

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektrotechnologie

## Autonomní FV systémy v městském prostředí

**Marián Mikloš**

Vedoucí: Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.

Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Leden 2019





## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mikloš** Jméno: **Marián** Osobní číslo: **396076**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Autonomní FV systémy v městském prostředí**

Název bakalářské práce anglicky:

**Autonomous PV Systems in an Urban Environment**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Definujte možnosti získání energie z FV systému v prostředí městské zástavby.
- 2) Popište odběrový diagram elektrické energie typického systému městského mobiliáře (parkovací a prodejní automaty, osvětlení, varovná světla a další...)
- 3) Uveďte stručný přehled akumulátorových baterií použitelných v těchto systémech.
- 4) Navrhněte nástroj pro výpočet dimenzování autonomních systémů v městském mobiliáři.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [online]. Joint research Centre, Institut for Energy and Transport [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [2] STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
- [3] REDDY, Thomas B. a David LINDEN. Linden's Handbook of Batteries. 4. New York: Mc Graw Hill, 2008. ISBN 978-0-07-162419-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Pavel Hrzina, Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **25.09.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2020**

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Podakovanie

V prvom rade by som týmto rád poďakoval môjmu školiteľovi a vedúcemu bakalárskej práce, pánovi Ing. Pavlovi Hrzinovi, Ph.D., za vedenie bakalárskej práce a obetovanie svojho voľného času pri konzultáciách.

Rád by som ďalej poďakoval pánovi Ing. Adriánovi Miklošovi za cenné pripomienky.

## Prehlásenie

Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracoval samostatne, a že som uviedol všetku použitú literatúru.

V Prahe, 8. januára 2019

-----

## Abstrakt

V bakalárskej práci sa zaoberám energetickým potenciálom slnečnej energie pre zemepisnú šírku 50,087 N, lokalita Praha, využiteľnej pre energeticky málo náročné, autonómne, fotovoltaické systémy mestských mobiliárov. V prvej kapitole sú rozpísané parametre s ohľadom na vplyv redukcie celkovej el. energie na výstupe z FV panela. Vplyv tienenia FV panela bol pre vybrané modelové situácie vypočítaný programom SAM 2018.11.11, spoločnosti NREL. V druhej kapitole sú uvedené typické príklady využitia napájania autonómnych, energeticky málo náročných systémov aj s ich odberovými diagramami. Tretia kapitola opisuje a navzájom porovnáva jednotlivé batériové technológie sekundárnych článkov vzhľadom na možnosť ich použitia v mestských mobiliároch. V štvrtej kapitole je rozpísaný postup vytvorenia kalkulátora v programe Excel aj s uvedeným postupom na použitie. Kalkulátor je súčasťou prílohy.

**Kľúčové slová:** FV panel, autonómny systém, akumulátorové batérie, tienenie FV panelu, slnečná energia

**Vedúci:** Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.  
Katedra elektrotechnológie, K13113,  
Technická 2,  
166 27 Praha 6, Dejvice

## Abstract

This bachelor thesis deals with the energy potential of solar energy for the latitude of 50,087 N, locality of Prague, usable for energy-saving, autonomous, photovoltaic systems of urban mobile devices. In the first chapter there are described the parameters with respect to the effect of the reduction of the total output energy from the PV panel. The influence of shielding of the PV panel was calculated by the program SAM 2018.11.11 for selected model situations. In the second chapter there are presented typical examples of the use of energy-saving systems with their consumption curves. The third chapter describes and compares each other secondary cell batteries technology with respect to the possibility of use in urban mobile devices. The fourth chapter describes how to create a calculator in Excel and how to use it.

The calculator is part of the attachment.

**Keywords:** the PV panel, an off-grid system, secondary batteries, shielding of the PV panel, the solar energy

**Title translation:** Autonomous PV Systems in an Urban Environment

## Obsah

<b>Zoznam skratiek</b>	<b>1</b>	2.4 Merač rýchlostí vozidla . . . . .	23
<b>Úvod</b>	<b>3</b>	2.5 Smerový indikátor výskytu porúch pre vonkajšie vedenie VN . . . . .	24
<b>1 Možnosti získania energie z FV systému</b>	<b>5</b>	<b>3 Akumulátorové batérie</b>	<b>25</b>
1.1 Vplyv počasia . . . . .	6	3.1 Olovené batérie . . . . .	25
1.2 Vplyv orientácie, azimutu . . . . .	10	3.2 Alkalické sekundárne batérie . . . . .	26
1.3 Vplyv sklonu . . . . .	10	3.2.1 Nikel-kadmiové batérie . . . . .	27
1.4 Tienenie okolitou zástavbou . . . . .	11	3.2.2 Nikel-železné batérie . . . . .	27
1.5 Straty fotovoltaiického systému . . . . .	14	3.2.3 Nikel-zinkové batérie . . . . .	28
1.5.1 Systémové straty a degradácia s vekom . . . . .	15	3.2.4 Batérie kadmium-oxid strieborný . . . . .	28
1.5.2 Straty súvisiace s klimatickými podmienkami a umiestnením FV panelu . . . . .	15	3.2.5 Batérie s vodíkovými elektrodami . . . . .	28
<b>2 Odberový diagram energeticky nenáročných systémov a ich príklady</b>	<b>19</b>	3.3 Lítium-iónové batérie . . . . .	29
2.1 Parkovací automat . . . . .	19	3.4 Vzájomné porovnanie vybraných batériových technológií . . . . .	30
2.2 Solárne pouličné lampy . . . . .	21	<b>4 Nástroj pre výpočet dimenzovania autonómnych, energeticky málo náročných, systémov</b>	<b>33</b>
2.3 Solárna informačná tabuľa . . . . .	22	4.1 Postup vytvorenia nástroja pre dimenzovanie v programe Excel . . . . .	33
		4.2 Návod na použitie kalkulátora . . . . .	35

<b>Záver</b>	<b>39</b>
<b>Literatúra</b>	<b>41</b>
<b>A Elektronické prílohy</b>	<b>43</b>

## Obrázky

1.1	Obrys horizontu, lokalita 50,087 N, 14,421 E, Praha . . . . .	5	1.11	Tienenie FV panela z východnej a západnej strany . . . . .	13
1.2	Mesačný priemerný pomer difúzneho ku globálnemu žiareniu, Praha 2016 . . . . .	7	1.12	Modelová situácia tienenia z východnej, južnej a západnej strany	13
1.3	Mesačné odhady slnečného žiarenia	8	1.13	Vplyv tienenia na dopad priameho slnečného žiarenia . . . . .	13
1.4	Mesačná slnečná energia na ploche 1m <sup>2</sup> pre optimálny azimutový uhol -7° a optimálny uhol sklonu 36°, Praha . . . . .	8	1.14	Vplyv spektrálnej citlivosti rôznych FV technológií. . . . .	16
1.5	Denný profil intenzity slnečného žiarenia v mesiaci december, azimut -7°, sklon 46° . . . . .	9	1.15	Relatívna účinnosť pri konštantnej teplote T = 40°C pri rôznych úrovniach intenzity žiarenia.	17
1.6	Denný profil intenzity slnečného žiarenia v mesiaci júl, azimut -7°, sklon 46° . . . . .	9	1.16	Relatívna účinnosť pri konštantnej intenzite žiarenia pri rôznych teplotách modulov. . . . .	18
1.7	Ročná slnečná energia pre rôzny azimut . . . . .	10	2.1	Príklad parkovacieho automatu .	20
1.8	Celková ročná slnečná energia a slnečná energia pre mesiac december pri rôznych sklonoch FV panelu . .	11	2.2	Empirické hodnoty výdaja parkovacích lístkov v hod. intervaloch . . . . .	20
1.9	Tienenie FV panela z južnej strany . . . . .	12	2.3	Priebeh spotreby el. energie parkovacieho automatu v hod. intervaloch . . . . .	21
1.10	Tienenie FV panela z južnej a východnej strany . . . . .	12	2.4	Priebeh spotreby el. energie parkovacieho automatu v mesačných intervaloch . . . . .	21
			2.5	Spotrebovaná el. energia pouličnej lampy za jednotlivý mesiac . . . . .	22

2.6 Príklad solárnej lampy verejného osvetlenia . . . . .	22	4.3 Printscreen z programu SAM pri modelovaní tienenia z východnej, južnej a západnej strany, časy UTC	35
2.7 Príklad solárnej informačnej tabule . . . . .	23	4.4 Printscreen kalkulátora pri zadaní azimutu a sklonu . . . . .	36
2.8 Príklad merača rýchlosti vozidla	23	4.5 Printscreen kalkulátora pri zadaní inštalovaného výkonu a tienenia . .	36
2.9 Príklad smerového indikátora výskytu porúch pre vonkajšie vedenie VN . . . . .	24	4.6 Printscreen výstupu energetickej bilancie z kalkulátora, lampa verejného osvetlenia . . . . .	37
3.1 Porovnanie používaných typov olovených batérií. . . . .	26	4.7 Printscreen listu kalkulátora pre nastavenie parametrov ovplyvňujúcich kapacitu akumulátora . . . . .	37
3.2 Porovnanie používaných typov alkalických batérií . . . . .	29		
3.3 Vlastnosti lítium-iónovej batérie	30		
3.4 Vplyv teploty na špecifickú energiu sekundárnych batériových systémov pri rýchlosti vybíjania C/5. . . . .	30		
3.5 Porovnanie výkonu sekundárnych batériových systémov pri 20°C. . . . .	31		
3.6 Vplyv hĺbky vybitia na životnosť sekundárnych batériových systémov.	32		
4.1 Náhľad do databázy mesačného výstupu energie FV panelu o inštalovanom výkone 1 kWp s parametrom azimut a sklon . . . . .	34		
4.2 Printscreen z programu SAM pri modelovaní bez tienenia, časy UTC	34		





## Zoznam skratiek

Skratky a značky	Popis
AOI	uhol dopadu
DHI	energia difúzneho žiarenia na povrchu zeme v horizontálnej rovine
DNI	energia slnečného žiarenia dopadajúca priamo na plochu
DOD	hlbka vybíjania
E	východ
FV	fotovoltaický
GHI	celková energia slnečného žiarenia dopadajúca na plochu v horizontálnej rovine
IEC	Medzinárodná elektrotechnická komisia
N	sever
PVGIS	fotovoltaický geografický informačný systém
S	sever
SOC	stav nabitia batérie
STC	štandardné testovacie podmienky
SW	softvér
UTC	koordinovaný svetový čas
V	východ
Z	západ





## Úvod

*„Behind every problem there is always an opportunity“*  
Galileo Galilei (1564 - 1642)

Autonómny fotovoltaický systém je systém, ktorý nie je napojený na distribučnú elektrickú sieť, preto hlavné uplatnenie tohto systému je v miestach, kde nie je možné napojiť objekt (zariadenie) na distribučnú sieť. V poslednej dobe sa autonómny FV systém teší obľube pri energeticky málo náročných systémoch, kde je ekonomicky nevýhodné resp. technicky nemožné napojiť systém na rozvod elektrickej energie. Pri návrhu takéhoto systému je potrebné zohľadniť množstvo elektrickej energie, ktoré je možné získať v danej lokalite s ohľadom na aspekty ako sú azimut, sklon, typ a inštalovaný výkon FV panela, jeho tienenie okolitou zástavbou a výsadbou, terénnym reliéfom, oblačnosťou a znečistením (prach, lístie, sneh,...), stratami a účinnosťou FV panelu.

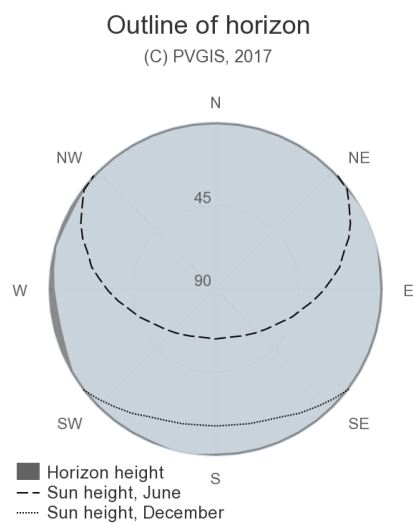
Pri dimenzovaní kapacity akumulátora na určité časové obdobie je potrebné poznať odberový diagram navrhovaného systému, množstvo el. energie, ktorú je možné získať v danej lokalite zo slnečného žiarenia a empiricky stanovenú dobu bez dobíjania akumulátora. Pri akumulátoroch treba uvažovať s hĺbkou vybíjania, teplotným rozsahom pri nabíjaní a vybíjaní, samovybíjaním, počtom cyklov, projektovanou životnosťou a ďalšími parametrami.



# Kapitola 1

## Možnosti získania energie z FV systému

Pre analýzu získania slnečnej energie bola vybraná lokalita Praha so zemepisnými súradnicami 50,087 N, 14,421 E.



**Obrázok 1.1:** Obrys horizontu, lokalita 50,087 N, 14,421 E, Praha[JRCT]

PVGIS obsahuje databázu výšky horizontu okolo každého bodu, ktorý sa dá vybrať. Výpočet FV výkonu môže, týmto spôsobom, brať do úvahy vplyv okolitého terénu (hory, kopce) na FV systém. PVGIS používa údaje o nadmorskej výške terénu s rozlíšením 3 oblúkové sekundy. To znamená, že pre každých približne 90 metrov (pre danú zem. šírku, je táto vzdialenosť násobená

funkciou  $\cos(\text{zem.šírky})$ ) je k dispozícii hodnota nadmorskej výšky terénu (nezohľadňuje tienenie z blízkych objektov, ako sú domy, stromy...). Tieto údaje sa potom použijú na určenie zatienia slnečného žiarenia terénom. Po zatiení priameho slnečného žiarenia sa uvažuje len s použitím difúznej časti žiarenia. Ďalšia možnosť ako na užívateľom zvolenom mieste vyhodnotiť vplyv zatienia je použitie prístroja typu SunEYE, ktorý pomocou širokohlého objektívu typu rybie oko, zaznamená profil horizontu.

Väčšina údajov o slnečnom žiarení používaných v PVGIS bola vypočítaná zo satelitných obrazov. Pre potreby projektu je použitá databáza PVGIS-CMSAF.

Táto databáza bola vytvorená spoluprácou CMSAF<sup>1</sup> pre oblasť Európu a Afriku, ako aj časti Južnej Ameriky. Údaje pokrývajú obdobie 2007 - 2016, majú hodinové časové rozlíšenie a priestorové rozlíšenie 1,5 oblúkových minút.

## 1.1 Vplyv počasia

**Energia globálneho žiarenia** vyjadruje celkové množstvo energie na meter štvorcový v rovine FV panela, merané v kWh/m<sup>2</sup>.

$$G_t = G_{\text{diff, } t} + G_{\text{dir, } t} \quad (1.1)$$

Energia globálneho žiarenia  $G_t$  prijatá FV modulom pozostáva z dvoch komponentov, ktoré sú **energia difúzneho žiarenia** ( $G_{\text{diff, } t}$ ) a **energia priameho žiarenia** ( $G_{\text{dir, } t}$ ).

- **energia difúzneho žiarenia** je počítaná na základe izotropného modelu, ktorý predpokladá, že difúzne žiarenie je rovnomerné na oblohe.

$$G_{\text{diff, } t} = \text{DHI} \cdot \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (1.2)$$

$\beta$  uhol sklonu FV panelu.

DHI je energia žiarenia na povrchu zeme (v horizontálnej rovine) zo slnečného žiarenia rozptýleného atmosférou, ktorá sa dá určiť na základe znalosti pomeru  $\frac{\text{DHI}}{\text{GHI}}$  získaného z PVGIS. GHI je celková energia žiarenia na povrchu zeme (v horizontálnej rovine), hodnota pre sledovanú lokalitu sa určí z PVGIS.

<sup>1</sup>Satellite Application Facility on Climate Monitoring

$$\text{GHI} = \text{DHI} + \text{DNI} \cdot \cos(\theta) \quad (1.3)$$

$\theta$  je uhol dopadu AOI, uhol medzi prichádzajúcim priamym slnečným žiarením a normálou modulu, pre horizontálnu plochu uhol  $\theta = \phi$ .  $\phi$  je uhol medzi zenitom a slnkom. Pre definíciu DNI, vid'. nasledujúci odsek, energia priameho žiarenia.

#### ■ energia priameho žiarenia

$$G_{\text{dir, t}} = \text{DNI} \cdot \cos(\theta) \quad (1.4)$$

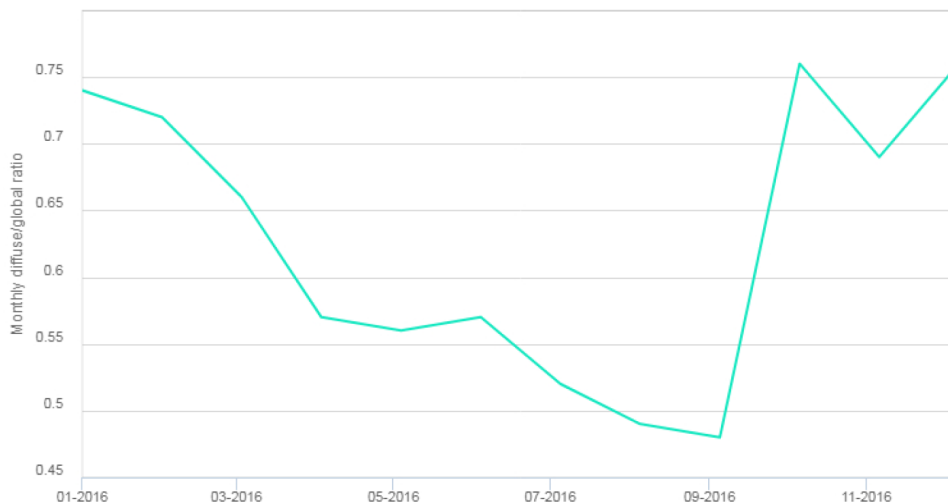
DNI je množstvo prijímanej energie slnečného žiarenia na plochu, ktorá prichádza v priamom smere od slnka. Pri prenasobení DNI funkciou  $\cos(\theta)$ , kde  $\theta$  vyjadruje uhol dopadu (AOI), uhol medzi priamym smerom slnka a normálovým vektorom k FV panelu, získame prepočet energie slnečného žiarenia z priameho smeru od slnka, ktorá dopadá kolmo na sledovanú plochu.

Uhol dopadu (AOI) vypočítame nasledovne:

$$\theta = \cos^{-1}(\cos \phi \cdot \cos \beta + \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha_S - \alpha)) \quad (1.5)$$

$\phi$  je uhol medzi zenitom a slnkom,  $\beta$  uhol sklonu FV panelu,  $\alpha_S$  je azimut slnka a  $\alpha$  je azimut roviny FV panelu.

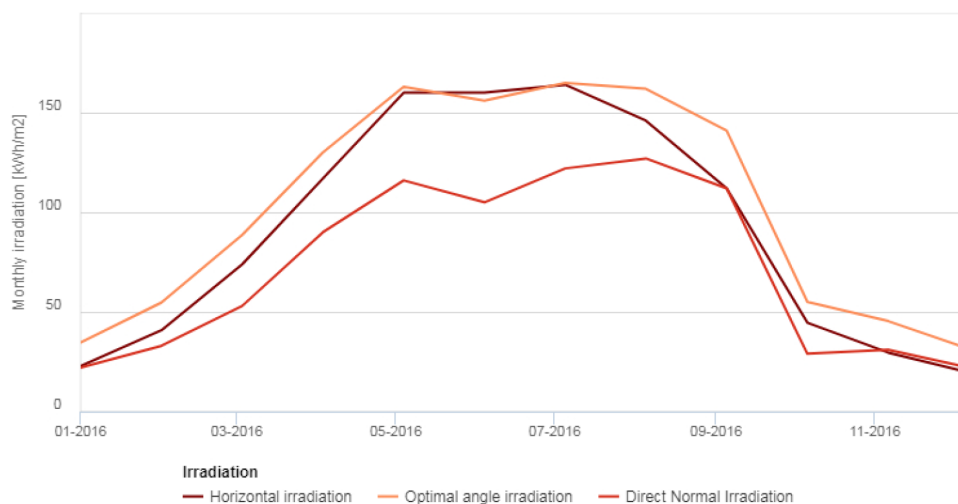
Podľa obrázka 1.2 je vidieť, že najväčší podiel energie difúzneho žiarenia je v sledovanej lokalite v zimných mesiacoch s pomerom približne  $\frac{\text{DHI}}{\text{GHI}} = 0,76$ . V období leta je difúzny pomer 0,50. V situácii, kde difúzna zložka energie žiarenia sa stáva majoritnou, majú väčší význam polykryštalické FV moduly.



**Obrázok 1.2:** Mesačný priemerný pomer difúzneho ku globálnemu žiareniu, Praha 2016[JRCT]

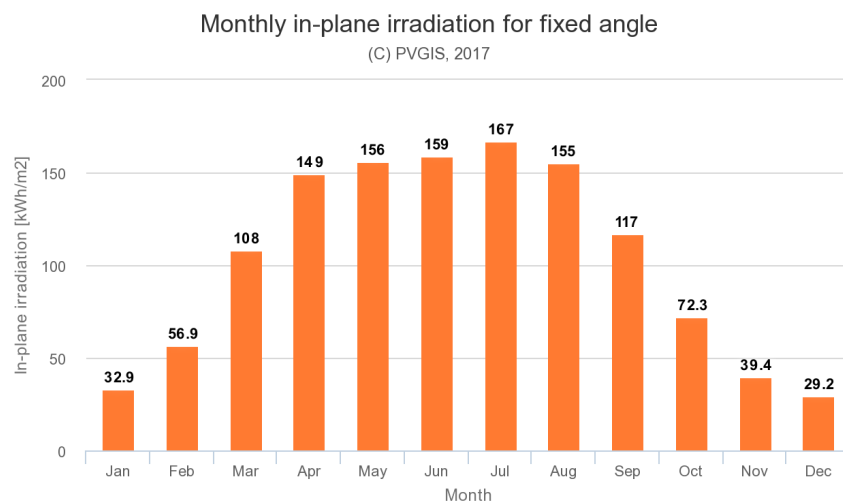
## 1. Možnosti získania energie z FV systému

Na obrázku 1.3 je znázornený odhad priebehu energie globálneho žiarenia v horizontálnej rovine (GHI), DNI a energie globálneho žiarenia dopadajúceho na FV panel pri optimálnom sklone pre jednotlivé mesiace za obdobie roka 2016.



**Obrázok 1.3:** Mesačné odhady slnečného žiarenia [JRCT]

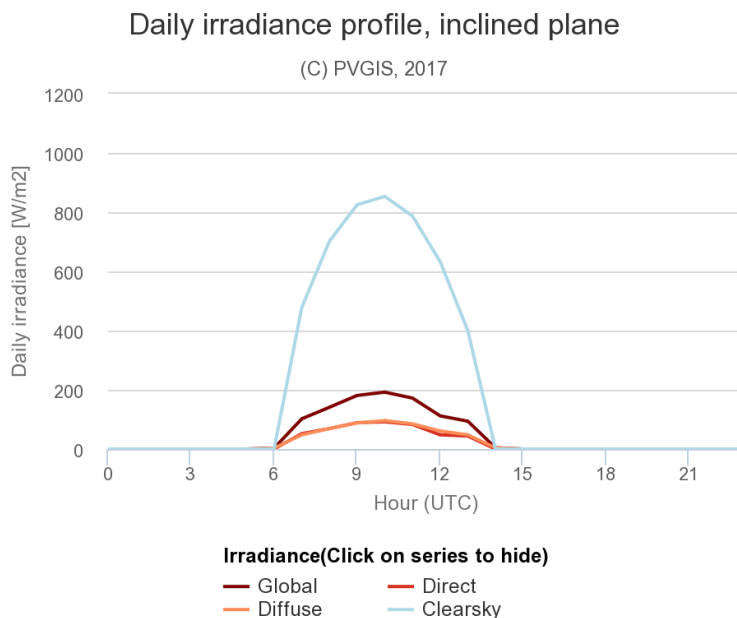
Rozdiel energie žiarenia na jednotku plochy medzi ročným obdobím je znázornený na obrázku 1.4, kde sú uvedené hodnoty energie slnečného žiarenia v kWh/m<sup>2</sup> pre jednotlivé mesiace pre optimálny azimut a uhol. Rozdiel medzi najsilnejším a najslabším mesiacom v energii slnečného žiarenia, júlom a decembrom, je až 5,7 násobný.



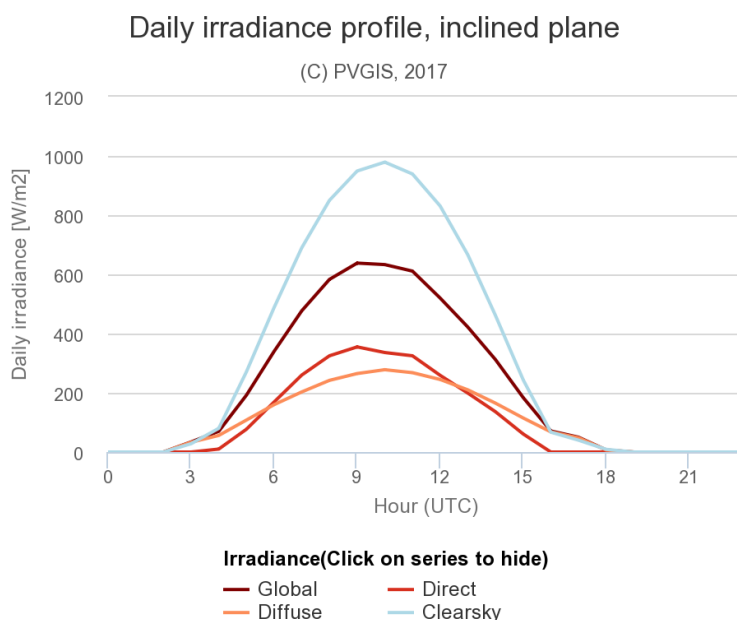
**Obrázok 1.4:** Mesačná slnečná energia na ploche 1m<sup>2</sup> pre optimálny azimutový uhol -7° a optimálny uhol sklonu 36°, Praha [JRCT]



Na obrázku 1.5 a 1.6 je znázornená denná intenzita žiarenia na ploche  $1 \text{ m}^2$  pri azimute  $-7^\circ$  a sklone  $46^\circ$  pre mesiace december a júl. Clear-sky vyjadruje teoretickú hodnotu intenzity žiarenia pri oblohe bez oblakov.



**Obrázok 1.5:** Denný profil intenzity slnečného žiarenia v mesiaci december, azimut  $-7^\circ$ , sklon  $46^\circ$  [JRCT]



**Obrázok 1.6:** Denný profil intenzity slnečného žiarenia v mesiaci júl, azimut  $-7^\circ$ , sklon  $46^\circ$  [JRCT]

## 1.2 Vplyv orientácie, azimutu

V nasledujúcom obrázku 1.7 sú vybrané štyri orientácie FV panela s ich vplyvom na ročnú energiu žiarenia dopadajúcu na jednotku plochy pri optimálnom sklone. Podľa PVGIS je optimálna orientácia pre danú lokalitu, Praha,  $-7^\circ$ , ďalej bola posúdená orientácia na východnú, severnú a západnú svetovú stranu. Ročný energetický rozdiel medzi optimálnym natočením a severnou orientáciou predstavuje  $473 \text{ kWh/m}^2$ .

Azimut [°]	Ročná energia žiarenia [kWh/m <sup>2</sup> ]	Percentuálne vyjadrenie rozdielu ročnej energie žiarenia oproti ref. hodnote	Optimálny sklon pre daný azimut [°]
-7 (optimálny)	1240	ref. hodnota	36
-90 (V)	1100	-11%	6
180 (S)	767	-38%	34
90 (Z)	1100	-11%	1

Obrázok 1.7: Ročná slnečná energia pre rôzny azimut

## 1.3 Vplyv sklonu

Pri optimálnej orientácii FV panela, azimut  $-7^\circ$ , bol hľadaný optimálny sklon, pričom sa zohľadňovala celková energia slnečného žiarenia za obdobie jedného roka a za mesiac s najslabším energetickým ziskom, december. Podľa PVGIS je z ohľadom na celkovú slnečnú energiu  $1240 \text{ kWh/m}^2$  optimálny sklon  $36^\circ$ . V prípade uvažovania autonómneho (off-grid) systému sa kladie väčší dôraz na mesiace s najslabším energetickým ziskom a navrhujem zvýšiť sklon na  $46^\circ$  pri ročnej slnečnej energii  $1230 \text{ kWh/m}^2$ , viď. obrázok 1.8.

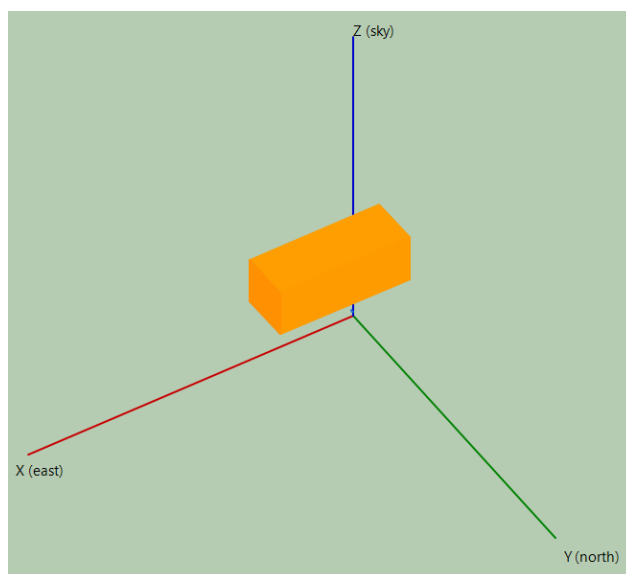
Azimut -7°	Celková energia žiarenia [kWh/m <sup>2</sup> ]	
	December	Ročná
0	18,5	1100
35	29,1	1240
36	29,3	1240
37	29,5	1240
38	29,7	1240
39	29,9	1240
40	30	1240
41	30,2	1240
42	30,4	1240
43	30,6	1230
44	30,7	1230
45	30,9	1230
46	31	1230
47	31,1	1220
48	31,3	1220
49	31,4	1220
50	31,5	1210
63	32,4	1140
90	30,2	868

**Obrázok 1.8:** Celková ročná snečná energia a snečná energia pre mesiac december pri rôznych sklonoch FV panelu

## 1.4 Tienenie okolitou zástavbou

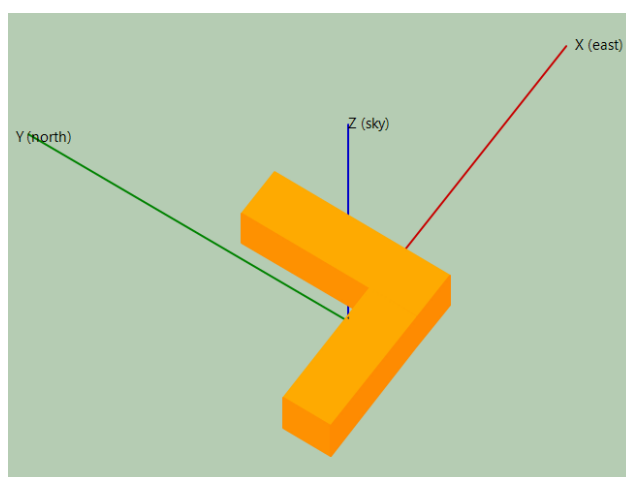
Obrázok 1.13 ukazuje ročné zníženie dopadu priameho snečného žiarenia na sledovaný FV panel. Analýza bola simulovaná SW SAM 2018.11.11 spoločnosti NREL (The National Renewable Energy Laboratory, online: [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)). Modelovú situáciu tvoril FV panel, ktorého spodná hrana FV panela bola umiestnená vo výške 1,5 m od povrchu zeme (dĺžka panela 0,5 m, šírka panela 0,5 m), sklon 46° a optimálny azimut pre sledovanú oblasť, Praha, -7°, -90 (V) a 90 (Z). Modelovaných bolo celkom 7 príkladov tienenia FV panela:

- Pri modeli tienenia jednotlivo z východnej, južnej alebo západnej strany, tvoril modelovú situáciu múr 40 m x 15 m x 15 m (dĺžka x výška x šírka), ktorý bol situovaný symetricky 4 m od FV panelu.



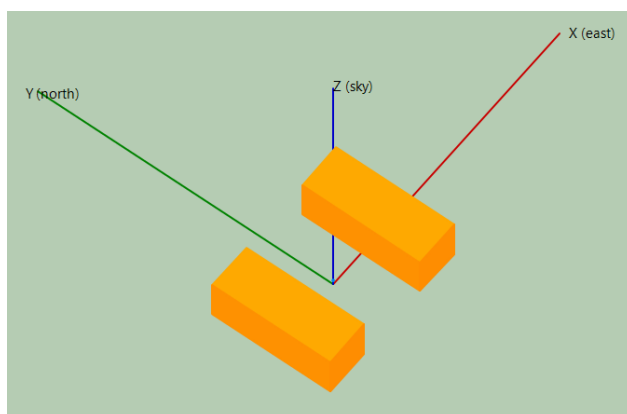
**Obrázok 1.9:** Tienenie FV panela z južnej strany

- Pri modeli tienenia z východnej a južnej strany alebo západnej a južnej strany, tvorili modelovú situáciu dva múry spojené do písmena L o vnútorných rozmeroch 40 m x 15 m x 15 m (dĺžka x výška x šírka) . FV panel bol umiestnený vo vnútri L v rohu 4 m od každého múru.



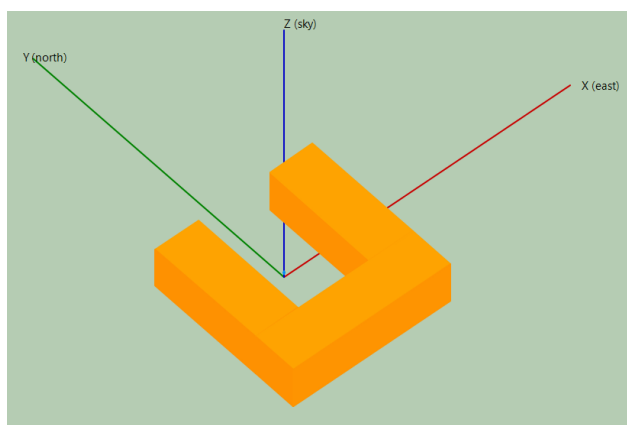
**Obrázok 1.10:** Tienenie FV panela z južnej a východnej strany

- Pri modeli tienenia z východnej a západnej strany tvorili modelovú situáciu dva múry 40 m x 15 m x 15 m (dĺžka x výška x šírka) symetricky vzdialené od seba 25 m. FV panel bol umiestnený v strede medzi múrmi.



**Obrázok 1.11:** Tienenie FV panela z východnej a západnej strany

- Pri modeli tienenia z východnej, južnej a západnej strany tvorili modelovú situáciu tri múry o šírke 15 m a výške 15 m, spojené do písmena U o vnútorných rozmeroch 40 m x 25 m x 40 m (západná, južná a východná strana). FV panel bol umiestnený v strede medzi múrmi.



**Obrázok 1.12:** Modelová situácia tienenia z východnej, južnej a západnej strany

Poloha tieniaceho objektu voči FV panelu	Priemerná mesačná redukcia priameho slnečného žiarenia [%] pre sklon 46° a azimut -7°
z východnej strany	43,05
z južnej strany	81,45
zo západnej strany	40,23
z JV strany	93,00
z JZ strany	90,97
z východnej a západnej strany	56,13
z východnej, južnej a západnej strany	74,54

**Obrázok 1.13:** Vplyv tienenia na dopad priameho slnečného žiarenia



Pri návrhu FV systému je potrebné uvažovať so stratami. Straty rozdeľujeme na systémové straty a straty súvisiace s klimatickými podmienkami a umiestnením FV panelu.

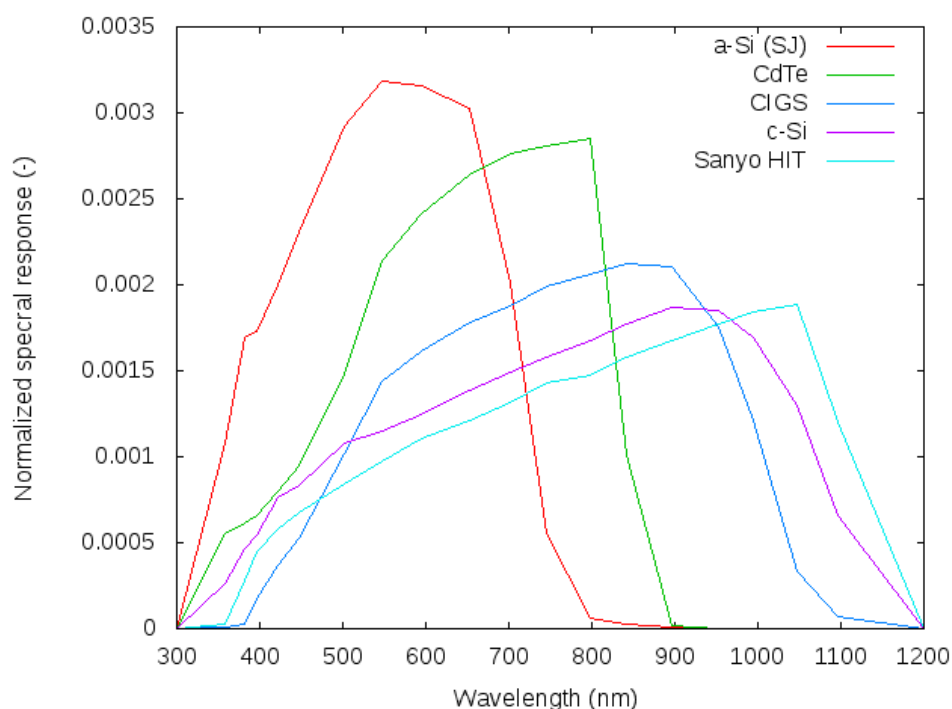
### 1.5.1 Systémové straty a degradácia s vekom

Uvažujú sa všetky straty v systéme, ktoré spôsobujú, že energia ktorá sa dostane na odberné miesto je nižšia ako skutočne vyrobená energia z FV modulov. Pod systémové straty uvažujeme straty na kábloch, meničoch, nečistoty na moduloch, atď. V priebehu rokov moduly taktiež zvyknú strácať zo svojho výkonu, takže priemerná ročná produkcia počas životnosti systému bude o niekoľko percent nižšia ako produkcia v prvých rokoch. Podľa [cita] sa zistilo, že FV moduly zvyčajne strácajú približne 0,5% výkonu za rok prevádzky.

Systémové straty sme preto nastavili, podľa PVGIS, na -14 %.

### 1.5.2 Straty súvisiace s klimatickými podmienkami a umiestnením FV panelu.

- **Uhol dopadu.** Keď svetlo dopadne na povrch FV modulov, časť z neho sa odrazí bez toho, aby sa do modulu dostalo. Pri väčšine typov modulov sa množstvo odrazeného svetla zväčší, ak svetlo dopadne na modul pod veľkým uhlom meraným od normály FV modulu alebo keď svetlo dopadá rovnobežne s povrchom modulu. Vo všeobecnosti tento vplyv spôsobuje stratu 2-4% slnečného žiarenia, táto hodnota bude nižšia pre FV moduly s tkz. slnečným sledovaním.[cita]
- **Vplyv zmien v slnečnom spektre.** FV moduly sú citlivé na svetlo len v rámci určitého rozsahu vlnových dĺžok. Rozsah dĺžok závisí od typu modulu. Krivka citlivosti je známa ako *spektrálna odozva*. Obrázok 1.14 znázorňuje krivky spektrálnej odozvy pre niekoľko FV technológií. Niektoré FV technológie sú citlivé na viditeľné a blízke infračervené žiarenie (napríklad kryštalický kremík), zatiaľ čo iné sú obmedzené na viditeľnú časť spektra (ako je amorfný kremík).[cita]

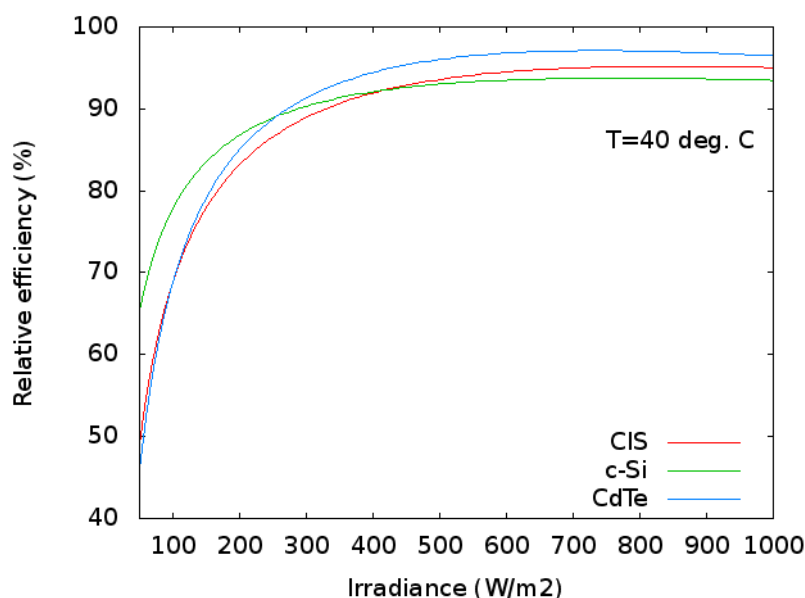


**Obrázok 1.14:** Spektrálna citlivosť rôznych FV technológií. Sú znázornené krivky citlivosti kryštalického kremíka (c-Si), CIGS, kadmiového telluridu (CdTe), amorf-ného kremíka (a-Si) a modulu Sanyo HIT. Merania boli vykonané inštitúciou European Solar Test Installation (ESTI), the Joint Research Centre.[cita]

Spektrum slnečného žiarenia sa mení v závislosti od času a meteorologických podmienok. Pri východe a západe slnka je dopadajúce žiarenie vyššej vlnovej dĺžky. Napr. difúzne žiarenie pochádzajúce z oblačnosti a oblakov má nižšiu vlnovú dĺžku.[cita]

- Vplyv intenzity žiarenia.** Pre väčšinu typov modulov je účinnosť takmer konštantná pre intenzitu žiarenia od  $400 \text{ W/m}^2$  minimálne do  $1000 \text{ W/m}^2$  (pri konštantnej teplote modulu), ale pri nižšom slnečnom žiarení má účinnosť tendenciu klesať. Keďže štandardné testovacie podmienky merajú výkon modulu pri intenzite žiarenia ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) a teplote ( $25^\circ\text{C}$ ), celkový výsledok je, že na väčšine miest je priemerná účinnosť modulu nižšia ako účinnosť nameraná v laboratórnych podmienkach.[cita]





**Obrázok 1.15:** Relatívna účinnosť (v porovnaní s účinnosťou pri STC) troch fotovoltaických technológií: kryštalický kremík (c-Si), CIGS a kadmiový tellurid (CdTe). Relatívna účinnosť pri konštantnej teplote  $T = 40^{\circ}\text{C}$  pri rôznych úrovniach intenzity žiarenia.[cita]

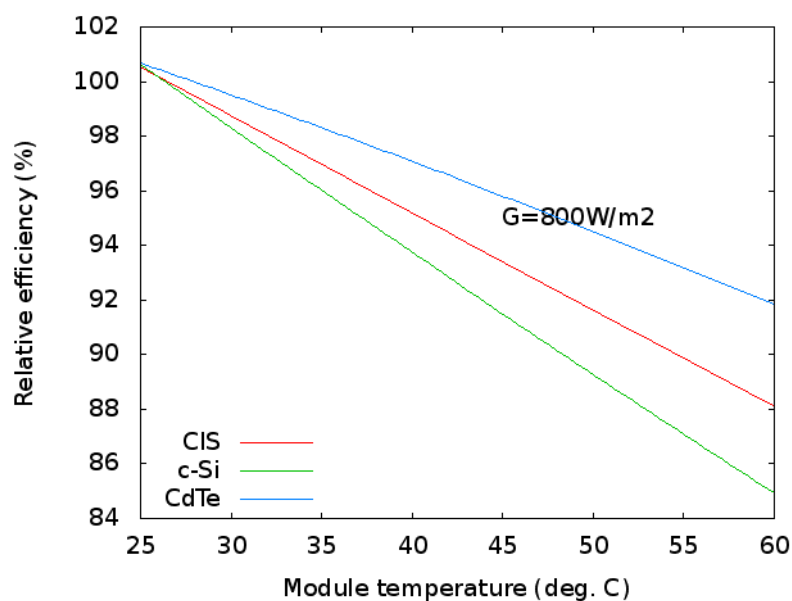
Na obrázku 1.15 je znázornená relatívnu účinnosť FV modulu v závislosti na intenzite žiarenia, tj. účinnosť modulu vyjadrenú ako percentuálny podiel účinnosti meranej pri STC<sup>2</sup>.

- **Vplyv teploty.** Vplyv teploty na účinnosť FV modulov je graficky znázornená na obrázku 1.16. Vo všeobecnosti sa účinnosť znižuje so zvyšujúcou sa teplotou a intenzita tohto účinku závisí od FV technológie. Pri dopade žiarenia na FV modul, teplota modulu stúpa nad miestnu teplotu vzduchu. To znamená, že teplota modulu závisí od teploty vzduchu aj od dopadajúceho žiarenia (žiarenie korigované o žiarenie odrazené od modulu). Meteorologický jav ako vietor môže znížiť zahrievanie modulu.[cita]

Podľa PVGIS sú straty vplyvom teploty a intenzity žiarenia približne -5,6 % pri kryštalických kremíkových článkoch.

<sup>2</sup>Štandardné testovacie podmienky sú určené medzinárodnou normou IEC-60904-1. Tieto podmienky sú:

- Intenzita žiarenia by mala byť na celom povrchu modulu  $1000 \text{ W/m}^2$ .
- Teplota modulu by mala byť  $25^{\circ}\text{C}$ .
- Spektrum svetla by sa malo rovnať spektru uvedenému v norme IEC 60904-3. Toto spektrum zodpovedá spektru, ktoré dopadá na FV modul pri slnečnom dni so slnkom približne  $40^{\circ}$  nad horizontom a s modulom nakloneným približne  $40^{\circ}$  od vodorovnej roviny smerujúcej k slnku.



**Obrázok 1.16:** Relatívna účinnosť (v porovnaní s účinnosťou pri STC) troch fotovoltaických technológií: kryštalický kremík (c-Si), CIGS a kadmiový telurid (CdTe). Relatívna účinnosť pri konštantnej intenzite žiarenia pri rôznych teplotách modulov.[cita]

- Ďalšie vplyvy, ktoré nie sú uvedené v PVGIS. Existuje celý rad vplyvov, ktoré môžu ovplyvniť energetický výkon FV systémov. Tieto vplyvy nie sú zahrnuté vo výpočtoch PVGIS. Medzi ne patrí: sneh, prach, nečistoty a tienenie FV modulu.

## Kapitola 2

### Odberový diagram energeticky nenáročných systémov a ich príklady

Príklady využitia autonómnych, fotovoltaických a energeticky málo náročných systémov.

#### 2.1 Parkovací automat

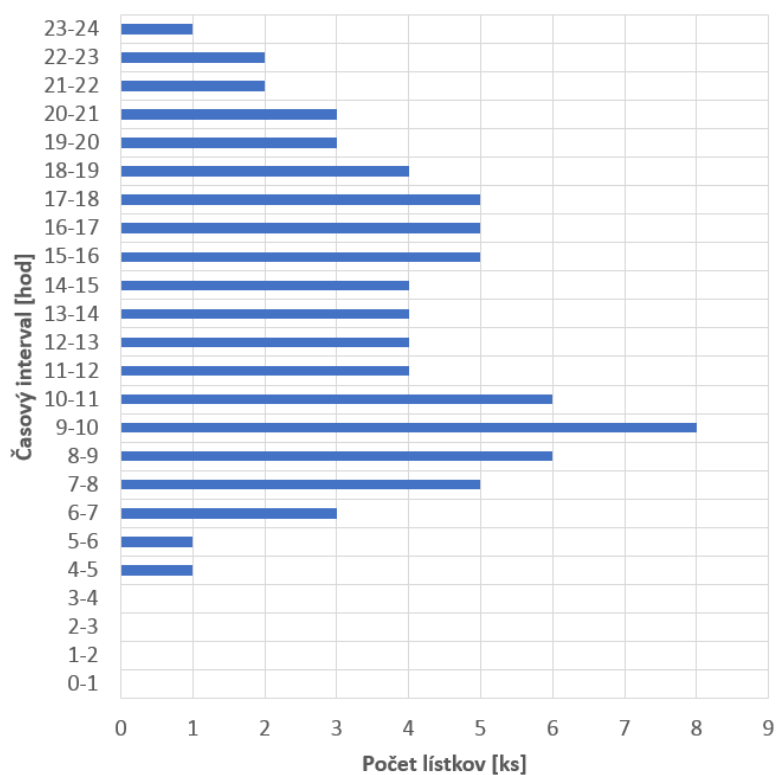
Uvažujme modelovú situáciu. Jednosmerná komunikácia o dĺžke približne 200 m s pozdĺžnym parkovaním s kapacitou 37 miest, pondelok až piatok uvažujeme spoplatnenie od 00 hod. do 24 hod. a víkendy bezplatne. Na zmienenej komunikácii sa nachádza jeden parkovací automat s plochou FV panelu  $0,1 \text{ m}^2$  a s parametrami príkonu:

- v režime kľudu  $0,4 \text{ W}$
- maximálny príkon  $30 \text{ W}$

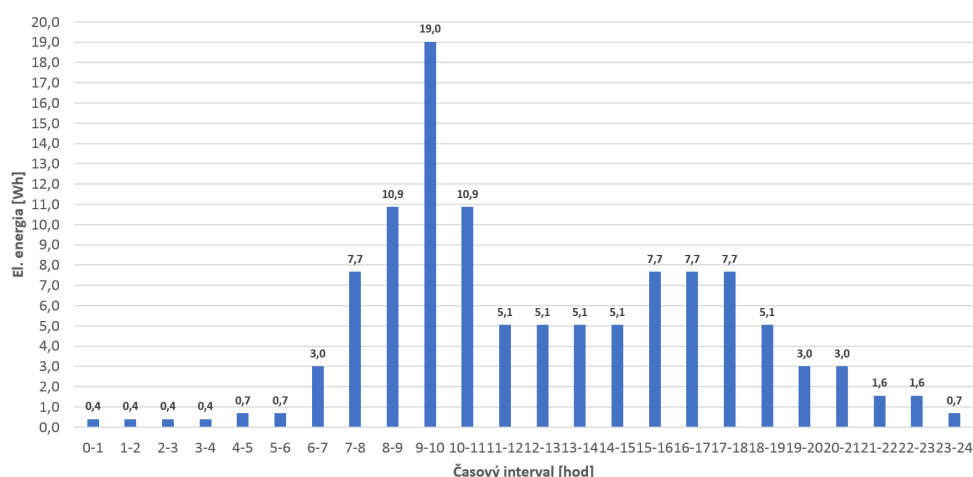


**Obrázok 2.1:** Príklad parkovacieho automatu[citb]

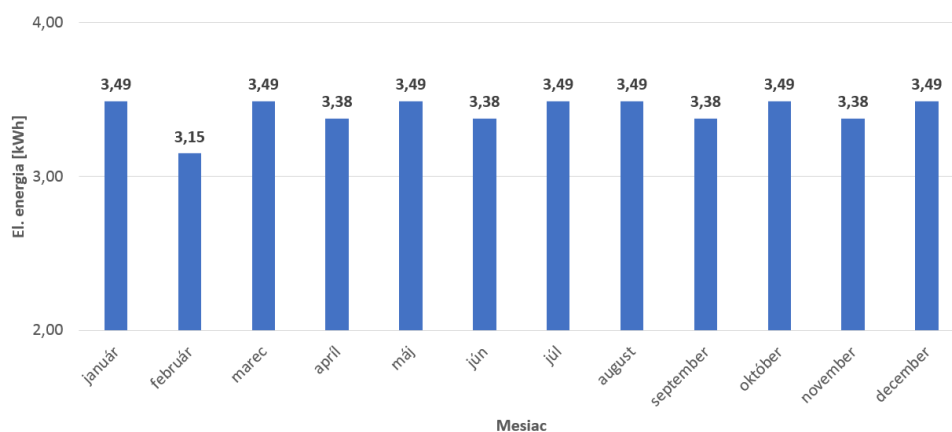
Uvažujme, že za jeden deň automat vydá 76 parkovacích lístkov, pričom proces uvedenia automatu z režimu standby do pohotovostného režimu až po vydanie lístku bude trvať približne 35 sekúnd, počas ktorých bude automat potrebovať max. príkon. Mimo tohto procesu sa automat nachádza v režime kludu. Za 24 hod. odhadujeme výdaj 76 lístkov, viď. obrázok 2.2.



**Obrázok 2.2:** Empirické hodnoty výdaja parkovacích lístkov v hod. intervaloch



**Obrázok 2.3:** Priebeh spotreby el. energie parkovacieho automatu v hod. intervaloch

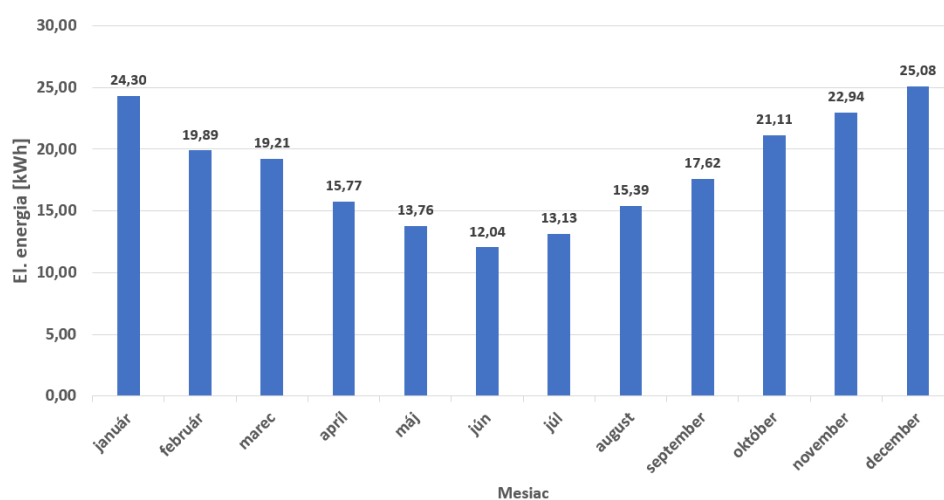


**Obrázok 2.4:** Priebeh spotreby el. energie parkovacieho automatu v mesačných intervaloch

## 2.2 Solárne pouličné lampy

Uvažujme model solárnej LED lampy verejného osvetlenia komunikácií o príkone 50 W. Odberový diagram, vid. obrázok 2.5 bol zostavený pre režim osvetlenia pri konštantnom príkone 50 W. Dĺžka svietenia sa vypočítala jednotlivo pre každý deň v intervale 10 min. pred západom slnka až do času 10 min. po východe slnka.

## 2. Odberový diagram energeticky nenáročných systémov a ich príklady



**Obrázok 2.5:** Spotrebovaná el. energia pouličnej lampy za jednotlivý mesiac



**Obrázok 2.6:** Príklad solárnej lampy verejného osvetlenia[citc]

### 2.3 Solárna informačná tabuľa

Typické technické parametre:

- výkon solárneho panela 2 x 20 W / 12 V
- príkon informačnej tabule 4 x 6 W
- akumulátor 15 Ah / 12 V



Obrázok 2.7: Príklad solárnej informačnej tabule

## 2.4 Merač rýchlostí vozidla

Typické technické parametre:

- výkon solárneho panela 30 W / 12 V
- príkon 12 W
- akumulátor 15 Ah - 22 Ah / 12 V



Obrázok 2.8: Príklad merača rýchlosti vozidla

## ■ 2.5 Smerový indikátor výskytu porúch pre vonkajšie vedenie VN

Typické technické parametre:

- výkon solárneho panela 25 W / 12 V
- akumulátor 20 Ah / 12 V



**Obrázok 2.9:** Príklad smerového indikátora výskytu porúch pre vonkajšie vedenie VN



## Kapitola 3

### Akumulátorové batérie

#### 3.1 Olovené batérie

Systém olovených batérií má mnohé z týchto vlastností. Proces nabíjania je v podstate reverzibilný, systém netrpí škodlivým chemickým účinkom a zatiaľ čo ich hustota energie a špecifická energia sú nízke, olovené batérie spoľahlivo fungujú v širokom rozsahu teplôt. Kľúčovým faktorom pre ich popularitu a dominantné postavenie sú nízke náklady s dobrým výkonom a životnosťou.[Red11]

Najväčšie hrozby, podľa [RW13] pre olovené batérie sú:

- **Korózia.** Kladná elektróda Pb je pokrytá tenkou vrstvou  $PbO_2$ . Vrstva  $PbO_2$  je súčasťou chemickej reakcie za vzniku  $PbSO_4$ . Odkrytá elektróda Pb potom koroduje pôsobením  $H_2SO_4$  a vznikajú oxidy olova, ktoré zvyšujú odpor na kladnej elektróde.
- **Vytváranie plynov.** Počas prebíjania sa uvoľňuje vodík na zápornej elektróde a kyslík na kladnej elektróde, čím sa vytvára tlak vo vnútri akumulátora.
- **Sulfácia.** Vybíjaním dochádza k tvorbe kryštálikov  $PbSO_4$  na zápornej aj kladnej elektróde. Pri nabíjaní sa tieto kryštáliky  $PbSO_4$  menia na aktívny materiál. Sulfácia nastáva, keď niektoré kryštáliky  $PbSO_4$  zostanú aj po nabití, čím sa zníži kapacita batérie.



### ■ 3.2.1 Nikel-kadmiové batérie

Medzi ich hlavné prednosti patrí dlhá skladovateľnosť a životnosť, možnosť prebývania, rýchleho nabíjania a vybíjania, schopnosť pracovať za nízkych teplôt, robustnú konštrukciu a takmer konštantné vybíjacie napätie. Používajú sa v pomocných energetických zdrojoch, ako štartovacie akumulátory, v prenosných zariadeniach, v satelitoch, a celej rade ďalších aplikácií. Knoflíkové články majú kapacitu 50-2000 mAh, valcové 2-5 Ah, prizmatické uzavreté 5-50 Ah a otvorené 5-5000 Ah. Najlepších parametrov dosahujú pri teplote okolí 0-30°C. Samovybíjanie predstavuje 1-2% kapacity denne a závisí na teplote. Doba života dosahuje až tisíce nabíjajúcich a vybíjajúcich cyklov pri úbytku kapacity asi 25%. Napätie naprázdno plne nabitého Ni - Cd článku je približne 1,35 V. Článok sa uvažuje za vybitý, ak klesne napätie pod 1,0 - 1,1 V (kapacita poklesne o viac ako 50%). Potom ho musíme opäť nabiť, v opačnom prípade by mohlo dôjsť k jeho poškodeniu. Niektorí výrobcovia preto do batérie implementujú automatickú ochranu proti nadmernému vybitiu.[Ing06]

Článok je možné nabíjať niekoľkými spôsobmi v závislosti na spôsobe využitia. Rozdiely sa objavujú taktiež u uzatvorených a vetraných článkov. Najčastejšie sa článok nabíja:

- pri konštantnom prúde,
- pri konštantnom napätí,
- pri teplotne kompenzovanom napätí.

### ■ 3.2.2 Nikel-železné batérie

Používali sa v manipulačných vozíkoch, ťažobných a podzemných vozidlách, železničných prepravných vozidlách a v stacionárnych aplikáciách. Hlavné výhody nikel-železných batérií sú extrémne robustná konštrukcia, dlhá životnosť a trvanlivosť. Medzi hlavné limitácie patrí nízka špecifická energia, nízka retencia náboja, slabý výkon pri nízkych teplotách a ich vysoké náklady na výrobu v porovnaní s olovenými akumulátormi, čo spôsobilo pokles ich používania. Nedávny výskum ukázal, že použitie nanoštruktúrovaného uhlíka v elektróde železa môže významne zlepšiť kapacitu anódy Fe.[Red11]



elektronické aplikácie a stala sa voľbou pre použitie v hybridných elektrických vozidlách počas posledného desaťročia. Sú teraz komerčne dostupné so stratou kapacity menej ako 10%/rok.[Red11]

Batériová technológia	Nikel-kadmium	Nikel-železo	Nikel-zinok	Kadmium / oxid strieborný	Nikel-vodík
Tepelný rozsah [°C]	-40/50	-10/45	-20/50	-25/70	0/50
Špecifická energia, 20°C [Wh/kg]	30-37	30	60-100	70	64
Hustota energie, 20°C [Wh/dm <sup>3</sup> ]	58-96	55	110-200	120	105
Profil vybíjania (relatívny)	Veľmi plochý	Stredne plochý	Plochý	Dvojitá plošina	Stredne plochý
Hustota výkonu	Veľká	Stredná až nízka	Veľká	Stredná až vysoká	Stredná
Samovybíjanie pri 20°C [%/mesiac]	10	20-40	20	5	Veľmi vysoké, s výnimkou nízkej teploty
Projektovaná životnosť [roky]	3-10	8-25	---	3	---
Počet cyklov	500-2000	2000-4000	do 900, 80 % DOD	300-800	1500-6000, 40000 pri 40 % DOD

Obrázok 3.2: Porovnanie používaných typov alkalických batérií[Red11]

### 3.3 Lítium-iónové batérie

Podľa [RW13] sú dominantné mechanizmy degradácie v negatívnej elektróde:

- **Vrstvenie pevného elektrolytu.** Vrstva rastie na negatívnej elektróde, čo vedie k zvýšeniu impedancie. Vytvára sa na začiatku cyklu a rastie počas cyklu a akumulácie, najmä pri vyšších teplotách. Vrstvenie strháva lítium.
- **Korózia lítia.** Lítium v aktívnom uhlíkovom materiáli zápornej elektródy môže v priebehu času korodovať, čo spôsobuje zníženie kapacity kvôli nezvratnej strate mobility lítia.
- **Strata v spojoch.** Pri odpojení vrstiev pevného elektrolytu od zápornej elektródy, dôjde k stratám na kontaktoch a zvýšeniu impedancie článku.
- **Lítiové pokovovanie.** Lítium môže pokovovať zápornú elektródu pri nízkych teplotách a nízkom napätí článku, čo spôsobuje nezvratnú stratu aktívneho lítia.

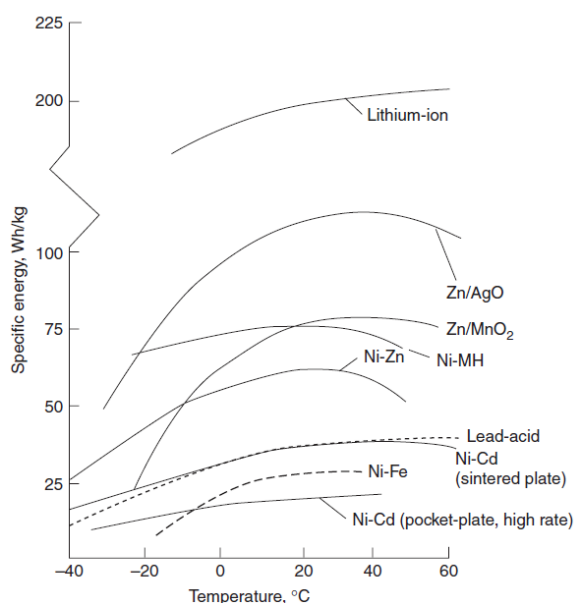
<sup>0</sup>NMC=LiNi<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub>, LiNi<sub>0,5</sub>Mn<sub>0,3</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>2</sub> alebo LiNi<sub>0,42</sub>Mn<sub>0,42</sub>Co<sub>0,16</sub> ...  
 NCA=LiNi<sub>0,8</sub>Co<sub>0,15</sub>Al<sub>0,05</sub>O<sub>2</sub> ...  
 LMO=Li<sub>1+x</sub>Mn<sub>2-x</sub>O<sub>4</sub> ...

Batériová technológia	LiCoO <sub>2</sub> /graphite	NMC/graphite	LiFePO <sub>4</sub> /graphite	LMO/Li <sub>4/3</sub> Ti <sub>5/3</sub> O <sub>4</sub>
	NMC/graphite	NCA/graphite		
	Energy cells	Power cells	Power cells	
Teplotný rozsah pri vybití [°C]	-20/60	-30/60	-30/60	-30/60
Teplotný rozsah pri nabíjaní [°C]	0/45	0/45	0/45	-20/45
Špecifická energia, 20°C [Wh/kg]	175-240 cylinder 130-200 polymer	100-150	60-110	70
Hustota energie, 20°C [Wh/dm <sup>3</sup> ]	400-640 cylinder 250-450 polymer	250-350	125-250	120
Samovybitie pri 20°C [%/mesiac]	2-10	2-10	2-10	2-10
Projektovaná životnosť [roky]	>5	>5	>5	>5
Počet cyklov	500+	500+	1000+	4000+

Obrázok 3.3: Vlastnosti lítium-iónovej batérie<sup>1</sup>[Red11]

### 3.4 Vzájomné porovnanie vybraných batériových technológií

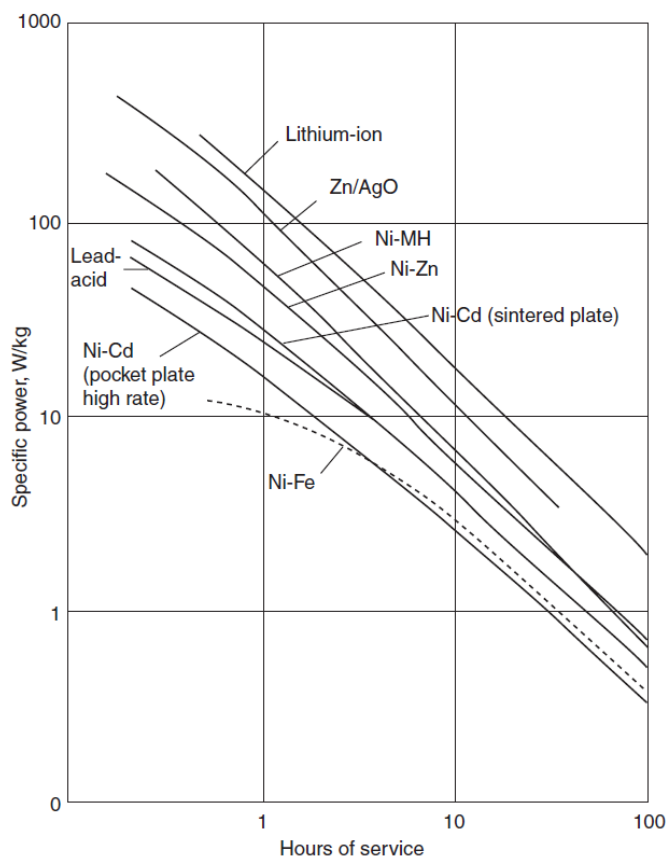
Na obrázku 3.4 je špecifická energia pre každý akumulátorový systém vynešená z -40°C až 60°C pri rýchlosti vybitia C/5. Lítium-iónový systém má najvyššiu hustotu energie až do -20°C. Sintrované platne Ni-Cd a nikel-kov hydridové batérie vykazujú vyššie percento retencie. Vo všeobecnosti je výkon alkalických batérií pri nízkych teplotách lepší ako výkon olovených batérií, opäť s výnimkou systému Ni-Fe. Systém olovených batérií vykazuje lepšie vlastnosti pri vyšších teplotách.[Red11]



Obrázok 3.4: Vplyv teploty na špecifickú energiu sekundárnych batériových systémov pri rýchlosti vybitia C/5.[Red11]

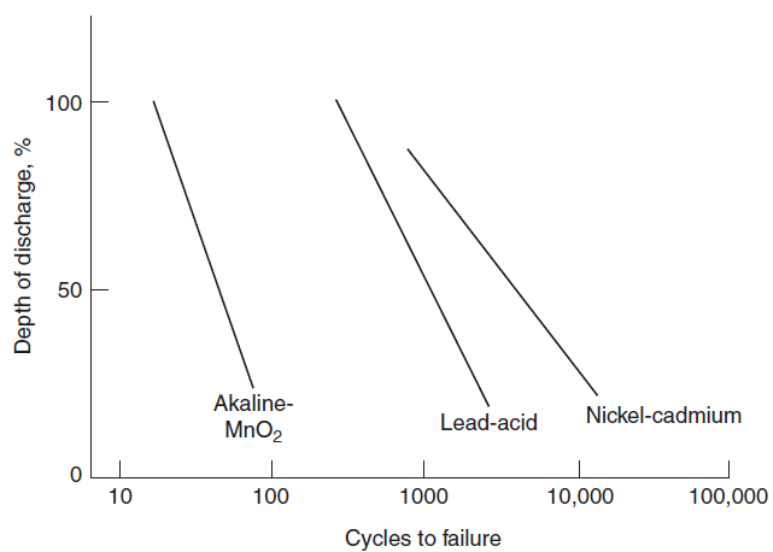
Obrázok 3.5 ukazuje, že za určitý spoločný čas prevádzky každého typu akumulátora (zjednotených na rovnakú hmotnosť 1 kg) budú rôzne typy dodávať rôzny výkon (prúd pri vybíjaní · stredná hodnota napätia). Vyšší sklon indikuje vynikajúce zachovanie kapacity so zvyšujúcim sa zaťažením. Špecifická energia sa môže vypočítať podľa nasledujúcej rovnice:

$$\text{špecifická energia} = \text{špecifický výkon} \cdot \text{počet hod. prevádzky}$$



**Obrázok 3.5:** Porovnanie výkonu sekundárnych batériových systémov pri 20°C.[Red11]

Ako je znázornené na obrázku 3.6, hĺbka vybíjania (depth of discharge DOD) a režim nabíjania výrazne ovplyvňujú životnosť batérie. Z konvenčných sekundárnych systémov sú Ni-Fe a Ni-Cd najlepšie s ohľadom na životnosť cyklu a celkovú životnosť. Nikel-vodíková batéria, vyvinutá hlavne pre letecké aplikácie, preukázala veľmi dlhú životnosť pri malej hĺbke vybíjania. Batérie olovnatých kyselín nezodpovedajú výkonnosti najlepších alkalických batérií. U lítium-iónových batérií bolo preukázané, že môžu mať dlhú životnosť pri nízkej hodnote DOD, s cyklami v strede kapacitného rozsahu.[Red11]



**Obrázok 3.6:** Vplyv hĺbky vybitia na životnosť sekundárnych batériových systémov.[Red11]



## Kapitola 4

### Nástroj pre výpočet dimenzovania autonómnych, energeticky málo náročných, systémov

#### 4.1 Postup vytvorenia nástroja pre dimenzovanie v programe Excel

- Vytvorenie databázy mesačného výstupu energie FV panelu (kryštalické kremíkové články) o inštalovanom výkone 1 kWp pre lokalitu Praha z podkladov PVGIS. Azimut od -180 (sever) v intervale po 15° a pre každý vybraný azimut limitný sklon 0°, 90° a sklon od 30° do 60° v intervale po 2°, vid. priložený elektronický súbor `kalkulator.xlsx`, list `data_azimut_sklon`. Jednotlivé mesačné hodnoty sú v kWh po odpočítaní strát rozpísaných v kapitole 1.5.

#### 4. Nástroj pre výpočet dimenzovania autonómnych, energeticky málo náročných, systémov ■ ■ ■

azimut	sklon	január	február	marec	apríl	máj	jún	júl	august	september	október	november	december
-180	0	16,80	32,80	69,30	106	122	127	128	110	75,40	42,10	20,10	13,30
-180	30	11,30	19,20	36,00	70,20	97,70	107	105	78,30	42,90	22,60	13,00	8,94
-180	32	11,20	19,10	34,30	67,20	95,20	105	102	75,40	40,50	22,40	12,70	8,79
-180	34	11,00	18,80	33,10	64,00	92,70	103	99,50	72,50	38,30	22,20	12,50	8,64
-180	36	10,80	18,50	32,20	60,90	90,10	100	96,80	69,50	36,20	22,00	12,30	8,48
-180	38	10,60	18,20	31,40	57,70	87,40	97,70	94,00	66,40	34,70	21,80	12,10	8,32
-180	40	10,40	17,80	30,80	54,60	84,60	95,10	91,20	63,30	33,60	21,40	11,80	8,15
-180	42	10,10	17,50	30,50	51,60	81,70	92,40	88,20	60,20	32,60	21,00	11,60	7,98
-180	44	9,92	17,10	30,10	48,80	78,80	89,60	85,10	57,20	31,80	20,60	11,40	7,80
-180	46	9,70	16,70	29,60	46,40	75,80	86,70	81,90	54,20	31,20	20,10	11,10	7,62
-180	48	9,47	16,40	29,00	44,30	72,70	83,80	78,70	51,40	30,70	19,70	10,80	7,44
-180	50	9,24	16,00	28,30	42,50	69,70	80,70	75,40	49,00	30,00	19,20	10,60	7,25
-180	52	9,00	15,60	27,70	41,10	66,80	77,70	72,10	46,90	29,30	18,80	10,30	7,06
-180	54	8,76	15,20	27,00	39,90	64,00	74,60	68,90	45,10	28,50	18,30	10,00	6,87
-180	56	8,52	14,80	26,30	38,80	61,30	71,50	65,80	43,40	27,80	17,80	9,77	6,68
-180	58	8,28	14,40	25,60	37,70	58,80	68,60	62,90	41,80	27,10	17,40	9,50	6,48
-180	60	8,04	14,00	24,90	36,50	56,30	65,80	60,10	40,40	26,30	16,90	9,23	6,29
-180	90	4,61	8,31	15,10	21,70	31,90	35,50	32,80	23,80	16,00	10,10	5,34	3,55
-165	0	16,80	32,80	69,30	106	122	127	128	110	75,40	42,10	20,10	13,30

**Obrázok 4.1:** Náhľad do databázy mesačného výstupu energie FV panelu o inštalovanom výkone 1 kWp s parametrom azimut a sklon

- Pri vytváraní databázy tienenia sa vychádzalo z kapitoly 1.4, kde sú opísané jednotlivé modelové varianty tienenia (celkom 7 variant), pre azimut  $-90^\circ$  (východ),  $-7^\circ$ , optimálny pre sledovanú lokalitu, Praha a  $+90^\circ$  (západ) a jednotný sklon FV panelu  $46^\circ$ , viď. kapitola 1.3. Databáza je zostavená z priemerných, mesačných a bezrozmerných hodnôt redukcie dopadu priameho slnečného žiarenia na FV panel, viď. kalkulátor.xlsx, list tienenie\_NREL.

V súbore kalkulátor.xlsx, list data\_tienenie sú údaje z kalkulátor.xlsx, list data\_azimut\_sklon, ktoré sú prepočítané na konkrétny inštalovaný výkon FV panela a po redukcii priameho slnečného žiarenia zapríčineného tienením.

Na obrázku 4.3 je možné sledovať redukciiu priameho slnečného žiarenia pri tienení v percentách pre danú hodinu, časy v UTC.

**Obrázok 4.2:** Printsreen z programu SAM pri modelovaní bez tienenia, časy UTC

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Feb	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Mar	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Apr	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	2.03263	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
May	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Jun	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Jul	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Aug	100	100	100	100	100	100	100	100	32.0481	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sep	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Oct	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Obrázok 4.3:** Printsreen z programu SAM pri modelovaní tienenia z východnej, južnej a západnej strany, časy UTC

## 4.2 Návod na použitie kalkulátora

Kalkulátor je dimenzovaný pre oblasť Praha, s použitím polykryštalických kremíkových článkov a s celkovými stratami na vstupe do odberného miesta 20 %, vid. kapitola 1.5. Do nástroja na výpočet dimenzovania autonómnych systémov môže užívateľ zadať nasledujúce parametre:

- azimut
- sklon
- inštalovaný výkon FV panela
- tienenie (7 možností výberu z konkrétnych modelových situácií), vid. kapitola 1.4
- odhadovanú mesačnú spotrebu el. energie v [kWh]
- hĺbka vybitia akumulátora v % z plne nabitej hodnoty, DOD [%], prednastavená na 50%
- napäťová hladina systému [V], prednastavená na 12 V
- počet dní bez dobíjania akumulátora, prednastavený na 3 dni

Výstupom z kalkulátora je odhadovaná mesačná energetická bilancia v [kWh] formou tabuľky a grafického zobrazenia, vid. obrázok 4.6. V súbore `kalkulator.xlsm`, list `azimut_sklon` užívateľ vyberie, zo zoznamu, azimut a sklon FV panela a stlačí tlačidlo `FILTRUJ`. Po vyfiltrovaní sa v tabuľke

#### 4. Nástroj pre výpočet dimenzovania autonómnych, energeticky málo náročných, systémov ■ ■ ■

zobrazí mesačná výstupná energia [kWh] FV panelu o inštalovanom výkone 1 kWp, vid. obrázok4.4. Stlačením na modrú šípku sa užívateľ dostane do ďalšieho listu `instalovany_vykon_tienenie`.

Zadajte azimut a sklon FV panelu v systéme mestského mobiliára

azimut [°]	sklon [°]
120	52

**FILTRUJ**

Prepočet inštalovaného výkonu FV panelu + tienenie

		Výstupná energia z FV panelu o inštalovanom príkone 1 kWp [kWh]											
azimut [°]	sklon [°]	január	február	marec	apríl	máj	jún	júl	august	september	október	november	december
120	52	10,50	20,70	44,60	72,20	87,40	93,40	91,90	74,50	48,40	26,50	12,70	7,87

**Obrázok 4.4:** Printsreen kalkulátora pri zadaní azimutu a sklonu

V poradí v ďalšom liste `instalovany_vykon_tienenie` užívateľ zadá inštalovaný výkon FV panelu použitom v mobiliáre v kWp a z ktorých strán bude FV panel najviac tienенý a stlačí tlačidlo **FILTRUJ**. Po vyfiltrovaní sa v tabuľke zobrazí mesačná výstupná energia [kWh] FV panelu o inštalovanom výkone zadanom užívateľom a po redukcii slnečného žiarenia spôsobenou tienенím, vid. obrázok4.5. Stlačením na modrú šípku sa užívateľ dostane do ďalšieho listu `energeticka_bilancia`.

Zadajte inštalovaný výkon FV panelu inštalovaného v mobiliáre [kWp]

0,4

		Výstupná energia z FV panelu o inštalovanom výkone zadanom používateľom [kWh]												
azimut [°]	sklon [°]	inštalovaný výkon panelu [kWp]	január	február	marec	apríl	máj	jún	júl	august	september	október	november	december
120	52	0,4	4,20	8,28	17,84	28,88	34,96	37,36	36,76	29,80	19,36	10,60	5,08	3,15

Zadajte, z ktorého smeru je FV panel navrhovaného mobiliára tienенý okolitou zástavbou

tienenie: Východ\_Západ

**FILTRUJ**

		Výstupná energia z FV panelu pre daný sklon, azimut, inštalovaný výkon panelu a tienenie [kWh]													
azimut [°]	sklon [°]	inštalovaný výkon panelu [kWp]	tienenie	január	február	marec	apríl	máj	jún	júl	august	september	október	november	december
120	52	0,4	Východ_Západ	7,41	14,26	24,57	34,41	43,14	44,80	42,81	35,39	26,99	16,21	8,76	6,51

**Energetická bilancia**

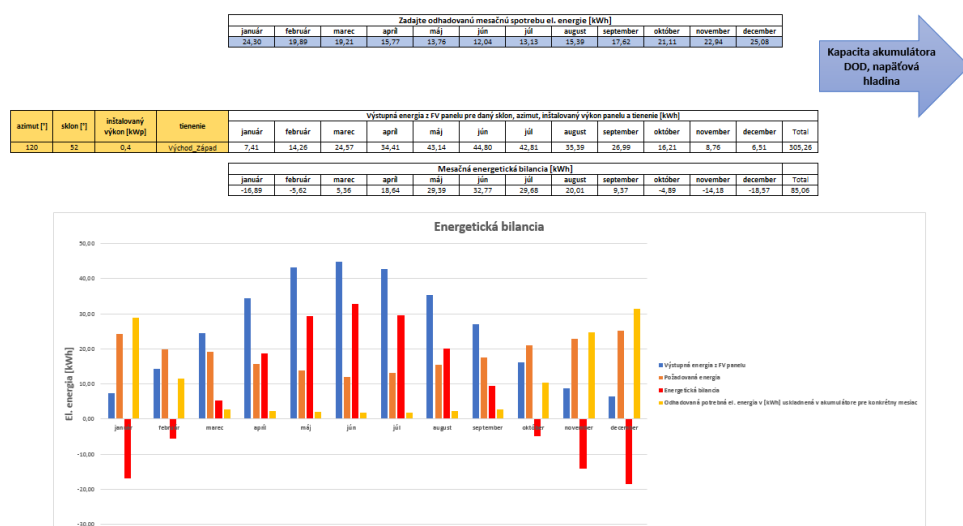
**Obrázok 4.5:** Printsreen kalkulátora pri zadaní inštalovaného výkonu a tienenia

V liste `energeticka_bilancia` užívateľ zadá do prvej tabuľky odhadovanú mesačnú spotrebu energiu v kWh. Užívateľ môže použiť odberový diagram parkovacieho automatu a lampy verejného osvetlenia, vid. elektronický súbor v prílohe s názvom `odberovy_diagram_automat_lampa`, kde je možné nastaviť niektoré parametre. V druhej tabuľke je uvedená mesačná výstupná energia z FV panela v kWh pre parametre zadané užívateľom, vid. obrázok4.6.

Stlačením modrej šípky môže užívateľ v liste `akumulator_kapacita` zmeniť

prednastavené hodnoty DOD [%], počet dní bez dobíjania akumulátora a napätovej hladiny systému [V], viď. obrázok 4.7. Ak je mesačný prebytok energetickej bilancie menší ako spotreba el. energie za počet dní nastavený užívateľom ako počet dní bez dobíjania akumulátora v danom mesiaci s ohľadom na DOD akumulátora, tak sa navrhovaná veľkosť uskladnenej el. energie v akumulátore vypočíta ako absolútna hodnota energetickej bilancie plus spotreba el. energie za počet dní nastavený užívateľom ako počet dní bez dobíjania akumulátora v danom mesiaci s ohľadom na DOD, v opačnom prípade pri energeticky ziskovejších mesiacoch je navrhovaná uskladnená el. energia v akumulátore dimenzovaná na počet dní bez dobíjania akumulátora v danom mesiaci s ohľadom na DOD akumulátora.

Stlačením na modrú šípku **Grafický výstup** sa užívateľ dostane na list `energeticka_bilancia`, kde je možné sledovať grafický výstup kalkulátora.



**Obrázok 4.6:** Printsreen výstupu energetickej bilancie z kalkulátora, lampa verejného osvetlenia

DOD [%]	Počet dní bez dobíjania akumulátora	Napätová hladina systému [V]												
50	3	12												
			január	február	marec	apríl	máj	jún	júl	august	september	október	november	december
			28,87	11,63	2,79	2,36	2,00	1,81	1,91	2,23	2,64	10,40	24,71	31,49
			2405,70	969,16	252,39	197,06	166,39	150,44	158,78	186,11	220,22	866,99	2059,39	2624,97

Grafický výstup

**Obrázok 4.7:** Printsreen listu kalkulátora pre nastavenie parametrov ovplyvňujúcich kapacitu akumulátora



## Záver

V práci je v prvej kapitole sumarizované množstvo slnečnej energie, ktorú je možné získať na zemepisnej šírke 50,087 N, lokalita Praha. Údaje o zisku celkovej slnečnej energie, získané z PVGIS, boli posúdené z viacerých aspektov, azimut, sklon FV panelu a ročné obdobie. Celková slnečná energia bola na základe vyššie uvedených aspektov posúdená z hľadiska zisku difúznej slnečnej energie a priamej slnečnej energie na horizontálnej rovine. Na základe údajov pre horizontálnu rovinu boli dopočítané energetické údaje FV panelu pre vybraný azimut a sklon, ktoré boli spriemerované pre mesačné intervaly. Vplyv tienenia okolitou zástavbou a tým spôsobenou redukciou priameho slnečného žiarenia na FV panel bol modelovaný pre 7 možností zatienenia. Na simulovanie bol použitý program SAM 2018.11.11 spoločnosti NREL. Ďalej boli v kapitole rozpísané straty, kvôli ktorým treba zredukovať zisk celkovej slnečnej energie. Taktiež treba zohľadniť, že sklony FV panelu, ktoré sa javia ako energeticky menej ziskové, môžu mať za určitých okolností energetickú výhodu, napr. na sklonoch ku 90° sa horšie udržiavajú nečistoty ako sú lístie, sneh, ktoré spôsobujú jeho zatienenie.

V druhej kapitole sú rozpísané príklady uplatnenia autonómnych, fotovoltaických a energeticky málo náročných systémov. Pre parkovací automat a solárnu lampu verejného osvetlenia sú rozpísané typické mesačné odberové diagramy, ktoré môžu byť použité pre navrhnutý kalkulátor. Odberový diagram pre parkovací automat je počas jednotlivých mesiacov vyrovnamejší, zatiaľ čo spotreba el. energie pri lampe verejného osvetlenia je v letných mesiacoch oproti zime takmer polovičná.

V tretej kapitole sú rozpísané sekundárne typy akumulátorových batérií

a ich vzájomné porovnanie. Pri lítium-iónovej batériovej technológii treba brať v úvahu ich teplotný rozsah pri nabíjaní, ktorý sa vo väčšine prípadov pohybuje od  $0^{\circ}\text{C}$  a preto pri použití tejto batériovej technológie treba v zimných mesiacoch napr. uvažovať s prídavným vykurovacím výkonom, uložením akumulátora v určitej hĺbke pod zemským povrchom alebo inou možnosťou udržiavania teploty nad  $0^{\circ}\text{C}$ .

V štvrtej kapitole je rozpísaný nástroj na výpočet dimenzovania autonómnych systémov v mestskom mobiliáre pre dané limitné podmienky. Nástroj bol navrhnutý v programe Excel. Aktuálna databáza, ktorá je implementovaná v kalkulátore, obsahuje údaje o slnečnom žiarení pre lokalitu Praha. Užívateľ zadáva jednotlivé parametre ako sú azimut, sklon, tienenie a inštalovaný výkon FV panela, odhadovanú mesačnú spotrebu el. energie, DOD akumulátora, počet dní bez dobíjania akumulátora a napäťovú hladinu systému. Výstupom z kalkulátora je mesačná energetická bilancia autonómneho systému a veľkosť kapacity akumulátora pre užívateľom nastavené hodnoty. Pri vybití akumulátora pod určitú hodnotu DOD môže byť odoslaná správa do monitorovacieho centra, kde by sa rozhodlo, buď o výmene akumulátora alebo by sa povolilo hlbšie vybitie za cenu možnej degradácie životnosti akumulátora.





## Literatúra

- [cita] dostupné z [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_static/methods.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/methods.html).
- [citb] dostupné z <http://www.parkujvklidu.cz/prezentace-parkovaciho-automatu-nove-generace-18-12-2015/> (citované: 1.12.2018).
- [citc] dostupné z <https://www.ecoshopa.sk/www-ekoshopa-sk/eshop/9-1-Male-energeticke-zariadenia/53-2-Solarne-verejne-osvetlenie/5/1108-Solarne-verejne-osvetlenie-Lampa-LED-20W-ACU-\289Wh-SP-35W-SUNEN-SSL-V2-20W> (citované: 1.12.2018).
- [Ing06] Ing. Jiří Vaněk, Ph.D., Ing. Petr Křivík, Ph.D., Ing. Vítězslav Novák, Ph.D., *Alternativní zdroje energie*, FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2006.
- [JRCT] Institute for Energy Joint Research Centre and Transport, *Photovoltaic geographical information system (PVGIS)*, dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (citované: 23.10.2018).
- [Red11] Thomas B. Reddy, *Linden's handbook of batteries*, 4 ed., The McGraw-Hill Companies, Inc., 2011.
- [RW13] Christopher D. Rahn and Chao-Yang Wang, *Battery systems engineering*, 1 ed., John Wiley Sons, Ltd, 2013.
- [Tom11] Petr Mastný, Jiří Drápela, Stanislav Mišák, Jan Macháček, Michal Ptáček, Lukáš Radil, Tomáš Bartošík, Tomáš Pavelka, *Obnovitelné*

*zdroje elektrické energie*, 1 ed., České vysoké učení technické v Praze,  
Zikova 1905/4, 166 36 Praha 6, 2011.



## **Dodatok A**

### **Elektronické prílohy**

- `odberovy_diagram_automat_lampa`
- `kalkulator`