986	24	280	36	7.78	44.06	8.26
SPP300-24	1960x989x40	1954x983	29	300	36	8.33	44,10	8.85

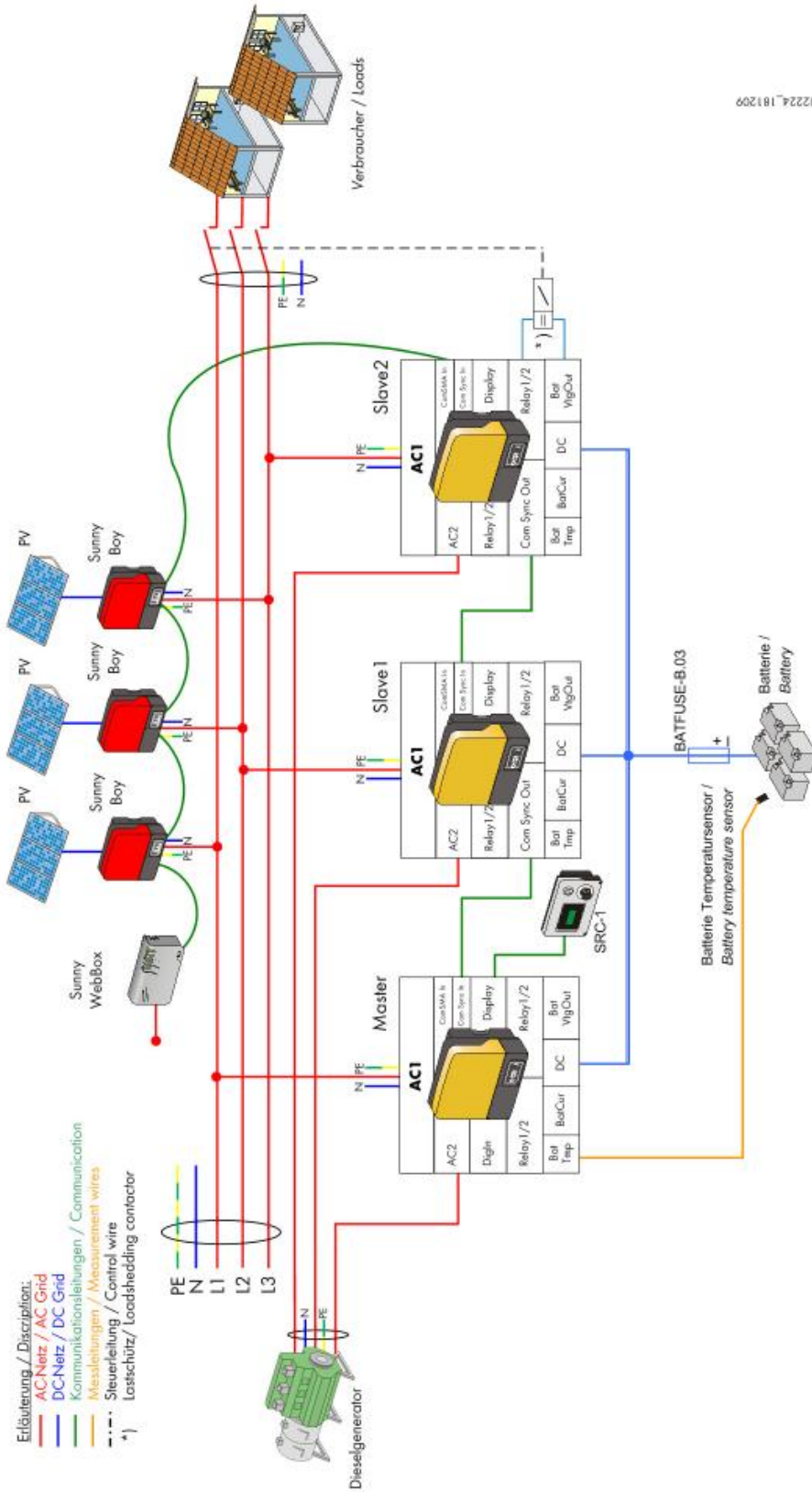
Modul	SPP30-12	SPP40-12	SPP51-12	SPP75-12	SPP81-12	SPP101-12	SPP140-12	SPP250-20	SPP280-24	SPP300-24
Nennleistung (±3% Toleranz)	30W	40W	50W	75W	80W	100W	140W	250W	280W	280W
Zellentyp	Polykristalline Zelle									
Anzahl der in Reihe geschalteten Zellen	36						60	72		
Maximale Systemspannung (V)	1.000V									
Temperaturkoeffizient von P _{MPP} (%)	-0.47/°C	-0.48/°C			-0.48/°C		-0.48/°C	-0.47/°C		-0.47/°C
Temperaturkoeffizient von Voc (%)	-0.34/°C	-0.34/°C			-0.34/°C		-0.34/°C	-0.35/°C		-0.34/°C
Temperaturkoeffizient von I _{sc} (%)	+0.045/°C	+0.037/°C			+0.037/°C		+0.037/°C	+0.037/°C		+0.045/°C
Temperaturbereich	-40°C bis +85°C									
Maximale Oberflächenbelastung	200kg/m ²									
Zulässige Belastung durch Hagel	23m/s, 7.53g									
Verteilerkasten-Typ	PV-JH03-2	PV-JH02			PV-JH02		PV-JH02	PV-JH200		PV-JH200
Stecker-Typ	MC4									
Kabellänge	450mm	Kein Kabel	750mm		900mm			1000mm		
Ausgangs-Toleranz	+/-3%									
Rahmen	Aluminium									
Produktgewährleistung	2 Jahre									
Gewährleistung auf elektrische Leistung	10 Jahre 90% + 25 Jahre 80% der Ausgangsleistung									
Kleinste Verpackungseinheit	1 Paneel									
Menge pro Palette	25 Paneele	25 Paneele			25 Paneele		20 Paneele	10 Paneele		

Příloha K Technické specifikace gelových baterii Giant Power 2V 1250Ah Tubular Gel [42]

Giant Power 2V 1250AH Tubular Gel	
Nominal Voltage	2V
Capacity	1250.0Ah@100hr to 1.85V/cell
Dimension	Length: 233 +/-2mm (9.17 inches) Width: 210 +/-3mm (8.27 inches) Container Height: 646 +/-3mm (25.4 inches) Total Height (with Terminal): 681 +/-3mm (26.8 inches)
Approx Weight	Approx 78.5 kg
Container Material	ABS
Rated Capacity	F.V=1.85VPC C100 = 1250(Ahr) C48 = 1225(Ahr) C24 = 1113(Ahr) C10 = 1000(Ahr)
Max. Discharge Current	3800A (5s)
Internal Resistance	Approx 0.27mΩ
Operating Temp.Range	Discharge : -20~55°C Charge : 0~40°C Storage : -20~50°C
Cycle Use / Bulk Charge	Initial Charging Current less than 200.0A Voltage 2.37V~2.40V at 25°C Temp. Coefficient -5mV/°C
Standby Use / Float Charge	No limit on Initial Charging Current Voltage 2.25V~2.30V at 25°C Temp. Coefficient -3mV/°C
Self-discharge	<2% per month @ 20°C

Příloha L Zapojení tří fázového grid-off systému podle společnosti SMA [38]

Schematic of a three phase Off-Grid System



512224.1R1209



SMA Solar Technology AG
 Sonnenallee 1 34266 Niestetal Germany
 Tel. +49 561 9522 0 • Fax +49 561 9522 100

www.SMA.de