

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Krytí energetických potřeb malého obytného automobilu  
pomocí OZE**

*Originál (kopie) zadání BP/DP*

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem ostrovního systému pro pokrytí energetických potřeb malého obytného automobilu. V úvodní části popisují možnosti využití jednotlivých obnovitelných zdrojů jako mobilních zdrojů energie. V další části analyzují energetické potřeby obytného automobilu a stanovují množství potřebné energie s ohledem na ekonomický provoz jednotlivých spotřebičů. Ve třetí části se zabývám samotným návrhem ostrovního systému a hledám nejvhodnější variantu pro pokrytí energetických potřeb. V závěrečné části zhodnocuji jednotlivé varianty s ohledem na provoz v jednotlivých ročních obdobích a cestovních režimech s předpokládanou působností ve střední Evropě. Cílem této práce je návrh reálného energetického systému, kterých bych chtěl v budoucnu zrealizovat pro vlastní využití a rekreaci.

## **Klíčová slova**

Obytný automobil, motorový karavan, ostrovní energetický systém, obnovitelné mobilní zdroje energie, fotovoltaický systém.

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the design of an island system to cover the energy needs of a small motor home. In the introductory part I describe the possibilities of using individual renewable sources as mobile energy sources. In the next part I analyze the energy needs of a motor home and determine the amount of energy needed with respect to the economic operation of individual appliances. In the third part I deal with the design of the island system and look for the most suitable option to cover energy needs. In the final part I evaluate the individual variants with regard to the operation in individual seasons and travel modes with expected area in Central Europe. The aim of this work is to design a real energy system, which I would like to realize in the future for my own use and recreation.

## **Key words**

Motorhome, motor caravan, island energy system, renewable mobile energy sources, photovoltaic system.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval 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 diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 20.4.2020

Bc. Vojtěch Valenta

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanovi Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Děkuji také své rodině za podporu a trpělivost během mého studia.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 VYUŽITÍ OZE JAKO MOBILNÍCH ZDROJŮ ENERGIE</b> .....	<b>13</b>
1.1 TERMÁLNÍ SOLÁRNÍ SYSTÉM .....	13
1.2 FOTOVOLTAICKÝ SOLÁRNÍ SYSTÉM.....	14
1.2.1 Dělení FV článků.....	16
1.2.2 Elektrické vlastnosti FV článků.....	19
1.3 VYUŽITÍ VĚTRNÉ ENERGIE.....	20
1.3.1 Dělení větrných motorů.....	20
1.4 VYUŽITÍ VODNÍ ENERGIE .....	22
1.5 TEPELNÁ ČERPADLA.....	23
<b>2 ENERGETICKÉ POTŘEBY OBYTNÉHO AUTOMOBILU</b> .....	<b>24</b>
2.1 TECHNICKÁ SPECIFIKACE AUTOMOBILU .....	24
2.1.1 Legislativní proces schvalování přestavby automobilů do 3,5 tuny.....	24
2.1.2 Výběr vozu pro přestavbu.....	25
2.2 IZOLACE A TEPELNÁ ZTRÁTA AUTOMOBILU.....	26
2.2.1 Metody izolování .....	26
2.2.2 Výpočet tepelné ztráty.....	30
2.3 ELEKTRICKÉ SPOTŘEBIČE .....	35
2.3.1 Čerpadlo.....	35
2.3.2 Topení.....	36
2.3.3 Ventilace.....	37
2.3.4 Osvětlení.....	38
2.3.5 Lednice .....	39
2.3.6 Ostatní DC spotřebiče.....	41
2.3.7 Ostatní AC spotřebiče.....	41
2.4 STANOVENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO OSTROVNÍ SYSTÉM.....	41
<b>3 NÁVRH ENERGETICKÉHO SYSTÉMU</b> .....	<b>43</b>
3.1 KONCEPT HYBRIDNÍHO SYSTÉMU .....	43
.....	44
3.1.1 Koncepce fotovoltaického systému .....	44
3.2 KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU .....	45
3.2.1 FV generátor .....	45
3.2.2 Akumulátory .....	50
3.2.3 Regulátor nabíjení.....	53
3.2.4 Ostrovní měnič.....	56
3.2.5 Kabely a elektrické vedení.....	57
3.3 NÁVRH FV SYSTÉMŮ .....	59

3.3.1	<i>Monokrystalický FV systém</i> .....	59
3.3.2	<i>Polykrystalický FV systém</i> .....	62
3.3.3	<i>Amorfni FV systém</i> .....	64
3.3.4	<i>Optimalizovaný FV systém</i> .....	67
<b>4</b>	<b>ZHODNOCENÍ</b> .....	<b>69</b>
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>71</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>73</b>
	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>



## Úvod

Cestování v obytném automobilu přináší úžasnou volnost a příležitost poznávání krajin a kultur z jiné strany, než je obvyklé. Tento trend započal kolem roku 1962 v USA, kdy spisovatel John Steinbeck v obytném voze poznával Ameriku a napsal cestopis Toulky s Charleym. Po vydání této knihy se zvedla velká vlna zájmu o obytné automobily, tzv. motorové karavany. Ty mají na rozdíl od obytných přívěsů velikou výhodu, protože dovolují rychlejší přesun a lepší manévrovatelnost. Za posledních deset let se tento trend naplno projevil i v České republice. Ministerstvo dopravy eviduje takřka dvojnásobný nárůst registrací těchto speciálních vozidel, a to i přes to, že pořízení takového automobilu je velmi nákladná záležitost. Levnější variantou je přestavba sériově vyráběné dodávky.

Cílem této práce je tedy reálný návrh obytného automobilu. Nejdůležitější úkol návrhu spočívá ve vytvoření takového automobilu, který bude mít co nejmenší energetickou náročnost, protože využitelnost obnovitelných zdrojů v takových to případech je značně omezená. Solární energie jako jednotný zástupce obnovitelných zdrojů má obecně malou hustotu energetického toku a solární systém bývá poměrně velké zařízení zabírající velkou plochu pro dosažení požadovaného výstupního výkonu. V případě mobilního využití jsme limitováni reálně využitelnou plochou a také maximální hmotností automobilu. Naprostá většina výrobců se soustředí na obytné přestavby a speciální obytné vozy s celkovou hmotností do 3 500 kg z důvodu možnosti řízení s oprávněním skupiny B. Další omezení vyplývá z maximální výšky automobilu a aerodynamického odporu, který velmi zvyšuje provozní náklady.

## Seznam symbolů a zkratek

$\alpha$ .....	součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
index i.....	vnitřní prostor
index e .....	vnější prostor
index si, se.....	vnitřní strany konstrukce
Q.....	tepelný tok [W]
S.....	plocha [ $m^2$ ]
$\Delta t$ .....	teplotní rozdíl [ $^{\circ}C$ ]
$\theta$ .....	návrhová teplota [ $^{\circ}C$ ]
$\lambda$ .....	součinitel tepelné vodivosti [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
R.....	tepelný odpor [ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ ]
q.....	hustota tepelného toku [ $W \cdot m^{-2}$ ]
U,k.....	součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
h .....	výška slunce nad obzorem ( $^{\circ}$ )
d .....	šířka [m]
$I_0$ .....	sluneční konstanta [ $W \cdot m^{-2}$ ]
$I_D$ .....	diodový proud
$I_{Ph}$ .....	fotoelektrický proud
H .....	nadmořská výška
$\varepsilon$ .....	součinitel závislý na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce
IMPP .....	proud při jmenovitém výkonu [A]
ISC .....	zkratový proud solárního pole [A]
MPP .....	maximum power point (bod maximálního výkonu)
MPPT .....	maximum power point tracker (sledovač bodu maximálního výkonu)
PVSOL.....	Photovoltaic planning program for the design and optimization
PVGIS .....	Photovoltaic Geographical Information System
E .....	dopadající sluneční energie [ $W \cdot m^{-2}$ ]
STC .....	standardní testovací podmínky (standard test conditions)
U <sub>0C</sub> .....	napětí naprázdno [V]
UMPP .....	napětí při jmenovitém výkonu [V]
Z .....	činitel znečištění atmosféry (-)
FV .....	fotovoltaický systém

## Seznam obrázků a tabulek

### Obrázky

OBR. 1.1 DRUHY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ [2] .....	13
OBR. 1.2 PŘÍKLAD SOLÁRNÍHO SYSTÉMU PRO OHŘEV VODY [2].....	14
OBR. 1.3 PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO JEVU [24] .....	14
OBR. 1.4 ROZDĚLENÍ FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ [24] .....	15
OBR. 1.5 MONOKRYSTALICKÝ ČLÁNEK [7].....	16
OBR. 1.6 POLYKRYSTALICKÝ ČLÁNEK [7] .....	16
OBR. 1.7 AMORFNÍ ČLÁNEK [7] .....	17
OBR. 1.8 SPEKTRÁLNÍ CITLIVOST RŮZNÝCH DRUHŮ FV ČLÁNKŮ [24] .....	18
OBR. 1.9 SCHÉMA NÁHRADNÍHO ZAPOJENÍ ZA SVĚTLA A CHARAKTERISTICKÁ KŘIVKA [24].	19
OBR. 1.10 ODPOROVÉ VĚTRNÉ MOTORY [9] .....	20
OBR. 1.11 VZTLAKOVÉ VĚTRNÉ MOTORY [9] .....	21
OBR. 1.12 PRINCIP PŘENOSNÉ VODNÍ MIKROELEKTRÁRNY [8].....	22
OBR. 1.13 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA [1].....	23
OBR. 2.1 TECHNICKÁ SPECIFIKACE FIAT DUCATO L4H2 [10] .....	25
OBR. 2.2 ROLETY A IZOLAČNÍ TERMOFOLIE [13] .....	26
OBR. 2.3 TECHNICKÝ LIST ITPUR S48 [18] .....	29
OBR. 2.4 IZOLOVÁNÍ METODOU POLYURETANOVÝCH DESEK ITPUR D A STRÍKANOU PUR PĚNOU [18] .....	29
OBR. 2.5 PŘESTUP A PROSTUP TEPLA PŘI TEPELNÉM TOKU KONSTRUKCÍ [11].....	30
OBR. 2.6 SKLADBA KONSTRUKCE STĚNY A PRŮBĚH TEPLŮT .....	32
OBR. 2.8 PRŮBĚH TEPLŮTY NA PROSKLENÉ PLOŠE.....	33
OBR. 2.7 SKLADBA KONSTRUKCE PODLAHY A PRŮBĚH TEPLŮT .....	33
OBR. 2.9 ÚČINEK PŘÍDAVNÉHO IZOLOVÁNÍ OKEN ROLETAMI A REFLEXNÍMI FOLIEMI.....	34
OBR. 2.10 MEMBRÁNOVÉ ČERPADLO SHURFLO SOFT [22] .....	35
OBR. 2.11 PLYNOVÉ TOPENÍ TRUMA COMBI 4E [22] .....	36
OBR. 2.12 STŘEŠNÍ OKNO S VENTILÁTOREM .....	37
OBR. 2.13 VENTILÁTOR HELLA TURBO [22] .....	37
OBR. 2.14 SVĚTELNÉ ZDROJE [22].....	38
OBR. 3.1 SCHÉMA OSTROVNÍHO HYBRIDNÍHO SYSTÉMU .....	44
OBR. 3.2 ŽIVOTNOST OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ [24].....	51
OBR. 3.3 POSTUP NABÍJENÍ SOLÁRNÍ ENERGÍ [24].....	54
OBR. 3.4 V/A CHARAKTERISTIKA FV PANELU [6] .....	55
OBR. 3.5 PRINCIP MPP NABÍJECÍHO REGULÁTORU [24].....	55
OBR. 3.6 STANOVENÍ DÉLKY KABELOVÝCH OKRUHŮ .....	58
OBR. 3.7 SCHÉMA MONOKRYSTALICKÉHO FV SYSTÉMU .....	59
OBR. 3.8 SIMULACE MONOKRYSTALICKÉHO SYSTÉMU PVGIS.....	60
OBR. 3.9 SIMULACE MONOKRYSTALICKÉHO SYSTÉMU PVSOL.....	61
OBR. 3.10 SCHÉMA POLYKRYSTALICKÉHO FV SYSTÉMU.....	62
OBR. 3.11 SIMULACE POLYKRYSTALICKÉHO SYSTÉMU PVGIS .....	63
OBR. 3.12 SIMULACE POLYKRYSTALICKÉHO SYSTÉMU PVSOL .....	63
OBR. 3.13 SCHÉMA AMORFNÍHO FV SYSTÉMU .....	64
OBR. 3.14 SIMULACE AMORFNÍHO SYSTÉMU PVGIS .....	65
OBR. 3.15 SIMULACE AMORFNÍHO SYSTÉMU PVSOL.....	66
OBR. 3.16 SCHÉMA OPTIMALIZOVANÉHO FV SYSTÉMU.....	67
OBR. 3.17 SIMULACE OPTIMALIZOVANÉHO FV SYSTÉMU PVSOL .....	68

## Tabulky

TAB. 2.1 VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY .....	34
TAB. 2.2 TECHNICKÉ PARAMETRY VODNÍHO ČERPADLA .....	35
TAB. 2.3 TECHNICKÉ PARAMETRY PLYNOVÉHO TOPENÍ .....	36
TAB. 2.4 TECHNICKÉ PARAMETRY VENTILÁTORŮ .....	37
TAB. 2.5 TECHNICKÉ PARAMETRY OSVĚTLENÍ A CELKOVÝ PŘÍKON .....	38
TAB. 2.6 VÝHODY A NEVÝHODY KOMPRESOROVÝCH CHLADNIČEK .....	39
TAB. 2.7 VÝHODY A NEVÝHODY ABSORPČNÍCH CHLADNIČEK .....	40
TAB. 2.8 VÝHODY A NEVÝHODY TERMOELEKTRICKÝCH CHLADNIČEK .....	40
TAB. 2.9 TECHNICKÉ PARAMETRY CRUISE 100 .....	40
TAB. 2.10 ZÁZNAM DENNÍ SPOTŘEBY STŘÍDAVÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	41
TAB. 2.11 ZÁZNAM DENNÍ SPOTŘEBY STEJNOSMĚRNÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	42
TAB. 3.1 KOREKČNÍ FAKTOR PRO ORIENTACI $Z_3$ PRO NĚMECKO [24] .....	47
TAB. 3.2 KOREKČNÍ KOEFICIENT $Z_4$ PRO ZOHLEDNĚNÍ ÚČINKŮ OKOLNÍ TEPLoty [24] .....	48
TAB. 3.3 VÝPOČET VÝKONU FV GENERÁTORU PRO MÍRNOU KLIMATICKOU OBLAST .....	49
TAB. 3.4 VÝPOČET VÝKONU FV GENERÁTORU PRO STŘEDOMOŘSKOU OBLAST .....	49
TAB. 3.5 VÝPOČET VÝKONU FV GENERÁTORU PRO HORKOU KLIMATICKOU OBLAST .....	49
TAB. 3.6 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ ELEKTROCHEMICKÝCH AKUMULÁTORŮ [24] .....	50
TAB. 3.7 VÝPOČET KAPACITY AKUMULÁTORŮ .....	52
TAB. 3.8 VÝPOČET PRŮŘEZŮ VODIČŮ .....	58
TAB. 3.9 SOUPIS POUŽITÝCH KOMPONENT – 1. VARIANTA .....	60
TAB. 3.10 SOUPIS ENERGETICKÝCH ZISKŮ – 1. VARIANTA PVSOL .....	61
TAB. 3.11 SOUPIS POUŽITÝCH KOMPONENT – 2. VARIANTA .....	62
TAB. 3.12 SOUPIS ENERGETICKÝCH ZISKŮ – 2. VARIANTA PVSOL .....	64
TAB. 3.13 SOUPIS POUŽITÝCH KOMPONENT – 3. VARIANTA .....	65
TAB. 3.14 SOUPIS ENERGETICKÝCH ZISKŮ – 3. VARIANTA PVSOL .....	66
TAB. 3.15 SOUPIS POUŽITÝCH KOMPONENT – 4. VARIANTA .....	68
TAB. 3.16 SOUPIS ENERGETICKÝCH ZISKŮ – 4. VARIANTA PVSOL .....	69

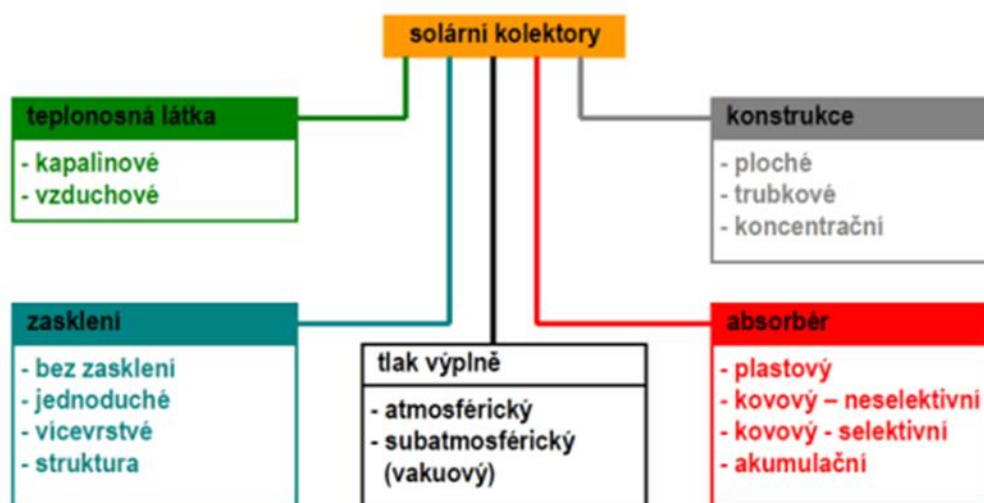
# 1 Využití OZE jako mobilních zdrojů energie

Mobilní energetické zdroje jsou autonomní systémy zajišťující dodávku různých forem energií. Tyto ostrovní systémy dávají možnost neomezeného a nezávislého získávání energie ze svého okolí. Zdroje mají charakter potenciální či pohybový, tzn. chceme-li je využít, musíme jejich vnitřní energii pomocí vhodných postupů a zařízení uvolnit nebo zachytit a přeměnit na požadovaný druh energie. V následujících kapitolách popíšeme principy jednotlivých druhů OZE.

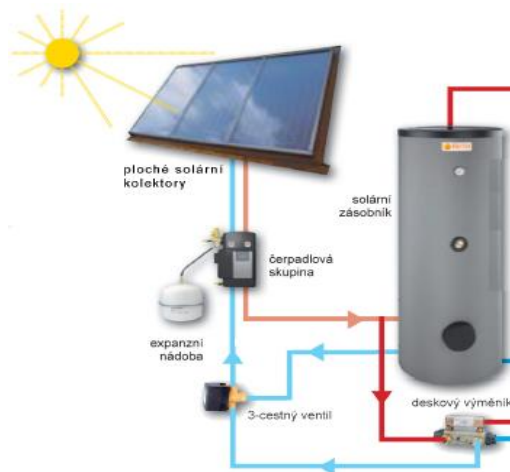
## 1.1 Termální solární systém

Fototermální přeměna je nejjednodušší a nejučinnější způsob získávání energie ze slunečního zářivého toku. Energetický potenciál slunečního záření je největší v oblasti viditelného spektra (cca 60%) a v oblasti infračerveného spektra (cca 30%). Při fototermální přeměně se snažíme o přeměnu viditelného záření na teplo, čímž teoreticky můžeme získat až 90% tepla z celkového dopadajícího záření. Prodloužení vlnové délky záření do tepelného spektra lze dosáhnout dopadem záření na neprůhlednou, tmavou plochu s malou vyzařovací schopností, kde dojde k absorpci energie fotonů a přeměně na pohyb molekul neboli teplo.

Tato přeměna se uskutečňuje v solárních kolektorech, kde dochází k absorpci a odvodu tepla pomocí teplotnosných médií (např. nemrznoucí směs). Termální solární systém lze využít jako mobilní zařízení např. k ohřívání užitkové vody pro potřeby letního kempu nebo přechodného stanoviště. [1]



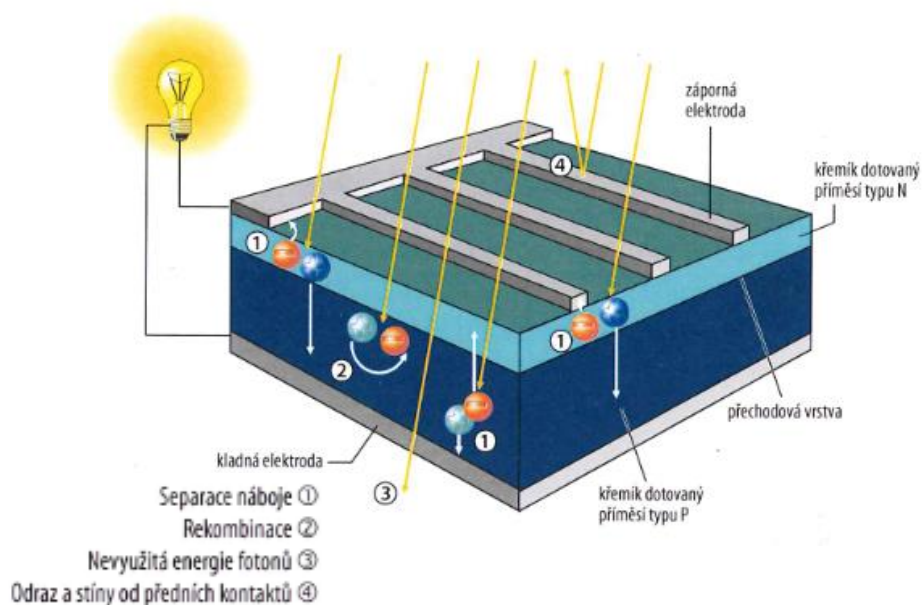
Obr. 1.1 Druhy solárních kolektorů [2]



Obr. 1.2 Příklad solárního systému pro ohřev vody [2]

## 1.2 Fotovoltaický solární systém

Přímá přeměna slunečního záření na elektrickou energii je umožněna na základě fotovoltaického jevu. Fotovoltaický jev je založen na pohlcení fotonu elektronem v polovodičovém materiálu, při kterém dojde ke generaci páru elektron-díra. Fotony jsou částice záření, jejich energie závisí na vlnové délce. Čím kratší je vlnová délka záření, tím větší energii fotony mají. Aby se z krystalové mřížky křemíku uvolňovaly elektrony, musí mít fotony záření energii aspoň 1,12 eV. Této energii odpovídá tzv. mezní vlnová délka asi 1105 nm (infrachervené záření). Fotony viditelného světla mají dostatek energie pro uvolnění energie z krystalové mřížky. Pokud je však vlnová délka příliš malá, dochází k ohřevu a ztrátám. Tento proces probíhá ve fotovoltaickém článku. [3]

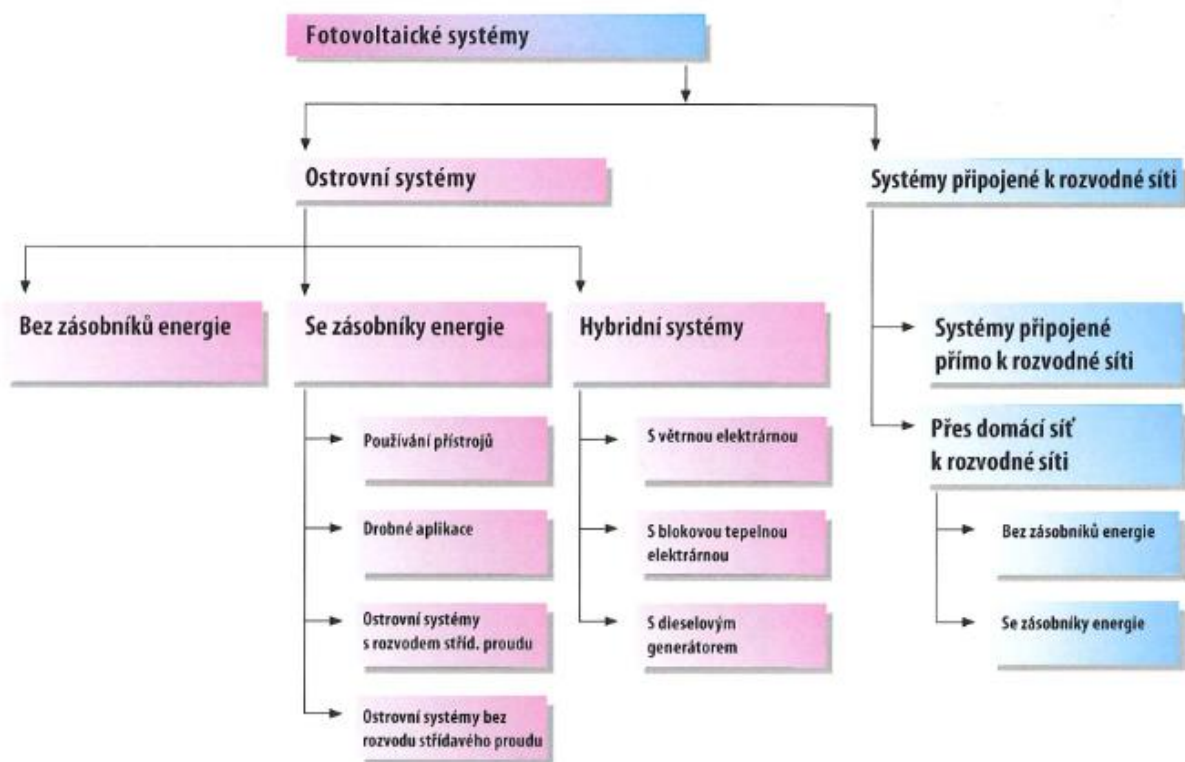


Obr. 1.3 Princip fotovoltaického jevu [24]

Fotovoltaický článek je v podstatě velkoplošná polovodičová dioda, na jejíž přechod PN dopadá sluneční záření. Základem je plátek krystalického křemíku typu P (s příměsí bóru), spodní strana je potištěna vodivou stříbrnou mřížkou. Na horní ploše se difuzí fosforu vytvoří asi 500 nm silná vrstvička polovodiče typu N. Na této vrstvě jsou sítotiskem vytvořeny úzké vodivé kontakty. Ve vrstvě typu N je přebytek záporných elektronů a ve vrstvě P je naopak nedostatek, který se projevuje jako kladné "díry". Mezi oběma vrstvami vznikne přechod PN (elektrická bariéra), zabráňující volnému přechodu elektronů z místa jejich nadbytku do místa jejich nedostatku.

Základní důležitou vlastností přechodu PN je, že volné elektrony uvolněné světlem mohou snadno přecházet z vrstvy P do vrstvy N, zatímco v opačném směru nikoli. Nahromaděním volných elektronů vznikne mezi horní a spodní vrstvou elektrické napětí o velikosti kolem 0,5 V. Připojíme-li mezi horní a spodní kontakt fotočlánek spotřebič, vytvoříme uzavřený elektrický obvod, kterým prochází elektrický proud. [3]

Tyto energetické systémy se provozují jako systémy ostrovní nebo systémy přímo připojené k rozvodné síti.



**Obr. 1.4** Rozdělení fotovoltaických systémů [24]

### 1.2.1 Dělení FV článků

FV články můžeme rozdělit podle:

#### 1. Struktury materiálu

- **Monokrystalické články**

Tyto články se vyrábějí z taženého křemíku ve tvaru tyče, které se posléze nařezou na tenké plátky (Czochralskiho proces). Tato výroba je nejdražší, ale články dosahují dobré účinnosti. Nejlepší komerční články s jedním přechodem dosahuje účinnost kolem 22 %. Kompletní panely z pospojovaných článků se svou účinností blíží 20 %. Povrch je opatřen antireflexní vrstvou a kovovou mřížkou.



**Obr. 1.5** Monokrystalický článek [7]

- **Polykrystalické články**

Články se vyrábějí rozřezáním polykrystalického kvádrového ingotu. Výroba je jednodušší a levnější. Odpadá Czochralskiho proces a dochází k menším ztrátám. Články mají nepatrně horší účinnost oproti monokrystalu, ale lepší využití plochy v solárním panelu a lepší poměr výkon/cena. Nejlepší účinnost u komerčních článků je kolem 17 %. [5]



**Obr. 1.6** Polykrystalický článek [7]



- **Amorfní články**

Jsou polymerní, organické, uměle vytvořené nanomateriály využívající nanotrubic a kvantových teček apod. Některé typy se vyrábějí napařováním amorfního křemíku na skleněnou tabuli. Lze je využít pro velmi tenké nebo ohebné fotovoltaické články. Mají nižší účinnost a životnost, na druhou stranu dokáží využít i difúzní záření. Velkou nevýhodou je větší náročnost na prostor při instalaci a větší pořizovací náklady a rychlejší degradace panelů. [5] [6]



**Obr. 1.7** Amorfní článek [7]

## 2. Druhu vrstev a technologie jejich výroby

- **Tlustovrstvé**

Substrát je polovodič vytvořený rozřezáním monokrystalického nebo polykrystalického ingotu, na němž se vytvářejí další vrstvy. Mají stabilnější a lepší parametry, ale větší spotřebu materiálu a vyšší cenu. Tvoří asi 82 % všech vyráběných článků. [5]

- **Tenkovrstvé**

Polovodičové vrstvy jsou nanášeny na nepolovodičový substrát (plast, papír, sklo). Tímto způsobem se dosahuje menší spotřeby drahého materiálu a lepší energetické návratnosti, avšak horší účinnosti a méně stabilní parametry. Tvoří asi 17 % všech vyráběných článků. [5]

### 3. Druhu materiálu

- **Křemíkové**

Jde o klasickou a nejrozšířenější technologii. Články jsou nejdražší, ale mají nejlepší parametry.

- **Na bázi jiných materiálů než křemíku**

Jedná se o materiály GaAs, InP, CuInSe. Komerčně nejrozšířenější je CdTe, z důvodu snadného nanášení. [5]

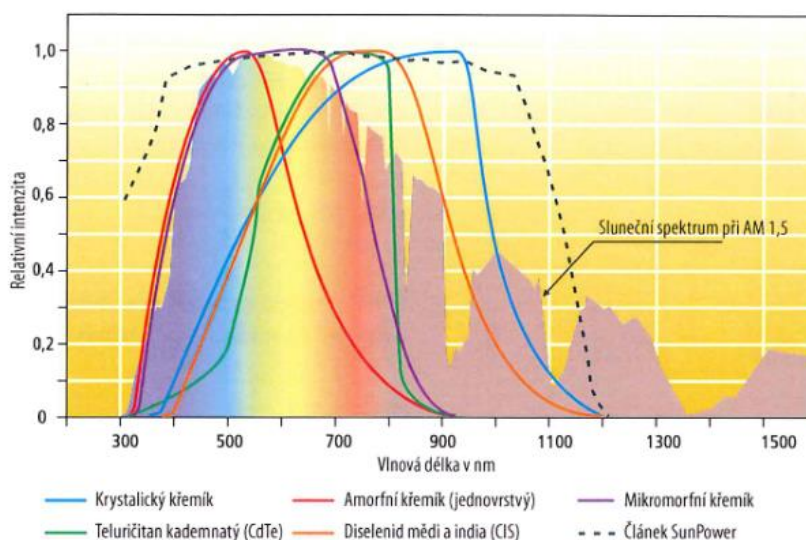
### 4. Počtu přechodů

- **Jednopřechodové**

Jednoduchá výroba, ale nejmenší účinnost, protože zachycují jen fotony s energií větší nebo srovnatelnou se šířkou zakázaného pásu. Fotony s vyšší energií, než je šířka zakázaného pásu, se zčásti přemění na teplo.

- **Vícepřechodové**

Mají větší účinnost a zároveň i vyšší cenu v důsledku složitější výroby. Nicméně je to cesta, která umožňuje zachytávat a využívat fotony z širšího pásma vlnových délek, a tedy i budoucnost a směr zlepšování polovodičové technologie. [5]



**Obr. 1.8** Spektrální citlivost různých druhů FV článků [24]

## 1.2.2 Elektrické vlastnosti FV článků

Osvícený FV článek představuje paralelní zapojení proudového zdroje a diody, který produkuje fotoelektrický proud  $I_{ph}$ . Velikost tohoto proudu je závislá na intenzitě osvitu.

$$I_{ph} = c_0 \cdot E \quad [A] \quad (1.1)$$

$$I = I_{ph} - I_D \quad [A] \quad (1.2)$$

$$E_{pn} = E_0 \cdot e^{\left(\frac{-Z}{\varepsilon}\right)} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.3)$$

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (1.4)$$

$$E = E_p + E_D \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.5)$$

$I_{ph}$  – fotoelektrický proud

$I_D$  – diodový proud

$E_0$  – sluneční konstanta (průměrně  $E_0 = 1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$E_p$  – přímé sluneční záření

$E_d$  – difuzní sluneční záření

$Z$  – součinitel znečištění atmosféry

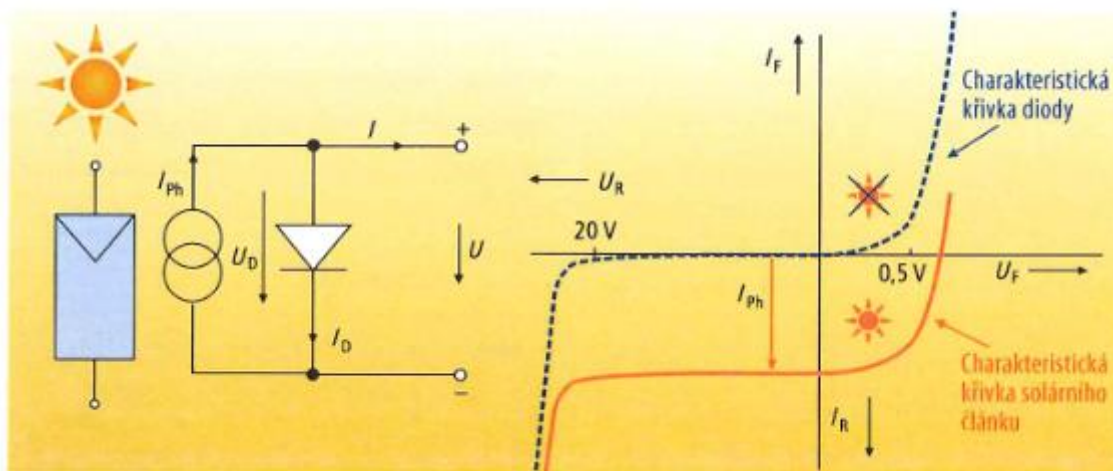
$\varepsilon$  – součinitel závislý na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce

$E$  – intenzita osvitu

$H$  – nadmořská výška

$h$  – výška slunce nad obzorem

$c_0$  – koeficient fotoelektrického proudu [ $\text{m}^2/\text{W}$ ] [24]



**Obr. 1.9** Schéma náhradního zapojení za světla a charakteristická křivka [24]

## 1.3 Využití větrné energie

Větrná energie je velmi hodnotný a v dnešní době velmi diskutovaný obnovitelný zdroj energie. Větrné motory a mlýny byly v dávné i nepříliš dávné době běžným zdrojem energie po celém světě. S rozvojem technologií a dostupností fosilních paliv se bohužel tento zdroj stal nekonkurenceschopným a nastal rychlý útlum. Postupným vyčerpáním zdrojů velmi levné energie a znečištěním životního prostředí se vracíme k možnostem využívání větru, jakožto levného a dostupného zdroje energie.

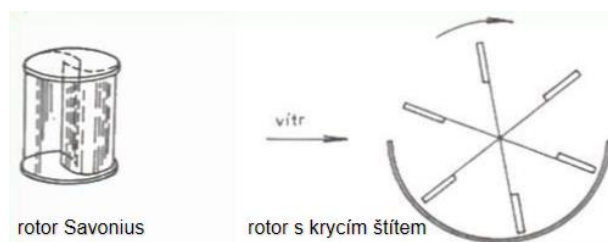
Největším nedostatkem je problematický odhad celkového množství energie, jež lze z těchto malých zdrojů vyrobit. To je dáno samotným charakterem zdroje, který je velmi proměnlivý a nestálý. Dalším úskalím je výběr vhodné lokality a správný návrh větrného motoru pro zajištění maximální účinnosti. Z tohoto důvodu tento zdroj hodnotím jako nevhodný pro mobilní aplikace.

### 1.3.1 Dělení větrných motorů

Větrné motory lze rozdělit podle různých kritérií. Základní rozdělení vychází z principu vzniku sil na lopatce větrného motoru (tzn. aerodynamický princip). Podle něj dělíme větrné motory na vztlakové a odporové.

#### 1. Odporové větrné motory

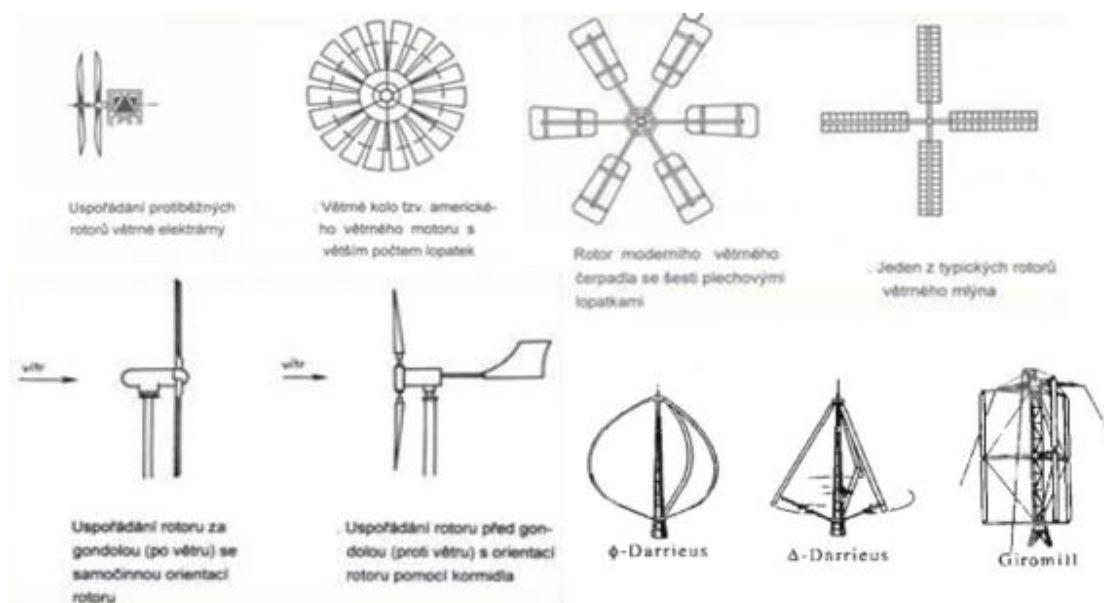
Patří mezi nejstarší a mohou mít svislou i vodorovnou osu rotace. Princip je založen na různém odporovém součiniteli na přední a zadní straně lopatky. Plocha nastavená proti větru klade aerodynamický odpor a proud vzduchu vyvozuje sílu, která je mechanicky přeměňována na rotační pohyb. Nevýhodou je malá účinnost. Převede se asi jen 5 % energie procházející plochou motoru. Klasickým případem je mističkový anemometr nebo rotor Savonius. [9]



**Obr. 1.10** Odporové větrné motory [9]

## 2. Vztlakové větrné motory

Využívají vztlakovou sílu vznikající při obtékání lopatek. Lopatka tedy pracuje jako rotující křídlo a má aerodynamický profil vyvolávající při jeho obtékání různou rychlost na horní a spodní straně lopatky. Výsledná účinnost přeměny energie větru na práci na hřídeli je až desetkrát vyšší než u odporového principu. Mohou mít svislou i vodorovnou osu rotace. Vodorovnou osu rotace mají vrtule a větrná kola, vertikální osu mají rotory typu Darrieus a Giromill. Různé typy vztlakových větrných turbín jsou uvedeny na obr. 1.11. [9]



Obr. 1.11 Vztlakové větrné motory [9]

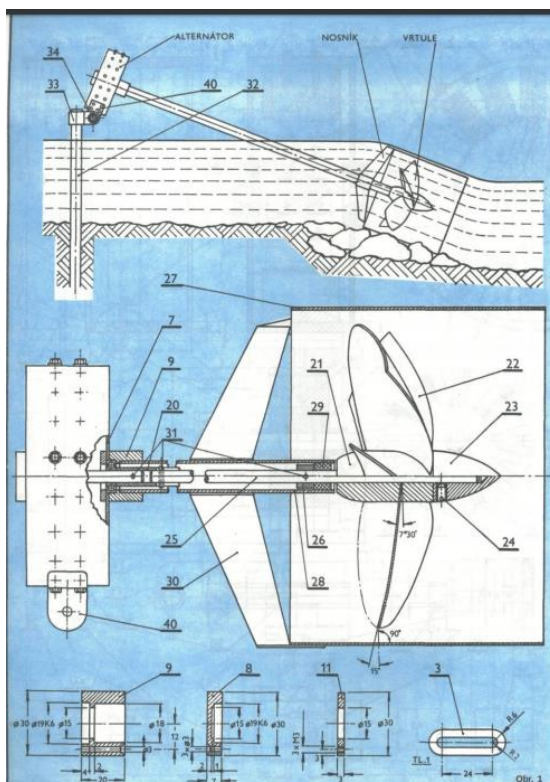
Výkon větrné turbíny může být odvozen z výkonu větru dosazením výkonového součinitele větru  $c_p$  a aktivní plochy větrné turbíny  $A$ .

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot c_p \cdot A \cdot v^3 \quad [\text{W}] \quad (1.6)$$

## 1.4 Využití vodní energie

Energie vody je velmi stabilním a hodnotným obnovitelným zdrojem, avšak pro mobilní využití poněkud nevhodným. Využití energie vody je podmíněno rozdílnými výškami hladin a zajištění potřebného spádu. Vzniklý proud vody pak teče samospádem přes lopatky vodní turbíny a vyrábí elektrickou energii. Zajištění vhodného spádu je při mobilních přenosných aplikacích velmi obtížné a jsme prakticky limitováni vhodnou lokalitou. Turbína pro přenosnou mikroelektrárnu by měla být co nejjednodušší konstrukce, velmi lehká, skladná a snadno smontovatelná.

Pro mobilní využití malého vodního toku by byla nejvhodnější Propelerová vrtulová turbína. Principiálně se jedná o lodní šroub umístěný do koryta řeky. Proud vody protéká přes lopatky a roztáčí generátor umístěný na hřídeli turbíny. Tyto jednoduché vrtulové neregulovatelné turbíny jsou mimořádně spolehlivé a často se využívají jako záložní zdroje pro řídicí elektroniku nebo dobíjení záložních akumulátorů. Příklad takového zařízení je na obr. 1.12. [8]

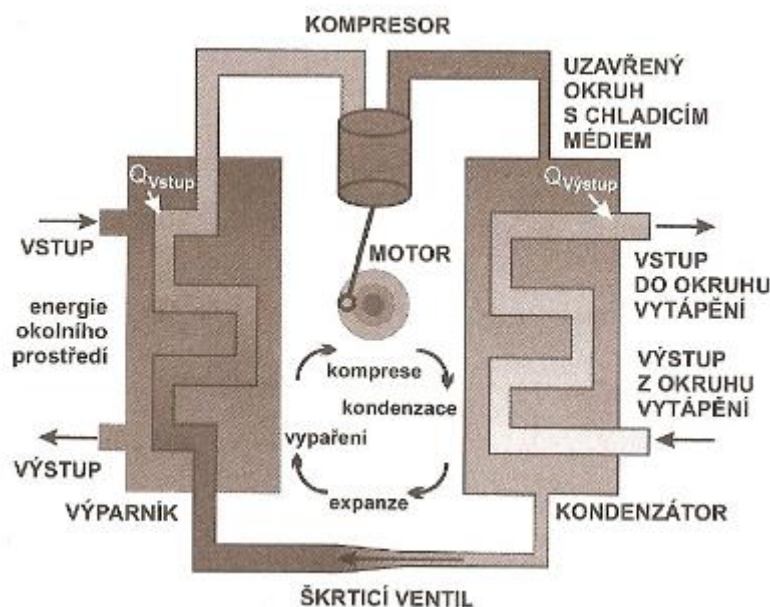


Obr. 1.12 Princip přenosné vodní mikroelektrárny [8]

## 1.5 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla umožňují odjímat teplo okolnímu prostředí a převádět ho na vyšší teplotní hladinu. Princip je založen na pochodech spojených se změnou skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky (chladiwa). Ve výparníku chladivo za nízkého tlaku a teploty odnímá teplo ochlazované látky (zdroji tepla), dochází k varu a kapalné chladivo se postupně mění v páru. Páry chladiva jsou stlačeny na kondenzační tlak a v kondenzátoru předávají kondenzační teplo ohřívané látce a mění své skupenství na kapalné. Poté dojde ke snížení tlaku a přivedení kapalného chladiva do výparníku a celý cyklus se opakuje. Princip je znázorněn na obr. 1.13. [1]

Pro mobilní aplikace se nejvíce hodí tepelná čerpadla typu vzduch/vzduch a to z několika důvodů. Tento typ tepelného čerpadla umožňuje reverzní chod, takže ho lze využít jako klimatizaci i jako topení. Je velmi vhodný pro teplovzdušné vytápění. Zároveň jsou tyto jednotky poměrně malé, lehké a kompaktní. Oproti ostatním typům mají méně součástí a využívají všude přítomný vzduch. Tyto zařízení využívají ke své činnosti elektrický proud a neprodukují žádné emise.



Obr. 1.13 Princip tepelného čerpadla [1]

## 2 Energetické potřeby obytného automobilu

Stanovení energetické náročnosti je základní předpoklad pro návrh energetického ostrovního systému. V návrhu se pokusím o minimalizaci energetických ztrát a co nejmenší spotřebu elektrické energie. Zaměřím se na kvalitní odizolování automobilu a vhodný výběr úsporných spotřebičů.

### 2.1 Technická specifikace automobilu

#### 2.1.1 Legislativní proces schvalování přestavby automobilů do 3,5 tuny

Technická specifikace silničních vozidel se řídí dle vyhlášky č. 206/2018 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a zákonem č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel. Legislativní proces schvalování přestavby užitkového automobilu (N1) není úplně jednoduchý a levný. Přestavbu silničního vozidla schvaluje obecní úřad s rozšířenou působností na základě písemné žádosti a je nutné splnit podmínky pro přestavbu stanovené prováděcím právním předpisem.

Žádost obsahuje:

- náčrt přestavby/vestavby s popisem úprav,
- povolení k přestavbě od zastoupení automobilky,
- malý a velký technický průkaz automobilu.

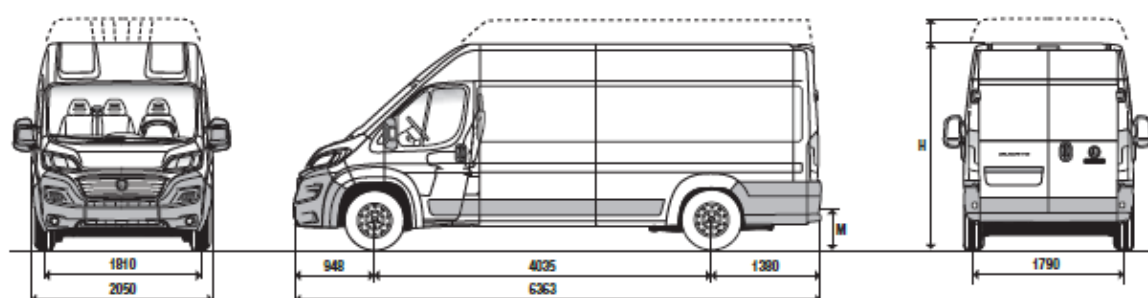
Žadostí celý proces teprve začíná. Následuje přestavba automobilu, revize plynu a elektřiny, převážení automobilu a přestavbová technická kontrola zkušební stanicí. Je také důležité myslet na homologaci všech montovaných dílů. Po získání všech potřebných dokumentů má příslušný schvalovací orgán 30 dní na vyřízení žádosti.



## 2.1.2 Výběr vozu pro přestavbu

Výběru automobilu by měl předcházet průzkum a zjištění, zda zamýšlený model dostane kladné stanovisko od zastoupení výrobce. Dalším aspektem jsou samozřejmě finance a zamýšlený účel využívání. Tím myslím plánovaný provoz v různých ročních obdobích, cestovních režimech, lokalitách a nároky na obytný prostor.

Pro účel této práce jsem zvolil užitkový vůz kategorie N1 značky Fiat. Plánovaná přestavba se bude realizovat na podvozku Fiat Ducato L4H2. Technická specifikace je na obr. 2.1.



Rozměry (mm)	Dodávka 3500 kg XL	
	Vysoká H2	Extra Vysoká H3
Rozvor	4035	4035
Max. délka	6363	6363
Max. šířka	2050	2050
Rozchod kol vpředu	1810	1810
Rozchod kol vzadu	1790	1790
H Max. výška (bez zátěže)	2539	2779
Přední převis	948	948
Zadní převis	1380	1380
<b>Zadní dvířka</b>		
Šířka	1562	1562
Výška	1790	2030
<b>Boční dvířka</b>		
Šířka	1250	1250
Výška	1755	1755
<b>Nákladový prostor</b>		
Max. délka	4070	4070
Max. šířka	1870	1870
Šířka mezi podběhy	1422	1422
Max. výška	1932	2172
M Výška zadní nákladové hrany v pohotovostním stavu	535	535

Objem 15 m <sup>3</sup>	Dodávka 3500 kg XL Vysoká H2	
	140 Natural Power	
Motor	140 Natural Power	
Pohotovostní hmotnost* (kg)	2405	
Nosnost* (kg)	1095	
Najvyšší technicky přípustná hmotnost (kg)	3500	
Max. rychlost (km/h)	155	
Spotřeba Emise (l/100 km) kombinovaná	8,6*	
Emise CO <sub>2</sub> NEDC (g/km)	234	

Obr. 2.1 Technická specifikace Fiat Ducato L4H2 [10]

## 2.2 Izolace a tepelná ztráta automobilu

Izolace a snížení tepelné ztráty je zásadní pro udržení tepelné pohody v každém roční období. Existuje několik postupů, jak takovou izolaci realizovat, nutno však dodat, že vždy půjde o kompromisní řešení. Výpočet tepelné ztráty „pojízdného objektu“ je opravdu čistý odhad. Došel jsem k závěru, že není možné exaktně stanovit tepelnou ztrátu. V automobilu se nachází mnoho slabých míst (tepelných mostů), které nejsem schopný přesně vyčíslit. Dalším důvodem je fakt, že výpočtové metody jsou založeny na formulaci okrajových podmínek, kterými jsou podnebí a orografie oblastí. Okrajové podmínky pro obytný automobil se mění každou změnou lokality.

### 2.2.1 Metody izolování

Kvalitně zaizolovat motorový karavan je opravdu věda a existuje mnoho různých názorů na toto téma. Izolace by neměla pouze snižovat tepelnou ztrátu, ale také plnit i akustickou funkci a zlepšovat zvukovou neprůzvučnost ploch v důsledku odstranění rezonancí a vibrací. Z provedených zkušebních výpočtů, které uvedu v další kapitole, jsem došel k závěru, že je nutné se soustředit na detailní odizolování tepelných mostů a slabých míst karosérie, kterými jsou okna a ocelové konstrukční prvky, kde bude izolace zeslabena z důvodu omezeného prostoru uvnitř automobilu.

Okna lze dodatečně odizolovat vnitřními roletami a venkovními izolačními foliemi. Příklad takového opatření pro snížení tepelného prostupu je uveden na obr. 2.2. Řešení pro snížení tepelné ztráty infiltrací a větrání neznám. Automobil musíme odvětrávat kvůli kondenzaci par a výměně vzduchu pro dýchání osob. Příkladná izolace nosníků bude na úkor vnitřního prostoru a nejsem si jistý, jestli se takové opatření vyplatí. Vnitřního prostoru je opravdu nedostatek a každý milimetr přijde vhod.



Obr. 2.2 Rolety a izolační termofolie [13]

## 1. Technologie dvouplášťových hliníkových stěn

Metoda sendvičové stěny s oboustranným hliníkovým povrchem s izolací tvrdého polystyrenu uvnitř a se silnější izolací na dvojité podlaze. Tento princip zaručuje tepelnou nevodivost, aby chlad nebo horko zůstávalo venku. Veškerá spojení stěn, stropu i podlahy nevykazuje žádný tepelný most. [12]

Tato metoda se využívá u komerčně vyráběných obytných automobilů. Pro přestavbu užitkového vozu je dle mého názoru nevhodná z důvodu špatné implementace do stávající nosné konstrukce vozidla.

## 2. Izolace pomocí minerální vaty a palubek

Tento způsob je velmi rozšířený mezi lidmi, kteří si svépomocí realizují obytné přestavby. Jedná se o levné, ale dle mého názoru nevhodné řešení. První problém vidím v prašnosti izolačního materiálu a poměrně velké váze palubek. Dalším problémem je nasákavost vaty a riziko ulehnutí (setřepání) izolace vlivem otřesů a vibrací. Při poklesu teploty pod hodnotu rosného bodu nastává situace, kdy přebytečná vlhkost obsažená v ovzduší zkondenzuje. To prakticky znehodnotí izolační materiál a zapříčiní vznik korozního prostředí a růst plísní. Aplikací parotěsné zábrany se tento problém z části vyřeší, ale jak vyřešit uchycení další pohledové vrstvy bez porušení parozábrany?

## 3. Izolace pomocí polystyrenu a parotěsné vrstvy

Pěnový polystyren má výborné tepelněizolační vlastnosti ( $\lambda=0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) a patří mezi velmi oblíbené materiály, které se využívají k izolaci obytných automobilů. Je lehký, tvarově stabilní, nenasákavý, do určité míry odolný proti stlačení. Poměrně dobře se s ním pracuje, řeže a tvaruje a je naprosto hygienicky nezávadný.[14]

Je to ideální materiál, ale je nutné ho kombinovat s dalšími vrstvami. Teplotní odolnost polystyrenu je do  $+70 \text{ }^\circ\text{C}$  a je tedy dobré omezit styk s vnějším plechem karoserie. Mohlo by také docházet ke kondenzaci par na rozhraní polystyren/kov karosérie, protože polystyren nikdy těsně nepřilehne k nosné konstrukci. Proto je nutné přidat parotěsnou zábranu. Pro tento účel se hodí termo-reflexní parotěsná zábrana SUNFLEX® Roof-In Plus. Ta v sobě kombinuje vlastnosti tepelné izolace, parozábrany

(parotěsné fólie) a odrazu tepla (termoreflexe). Eliminuje vzniklé tepelné mosty a šetří náklady na vytápění. [15]

#### **4. Izolace pomocí syntetického kaučuku s Al reflexní vrstvou**

K tomuto účelu lze využít materiál K-Flex Duck Metal na bázi syntetického kaučuku. Tento materiál s uzavřenou strukturou buněk pevně přilne ke karosérii a měl by zamezit kondenzaci vodních par a vzniku korozního prostředí pro karosérii vozu. Zároveň také dobře izoluje ( $\lambda = 0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) a je nenasákavý. Má výborné parotěsné vlastnosti. Díky tomu přináší výhodu využití tenčí izolační vrstvy. [16]

#### **5. Izolace pomocí Mirelonu s reflexní PET/PETZ folií**

Mirelon je nezasíťovaný polyetylen s uzavřenou buněčnou strukturou. Je nenasákavý, pružný, snadno opracovatelný, chemicky odolný a hygienicky nezávadný. V kombinaci s reflexní fólií odráží až 77 % tepelného toku zpět do vytápěného prostoru. Reflexní vrstva navíc plní funkci parozábrany. Tento materiál se využívá v mnoha průmyslových aplikacích, a to kvůli dobré tepelné ( $\lambda = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) a akustické izolaci. [17]

#### **6. Izolace pomocí tvrdé polyuretanové pěny (PUR)**

Tvrdá polyuretanová pěna je dvousložkový materiál s uzavřenou a otevřenou buněčnou strukturou. Mísení těchto složek probíhá přímo na místě aplikace, kdy při střetu v aplikační pistoli dochází k smíchání složek, dopravě na podklad a následné chemické reakci. Tato tekutina se mění v izolační pěnu a začne rapidně zvětšovat svůj objem a zaplní veškerá volná místa. Umožní dokonalé přilnutí k povrchu a eliminuje veškeré netěsnosti nebo slehnutí izolovaného materiálu. Tohoto efektu s deskovými izolačními materiály z praktického hlediska není možné docílit. Vzniká tak tepelně i zvukově izolační vrstva beze spár, eliminující tepelné mosty v konstrukci. Tento materiál má navíc hydroizolační vlastnosti a zamezuje difuzi vodních par a tím eliminuje zatékání a kondenzaci. Systém tvrdé izolační pěny s uzavřenou buňkou má významné parotěsné vlastnosti. Vzhledem k větší pevnosti a tuhosti má tato pěna i větší ztužující účinek. [18]

Její kompaktnost odbourává nedostatky klasických izolací a je velmi vhodná pro aplikaci skříňových nástaveb užitkových automobilů i izolací lodí. Pro realizaci obytné přestavby volím materiál s označením ITPUR S48 a ITPUR D. Technický list je na obr. 2.3.

VLASTNOST	HODNOTA	NORMA
OBJEMOVÁ HMOTNOST	48±5 kg/m <sup>3</sup>	ČSN EN 1602
TEPELNÁ VODIVOST	$\lambda = 0,0214$ W/mK	ČSN 72 7012
PEVNOST V TLAKU	$\geq 0,28$ MPa	ČSN EN 826
NASÁKAVOST PŘI ČÁSTEČNÉM PONOŘENÍ	0,05 kg/m <sup>2</sup>	ČSN EN 1609
FAKTOR DIFÚZNÍHO ODPORU	$\mu = 107$	ČSN EN 12086
UZAVŘENOST BUNĚK	95% buněk uzavřených	DIN ISO 4590
HOŘLAVOST	E	ČSN EN 13501-1
	B2	DIN 4102

**Obr. 2.3** Technický list ITPUR S48 [18]

Po zohlednění všech uvedených faktů jsem se rozhodl pro kombinovanou metodu polyuretanových desek ITPUR D a doplnění izolace stříkanou polyuretanovou pěnou ITPUR S48. Postup provádění spočívá v nástřiku polyuretanové pěny na konkrétně nařezanou polyuretanovou desku a přilepení na povrch. Nástřík musí být celoplošný, aby nedocházelo ke kondenzaci par pod deskami. Zbylé místa se doplní nástříkem polyuretanové pěny ITPUR S48, která se následně ořeže a zbrousí do požadované úrovně. Následně se může provést konečná úprava například laminace nebo čalounění.

Výhoda této aplikace je ve vytvoření rovných pohledových ploch, které se dále nemusejí upravovat. Lze na ně rovnou nalepit čalounění nebo jakýkoliv jiný materiál bez náročného broušení celé plochy.

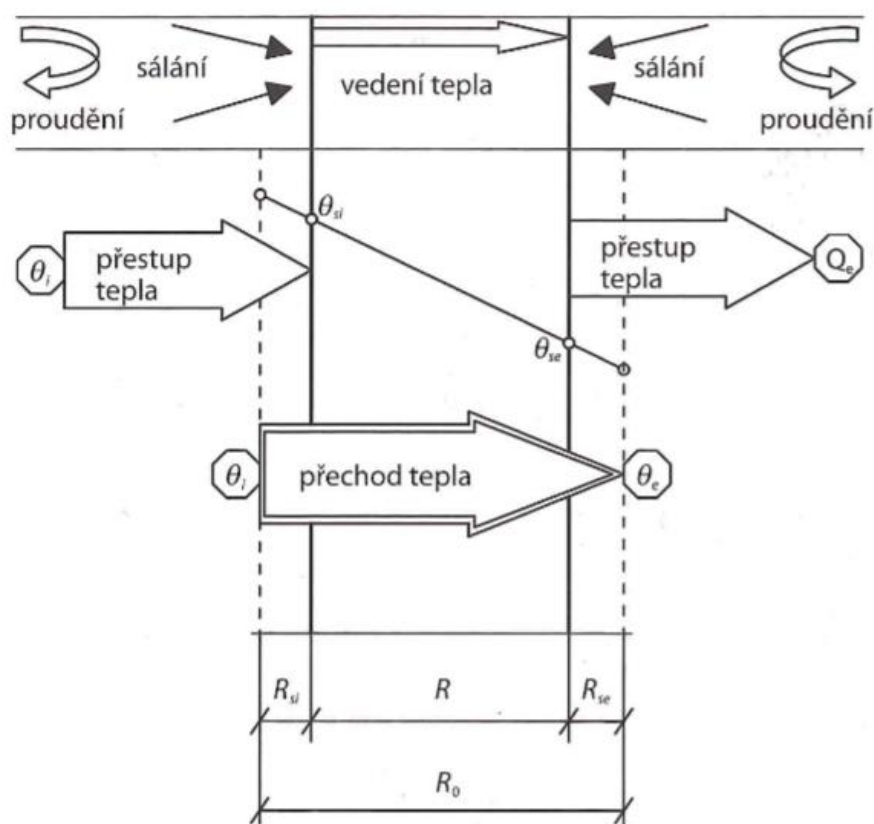


**Obr. 2.4** Izolování metodou polyuretanových desek ITPUR D a stříkanou PUR pěnou [18]

## 2.2.2 Výpočet tepelné ztráty

Pro výpočet tepelné ztráty motorového karavanu využijí zjednodušenou obálkovou metodu. Principem této metody je vyčíslení a součet tepelných toků prostupem jednotlivými stavebními konstrukcemi, které oddělují vytápěný prostor od jejího chladnějšího prostředí.

Prostup tepla konstrukcí se skládá z přestupu tepla z vnitřního vzduchu do vnitřního povrchu konstrukce, z vedení tepla konstrukcí od vnitřního k vnějšímu povrchu a dále z přestupu tepla z vnějšího povrchu do vnějšího vzduchu. Tento princip je zobrazen na obr. 2.5. [11]



**Obr. 2.5** Přestup a prostup tepla při tepelném toku konstrukcí [11]

Při ustáleném teplotním stavu je tepelný tok stěnou o ploše  $S$  při všech pochodech stejný. Uvažujeme-li jednovrstvou konstrukci, obdržíme:

$$Q = \alpha_i \cdot S \cdot (\theta_i - \theta_{si}) \quad (2.1)$$

$$Q = \frac{\lambda}{d} \cdot S \cdot (\theta_{si} - \theta_{se}) \quad (2.2)$$

$$Q = \alpha_e \cdot S \cdot (\theta_{se} - \theta_e) \quad (2.3)$$

Z rovnic vypočteme jednotlivé rozdíly teplot:

$$\theta_i - \theta_{si} = \frac{Q}{\alpha_i \cdot S} = R_{si} \cdot \frac{Q}{S} \quad (2.4)$$

$$\theta_{si} - \theta_{se} = \frac{Q \cdot d}{\lambda \cdot S} = R \cdot \frac{Q}{S} \quad (2.5)$$

$$\theta_{se} - \theta_e = \frac{Q}{\alpha_e \cdot S} = R_{se} \cdot \frac{Q}{S} \quad (2.6)$$

Sečteme-li jednotlivé rozdíly teplot, získáme celkový teplotní rozdíl:

$$\theta_i - \theta_e = \frac{Q}{S} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \right) = \frac{Q}{S} \cdot (R_{si} + R + R_{se}) = \frac{Q}{S} \cdot R_o \quad (2.7)$$

Veličina  $R_o$  se nazývá odpor konstrukce při prostupu tepla. Určuje se ze vztahu:

$$R_o = R_{si} + R + R_{se} \quad (2.8)$$

Pokud je konstrukce vícevrstvá, pak:

$$R_o = R_{si} + \sum_{j=1}^n R_j + R_{se} \quad [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}] \quad (2.9)$$

Inverzní hodnota odporu konstrukce při prostupu tepla se nazývá součinitel prostupu tepla a je definován:

$$U = \frac{1}{R_o} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{Q}{S \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (2.10)$$

Známe-li teploty na obou stranách konstrukce, hodnotu odporu při prostupu tepla  $R_o$ , případně hodnotu součinitele prostupu tepla  $U$ , můžeme určit hodnotu tepelného toku konstrukcí:

$$Q = U \cdot S \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot pi \quad [W] \quad (2.11)$$

Z rovnice pro  $Q$  vyplývá, že poměr teplotního rozdílu  $\Delta t$  a odporu při prostupu tepla  $R_o$  je roven hustotě tepelného toku:

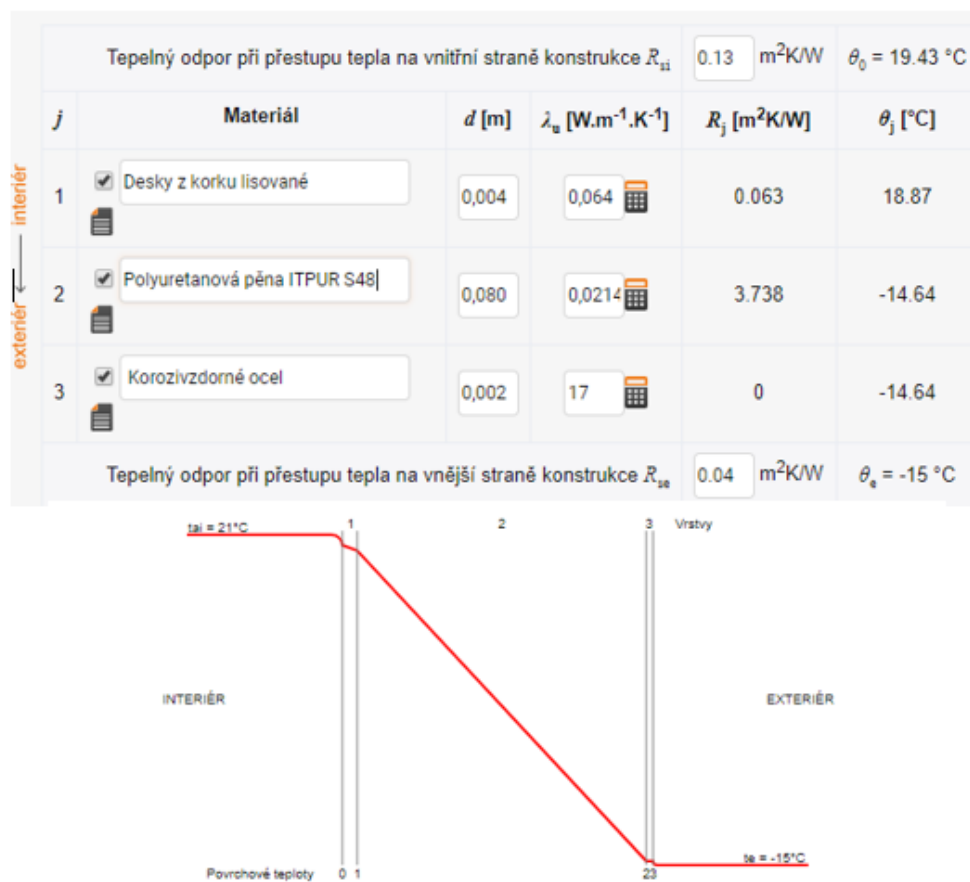
$$q = \frac{Q}{S} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (2.12)$$

[11]

Pro orientační výpočet je nutné znát skladbu jednotlivých konstrukcí a plochy. Pro určení součinitele prostupu tepla a průběh teplot využijí online nástroj "**Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci**", který umožňuje určit tepelný odpor a součinitel prostupu tepla konstrukce dle platných norem. Výpočet je naprogramován v souladu s ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody a ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce. [19]

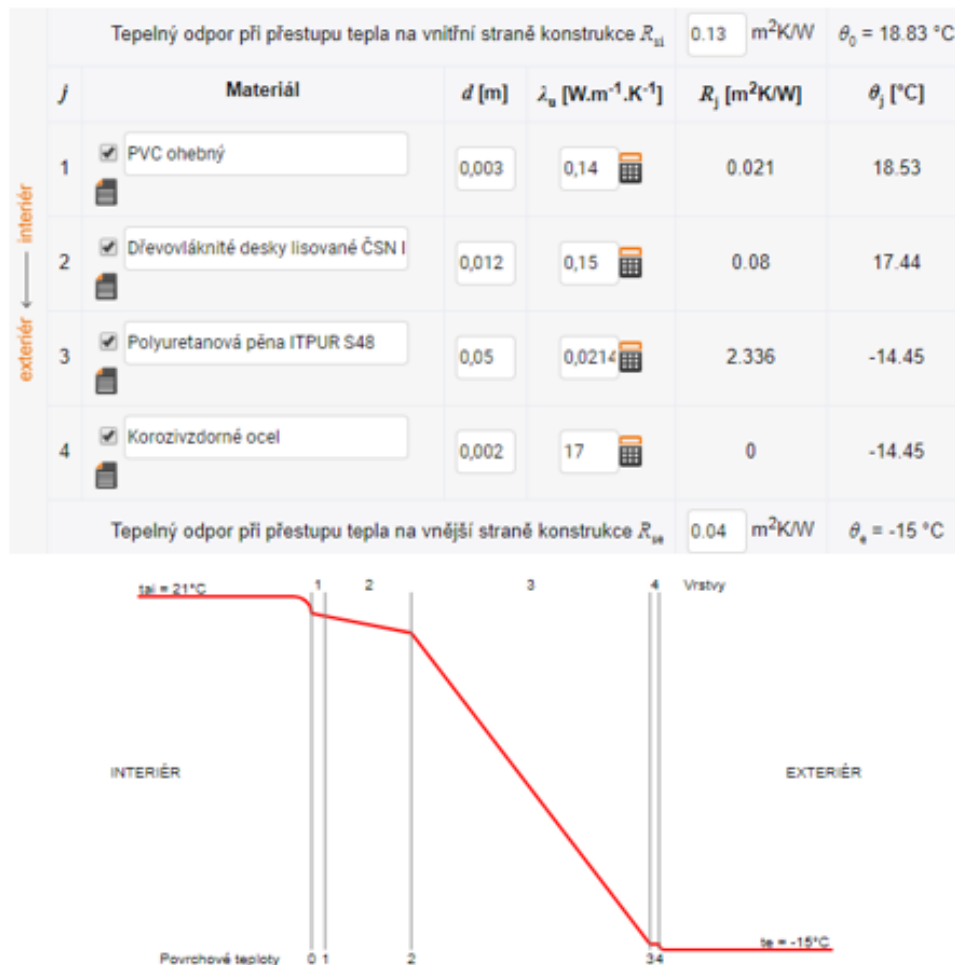
Jako první jsem musel definovat okrajové podmínky, kterými jsou umístění objektu a návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období. Pro lokalitu Plzeň je návrhová venkovní teplota  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dále jsem stanovil návrhovou vnitřní teplotu v zimním období, tzn. teplotu na kterou chci prostor vytopit. Zvolil jsem  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Poté jsem sečetl jednotlivé plochy konstrukcí a definovat tloušťky jednotlivých vrstev. Tloušťky jsem zvolil na základě reálně dostupných materiálů, nicméně u oceli (plechu) jsem musel zohlednit konstrukční nosníky karosérie a přidat na tloušťce vrstvy. Na obr. 2.6 až 2.9 jsou zobrazeny skladby konstrukcí a průběhy teplot.



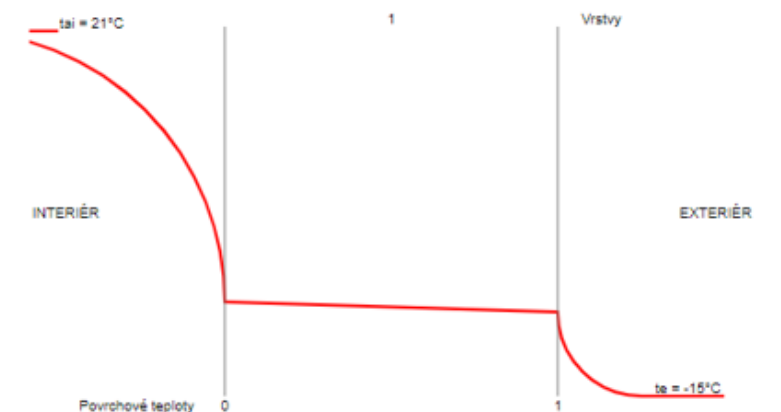
**Obr. 2.6** Skladba konstrukce stěny a průběh teplot





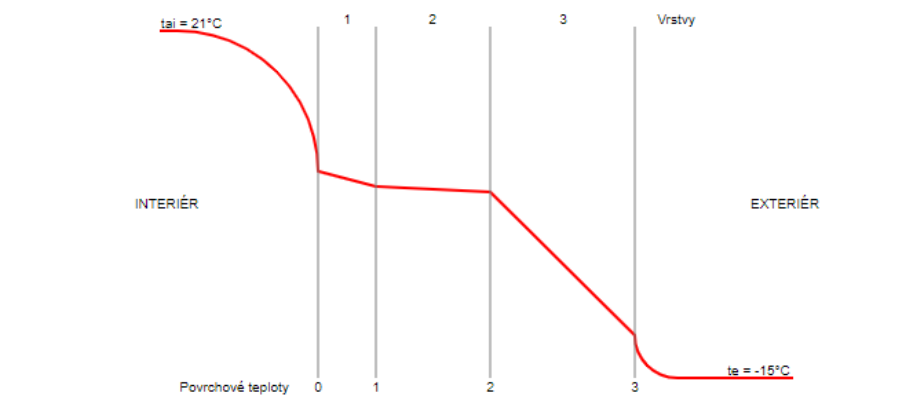
Obr. 2.8 Skladba konstrukce podlahy a průběh teplot

Posledním druhem konstrukce jsou prosklené plochy se součinitel tepelné vodivosti  $\lambda=0,76[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$  a tloušťce 4 mm. Zde jsem také provedl zjednodušení z důvodu velkého množství typů skel, které se v automobilu nacházejí. Na obr. 2.8 je jasně vidět, že prosklené plochy jsou tepelnými mosty a místem kde dochází k většinové tepelné ztrátě. V bodě 0 je teplota povrchu  $-5,81 \text{ } ^\circ\text{C}$  a v bodě 1 je teplota  $-6,88 \text{ } ^\circ\text{C}$ . V těchto místech bude docházet ke kondenzaci par.



Obr. 2.7 Průběh teploty na prosklené ploše

Na obr. 2.9 lze vidět účinek přídavného izolování vnitřními roletami a venkovními izolačními foliemi. V bodě 0 je teplota 6,19 °C a v bodě 1 je teplota 4,6 °C. Toto opatření za určitých podmínek zabrání kondenzaci par posunutím rosného bodu.



**Obr. 2.9** Účinek přídavného izolování oken roletami a reflexními foliemi

Teplota rosného bodu úzce souvisí s vlhkostí vzduchu. Ta se zpravidla vyjadřuje v relativní vlhkosti, to je procento vlhkosti ve vzduchu, kdy je vzduch nasycen vodní párou, kdy již nemůže docházet k jejímu zvyšování (každé zvýšení vlhkosti má za následek kondenzaci vodní páry do kapalného stavu). Tato relativní vlhkost vzduchu je závislá na teplotě. Čím je teplota vzduchu větší, tím více vodní páry může vzduch obsahovat (zvýšením teploty vzduchu při stejném obsahu vodní páry v něm dochází ke snižování relativní vlhkosti vzduchu). V příloze 2 je uvedena tabulka pro normovanou teplotu a vlhkost vzduchu, kdy hrozí kondenzace a růst plísní. [21]

V tabulce 2.1 jsou sepsány všechny důležité hodnoty, které byly dosazeny do vzorce 2.11. Násobením ploch, součinitel prostupu tepla a rozdílu teplot jsme dostali jednotlivé tepelné ztráty konstrukcí. Součet těchto ztrát je nutné násobit součinitelem vyjadřující vliv přírážek a tepelné ztráty infilrací. U klasických staveb je  $p_i = 1,65 - 1,80$ . V tomto případě bude tento součinitel reálně ještě větší.

konstrukce	plocha [m <sup>2</sup> ]	tloušťka d [m]	R <sub>0</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$\theta_i - \theta_e$ [K]	Q [W]	Q <sub>d</sub> [W]
stěny	33,607	0,086	3,97	0,086	35	101,1571	182,0827
podlaha	9,69	0,067	2,61	0,38	35	128,877	231,9786
okna	4,537	0,004	0,18	5,71	35	906,7195	1632,095
					celkem	1136,754	2046,156

**Tab. 2.1** Výpočet tepelné ztráty

## 2.3 Elektrické spotřebiče

Výběr vhodných úsporných spotřebičů je zásadní pro co největší energetickou soběstačnost. Základem je volba napětí elektrického rozvodu. Elektrická instalace musí splňovat normativní předpisy, projít elektro revizí a být hlavně bezpečná. Proto je nutné dodržovat příslušné normy. Zejména se jedná o normu EN 1648-2 a ČSN 33 2000-7-721. V návrhu se pokusím omezit prvky, na kterých vznikají ztráty a to tak, že navrhnu dva nezávislé elektrické rozvody s napětím 12V DC a 230V AC. Stejnoseměrný rozvod pro ostrovní provoz napájený z FV panelů a střídavý jako možnost pro pobyt v kempu a dobíjení baterií.

### 2.3.1 Čerpadlo

Pro tento druh aplikace se nejvíce využívají čerpadla ponorná a tlaková. Ponorná čerpadla jsou potopená v nádrži, zatímco tlaková jsou samonasávací a jsou umístěná mimo nádrž. Z tohoto důvodu preferuji tlaková čerpadla, která spínají automaticky při poklesu tlaku ve vodním systému. Pro zabránění častého spínání čerpadla a prodloužení jeho životnosti je vhodné vybavit systém expanzní nádobou k vyrovnání tlaku. Dále je nutné vybírat podle průtoku a tlaku tak, aby se na vodní systém dal připojit i boiler.

Pro čerpání pitné vody volím membránové čerpadlo SHURflo SOFT 11,3 l/min. V tab. 2.2 jsou uvedeny technické parametry čerpadla.

SHURflo Soft LS4142	
Vstupní napětí	12 V DC
El. Proud	3,5 A
El. Příkon	43 W
Tlak	2,1 bar
Hmotnost	1,7 kg
Průtok	11,3 l/min

**Tab. 2.2** Technické parametry vodního čerpadla



**Obr. 2.10** Membránové čerpadlo SHURflo Soft [22]

### 2.3.2 Topení

Plánovaný návrh obytného automobilu počítá s celoročním provozem. Domnívám se, že získaná energie z obnovitelných zdrojů nebude dostatečná. Z orientačního výpočtu tepelné ztráty vyplynulo, že jen pro pokrytí tepelných ztrát je zapotřebí **2046 W**. Nároky na topení a tepelný komfort jsou v zimním období velmi vysoké. Teploty pod bodem mrazu značně škodí vybavení automobilu. Nádrže a vše kde je kapalina musí být izolované a vyhřívané, aby se zamezilo zamrznutí vodního systému. Pro tyto účely slouží ohřívací fólie, které se lepí na dno nádrží a příkonem **55 W** zamezují zamrznutí. I pro ostatní části vozu je dobré udržovat teploty nad bodem mrazu z důvodu kondenzace a navlhnutí interiéru. Z těchto důvodů by bylo velmi nebezpečné se spoléhat jen na obnovitelný zdroj. Je tedy nutné instalovat nezávislý zdroj na bázi fosilních paliv.

Nejvhodnější variantou jsou plynová topení, která jsou energeticky nejúspornější a nejlhčí. Na trhu jsou k dostání i kompaktní jednotky, které topí a zároveň ohřívají vodu. Proto jsem při výběru tohoto spotřebiče zvolil teplovzdušné topení Truma Combi 4E s přídatným elektrickým výhřevem. Tento spotřebič pracuje s účinností 97 % a ke svému provozu potřebuje malé množství elektrické energie na pohon větráku pro rozfuk teplého vzduchu. V případě napájení z elektrické sítě je možné přepnout na čistě elektrický provoz. V tab. 2.3 jsou uvedeny technické parametry plynového topení Truma Combi 4E.

Truma Combi 4E	
Vstupní napětí	12 V DC/230 V AC
El. Proud	1,1 A
El. Příkon	13,2 W
Tlak plynu	30 mbar
Max. tlak vody	2,8 bar
Tepelný výkon	4000 W
Hmotnost	15,1 kg

**Tab. 2.3** Technické parametry plynového topení



**Obr. 2.11** Plynové topení Truma Combi 4E [22]

### 2.3.3 Ventilace

Ventilace interiéru je realizována pomocí postranních oken a střešního okna s integrovaným větrákem, které bude umístěno v koupelně vozu. Tento inovativní ventilátor zabudovaný ve střešním okně disponuje výkonem 35 m<sup>3</sup>/min a je tedy schopný velmi efektivně větrat. Pro zlepšení cirkulace je ještě možné využít přídavný ventilátor Hella turbo, který lze umístit kamkoliv v interiéru vozu podle momentální potřeby. V tab. 2.4 jsou uvedeny technické parametry.

FiammaTurbo Vent 12 V Crystall	
Vstupní napětí	12 V DC
El. příkon	37 W
Min. elektrický vstup	0,4 A
Max. elektrický vstup	3 A
Doporučený průměr kabelu	1,5 mm <sup>2</sup>
Výkon	35 m <sup>3</sup> / min.
Ventilátor Hella turbo	
Vstupní napětí	12 V DC
El. příkon	6,5 W

**Tab. 2.4** Technické parametry ventilátorů



**Obr. 2.12** Střešní okno s ventilátorem Fiamma Turbo Vent 12 V Crystall [22]



**Obr. 2.13** Ventilátor Hella turbo [22]

### 2.3.4 Osvětlení

Při návrhu osvětlení je důležité vybírat vhodné světelné zdroje v závislosti na světlosti a velikosti osvětlovaného prostoru, stejně jako na činnostech, které v dané části vozu chcete provozovat. Nejúčinnější a nejefektivnější technologií přeměny elektrické energie na světelnou jsou LED (Light-Emitting Diode).

K osvětlení středové části využijí 2 m LED pásů, které budou stmívatelné. V zadní ložní části budou umístěna 2 x ohebné LED světla vhodná pro čtení s teplý tónem světla okolo 3000 K. V kuchyňském koutu bude jedna LED žárovka a nad jídelním stolem jedno bodové světlo. Pro osvětlení koupelny bude využit 1m LED pásu a jedno ohebné LED světlo. K venkovnímu osvětlení poslouží 2m LED pásu zabudovaný v liště markýzy. Technické parametry a soupis potřebného příkonu je uveden v tab. 2.5.

Ohebné LED světlo Dimatec	Celk. příkon	
Vstupní napětí	12 V DC	
El. Příkon	0,6 W	1,8 W
STRIPLITE 2W		
El. Příkon	2 W	2 W
LED pás		
El. Příkon	9,6 W/m	48 W
Bodové LED žárovka MR16 EL		
El. Příkon	3,5 W	7 W
Celkem		58,8 W

**Tab. 2.5** Technické parametry osvětlení a celkový příkon



**Obr. 2.14** Světelné zdroje [22]

### 2.3.5 Lednice

Chladnička je jedním ze zásadních prvků komfortu na dovolené v pojízdém příbytku. Je však zároveň jedním z nejcitlivějších zařízení a je třeba si dobře rozmyslet předpokládaný způsob využívání a podle toho zvolit správný typ lednice.

Lednice pro obytná auta a karavany můžeme rozdělit na tři základní typy, a to podle principu chlazení:

1. kompresorové chladničky
2. absorpční chladničky
3. termoelektrické chladničky

Každá z nich má své výhody/nevýhody a hodí se pro jiné účely. V následujících odstavcích popíši jednotlivé typy z pohledu uživatele. Budu předpokládat časté stání mimo kempy, časté přesuny a chladničku pro účel dovolené a přepravu potravin pro vaření.

#### 1. Kompresorové chladničky

Fyzikální princip je stejný jako u tepelného čerpadla (viz kap.1.5). Tlak a cirkulaci chladiva zajišťuje kompresor. Výhodou tohoto typu je vysoká výkonnost. Kromě toho, že dokážou chladit i mrazit, jsou schopné fungovat i při vysokých teplotách (až do 50 °C teploty okolí). Lze je provozovat na 12/24 V DC nebo 230 V AC. Jsou tou nejlepší volbou pro soběstačné vozidlo se solárním systémem i na víkendový provoz z baterie.

Kompresorové chladničky	
Výhody	Nevýhody
úsporný provoz na 12V/24V	vyšší cena
jednoduchá instalace	hlučnost
efektivní princip chlazení	
kombinovaný provoz 230 V	

**Tab. 2.6** Výhody a nevýhody kompresorových chladniček

#### 2. Absorpční chladničky (trojkombinace)

Pracují na principu odpařování chladícího média, nejčastěji plynného nebo kapalného, které do sebe absorbuje teplotu z okolí (endotermická reakce). Lze je provozovat na 12V DC/230V AC nebo na plyn, ale reálný smysl má pouze provoz na plyn, protože je nutné zahřívat výměník a proto mají při chlazení elektřinou obrovskou

spotřebu a jsou velmi neefektivní. Pro svůj provoz potřebují elektrickou energii k zajištění celkové funkčnosti. Nemají žádné pohyblivé části, takže jsou absolutně tiché. Tyto lednice potřebují odvětrávání a odvod spalin. Uvnitř se spaluje plyn, proto se lednice velmi zahřívají. Jsou velmi náročné na údržbu. Při nedodržení údržby nastává problém se zapálením plamene a zanesení trysek. [23]

Absorpční chladničky	
Výhody	Nevýhody
absolutně tichý provoz	vyšší cena
malá spotřeba plynu	nutnost odvětrávání
efektivní princip chlazení	nutnost odvádět splodiny
provoz na plyn	vyšší nároky na údržbu

**Tab. 2.7** Výhody a nevýhody absorpčních chladniček

### 3. Termoelektrické chladničky

Využívají tzn. Peltierův jev. To je fyzikální proces, při kterém proud prochází dvěma různými vodiči. Jedna ze styčných ploch mezi vodiči se přitom zahřívá a druhá ochlazuje. Lze je provozovat na 12V/24V DC nebo 230V AC. Umožňují nejen chlazení, ale i ohřev. Jsou levné, ale energeticky velmi neefektivní. [23]

Termoelektrické chladničky	
Výhody	Nevýhody
nízká cena	energeticky velmi neefektivní
jednoduchá montáž	nízký chladicí účinek
malá hmotnost	omezený rozsah teplot
	nutnost předchladit

**Tab. 2.8** Výhody a nevýhody termoelektrických chladniček

Z uvedených porovnání jsem se jednoznačně rozhodl pro kompresorovou lednici napájenou z nízkého napětí 12 V. Do vestavby instaluji lednici Indel B Cruise 100. Technické parametry jsou uvedeny v tab.2.9.

Indel B Cruise 100	
Vstupní napětí	12 /24 V DC
El. Proud	1,1 A
El. Příkon	60 W
Spotřeba za den	0,321kWh/24h
Objem	100 l
Hmotnost	23,5 kg

**Tab. 2.9** Technické parametry CRUISE 100



### 2.3.6 Ostatní DC spotřebiče

Vždy je dobré mít rezervu pro elektrický pohon dalších příručních spotřebičů. Stejně jako doma i v mobilním příbytku používáme spotřebiče jako jsou vysavače, fény, notebooky, nabíječky telefonů, televize, satelity. Využívání těchto spotřebičů je velmi individuální záležitost a proto množství el. energie stanovím procentním navýšením příkonů pevných spotřebičů. Stanovuji si tedy 35 % výkonovou rezervu.

### 2.3.7 Ostatní AC spotřebiče

Jednofázový střídavý obvod 230 V bude využíván pro pobyt v kempu a jako další záložní zdroj pro dobíjení baterií. Stanování instalovaného příkonu je důležité pro dimenzování rozvodu a přípojky. Tento střídavý obvod rozšíří možnosti komfortu, protože umožní instalaci energeticky náročných spotřebičů, které nelze na stejnosměrný obvod využít. V tabulce 2.10. je uveden soupis denních spotřeb elektrické energie, který obsahuje jednotlivé příkony spotřebičů a předpokládané denní provozní časy. Na dimenzování ostrovního systému nemá vliv, nicméně pobyt v kempu je jeden z cestovních režimů.

Spotřebiče	Jmenovitý příkon [W]	Denní doba provozu [h]		Denní doba provozu [Wh]	
		Léto	Zima	Léto	Zima
Lednice	60	5,35	5,35	321	321
Klimatizace	620	4	0	2480	0
Topení	1800	4	24	7200	43200
Ostatní	1000	5	5	5000	5000
Instalovaný příkon	3480	Celková denní spotřeba		15001	48521

**Tab. 2.10** Záznam denní spotřeby střídavé elektrické energie

## 2.4 Stanovení spotřeby elektrické energie pro ostrovní systém

Nejdůležitější a nejsložitější krok při dimenzování FV ostrovního systému je pečlivé stanovení denní spotřeby energie. Spotřeba el. energie je do značné míry závislá na výkonosti připojených spotřebičů a na způsobu využívání. Jedná se tedy o velmi individuální záležitost. Proto je velmi obtížné predikovat jak vyrobenou, tak spotřebovanou energii.

Velký význam pro energetické úspory mají kvalitní vysoce efektivní elektrické spotřebiče, které v návrhu použijí. Jejich vyšší pořizovací cena se v dlouhodobém horizontu vyplatí v důsledku nižší spotřeby el. energie a tím i nižším nákladům na solární systém.

K dosažení vysoké soběstačnosti ostrovního systému, vzhledem k silným výkyvům slunečního záření v průběhu roku, je požadována bilance spotřeby podle měsíců a ročních období, nebo se musí rozlišovat mezi extrémními případy v létě a v zimě. Pro slunnou sezónu „Léto“ bylo přijato období od května do září a pro období malého slunečního záření „Zima“ období od října do dubna. [24]

V případě mého návrhu jsem se rozhodl pro metodu s extrémními případy z důvodu velkého množství plánovaných lokalit pro rekreaci. Dalším argumentem pro toto rozhodnutí je nezkušenost s provozem takového automobilu (nemohu exaktně stanovit spotřeby v jednotlivých ročních obdobích). Má úvaha je taková, že pokud potřebná elektrická energie vystačí v lokalitách mírného pásu, kde jsou podmínky osvitů nejnejpříznivější, tak v dalších lokalitách subtropického a tropického pásu bude energie dostatek.

### Elektrická spotřeba čerpadla vody:

Automobil bude disponovat 120 l nádrží na pitnou vodu. Různé relevantní publikace uvádějí, že průměrná denní spotřeba vody je 30 až 40 l. Čerpadlo má výkon 11,6 l/min.

$$\frac{40}{11,6} = 3,54 \text{ min/den} \rightarrow 0,059 \text{ h/den} \rightarrow 43 \text{ W} \cdot 0,059 \text{ h} = 2,537 \text{ Wh}$$

V tabulce 2.11. je uveden soupis denních spotřeb elektrické energie, který obsahuje jednotlivé příkony spotřebičů a předpokládané denní provozní časy.

Spotřebiče	Jmenovitý příkon [W]	Denní doba provozu [h]		Denní doba provozu [Wh]	
		Léto	Zima	Léto	Zima
Lednice	60	5,35	5,35	321	321
Čerpadlo	43	0,059	0,059	2,537	2,537
Ventilace	43,5	2	0	87	0
Osvětlení	58,8	3	6	176,4	352,8
Topení	13,2	4	24	52,8	316,8
Ostatní	76,5	5	5	382,5	382,5
Instalovaný příkon	295	Celková denní spotřeba		1022,2	1375,6

**Tab. 2.11** Záznam denní spotřeby stejnosměrné elektrické energie

### 3 Návrh energetického systému

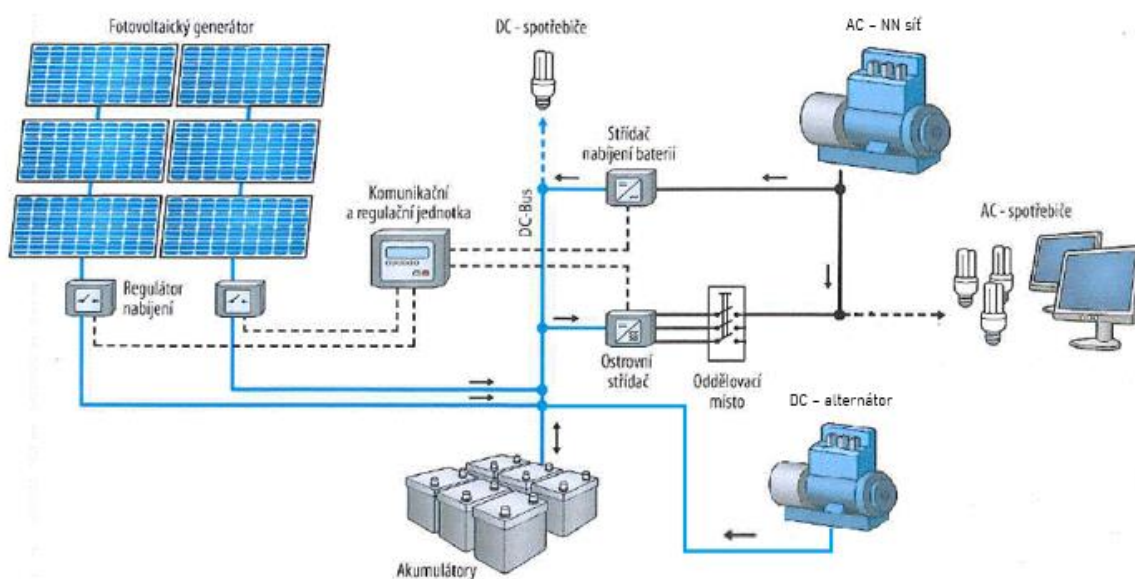
Z uvedených druhů obnovitelných zdrojů energie jsem se rozhodl pro realizaci fotovoltaického hybridního ostrovního systému. FV generátor je jediný zdroj elektřiny bez pohyblivých součástí. To přináší mnoho výhod a zjednodušuje to provoz takového zdroje. Stejnoseměrné napětím 12 V není z energetického hlediska úplně výhodné. V systému bude protékat poměrně velký el. proud. Proto je velmi důležité správné dimenzování a jištění. Musí se použít kabely s relativně velkými průřezy, aby se redukovaly ohmické ztráty a krom toho je při malých napětích a vysokých proudech účinnost střídače menší. Nicméně je tento druh ostrovního systému v motorových karavanech nejrozšířenější a trh nabízí velké množství spotřebičů tohoto napětí.

#### 3.1 Koncept hybridního systému

V mírných zeměpisných šířkách je autonomní provoz ostrovního FV systému v zimním období velmi problematický. V případě klasické instalace FV stacionárního zdroje by se případný nedostatek energie vyřešil dimenzováním pro nejmenší záření v zimním období. To by v důsledku vedlo k velkému nevyužitelnému energetickému potenciálu v ostatních ročních obdobích a velké ceně systému. V případě mobilního zdroje k dalšímu rozšíření FV systému dojít nemůže. Limitujícím faktorem je dostupná plocha a hmotnost automobilu.

Nejzřejmějším nápadem s největší udržitelností je kombinace fotovoltaiky s malou větrnou turbínou. Tyto dva obnovitelné zdroje se téměř ideálně doplňují. Můj původní záměr směřoval k vytvoření takového to systému. Nicméně, krom obecných údajů o klimatu je konečná účinnost větrné turbíny velmi závislá na místních orografických podmínkách. Praktická realizace takového systému by znamenala, že při každém přejezdu by se turbína musela pracně složit a energetický zisk je velmi nejistý. Pro kempování se preferují závětrné lokality a na takové zařízení není v interiéru vozu dostatek místa. Další otázkou jsou vibrace a způsobený hluk.

Z těchto důvodů jsem se vydal cestou záložních generátorů, tedy využít stávající alternátor automobilu a zároveň navrhnout systém, který by se dal připojit k rozvodné síti nízkého napětí. Schéma plánovaného konceptu systému je na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Schéma ostrovního hybridního systému

### 3.1.1 Koncepte fotovoltaického systému

Koncepte FV systému je určována systémovými komponenty střídače. Tento pojem lze chápat jako způsob zapojení řetězce modulů (stringů). Sériové propojení modulů do stringů a jejich paralelní zapojení by se mělo optimálně sladit se střídačem. FV články se sériově spojují do FV modulů, aby se dosáhlo vyššího výkonu a napětí. Platí, že napětí článků se sčítá a proud zůstává konstantní. Tento princip se aplikuje i na propojování modulů. Při propojení do stringů dochází kvůli výkonové toleranci modulů k větším ztrátám z nesouladu. Proto se doporučuje spojování pouze stejných panelů (modulů). Spojování různých panelů není moc vhodné, nicméně je to možné. V takovém to případě by měly mít co nejvíce shodnou hodnotu dodávaného proudu.

Pro krytí energetických potřeb malého obytného automobilu počítám s instalací malého počtu modulů. Rozhodl jsem se tedy pro koncept nízkého napětí ( $U_{DC} \leq 120 \text{ V}$ ). Tato koncepte spočívá v sériovém zapojení jen několik málo modulů do stringu. Výhoda těchto krátkých stringů oproti delším je v tom, že se méně projevují ztráty zastíněním, neboť modul s nejvyšším zastíněním v jednom stringu určuje celkový proud ve stringu. Krom toho jsou ztráty závislé na počtu zastíněných modulů. Nevýhodou tohoto konceptu jsou vysoké proudy a také účinnost střídače. Při vysokých proudech a malých napětích je účinnost střídače menší.[24]

## 3.2 Komponenty fotovoltaického systému

Ostrovní hybridní systém využívá oproti klasickému FV ostrovnímu systému více specifických komponent. V následujících kapitolách popíše jednotlivé komponenty a provedu výpočty dimenzování.

Hlavní části systému:

- FV generátor (modul, panel)
- Akumulátor
- Regulátor nabíjení
- Ostrovní střídač
- Střídač nabíjení baterií

### 3.2.1 FV generátor

Charakteristické elektrické parametry FV modulů (panelů) zjišťují výrobci pomocí STC. Tyto standardizované testovací podmínky se dle normy IEC 60904 stanovily na:

- kolmou intenzitu slunečního záření  $E=1000 \text{ W/m}^2$ ,
- teplotu článku  $T=25 \text{ °C}$  s tolerancí  $\pm 2 \text{ °C}$ ,
- definované spektrum světla (referenční intenzitu osvitu dle IEC 60904-3) s AirMass  $AM=1,5$ .

Charakteristická křivka je určena následujícími body:

- hodnota MPP (Maximum Power Point) je bod křivky, ve kterém FV článek pracuje s maximálním výkonem. Pro tento bod se udává výkon  $P_{MPP}$ , proud  $I_{MPP}$  a napětí  $U_{MPP}$ . Výkon MPP má jednotku Watt peak (Wp),
- zkratový proud  $I_k$  (značeno  $I_{SC}$ ) je cca 5 až 15 % nad hodnotou proudu MMP,
- napětí na prázdno  $U_L$  (značeno  $U_{OC}$ ) činí u krystalických článků cca 0,5 až 0,6 V, u amorfních článků 0,6 až 0,9 V. [24]

Z těchto uvedených parametrů se sestavuje technický list FV modulů, který kromě elektrických vlastností uvádí také údaje o rozměrech, hmotnosti, mezních hodnotách tepelného a mechanického zatížení a tepelné závislosti. Příklad technického listu polykrystalického modulu je uveden v příloze 3.

## Dimenzování FV generátoru

Pro ověření energetického výnosu různých typů solárních modulů existují různé přístupy. Nejrozumnější přístup by měl vycházet ze jmenovitého výkonu modulu při STC. Pro výpočet množství sluneční energie využiji klimatickou databázi, která je součástí simulačního programu PVGIS. Jako základ pro výpočty budu brát nejslabší měsíce pro letní a zimní období s přihlédnutím k umístění, náklonu a teplotě. Provedu orientační výpočty pro tři klimatické oblasti, které posléze porovnáám se simulací, která bude obsahovat konkrétní komponenty.

## Klimatické oblasti

Pro účely této práce jsem zvolil 3 klimatické oblasti, které reprezentují mírné, středomořské a velmi horké klima. U jednotlivých oblastí provedu výpočet na optimálně orientovanou plochu pro celoroční provoz a také pro horizontální plochu (bez náklonu FV panelu). Všechny výpočty budou korigovány dle teplotního korekčního faktoru jednotlivých oblastí se zohledněním ztrát ve vedení, transformaci a nesouladu (Mismatching).

Reprezentativní oblasti:

- mírné klima – Berlín, Německo,
- středomořské klima – Řím, Itálie,
- horké klima – Tamanrasset, Alžírsko.

## Postup výpočtu

Výpočet výnosu solární energie jsem provedl na základě dlouhodobého měsíčního průměru součtu globálního denního slunečního záření pro jednotlivé lokality ( $Z_2$ ). Tyto údaje jsem získal z klimatické databáze Meteonormu a jsou uvedeny v příloze 4. Jedná se o dlouhodobé průměry, které se měří na vodorovné ploše. Tyto hodnoty jsou normalizovány na STC – normy a proto pro koeficient  $Z_2$  získáváme jednotku h/d. Na šikmých plochách musí být tyto hodnoty násobeny koeficientem  $Z_3$ , který reprezentuje korekční faktor náklonu FV panelu pro ideální celoroční provoz systému. Sklon byl optimalizován tak, aby se maximalizovalo minimum měsíčních hodnot slunečního záření. To je metoda optimalizace pro celoroční splnění poptávky po energii jen ve FV ostrovním systému.

V případě mírného klimatu pro lokalitu Berlín tedy platí:

V letní sezóně je co do množství záření nejnchudším měsícem září. Vodorovná hodnota slunečního záření v Berlíně a jeho okolí je 3 kWh/(m<sup>2</sup>·den). Jinými slovy: v průběhu průměrného dne v září (přibližně 13 hodin od východu a západu slunce) se sčítá vyzařovaná energie slunce na 1 m<sup>2</sup> v hodnotě 3 kWh. Stejně množství bychom mohli získat, pokud by sluneční záření bylo komprimováno do určité míry na 3 hodiny, a přitom by STC normované záření ve výši 1 kW/m<sup>2</sup> ozařovalo plochu 1 m<sup>2</sup>. Po této úvaze je možná smysluplná interpretace jednotky výkonu modulu jako špičkového výkonu Wp. [24]

Optimální sklon pro lokalitu Berlín je nejvyšší hodnota koeficientu Z<sub>3</sub> pro měsíc září. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.1.

Faktor Z <sub>3</sub> pro odchylku horizontály v Německu.												
Orientace modulu Úhel sklonu	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
jih; 30°	1,67	1,54	1,31	1,16	1,07	1,01	1,02	1,10	1,25	1,38	1,58	1,68
jih; 45°	1,88	1,70	1,37	1,15	1,02	0,95	0,96	1,08	1,28	1,46	1,76	1,93
jih; 60°	2,02	1,77	1,36	1,09	0,93	0,84	0,86	1,00	1,25	1,48	1,85	2,07
jihozápad; 30°	1,55	1,36	1,21	1,08	1,02	0,97	0,96	1,05	1,16	1,29	1,42	1,48
jihozápad; 45°	1,73	1,46	1,24	1,06	0,98	0,91	0,90	1,02	1,17	1,35	1,54	1,61
jihozápad; 60°	1,83	1,49	1,22	0,99	0,89	0,82	0,81	0,94	1,13	1,34	1,56	1,68
západ; 30°	1,10	0,98	0,98	0,93	0,92	0,90	0,88	0,93	0,96	1,02	1,01	0,95
západ; 45°	1,12	0,97	0,95	0,87	0,86	0,83	0,81	0,87	0,92	1,00	0,99	0,93
západ; 60°	1,10	0,93	0,90	0,80	0,78	0,76	0,74	0,79	0,86	0,95	0,96	0,91
jihovýchod; 30°	1,35	1,36	1,19	1,12	1,05	1,02	1,05	1,08	1,16	1,20	1,35	1,45
jihovýchod; 45°	1,43	1,46	1,21	1,11	1,01	0,97	1,01	1,05	1,17	1,22	1,45	1,61
jihovýchod; 60°	1,47	1,48	1,18	1,05	0,93	0,89	0,94	0,98	1,12	1,18	1,46	1,68
východ; 30°	0,87	0,98	0,95	0,97	0,96	0,98	1,00	0,96	0,95	0,90	0,94	0,95
východ; 45°	0,83	0,98	0,91	0,93	0,90	0,93	0,96	0,91	0,91	0,86	0,92	0,93
východ; 60°	0,80	0,94	0,85	0,86	0,83	0,85	0,90	0,84	0,84	0,80	0,86	0,89

**Tab. 3.1** Korekční faktor pro orientaci Z<sub>3</sub> pro Německo [24]

Nakonec je nutné vzít v úvahu odchylku teploty článku od standardní hodnoty. Největší vliv má lokalita a způsob umístění FV generátoru. Vysoká okolní teplota snižuje účinnost FV článku. Zásadní vliv má také zadní ventilace panelů (způsob uchycení). V tabulce 3.2 jsou uvedeny hodnoty pro některé lokality. Hodnoty pro Berlín jsou použity pro mírné klima. Marseille reprezentuje středomořské klima a Kairo horké oblasti Afriky.

		Teplotní korekční faktory $Z_4$ pro různá reprezentativní místa a montáž:											
		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Vliv nízké teploty: instalace modulů krystalického nebo amorfního křemíku (Si) na volné ploše.	Berlín	1,07	1,06	1,03	1,00	0,97	0,95	0,94	0,95	0,98	1,01	1,04	1,06
	Marseille	1,00	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,91	0,94	0,96	0,99	1,00
	Kairo	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,88	0,88	0,88	0,89	0,90	0,93	0,95
Vliv střední teploty: montáž krystalických modulů na střeše.	Berlín	1,06	1,05	1,02	0,98	0,94	0,93	0,92	0,93	0,96	1,00	1,04	1,06
	Marseille	0,98	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,88	0,91	0,93	0,97	0,98
	Kairo	0,93	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,84	0,84	0,86	0,87	0,90	0,93
Vliv vysoké teploty: montáž krystalických modulů bez zadní ventilace ve střeše.	Berlín	1,05	1,04	1,00	0,96	0,92	0,90	0,90	0,91	0,94	0,98	1,03	1,05
	Marseille	0,96	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,84	0,85	0,89	0,91	0,95	0,96
	Kairo	0,90	0,89	0,87	0,84	0,82	0,81	0,81	0,81	0,83	0,84	0,87	0,90

**Tab. 3.2** Korekční koeficient  $Z_4$  pro zohlednění účinků okolní teploty [24]

### Zohlednění ztrát ve vedení, transformaci a nesouladu

Elektrické vedení, baterie a nesoulad (Mismatching) redukuje solární zisk elektřiny. S těmito ztrátami musíme při návrhu FV generátoru počítat, aby výsledné množství el. energie bylo dostatečné.

Při dimenzování vedení budu uvažovat 3 % ztráty a podle toho také dimenzovat průřezy vodičů. Účinnost panelu bude snížena o 6 %, protože 3 % se ztratí cestou od generátoru přes regulátor nabíjení baterií a další 3 % cestou z baterie přes regulátor ke spotřebičům. Hodnota  $V_L = 0,94$ .

Elektrická energie v baterii je ukládána jako chemická. Tento proces na sebe váže ztráty. Ve fázi předběžného návrhu se v praxi předpokládá průměrná ztráta 10 % v mírném podnebí. Účinnost generátoru je snížena o další koeficient  $V_u = 0,9$ . V teplejších oblastech může  $V_u$  dosahovat hodnot od 0,8 do 0,85.

Napětí baterie kolísá podle stavu nabití a připojeného zatížení. MPP napětí FV generátoru závisí na slunečním záření a teplotě článku. Ve skutečném provozu se napětí baterie a MPP napětí FV generátoru podstatně liší. Tento rozdíl se označuje jako Mismatching = nesoulad. Stanovuje se průměrnou ztrátou energie o dalších 10 %. Tyto ztráty lze minimalizovat regulátorem nabíjením se sledováním bodu MPP. Tyto regulátory mají průměrnou účinnost 97 %. Proto stanovuji hodnotu  $V_a = 0,97$ . [24]

Celkové ztráty pro mírné klima:

$$V_c = V_L \cdot V_u \cdot V_a = 0,94 \cdot 0,9 \cdot 0,97 = 0,82 \quad (3.1)$$



Z uvedených dat a zohlednění všech koeficientů se dle vzorce stanoví požadovaný výkon FV generátoru:

$$P_{PV} = \frac{\text{denní spotřeba ve Wh}}{Z_2 \cdot Z_3 \cdot Z_4 \cdot V_c} \quad (3.2)$$

V tabulce 3.3 jsou uvedeny výsledky výpočtu požadovaného výkonu FV generátoru. Výpočet je proveden jak na nekorigovanou horizontální plochu, tak na optimalizovanou plochu metodou optimalizace pro celoroční splnění poptávky el. energií pro ostrovní systémy. Sloupec % charakterizuje snížení potřeby výkonu při optimalizaci sklonu.

Sezóna - měsíc	Denní spotřeba energie v Wh/d	$Z_2$ [h/d]	$Z_3$	$Z_4$ - nízký vliv	$Z_4$ - střední vliv	$V_c$	Výkon FV na horizontálu v Wp	Optimalizovaný výkon v Wp	%
Léto - září	1022,2	3	1,28	0,98	0,96	0,82	432,84	331,26	-23,5
Zima - prosinec	1375,6	0,44	1,93	1,06	1,06	0,82	3596,83	1863,64	-48,2

**Tab. 3.3** Výpočet výkonu FV generátoru pro mírnou klimatickou oblast

V tabulce 3.4 je uveden výsledek výpočtu požadovaného výkonu FV generátoru pro středomořskou oblast, kterou reprezentuje Řím.

Sezóna - měsíc	Denní spotřeba energie v Wh/d	$Z_2$ [h/d]	$Z_3$	$Z_4$ - nízký vliv	$Z_4$ - střední vliv	$V_c$	Výkon FV na horizontálu v Wp	Optimalizovaný výkon v Wp	%
Léto - září	1022,2	4,74	1,14	0,94	0,91	0,78	303,82	258,01	-15,1
Zima - prosinec	1375,6	1,59	2	1	0,98	0,78	1131,81	554,59	-51,0

**Tab. 3.4** Výpočet výkonu FV generátoru pro středomořskou oblast

V tabulce 3.5 je uveden výsledek výpočtu požadovaného výkonu FV generátoru pro velmi horkou oblast, kterou reprezentuje Tamanrasset ležící v poušti na jihu Alžírsko. Tuto oblast jsem zvolil jako opačný extrém, abych poukázal na složitost dimenzování FV systému v našich zeměpisných šířkách.

Sezóna - měsíc	Denní spotřeba energie v Wh/d	$Z_2$ [h/d]	$Z_3$	$Z_4$ - nízký vliv	$Z_4$ - střední vliv	$V_c$	Výkon FV na horizontálu v Wp	Optimalizovaný výkon v Wp	%
Léto - září	1022,2	6,43	1,05	0,89	0,86	0,73	253,22	233,04	-8,0
Zima - prosinec	1375,6	4,58	1,31	0,95	0,93	0,73	442,41	330,6	-25,3

**Tab. 3.5** Výpočet výkonu FV generátoru pro horkou klimatickou oblast

### 3.2.2 Akumulátory

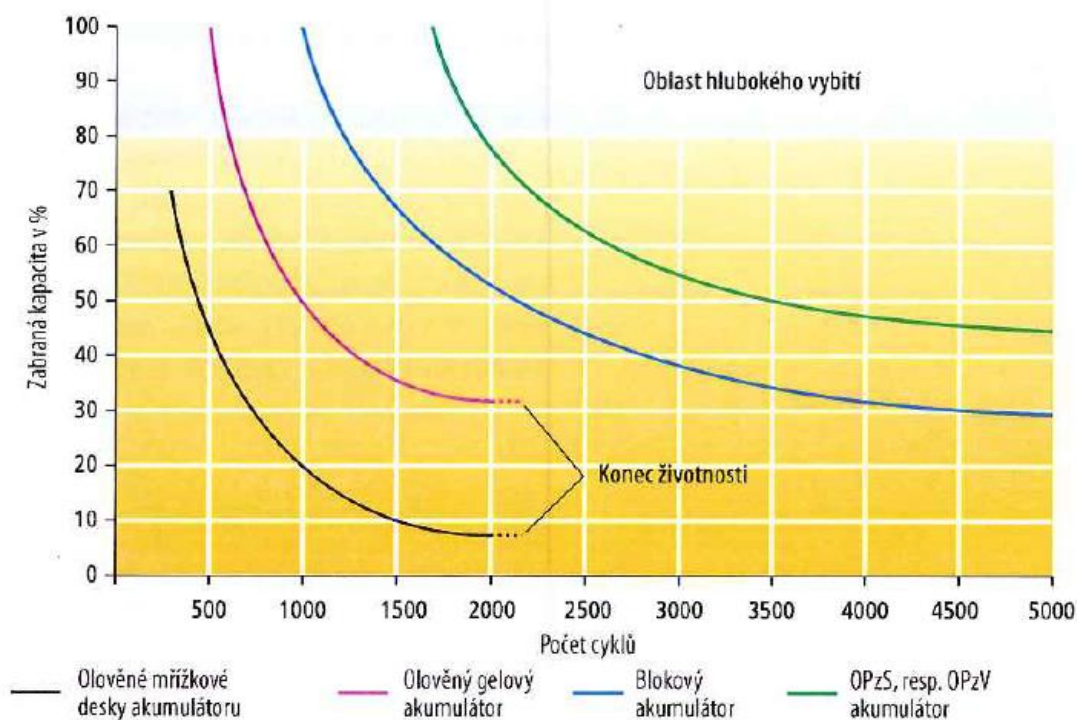
Baterie vytváří systémové napětí pro energetický systém. V závislosti na výkonu systému může být napětí 12, 24 nebo 48 V. Kromě toho vyrovnává nerovnoměrnosti spotřeby a dodávky energie. Baterie udává, jak dlouho může systém spotřebiče zásobovat energií, tzv. počet autonomních dní, zpočátku s plně nabitou baterií a bez osvětlení. V závislosti na aplikaci se autonomní doba pohybuje mezi dvěma a více než deseti dny. Vyšší autonomní doba snižuje prostoje FV zařízení a zvyšuje jistotu napájení, na druhou stranu výrazně zvyšuje náklady na systém. Kromě toho je třeba počítat se zkrácenou životností baterie, protože již nemůžou v poměru k baterii stále menší FV generátory dodávat požadované proudy pro kompletní chemickou přeměnu (dobití). [24]

U ostrovních aplikací se doposud nejčastěji využívají olověné akumulátory, a to z důvodu nejlepšího poměru ceny/výkon. Jsou schopné zpracovávat velké i malé nabíjecí proudy s vysokou účinností. Ještě lepší vlastnosti vykazují lithiové iontové baterie. Pokud budou ceny těchto baterií i nadále klesat, mohou v dlouhodobém horizontu vytlačit olověné akumulátory. V tabulce 3.6 jsou uvedeny technické parametry jednotlivých druhů elektrochemických baterií.

	Olovo	Lithiové ionty	NaS	Zebra	Redox-Flow
Účinnost nabíjení [%]	88-92	94-96	82-88	82-88	70-82
Účinnost vybíjení [%]	90-92	96-98	85-91	85-91	85-90
Účinnost akumulace [%]	100	100	71 (tepelné ztráty)	68 (tepelné ztráty)	100
Náklady na uložení [€/kWh]	80-200	250-700	150-400	250-500	150-400
Okrajové náklady [€/kW]	20	30-200	20-50	20-50	50 - 100
Náklady na měniče [€/kW]	100-200	100-200	100-200	100-200	600-1500
Životnost měničů [roky]	20	20	20	20	20
Samovybíjení [%/den]	0,1-0,2	0,1	0,1	0,1	0,1-0,2
Náklady na údržbu a opravy [%/a]	1	1-2	1-2	1-2	1,5-2,5

**Tab. 3.6** Porovnání parametrů elektrochemických akumulátorů [24]

Ve FV systémech se obvykle používají akumulátory s olověnými mřížovými deskami s kapalným elektrolytem (tzv. FV akumulátory nebo modifikované startovací akumulátory), olověné gelové, stacionární pancéřované deskové akumulátory a blokové akumulátory. Kvalita (životnost) baterií se posuzuje na základě dosažených počtů cyklů před tím, než kapacita ve vybitém stavu klesne na 80 % jmenovité kapacity. Akumulátor utrpí při každém cyklu vybíjení/nabíjení malý ubytek kapacity, který je tím větší, čím bylo vybití hlubší. Proto se při provozu s malými odběry výrazně prodlužuje životnost (počet cyklů). Souvislost mezi hloubkou vybití a počtem cyklů znázorňuje obr. 3.2. [24]



**Obr. 3.2** Životnost olověných akumulátorů [24]

Na rozdíl od startovacích akumulátorů, které jsou konstruovány na velké krátkodobé odběry (proudy), jsou FV akumulátory optimalizovány na to, aby lépe snášely vybíjení na nízkou zbytkovou kapacitu. Přesto stále platí závislost, že čím hlubší vybíjecí cykly, tím nižší životnost. Kapacita je dále závislá na okolní teplotě, s klesající teplotou se kapacita snižuje.

Pro příklad: Při použití olověné gelové baterie a hloubce vybití 50 %, kdy se tedy odebralo 50 % její kapacity, dosahuje životnost jen 1000 cyklů. Hloubka vybití typická pro praxi při dostatečném dimenzování činí 30 % a tedy životnost 2000 cyklů. Při pomalém vybíjení malým proudem můžeme celkově odebrat více proudu než při rychlém vybíjení velkým proudem. Pokud teplota klesne z 20 °C na 0 °C, disponibilní kapacita se sníží o cca. 25 %.

Z výše uvedených údajů jsem usoudil, že nejvhodnějším typem baterií pro obytný automobil jsou bezúdržbové olověné gelové baterie. Mají vyšší odolnost vůči cyklům, neobsahují toxický elektrolyt a těsná uzavřená nádoba zaručuje celkově vyšší bezpečnost.

## Návrh baterie

V následujícím odstavci popíši postup výpočtu dimenzování kapacity baterie ( $C_n$ ). Pro zajištění dlouhé životnosti baterie by úroveň nabití nikdy neměla klesnout pod 30 %. Ačkoliv regulátor nabíjení brání hlubokému vybití, již v návrhu by mělo být bráno v úvahu pouze 70 % kapacity. To v praxi znamená při plánované třídní autonomní době, po třech dnech vybíjení počínaje s plně nabitou baterií, by měla být úroveň nabití baterie stále 70 %. Proto do vzorce dosadím koeficient 0,7.

Spotřeba energie byla doposud uváděna ve Wh. Kapacita baterie se uvádí v Ah. Pro orientační výpočet musíme předpokládat, že napětí bude v celém průběhu vybíjení konstantní, což v praxi není.

Výpočet kapacity pro letní období:

$$C_n = \frac{W \cdot A}{0,7 \cdot U_n} = \frac{1022,2 \cdot 3}{0,7 \cdot 12} = 365,07 \text{ Ah} \quad (3.3)$$

Sezóna - měsíc	Denní spotřeba energie v Wh/d	Autonomní dny	Kapacita baterie v Wh	Systémové napětí [V]	Kapacita baterie [Ah]
Léto - září	1022,2	3	4381,2	12	365,1
Zima - prosinec	1375,6	3	5895,6	12	491,3

**Tab. 3.7** Výpočet kapacity akumulátorů

### 3.2.3 Regulátor nabíjení

Hlavní funkce nabíjecího regulátoru spočívá v ochraně akumulátoru před přebíjením a hlubokým vybitím. Oba tyto mezní provozní stavy značně zkracují životnost baterie. Náklady na akumulátory činí během provozní doby ostrovního systému 35 až 50 % a proto je tento prvek velmi důležitý.

Regulátor je řídicím prvkem celého ostrovního systému a je na něj nutné klást následující základní požadavky:

- ochrana před přebíjením,
- ochrana před hlubokým vybitím,
- zamezení nežádoucího vybití,
- optimální nabíjení akumulátorů,
- indikace stavu nabití,
- ochrana proti zkratu,
- ochrana proti přepólování.

Ochrana před přebíjením je zajištěna tak, že akční člen přeruší tok energie z FV generátoru. Pro tento účel se využívají výkonové elektronické spínače typu MOSFET a IGBT.

Ochrana před hlubokým vybitím se realizuje také pomocí akčního členu, který odpojí spotřebič od baterie. Dle požadavku lze realizovat stupňovité odpojování dle stanovaných priorit. Po dosažení minimálního definovaného nabití se spotřebiče opět automaticky připojí.

Neozářený FV generátor se chová jako spotřebič. Toto nežádoucí vybití se eliminuje sériovou diodou zapojenou v závěrném směru s nízkým napětím v propustném směru. Pro snížení ztrát vlivem této diody se může využít anti-sériově zapojený MOSFET. [24]

Optimální nabíjení se realizuje rozdílně podle technologie a filozofie nabíjení. Proud a napětí ostrovním systémem závisí na aktuálním ozáření a zatížení spotřebiči. Nelze tedy využít filozofii nabíjení konstantním proudem a napětím jako v případě připojení k veřejným sítím. V ostrovních systémech nad 200 Wp se využívají tzv. MPPT nabíjecí regulátory, které upravují vstupní parametry pro maximalizaci výkonu FV systému.

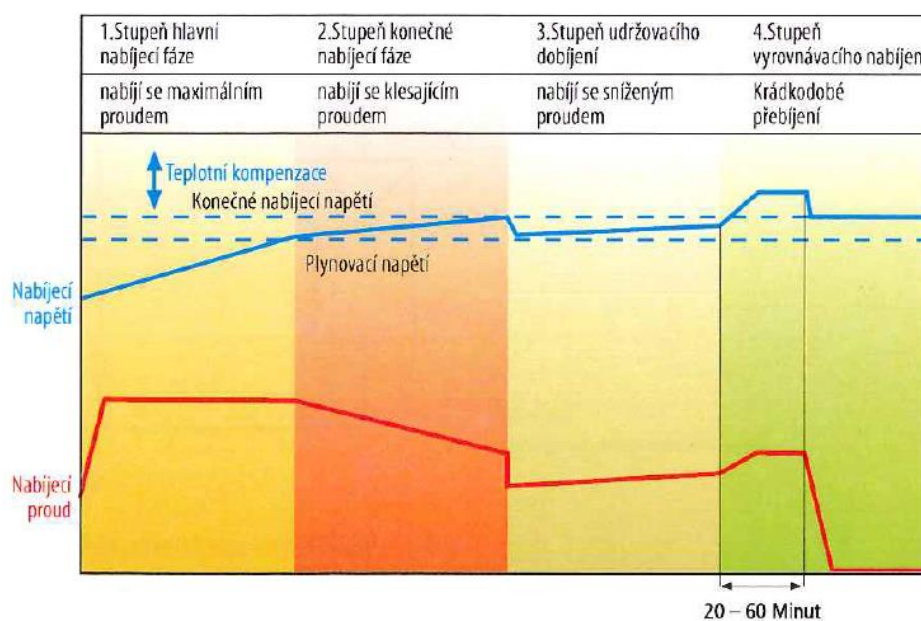
Indikace stavu nabíjení poskytuje důležité informace pro optimalizaci využívání solárního systému (spotřeby) a umožňuje posouzení výkonosti bateriového systému.

Ochrana proti zkratu a přepólování patří k nezbytným bezpečnostním opatřením elektronické části. Nabíjecí regulátor hraje ústřední funkci v souhře několika komponent, takže se musí předem vyloučit nebezpečí škodlivé interakce.

Dobré solární nabíjecí regulátory mají zabudované teplotní čidlo, které registruje okolní teplotu. Regulátor by měl být umístěn v bezprostřední blízkosti baterií, popřípadě pokud tomu tak není, měl by být vybaven externím čidlem, které měří teplotu akumulátoru. V případě extrémního zatížení se mohou baterie zahřívat. Tento stav lze vyloučit dostatečným dimenzováním baterií.

### Nabíjecí postupy

Optimalizování nabíjení ostrovních systémů je velmi složité. Do souladu se musí uvést potřeby optimalizovaného nabíjení a vybíjení akumulátoru i proud spotřeby s kolísajícím napájením závislém na slunečním osvětlení. Olovené akumulátory snesou tím vyšší nabíjecí proud, čím hlouběji jsou vybité. Impulsové šířkové modulace výkonových spínačů umožňuje dosažení rozdílných napájecích napětí a proudu. Často se používá tzv. tří či čtyřstupňové nabíjení, které je znázorněno na obr. 3.3.

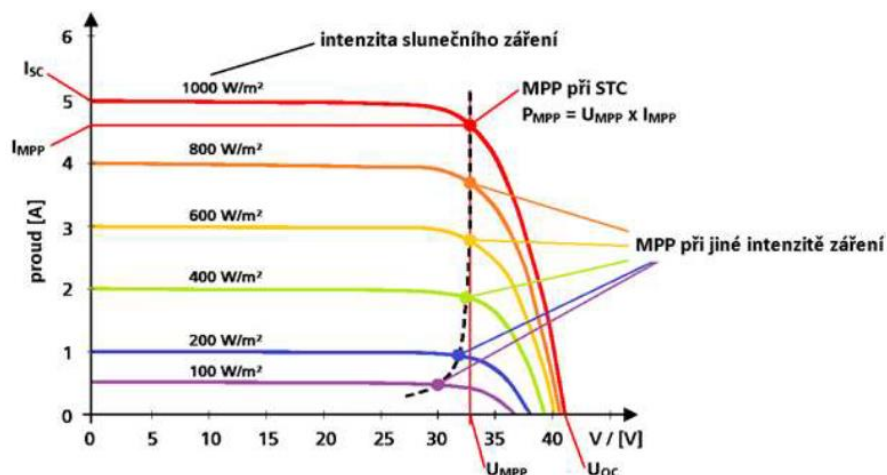


**Obr. 3.3** Postup nabíjení solární energií [24]

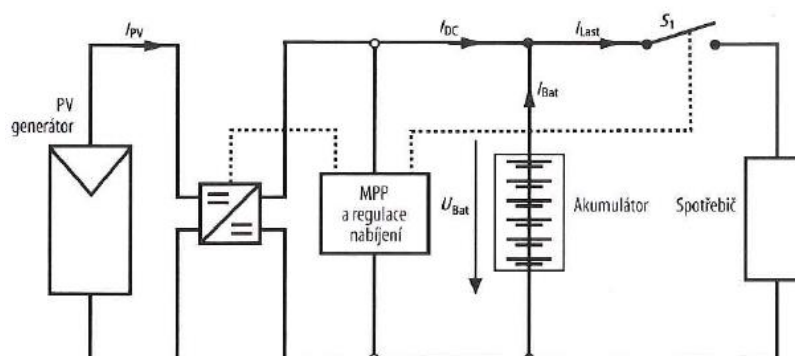
Nabíjecí regulátory mohou jak na straně modulů, tak na straně zátěže, převzít jen omezený proud. K zajištění citlivé výkonové elektroniky je zabudovaná příslušná pojistka. Pro nejvyšší přípustný proud modulu a max. proud zátěže jsou stanoveny stejné limitní hodnoty, to znamená pro oba proudy společná pojistka. Obvyklé standardní hodnoty pro maximální odběr proudu dosahují **5 až 40 A**. [24]

### MPPT nabíjecí regulátor

Příslušné měnící se napětí akumulátoru určuje pracovní bod na charakteristice FV generátoru. V závislosti na napětí, ozáření a teplotě vznikají výkonové ztráty. Tyto ztráty se dají eliminovat pomocí MPPT regulátoru. MPPT regulátor představuje regulovaný měnič stejnosměrného napětí (DC/DC). Regulace probíhá prostřednictvím MPP-Trackeru, který cca. každých 5 minut vyhodnocuje V/A charakteristiku FV generátoru a určuje výkon MPP. Poté se měnič nastaví tak, že odebírá z FV generátoru optimální výkon a ten přizpůsobí na nabíjecí napětí akumulátoru. S regulátorem lze dosáhnout až 97 % účinnosti přeměny. Obr 3.4 znázorňuje změnu polohy MPP bodu a obr 3.5 princip funkce MPPT regulátoru. [24]



Obr. 3.4 V/A charakteristika FV panelu [6]



Obr. 3.5 Princip MPP nabíjecího regulátoru [24]

### 3.2.4 Ostrovní měnič

Ostrovní sinusový měniče slouží k přeměně stejnosměrného proudu na střídavý. Stejnosměrný systém 12 V dosahuje mezi svých možností, pokud má napájet velké spotřebiče a nelze vyloučit dlouhé kabelové trasy. Přenos velkých výkonů v oblasti nízkého napětí vede k velkému přenosovému proudu, a tedy k extrémně velkým průřezům kabelového vedení, které značně prodražují cenu systému.

Na druhou stranu, přeměna veškerého napájení na 230 V střídavého proudu pomocí střídačů není optimální, protože velké výkony jsou požadovány jen krátkodobě a střídač by tedy povětšinu času pracoval v dolním rozsahu částečného zatížení. To by nevyhnutelně vedlo k vysokým převodním ztrátám. Z těchto důvodů jsem oddělil stejnosměrný a střídavý el. rozvod, a tak mohu zvolit menší cenově přívětivější střídač a lépe ho využívat.

Do ostrovních střídačů je často integrován nabíjecí regulátor. Zpravidla jsou připojeny přímo na akumulátor, protože odebírají příliš velké proudy. Přímé připojení k baterii bezpodmínečně vyžaduje, aby byl střídač vybaven integrovaným monitoringem hlubokého vybití. [24]

V případě přímého napojení na distribuční síť (připojení v kempu) přebírá ostrovní střídač funkce zátěžového a síťového managementu:

- Reguluje jalový výkon, napětí a kmitočet.
- Připojuje/odpojuje spotřebiče a dodatečné zdroje.
- Komunikuje a reguluje FV MPP nabíjecí regulátor.

### Dimenzování střídače

Jmenovitý výkon střídače = Součet jmenovitých výkonů AC spotřebičů + Rezerva

V mém návrhu počítám s měničem 1000 W. Hlavní účel ostrovního měniče bude nouzové dobíjení baterií a případný provoz malých příručních spotřebičů. Velké spotřebiče jako klimatizace plánuji využít jen při stání v kempu. Tyto spotřebiče zapojím na samostatný okruh a budou napájeny přímo z distribuční sítě.



### 3.2.5 Kabely a elektrické vedení

Pro elektrickou instalaci fotovoltaického zařízení se využívá speciální kabeláž odolná vysokým teplotám a UV záření. Pro zamezení zkratu se v praxi využívají jednožilové kabely s dvojitou izolací. Vedení se rozlišuje na modulové (stringové), hlavní stejnosměrné a střídavé. Pro snížení přenosových ztrát se doporučuje minimalizovat délku modulového vedení a dostatečně dimenzovat průřezy celého el. vedení.

Jelikož se FV systém nachází na střeše motorového karavanu, musí splňovat příslušné normy pro získání elektrické revize. Elektroinstalace v automobilu má charakter zařízení ve zvláštních objektech. Proto jsem pro vytvoření návrhu elektroinstalace využil normu ČSN 33 2000-7-721, která je obsáhlejší než norma ČSN EN 1648-2. Norma stanovuje uložení jednožilových slaněných kabelů v ohebných instalačních trubkách pro zamezení mechanického namáhání a prodření v důsledku vibrací. Dále stanovuje základní pravidla a principy, které v návrhu uplatním. [25]

#### Dimenzování průřezů vodičů

Při dimenzování průřezů je vedle délky vedení rozhodující systémové napětí a počet paralelně zapojených stringů. V návrhu většiny variant FV systému počítám se sériovým spojení FV modulů, protože ztráty rostou úměrně s napětím, ale s druhou mocninou proudu. Dále je třeba zohlednit stabilitu napětí ( $U$  na prázdno při  $-10\text{ °C}$ ) a proudovou zatížitelnost.

Dimenzování průřezu vodičů musí odpovídat maximální síle proudu. Ta se v praxi stanovuje jako 1,25ti násobek stringového zkratového proudu. Přesný výpočet průřezů může být proveden pomocí následujícího vzorce:

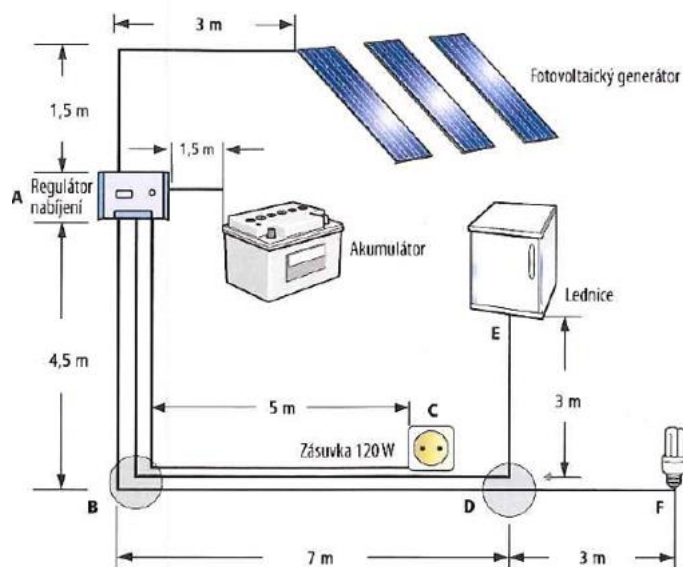
$$S = \frac{l \cdot P}{3\% \cdot U^2 \cdot \gamma} \quad (3.4)$$

Kdy:

$l$  – délka vedení: kladný vodič + záporný,

$P$  – přenášený výkon,

$\gamma$  – elektrická vodivost mědi =  $56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$ . [24]



**Obr. 3.6** Stanovení délky kabelových okruhů

Na obr. 3.6 je znázorněn kompletní stejnosměrný obvod s přibližným určením délek jednotlivých kabelových okruhů. Na základě délky a plánované zátěže stanovím proudovou zatížitelnost kabelů. Každý okruh bude obsahovat vlastní pojistku v rozvodné desce na zadní straně regulátoru nabíjení. V tabulce 3.8 jsou uvedeny výsledky výpočtu dle vzorce 3.4.

Kabelový svazek mezi:	Délka (kladný + záporný vodič) [m]	Spotřebiče	Příkon [W]	Vypočítaný $\varnothing$ v $\text{mm}^2$	Zvolený $\varnothing$ v $\text{mm}^2$
FV - Baterie	12	FV Generátor	500	24,801587	25
Baterie -A-B-C	20	Zásuvky	120	9,9206349	10
Baterie -A-B-D-E	30	Lednice	60	7,4404762	10
Baterie -A-B-D-F	30	LED+Top+Čer	160	19,84127	25

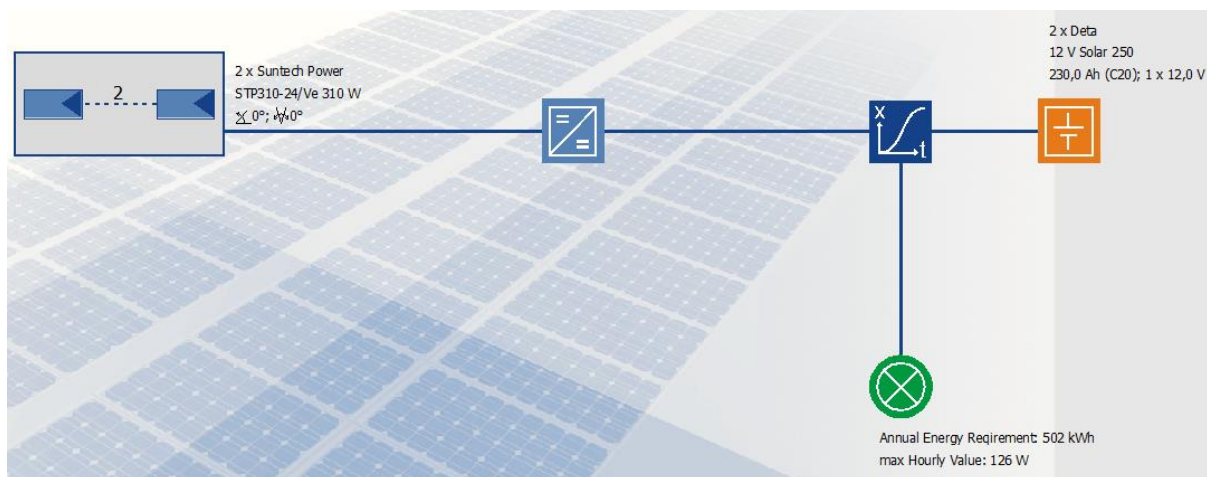
**Tab. 3.8** Výpočet průřezů vodičů

### 3.3 Návrh FV systémů

V následujících odstavcích provedu reálné návrhy FV ostrovních systémů s použitím konkrétních komponent. Tyto komponenty volím na základě přechozích výpočtů, kde jsem orientačně stanovil velikosti FV generátoru a baterie. Jako základ pro návrhy ostrovních systému беру výpočty na horizontální neorientovanou plochu pro mírné klima. Myšlenka je taková, že pokud plánovaný návrh obstojí v mírném klimatu, kde je v zimních měsících nedostatek sluneční energie, tak v dalších lokalitách bude energie dostatek. U všech variant provedu simulační výpočty pomocí online aplikace PVGIS a dále návrh podrobím přesnější simulaci v programu PVSOL, která bude obsahovat konkrétní komponenty a upřesněné zátěžové profily.

#### 3.3.1 Monokrystalický FV systém

Tento systém bude složen ze dvou vysoce účinných monokrystalických panelů značky SunTech o výkonu 310 Wp. Moduly budou sériově spojeny do jednoho stringu a dále napojeny na MPPT solární regulátor. K regulátoru budou napojeny 2 paralelně spojené baterie značky Deta o celkové kapacitě 460 Ah. Obr. 3.7 znázorňuje schéma návrhu.



Obr. 3.7 Schéma monokrystalického FV systému

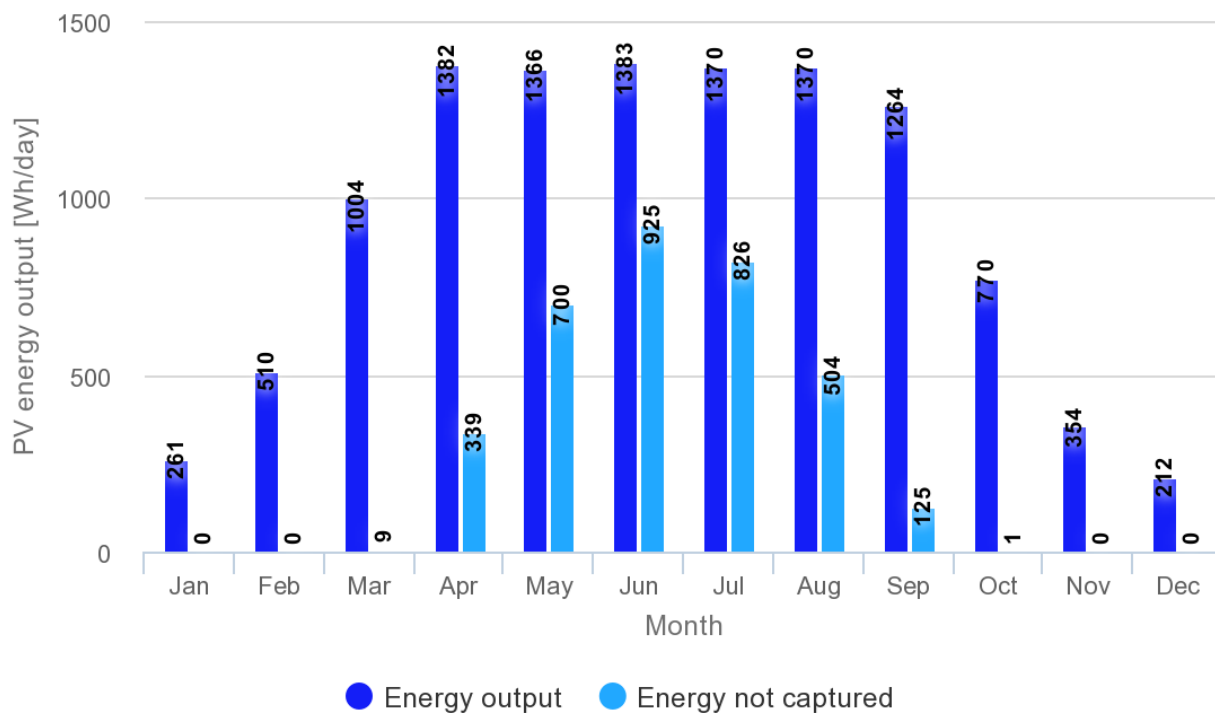
Velikost MPPT regulátoru jsem zvolil na základě maximálního proudu zátěže a pracovního napětí. Je velmi důležité myslet na to, že skrze regulátor procházejí veškeré zátěže systému (tedy krom ostrovního měniče, který se připojuje přímo na baterii). Poddimenzovaný regulátor by snížil výkon celého systému, a tak i využitelnost uložené energie v bateriích. V tab. 3.9 je uveden soupis komponent pro monokrystalický systém.

FV panel SunTech STP310	
Rozměr modulu	1,956 m x 0,992 m
Maximální napětí (Vmpp)	36,5 V
Napětí naprázdno (Voc)	40,2 V
Maximální výkon	310 Wp
Maximální Proud (Impp)	9,29 A
Proud nakrátko (Isc)	9,77 A
Účinnost	18,70%
Cena	4 916 Kč
Regulátor EPsolar REG-TRACER6420	
Vstupní napětí	12/24/36/48 V DC
Maximální výkon	750 W
Max. vstupní napětí	200 V
Max. vstupní proud	60 A
Technologie	MPPT
Cena	8 146 Kč
Baterie Deta 12V Solar 250	
Kapacita	230 Ah
Hmotnost	73 kg
Cena	11 800 Kč
Celková cena	41 578 Kč

**Tab. 3.9** Soupis použitých komponent – 1. varianta

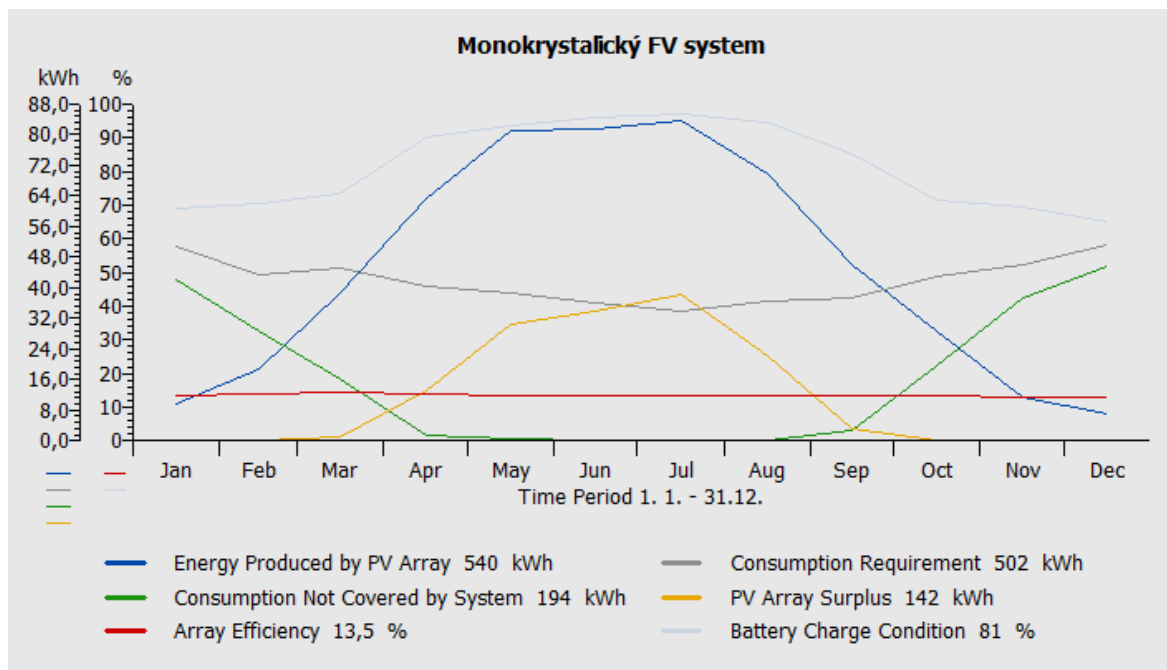
### Performance of off-grid PV: PV energy output

(C) PVGIS, 2020



**Obr. 3.8** Simulace monokrystalického systému PVGIS

Už z první simulace je patrné, že tento systém vykazuje velké solární přebytky v období od dubna do září a také není schopen pokrýt energetické potřeby v období od října do března.



**Obr. 3.9** Simulace monokrystalického systému PVSOL

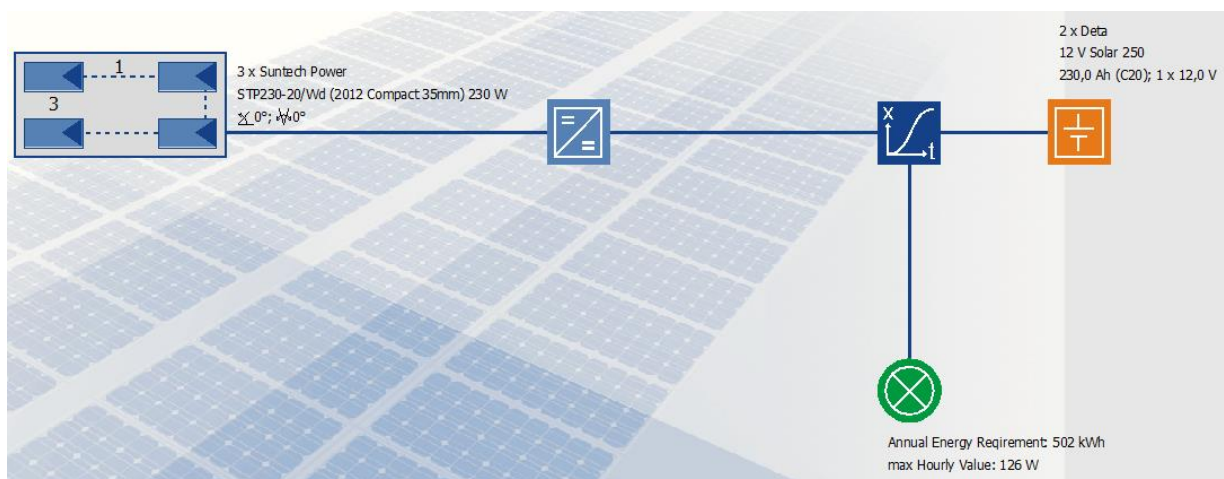
Z druhé upřesněné simulace je patrný podobný trend, nicméně došlo k prodloužení pokrytí spotřeby. Tato simulace obsahuje přesné charakteristické křivky jednotlivých komponent, které jsou součástí databáze programu PVSOL. V simulaci jsem zohlednil i cyklování nabíjení baterií, abych předešel nevratné degradaci (sulfataci). Výsledný soupis ročních energetických zisků je uveden v tab. 3.10.

Roční výnos FV monokrystalického systému	
Plocha FV generátoru	3,88 m <sup>2</sup>
Ozáření FV generátoru	3 993,0 kWh
Vyprodukovaná energie	539,6 kWh
Převedená energie	475,4 kWh
Požadovaná energie	502 kWh
Přímé využití FV energie	191,6 kWh
Nepokrytá spotřeba	193,7 kWh
Solární přebytek	142,2 kWh
Účinnost FV generátoru	13,50%
Účinnost systému	7,70%
Bateriové ztráty	27,3 kWh
Účinnost baterie	81%
Specifický roční výnos	494,1 kWh/kWp

**Tab. 3.10** Soupis energetických zisků – 1. varianta PVSOL

### 3.3.2 Polykrystalický FV systém

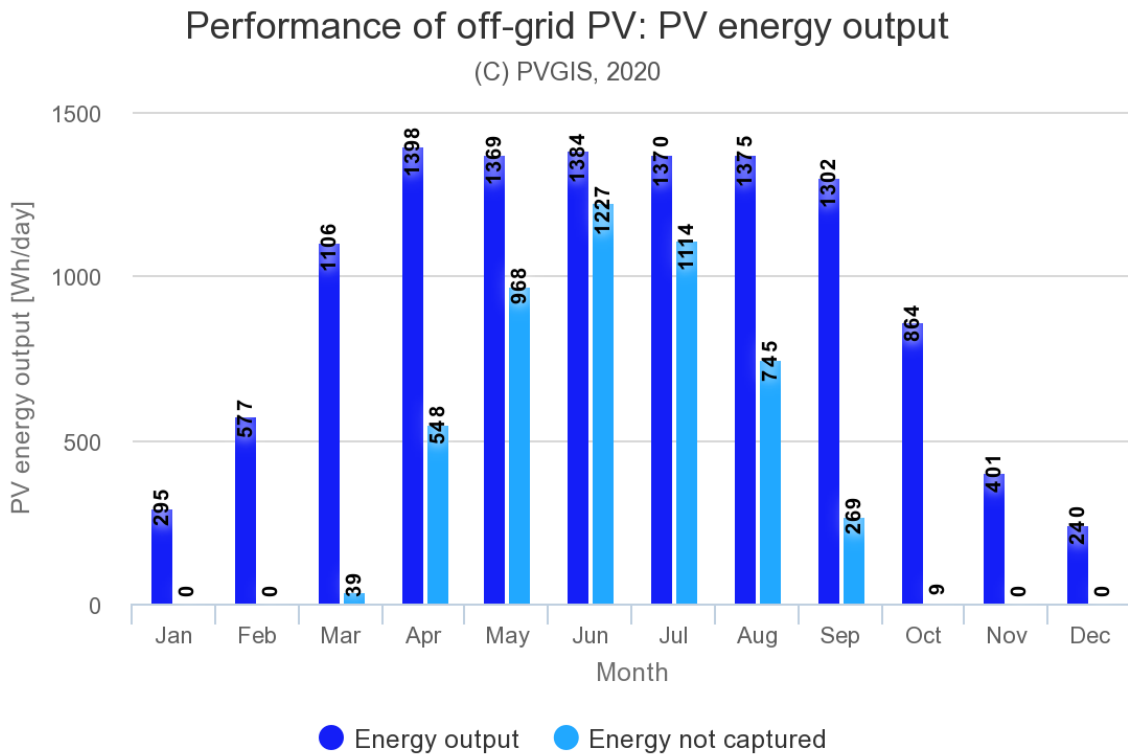
V tomto systému využiji maximální možnou plochu střechy automobilu pro co největší energetický zisk. Tento systém bude složen ze tří polykrystalických panelů značky Suntech Power o výkonu 230 Wp, které budou napojeny do MPPT regulátoru. V tomto návrhu musím použít paralelní propojení modulů kvůli překročení maximálního napětí regulátoru. Obr. 3.10 znázorňuje schéma návrhu. V tab. 3.11 je uveden soupis komponent pro polykrystalický systém.



**Obr. 3.10** Schéma polykrystalického FV systému

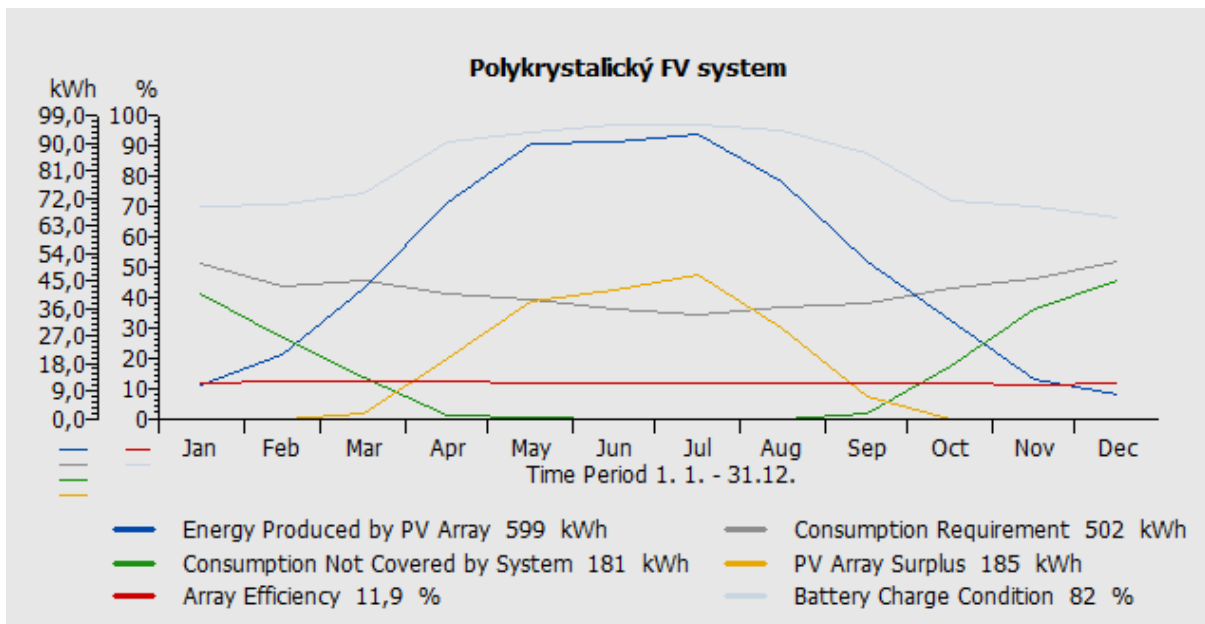
Suntech Power STP230-20/Wd	
Rozměr modulu	1,640 m x 0,992 m
Maximální napětí (Vmpp)	29,8 V
Napětí naprázdno (Voc)	36,8 V
Maximální výkon	230 Wp
Maximální Proud (Impp)	7,72 A
Proud nakrátko (Isc)	8,25 A
Účinnost	14,10%
Cena	2 524 Kč
Regulátor EPsolar REG-XTRA4210	
Vstupní napětí	12/24V DC
Maximální výkon	520 W
Max. vstupní napětí	100 V
Max. vstupní proud	40 A
Technologie	MPPT
Cena	3 524 Kč
Baterie Deta 12V Solar 250	
Kapacita	230 Ah
Hmotnost	73 kg
Cena	11 800 Kč
<b>Celková cena</b>	<b>34 696 Kč</b>

**Tab. 3.11** Soupis použitých komponent – 2. varianta



**Obr. 3.11** Simulace polykrystalického systému PVGIS

Z této simulace jasně vyplývá, že zvyšování výkonu FV generátoru nezaručí krytí energetických potřeb po celý rok. Situace je obdobná jako v předešlém návrhu. Systém nedokáže pokrývat celoroční energetickou poptávku, nicméně je o trochu levnější.



**Obr. 3.12** Simulace polykrystalického systému PVSOL

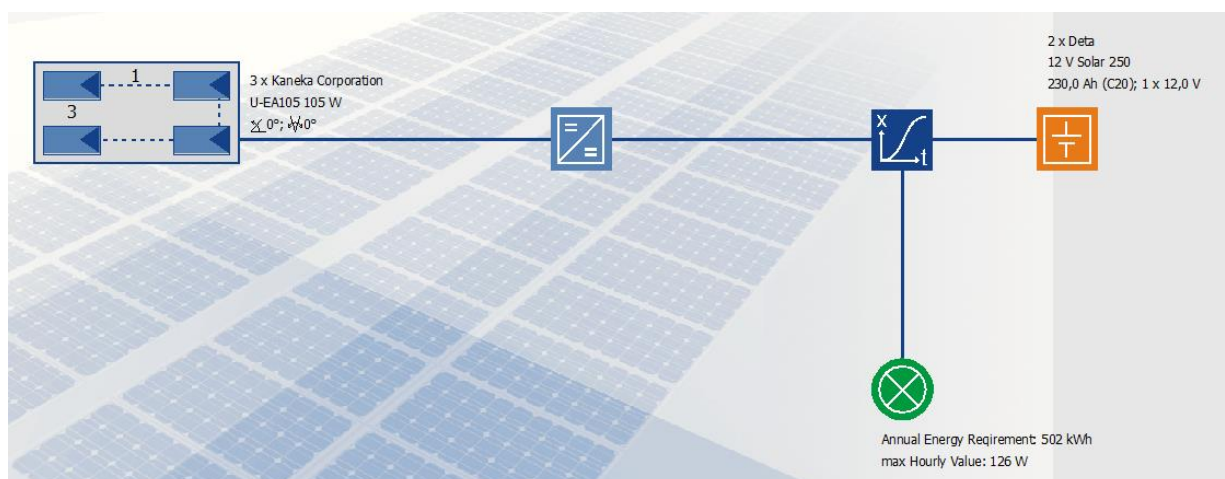
Na obr. 3.12 je znázorněna upřesněná simulace polykrystalického systému. Z té je patrné, že systém vykazuje velmi vysoké letní přebytky energie, ale i přes to není schopný pokrýt energetické potřeby v období od začátku listopadu do konce února. Kompletní přehled energetických zisků je v tab. 3.12.

Roční výnos FV polykrystalického systému	
Plocha FV generátoru	4,88 m <sup>2</sup>
Ozáření FV generátoru	5 039,8 kWh
Vyprodukovaná energie	599,0 kWh
Převedená energie	532,5 kWh
Požadovaná energie	502 kWh
Přímé využití FV energie	198,4 kWh
Nepokrytá spotřeba	181,2 kWh
Solární přebytek	185,4 kWh
Účinnost FV generátoru	11,90%
Účinnost systému	6,30%
Bateriové ztráty	28,5 kWh
Účinnost baterie	82,10%
Specifický roční výnos	462,2 kWh/kWp

**Tab. 3.12** Soupis energetických zisků – 2. varianta PVSOL

### 3.3.3 Amorfnní FV systém

Amorfnní moduly mají zhruba poloviční účinnost oproti mono a polykrystalickým panelům. Navzdory tomu se udává, že při stejném instalovaném výkonu vyrobí amorfnní panely ročně o 10-30 % více energie. Jejich výhoda spočívá v tom, že tyto panely jsou citlivé i na rozptýlené světlo a jejich účinnost neklesá tak rychle s rostoucí teplotou jako u předchozích dvou technologií. Systém sestavím z tří panelů o výkonu 105 Wp. Obr. 3.13 znázorňuje schéma návrhu.



**Obr. 3.13** Schéma amorfnního FV systému



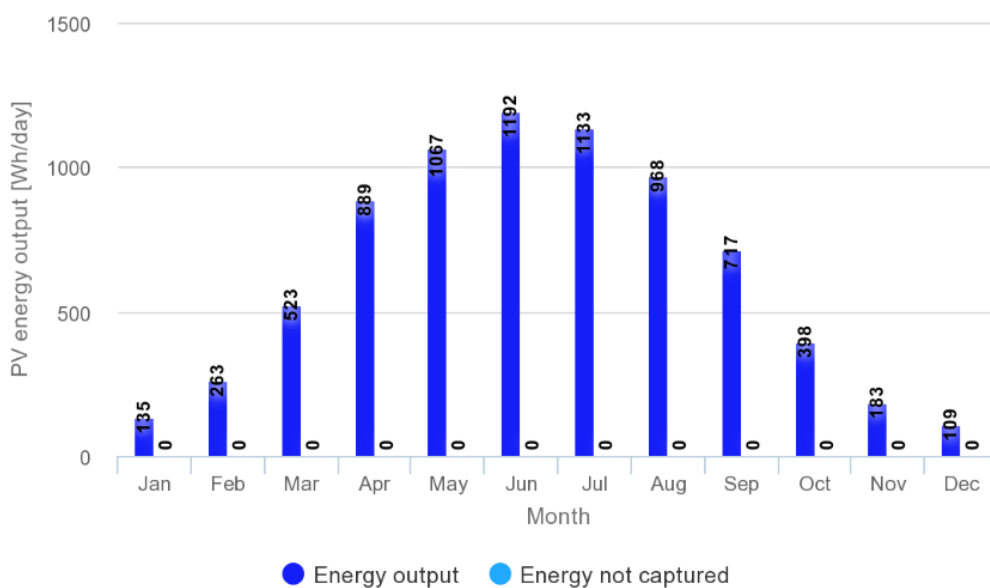
Amorfní panely mají na rozdíl od předešlých technologií mnohonásobně vyšší napětí naprázdno. Pro zachování nízkonapěťového konceptu musím opět využít paralelního zapojení a tedy vytvořit 3 samostatné stringy. V tab. 3.13 je uveden soupis komponent pro amorfní systém.

FV panel Kanaka U-EA105	
Rozměr modulu	1,210 m x 1,008
Maximální napětí (Vmpp)	53,5 V
Napětí naprázdno (Voc)	71 V
Maximální výkon	105 Wp
Maximální Proud (Impp)	1,96 A
Proud nakrátko (Isc)	2,4 A
Účinnost	8,60%
Cena	1 375 Kč
Regulátor EPsolar REG-XTRA4210	
Vstupní napětí	12/24V DC
Maximální výkon	520 W
Max. vstupní napětí	100 V
Max. vstupní proud	40 A
Technologie	MPPT
Cena	3 524 Kč
Baterie Deta 12V Solar 250	
Kapacita	230 Ah
Hmotnost	73 kg
Cena	11 800 Kč
Celková cena	31 249 Kč

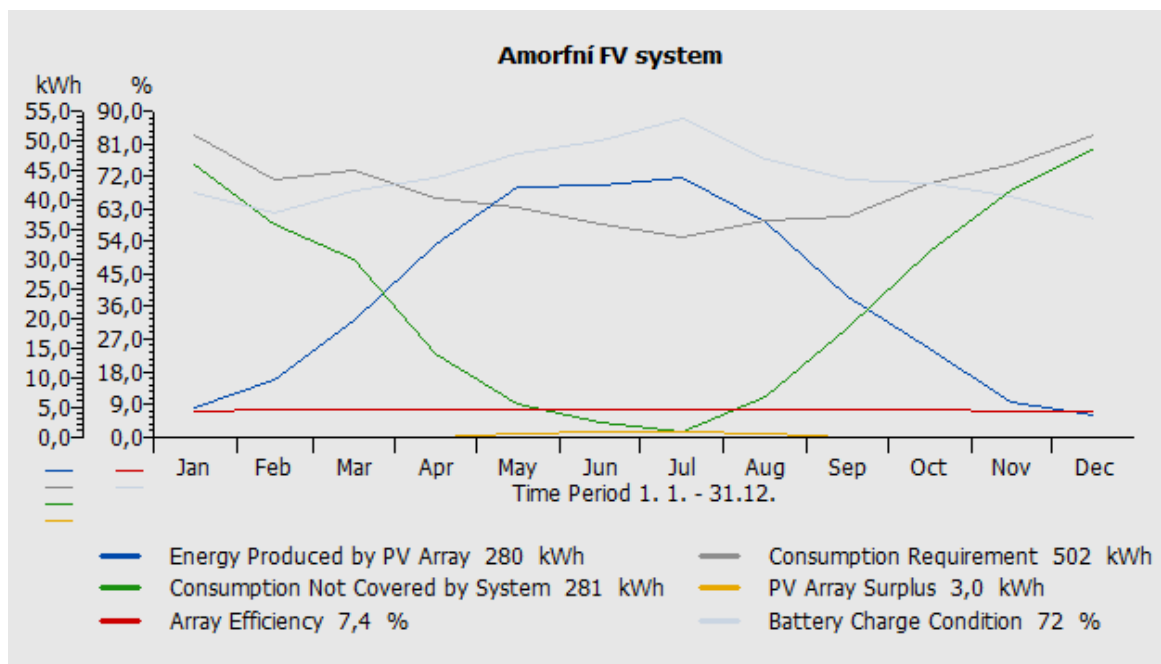
**Tab. 3.13** Soupis použitých komponent – 3. varianta

### Performance of off-grid PV: PV energy output

(C) PVGIS, 2020



**Obr. 3.14** Simulace amorfního systému PVGIS



**Obr. 3.15** Simulace amorfního systému PVSOL

Na obr.3.14 a 3.15 jsou uvedeny simulace amorfního systému. Při porovnání obou simulačních výstupů se zde naplno projevila nepřesnost online simulace PVGIS. Z té vyplynulo, že navrhovaný systém nedokáže pokrýt energetické nároky v žádném měsíci roku. Ze simulace PVSOL vyplývá, že je systém schopný pokrýt spotřebu v období od konce března do konce září. Rozpor z obou simulačních programů je způsobený tím, že online simulace PVGIS nerespektuje tři zásadní aspekty:

- technologii modulů
- způsob zapojení (FV koncept, počet a velikosti U a I ve stringu),
- způsob provozu FV systému (zátěžovou charakteristiku, nabíjecí cyklus).

Roční výnos FV amorfního systému	
Plocha FV generátoru	3,66 m <sup>2</sup>
Ozáření FV generátoru	3 761,9 kWh
Vyprodukovaná energie	279,6 kWh
Převedená energie	238,6 kWh
Požadovaná energie	502 kWh
Přímé využití FV energie	191,6 kWh
Nepokrytá spotřeba	281,2 kWh
Solární přebytek	3,0 kWh
Účinnost FV generátoru	7,40%
Účinnost systému	5,80%
Bateriové ztráty	17,5 kWh
Účinnost baterie	81,80%
Specifický roční výnos	694,9 kWh/kWp

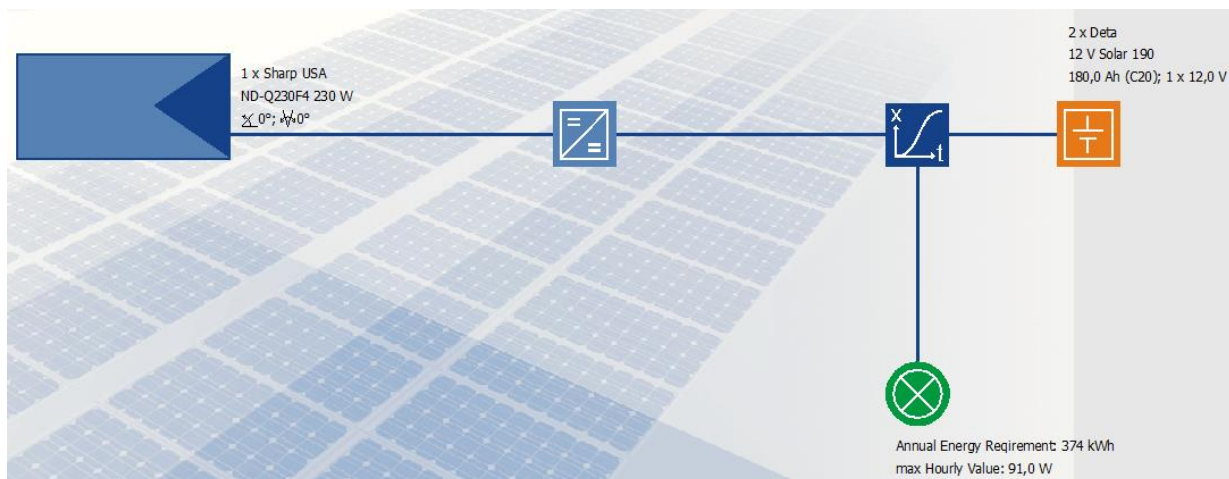
**Tab. 3.14** Soupis energetických zisků – 3. varianta PVSOL

V tab. 3.14 je uveden soupis energetických zisků amorfního FV systému. Ačkoliv má systém celkově malou účinnost, vykazuje malé solární přebytky a nejvyšší specifický roční výnos ze všech doposud navrhovaných systémů.

Na závěr jsem se rozhodl vytvořit návrh ekonomicky přijatelné varianty FV systému. Jelikož nejsem schopný pokrýt celoroční spotřebu, pokusím se o krytí energetických potřeb pouze v letním období. Tato varianta dává vzhledem k plánovanému využívání největší smysl.

### 3.3.4 Optimalizovaný FV systém

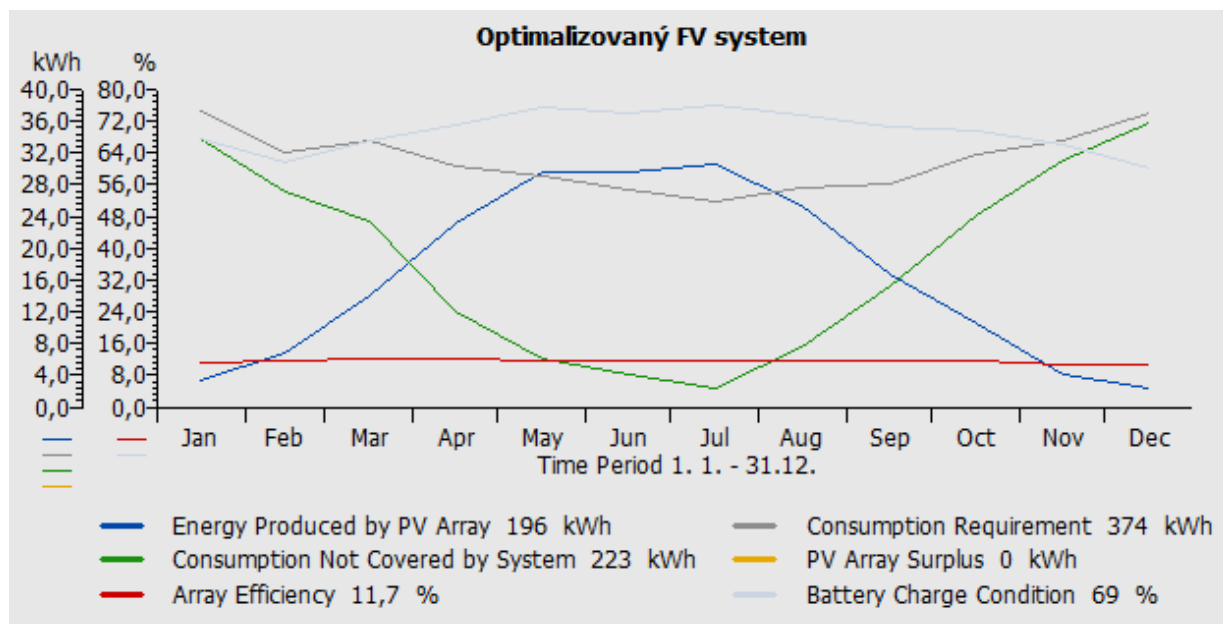
V tomto systému využiji pouze jeden polykrystalický panel značky Sharp a výkonu 230 Wp a pouze jednu baterii o kapacitě 230 Ah. Baterie je nejdražší komponenta všech FV systému a předešlé návrhy nepočítaly s využitím startovací baterie. Propojení obou baterií bude realizováno prostřednictvím inteligentního propojovače baterií Cyrix-ct, který řídí nabíjení a odpojování startovací a palubní baterie. Tímto způsobem se omezí solární přebytky a zvýší se celková využitelná kapacita. Na obr. 3.16 je znázorněno schéma optimalizovaného systému a v tab. 3.15 je uveden soupis komponent.



**Obr. 3.16** Schéma optimalizovaného FV systému

FV panel Sharp USA ND-Q230F4	
Rozměr modulu	1,640 m x 0,994 m
Maximální napětí (Vmpp)	29,2 V
Napětí naprázdno (Voc)	37,1 V
Maximální výkon	230 Wp
Maximální Proud (Impp)	7,88 A
Proud nakrátko (Isc)	8,45 A
Účinnost	14,10%
Cena	3 266 Kč
Regulátor EPsolar REG-XTRA4210	
Vstupní napětí	12/24V DC
Maximální výkon	520 W
Max. vstupní napětí	100 V
Max. vstupní proud	40 A
Technologie	MPPT
Cena	3 524 Kč
Baterie Deta 12V Solar 250	
Kapacita	230 Ah
Hmotnost	73 kg
Cena	11 800 Kč
Propojovač baterií WaveRF	
Max. vstupní proud	120 A
Cena	1 149 Kč
Celková cena	19 739 Kč

Tab. 3.15 Soupis použitých komponent – 4. varianta



Obr. 3.17 Simulace optimalizovaného FV systému PVSOL

Roční výnos FV amorfního systému	
Plocha FV generátoru	1,63 m <sup>2</sup>
Ozáření FV generátoru	1 680,2 kWh
Vyprodukovaná energie	196,1 kWh
Převedená energie	161,1 kWh
Požadovaná energie	374,1 kWh
Přímé využití FV energie	108,9 kWh
Nepokrytá spotřeba	222,7 kWh
Solární přebytek	0,0 kWh
Účinnost FV generátoru	11,70%
Účinnost systému	8,90%
Bateriové ztráty	11,5 kWh
Účinnost baterie	81,40%
Specifický roční výnos	652,7 kWh/kWp

**Tab. 3.16** Soupis energetických zisků – 4. varianta PVSOL

## 4 Zhodnocení

Z provedených simulací jsem dospěl k závěru, že pro takto zvolenou denní spotřebu není možné navrhnout systém pro celoroční krytí energetických potřeb pomocí obnovitelných zdrojů energie. Již v úvodu práce jsem zmiňoval, že limitujícím faktorem návrhu bude dostupná plocha a simulace můj odhad potvrzují. Dokonce ani ve středomořských oblastech uvedené systémy nebyly schopny pokrývat energetické požadavky po celý rok.

Všechny navrhované varianty byly dimenzovány na režim ostrovního provozu, tzv. „kempování na divoko“, kde se snažím o maximalizaci autonomních dní. Pro další cestovní režim „stání v kempu“ slouží elektrický obvod střídavého proudu, který rozšiřuje možnosti komfortu, protože umožňuje instalaci energeticky náročných spotřebičů, které nelze na stejnosměrný obvod využít. Zároveň slouží také jako záložní zdroj pro dobíjení baterií.

V průběhu vypracování této práce jsem provedl desítky simulací, abych vypočetl závislosti ovlivňující energetické zisky. Způsob provozu systému má zásadní vliv na účinnost a celkové hodnocení systému. Při smysluplném využívání spotřebičů v časech intenzivního osvětlení lze dosahovat většího počtu autonomních dní s nižším výkonem FV generátorů i s menší kapacitou akumulátorů.

Dimenzování ostrovních systémů je velmi komplikované. Při splnění celoroční poptávky po elektrické energii z FV ostrovního systému nevyhnutelně dojde k energetickým přebytkům během letní sezóny. Předimenzování neúměrně prodraží celý systém a přebytečná energie nemá v mém návrhu smysluplné využití. Eventuálním využitím přebytečné energie je převedení do zásobníků teplé vody. Tato varianta by v případě větší aplikace byla možná a smysluplná, nicméně v mém návrhu počítám s bojlerem o objemu jen 10 l, který je ohříván odpadním teplem z plynového topení.

## Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh energetického systému na krytí energetických potřeb malého obytného automobilu pomocí obnovitelných zdrojů energie.

V úvodní části práce jsem popsal teoretické možnosti využití obnovitelných zdrojů jako mobilních zdrojů energie. Obnovitelné zdroje mají veliký potenciál, nicméně v mobilních aplikacích narážejí na velkou řadu omezení. Omezení se týkají jak komplikovaného dimenzování, tak také reálného využití a proměnlivého energetického zisku. Za nejvyužitelnější mobilní obnovitelný zdroj považuji fotovoltaický zdroj elektrické energie, kterým se ve své práci zabývám.

V druhé části analyzuji energetické potřeby obytného automobilu a stanovuji potřebné množství elektrické energie. Zaměřil jsem se na výběr vhodných energeticky úsporných spotřebičů a stanovil denní spotřebu pro letní a zimní sezónu. Zvolil jsem metodu „s extrémními případy“ z důvodu velkého množství plánovaných lokalit a také proto, že nemám zkušenosti s provozem takového automobilu. Nemohl jsem tedy exaktně stanovit spotřeby v jednotlivých měsících. Určení odpovídající energetické náročnosti bylo zásadní pro správné dimenzování FV ostrovního systému.

Následně jsem uvedl metody izolování a pokusil se o minimalizaci tepelných ztrát. Provedl jsem orientační výpočet tepelné ztráty a dospěl jsem k závěru, že v případě mobilního objektu je tento výpočet velmi komplikovaný. V automobilu se nachází mnoho tepelných mostů, které nejsem schopný exaktně vyčíslit. Dalším důvodem je fakt, že výpočtové metody jsou založeny na formulaci okrajových podmínek, které se s každou změnou lokality mění.

Ve třetí části práce jsem představil základní principy dimenzování jednotlivých částí ostrovního fotovoltaického systému. Jednotlivé komponenty jsem popsal a provedl výpočty dimenzování pro tři klimatické oblasti. Při dimenzování FV generátoru byly zohledněny ztráty ve vedení, transformaci a nesouladu. Výpočet je proveden jak na nekorigovanou horizontální plochu, tak na optimalizovanou plochu metodou optimalizace pro celoroční splnění poptávky elektrické energie pro ostrovní systémy.

Na základě těchto výpočtů jsem navrhl čtyři varianty fotovoltaického ostrovního systému, které jsem posléze podrobil simulacím v online aplikaci PVGIS a profesionální aplikaci pro optimalizaci provozu ostrovních systémů PVSOL. Pro získání relevantních simulačních výstupů jsem uvažoval nulový sklon solárních panelů a čistě jižní orientaci. U varianty 1. až 3. jsem záměrně využil rozdílnou technologii solárních panelů. U každé varianty hodnotím výsledky simulací a uvádím energetické zisky pro celoroční provoz. V poslední 4. variantě navrhuji optimalizovaný FV systém s ohledem na ekonomický provoz a pořizovací cenu. Tato varianta pokrývá energetické nároky v období od konce března do konce září a je tedy optimálním řešením pro letní provoz obytného automobilu.

V závěru diplomové práce zhodnocuji výsledky simulačních výpočtů a uvádím závěry praktické části. Bohužel musím konstatovat, že při takto zvolené denní spotřebě elektrické energie se mi nepodařilo navrhnout systém na bázi obnovitelných zdrojů, který by v našich zeměpisných podmínkách zajistil dostatečné množství energie pro celoroční provoz.



## Seznam literatury a informačních zdrojů

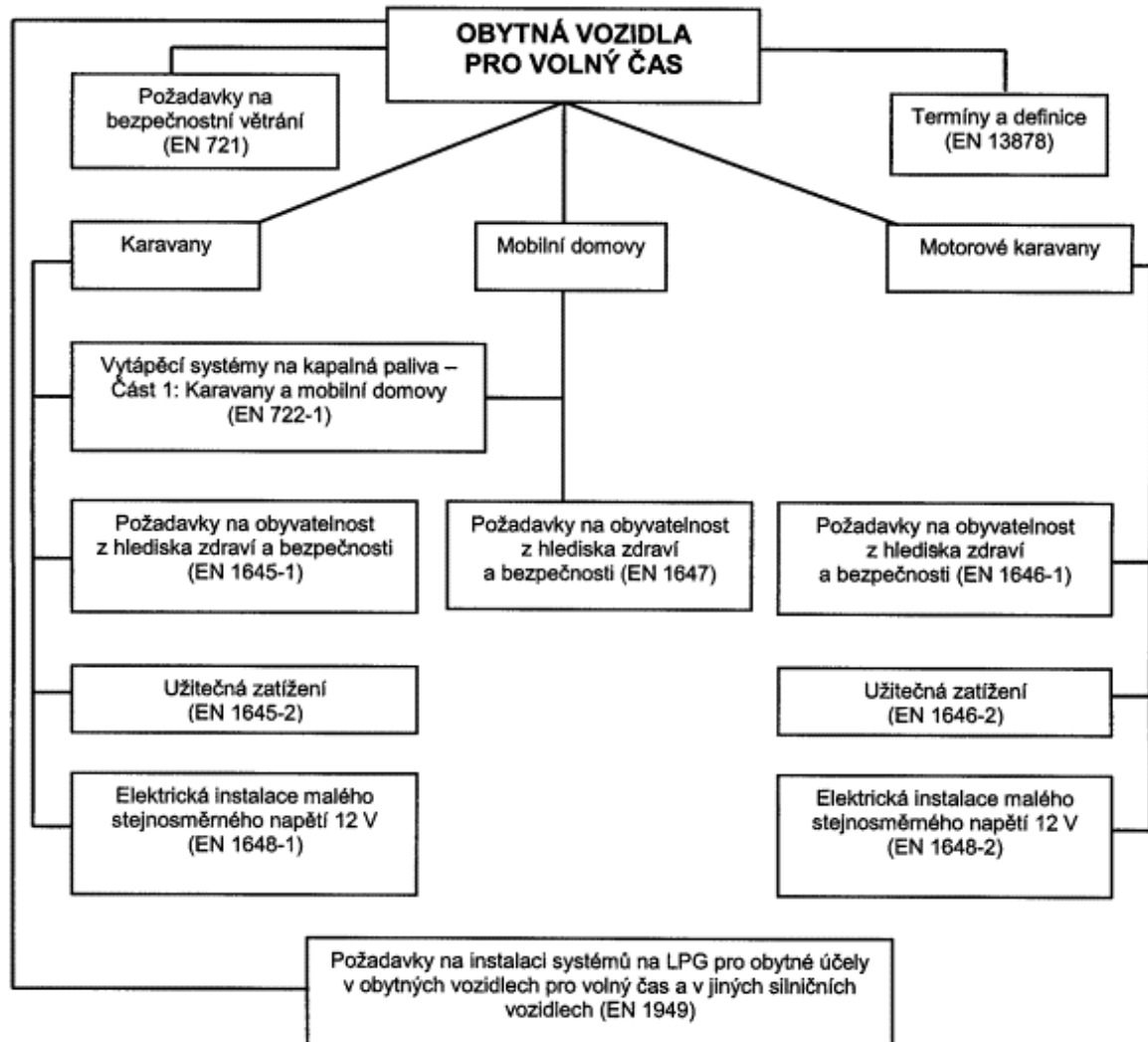
- [1] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [2] MATUŠKA, Tomáš. Solární zařízení v příkladech. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [3] Fotovoltaický jev [online]. Praha, 2019 [cit. 2015-12-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
- [4] New ideas new world [online]. [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://3.bp.blogspot.com/HyKWVLeckIc/UQF30Ka8MmI/AAAAAAAAAGY/qzKyMZfkwTs/s1600/Sem+t%25C3%25ADtuloj.jpg>
- [5] Současný stav a trendy ve vývoji fotovoltaických panelů. *Aldebaran* [online]. Praha: Copyright Aldebaran Group for Astrophysics, 2010, 2010 [cit. 2015-12-07]. Dostupné z: [http://www.aldebaran.cz/bulletin/2010\\_37\\_fot.php](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2010_37_fot.php)
- [6] Solární Novinky [online]. [cit. 11.02.2019]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/index.php?rs=4&rl=2010012003&rm=15:29>
- [7] eshop.TERMS.eu. *eshop.TERMS.eu* [online]. Copyright © 2013 [cit. 12.02.2019]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/>
- [8] Přenosná vodní mikroelektrárna. *Časopis Udělej si sám | Internetový magazín* [online]. Dostupné z: <https://cs.udelejsisam.net/prenosna-vodni-mikroelektrarna.html>
- [9] RYCHETNÍK, V. JANOUŠEK, J. PAVELKA. Větrné motory a elektrárny. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7
- [10] Fiat Professional [online]. [cit. 05.03.2019]. Dostupné z: [http://www.fiatprofessional.cz/images/mod\\_catalog/pdf/1213\\_1\\_CZ%20DUCA TO%20katalog%20-%20preprava%20zbozi.pdf](http://www.fiatprofessional.cz/images/mod_catalog/pdf/1213_1_CZ%20DUCA TO%20katalog%20-%20preprava%20zbozi.pdf)
- [11] VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-2910-0.
- [12] Izolace a povrchy - Niesmann+Bischoff - Výroba karavanů. [online]. Dostupné z: <https://www.niesmannbischoff.cz/arto-technologie/izolace-a-obklady>
- [13] Zimní termo folie Hindermann Classic Fiat Ducato [online]. Copyright © 2020, SvětKaravanů.cz [cit. 03.01.2020]. Dostupné z: <https://www.svetkaravanu.cz/hindermann-thermos-window-cover-classic>

- [14] Tepelná izolace – mýty a pověry aneb polystyrén způsobuje plísně, Nazeleno.cz - Chytrá řešení pro každého [online]. Copyright © 2018 [cit. 07.01.2020]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/tepelna-izolace-myty-a-povery-aneb-polystyren-zpusobuje-plisne.aspx>
- [15] Termoreflexní fólie SUNFLEX Roof-In Plus. Stavební fólie SUNFLEX [online]. Copyright © Sunflex 2013 [cit. 08.01.2020]. Dostupné z: <https://www.sunflex.cz/termoreflexni-folie/sunflex-roof-in-plus>
- [16] Pás K-FLEX H DUCT METAL | DODAVKYESHOP.CZ. Přestavby dodávek [online]. Copyright © Copyright 2019 dodavkyeshop.cz [cit. 08.01.2020]. Dostupné z: <https://www.dodavkyeshop.cz/Pas-K-FLEX-H-DUCT-METAL-12mm-d488.htm#detail-anchor-description>
- [17] Tepelná izolace | mirelon.com. Mirel Vratimov a.s. - technické a stavební izolace MIRELON® a STARLON® [online]. Copyright © 2000 [cit. 08.01.2020]. Dostupné z: <http://www.mirelon.com/cz/tepelna-izolace-wp000004.html>
- [18] Technologie ITPUR [online]. Dostupné z: <http://www.polyuretan.cz/cs15-Ostatni-aplikace.html>
- [19] Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci [online]. [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicевrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [20] ČSN EN 1646-1. Obytná vozidla pro volný čas – Motorové karavany – část 1: Požadavky na obyvatelnost z hlediska zdraví a bezpečnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [21] TZB-info.cz: Stavba [online]. [cit. 2020-01-16]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/3285-vodni-para-a-jeji-kondenzace-v-konstrukcich>
- [22] Eshop s příslušenstvím pro karavany - svetkaravanu.cz. Eshop s příslušenstvím pro karavany - svetkaravanu.cz [online]. Copyright © 2020, SvětKaravanů.cz [cit. 20.01.2020]. Dostupné z: <https://www.svetkaravanu.cz/>
- [23] Jak vybrat lednici pro karavan nebo obytné auto? | Nomádem.cz. Nomádem.cz - Malá i velká obytná auta prakticky [online]. Dostupné z: <https://nomadem.cz/karavanove-chladnicky>
- [24] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. Fotovoltaické systémy: energetická příručka: pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.

- [25] ČSN 33 2000-7-721. Elektrické instalace nízkého napětí – Část 7-721: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech – Elektrické instalace v karavanech a motorových karavanech. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [26] Technický list SunTech. [online]. Copyright © [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: [https://assets.suntechpower.com.au/images/AU\\_HyPro\\_STP310S\\_WfhbMC4\\_310\\_305\\_300\\_2G.pdf?mtime=20190301164235](https://assets.suntechpower.com.au/images/AU_HyPro_STP310S_WfhbMC4_310_305_300_2G.pdf?mtime=20190301164235)

## Přílohy

Příloha 1 – Seznam norem pro obytná vozidla [20]



## Příloha 2 - Tabulka normovaných teplot a vlhkostí [21]

	teplota vzduchu	relativní vlhkost vzduchu	tlak vodní páry	obsah vodní páry	teplota vzduchu, při které dochází ke kondenzaci	teplota vzduchu, při které dochází k riziku vzniku plísní
	[°C]	[%]	[Pa]	[g/m <sup>3</sup> ]	[°C]	[°C]
1	-15	84	139	0,87	-16,9	
2	20	25	584	4,33	-0,5	2,5
3	20	30	701	5,19	1,9	5,1
4	20	35	818	6,06	4,1	8,6
5	20	40	935	6,92	6,0	7,9
6	20	45	1052	7,79	7,7	11,0
7	20	50	1169	8,65	9,3	12,6
8	20	55	1285	9,52	10,7	14,1
9	20	60	1402	10,38	12,0	15,4
10	20	65	1519	11,25	13,2	16,7
11	20	70	1636	12,11	14,4	17,9
12	20	75	1753	12,98	15,4	19,0
13	20	80	1870	13,84	16,5	20
14	20	85	1986	14,71	17,4	
15	20	90	2103	15,57	18,3	
16	20	95	2220	16,44	19,2	
17	20	100	2337	17,30	20	

## Příloha 3 – Technické list panelu SunTech STP310 [26]

**Electrical Characteristics**

STC	STP310S-20/ Wfhb	STP305S-20/ Wfhb	STP300S-20/ Wfhb
Maximum Power at STC (Pmax)	310 W	305 W	300 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	32.9 V	32.7 V	32.5 V
Optimum Operating Current (Imp)	9.43 A	9.33 A	9.24 A
Open Circuit Voltage (Voc)	39.7 V ± 5%	39.5 V ± 5%	39.3 V ± 5%
Short Circuit Current (Isc)	9.88 A ± 5%	9.80 A ± 5%	9.72 A ± 5%
Module Efficiency	18.7%	18.4%	18.1%
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C		
Maximum System Voltage	1000 V DC (IEC)		
Maximum Series Fuse Rating	20 A		
Power Tolerance	0/+5 W		

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, module temperature 25 °C, AM=1.5;

Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

NMOT	STP310S-20/ Wfhb	STP305S-20/ Wfhb	STP300S-20/ Wfhb
Maximum Power at NMOT (Pmax)	228.9 W	225.3 W	221.6 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	30.2 V	29.9 V	29.7 V
Optimum Operating Current (Imp)	7.59 A	7.53 A	7.45 A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.6 V	36.4 V	36.2 V
Short Circuit Current (Isc)	8.00 A	7.93 A	7.87 A

NMOT: Irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, ambient temperature 20 °C, AM=1.5, wind speed 1 m/s;

Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

Příloha 4 – Hodnoty globálního slunečního záření, data: Meteonorm [24]

Město	Tabulka hodnoty záření $Z_T$ na horizontální plochu (kWh/m <sup>2</sup> /d)													Součet čísel
	Jan	Ún	Má	Čer	Čer	Čer	Ří	Ří	Ří	Ří	Ří	Ří	Ří	
Deutschland	Berlin	8,68	8,13	7,25	7,70	4,94	5,21	5,89	4,39	3,08	1,60	0,71	0,44	3621
	Frankfurt	8,48	8,11	7,28	7,81	5,76	5,61	5,21	4,94	3,98	1,56	0,68	0,36	3625
	Bremen	8,68	8,12	7,71	8,55	4,75	4,76	4,88	4,98	2,73	1,81	0,74	0,41	352
	Köln	8,18	8,17	7,24	7,60	4,64	4,74	4,76	4,12	2,75	1,31	0,86	0,51	377
	Wolfsburg	8,63	8,11	7,71	7,59	4,99	4,74	4,78	4,14	2,69	1,84	0,75	0,48	362
	Dresden	8,72	8,17	7,21	7,51	4,73	4,84	4,83	4,25	2,91	1,83	0,82	0,55	3604
	Düsseldorf	8,78	8,18	7,31	7,81	4,64	4,81	4,86	4,33	2,96	1,76	0,77	0,53	3603
	Hannover/Lüneburg	8,68	8,11	7,78	7,85	4,98	5,11	5,11	4,42	3,08	1,87	0,82	0,52	3655
	Nürnberg	8,77	8,56	7,43	7,70	4,98	5,04	5,11	4,67	3,05	1,83	0,80	0,60	3651
	Stuttgart	8,99	8,96	7,59	7,81	4,98	5,89	5,76	4,61	3,12	1,81	1,06	0,73	3691
	Wiesbaden	8,68	7,58	7,62	7,84	4,82	5,21	5,40	4,75	3,38	1,81	1,01	0,73	3734
	München	7,04	5,83	7,88	4,81	5,09	5,47	5,39	4,85	3,57	2,11	1,11	0,80	3155
	Hamburg/Wandlitz	1,12	2,11	1,68	4,80	4,97	5,26	5,40	4,73	3,78	2,41	1,33	1,06	3318
	Europa	Paris, Francie	8,74	8,25	7,31	7,54	4,48	4,89	4,81	4,61	3,13	1,80	1,08	0,58
Brüssel, Belgie		8,65	8,17	7,38	7,48	4,58	4,81	4,81	4,75	2,68	1,31	0,84	0,48	394
Amsterdam, Nizozemsko		8,81	8,17	7,79	7,41	4,76	4,86	4,81	4,11	2,79	1,61	0,77	0,46	367
Řím, Itálie		7,85	7,61	7,94	7,70	6,78	6,76	6,36	6,11	4,79	3,29	1,89	1,19	3161
Wien, Rakousko		8,65	7,58	7,76	4,81	5,78	5,58	5,44	4,74	3,18	2,01	0,87	0,64	3131
Řím, Švédsko		7,65	7,80	7,81	7,81	4,61	5,34	5,51	4,81	3,45	2,81	1,15	0,87	3189
Madrid, Španělsko		7,60	7,85	4,41	5,24	6,48	7,31	7,31	6,47	4,95	3,21	2,14	1,15	3040
Athény, Řecko		7,69	7,67	7,58	4,91	6,01	6,78	6,94	6,48	5,18	3,45	2,24	1,12	3138
Atény, Řecko		7,75	7,55	7,89	5,26	6,55	7,51	7,85	7,31	5,58	3,71	2,40	1,21	3038
Lisabon, Portugalsko		7,74	7,81	4,86	5,28	6,41	7,26	7,35	6,47	5,18	3,65	2,14	1,12	3167
Varšava, Polsko		8,58	8,17	7,28	7,48	4,97	5,28	5,13	4,67	3,83	1,81	0,88	0,41	3001
Prága, Česko		8,68	8,15	7,75	7,88	4,84	4,89	4,86	4,86	2,86	1,71	0,78	0,43	3603
Dakára, Ugarsko		8,84	7,68	7,81	4,25	5,79	5,86	5,86	4,89	3,65	2,29	1,15	0,74	3138
Belgrad, Srbsko		7,73	7,34	7,34	4,41	5,55	6,89	6,24	5,35	4,11	2,80	1,54	1,11	3151
Bukurešť, Rumunsko		7,42	7,36	7,46	4,86	5,91	6,58	6,70	5,74	4,17	2,85	1,51	1,11	3074
Sofie, Bulharsko		7,72	7,69	7,81	7,81	4,61	5,31	5,41	4,81	3,73	2,90	1,38	0,98	3188
Ženeva, Švýcarsko		8,98	8,96	7,81	7,91	5,78	5,79	5,76	5,98	3,44	2,29	1,24	0,74	3180
Londýn, Anglie		8,64	8,17	7,58	7,71	4,26	4,81	4,56	4,95	2,68	1,65	0,83	0,49	340
Dublin, Irsko		8,65	8,18	7,24	7,56	4,83	4,76	4,51	4,84	2,72	1,99	0,82	0,48	346
Oslo, Norsko		8,14	8,88	7,81	7,55	4,56	4,86	4,26	3,75	2,55	1,21	0,67	0,34	889
Moskva, Rusko		8,21	8,94	7,76	7,81	5,28	5,81	5,31	4,26	2,62	1,18	0,41	0,18	981
Abcházsko, Gruzie		8,23	8,89	7,85	7,59	5,23	6,10	5,51	4,85	2,90	1,85	0,80	0,74	394
Santiago, Chile		8,48	8,09	7,76	4,80	5,13	5,44	5,24	4,21	2,78	1,41	0,64	0,34	989
Amerika	Óhio, USA	7,68	7,35	5,96	4,75	5,81	6,24	6,81	5,81	3,95	2,51	1,34	1,15	3188
	Washington, DC, USA	7,17	7,04	4,84	5,89	5,80	6,36	6,10	5,50	4,41	2,44	1,30	1,10	3203
	Seattl, USA	8,64	8,65	7,81	4,81	5,79	5,84	6,13	5,21	3,74	2,33	1,08	0,69	3178
	Miami, USA	7,52	4,12	5,13	6,80	5,95	5,59	5,81	5,59	4,48	4,38	3,64	2,18	3738
	Mexiko City, Mexiko	4,17	4,18	5,41	5,89	5,48	4,76	4,81	4,80	4,72	4,17	4,06	3,75	3789
	Quito, Ecuador	4,14	3,96	4,26	4,38	4,55	5,38	5,13	5,25	4,48	4,65	4,55	4,08	3471
	La Paz, Bolívie	5,04	5,02	4,88	5,76	5,81	4,70	5,40	5,95	5,44	4,02	4,15	5,16	3958
	Buenos Aires, Argentina	7,18	6,48	5,76	7,79	7,76	7,36	7,26	7,19	4,79	5,39	6,77	6,38	3789
	Brazílie, Brazílie	4,74	5,13	4,96	4,96	4,86	4,81	4,81	5,22	4,11	4,80	4,48	4,48	3785
	Káhir, Egypt	3,11	4,09	5,21	6,41	7,18	7,34	7,51	6,84	6,81	6,80	5,54	2,34	2981
	Accra, Ghana	4,44	5,13	5,58	5,17	6,41	6,41	6,41	6,30	5,85	5,12	5,58	4,50	3889
Ázie / Oceán	Geneva, Alžírsko	5,38	8,34	6,95	7,44	7,27	7,80	7,81	7,85	6,41	6,02	4,92	4,18	2367
	Kánga, Japonsko	4,90	5,08	5,11	8,84	4,81	4,44	4,28	4,59	5,18	4,85	4,87	5,08	3791
	Ladaka, Sámbo	5,04	4,97	5,26	7,50	5,86	4,84	4,97	4,89	6,12	4,43	4,06	5,28	3889
	Alaska, Rusko	7,27	7,08	6,36	6,81	5,40	4,81	5,18	5,95	6,88	7,48	7,48	7,78	3386
	Moskva, Finsko	8,53	7,15	7,41	5,51	5,19	5,96	5,49	4,29	3,58	4,10	4,53	6,34	387
	Bejng, Čína	2,48	3,14	4,25	5,14	5,83	5,81	5,81	4,70	4,28	3,41	2,65	3,08	1486
	Řím, Itálie	3,78	4,84	5,99	4,84	7,12	4,60	5,25	5,18	5,54	5,15	4,28	3,88	394
Ženeva, Švýcarsko	4,68	4,97	5,54	5,59	5,21	4,81	4,70	4,51	4,27	4,42	4,64	4,71	3767	
Singapur	4,54	5,16	4,95	4,62	4,34	4,13	4,41	4,49	4,51	4,48	3,94	3,81	1634	
Ženeva, Austrálie	6,05	6,08	4,97	4,17	6,81	7,40	7,39	6,36	6,28	5,18	5,88	6,32	1627	
Wellington, Nové Zéland	6,69	5,63	4,18	2,91	1,84	1,33	1,55	2,22	3,46	4,62	5,63	6,18	1481	

Pro každou zeměpisnou šířku jsou k dispozici tři různé hodnoty  $Z_T$  pro orientaci plochy vůči poloze. Ve tabulce 4 – 4.

Příloha 5 – Korekční faktory pro orientaci  $Z_3$  pro vybrané mezinárodní lokality [24]

Město, Země: Orientace modulu; Úhel sklonu	Korekční faktor $Z_3$ pro odchylku horizontály pro některá vybraná mezinárodní místa (Sklon optimalizován pro ostrovní fotovoltaické systémy s celoročním zásobováním konstantní spotřebou).											
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Rom, Itálie: Süd; 60°	1,93	1,56	1,23	0,97	0,81	0,75	0,77	0,91	1,14	1,42	1,87	2,00
Ankara, Turek: Süd; 60°	1,82	1,54	1,17	0,96	0,78	0,71	0,74	0,89	1,14	1,45	1,85	1,79
Bukarest, Rumánie: Süd; 70°	1,98	1,61	1,24	0,93	0,74	0,66	0,69	0,86	1,09	1,44	1,62	1,91
Helsinki, Finsko: Süd; 70°	1,98	1,61	1,24	0,93	0,74	0,66	0,69	0,86	1,09	1,44	1,62	1,91
Seattle, USA: Süd; 60°	1,64	1,47	1,22	1,00	0,86	0,79	0,83	0,97	1,19	1,58	1,70	1,75
Mexico City, Mexiko: Süd; 15°	1,18	1,11	1,05	1,00	0,95	0,94	0,95	0,98	1,03	1,08	1,14	1,17
Tamanrasset, Alžírsko: Süd; 20°	1,32	1,21	1,10	1,01	0,94	0,91	0,92	0,98	1,05	1,17	1,25	1,31
Kampala*, Uganda: Süd; 15°	1,07	1,03	0,98	0,94	0,89	0,88	0,89	0,93	0,97	1,00	1,06	1,09
Kampala*, Uganda: Nord; 15°	0,88	0,92	0,97	1,02	1,07	1,08	1,07	1,03	0,99	0,95	0,90	0,87
Windhoek, Namibie: Nord; 15°	0,96	0,99	1,05	1,14	1,22	1,27	1,25	1,17	1,09	1,02	0,97	0,94
Peking, Čína: Süd; 40°	1,86	1,56	1,28	1,07	0,95	0,90	0,92	0,98	1,15	1,36	1,62	1,89
Bangkok, Thajsko: Süd; 15°	1,13	1,09	1,04	0,98	0,94	0,93	0,94	0,97	1,00	1,07	1,12	1,16
Sydney, Austrálie: Nord; 50°	0,78	0,90	1,09	1,36	1,63	1,70	1,69	1,43	1,17	0,97	0,82	0,76

\* Kampala leží na rovníku, takže severní a jižní orientace jsou uvedené.