



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

POSOUZENÍ NÁVRHU MALÉ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY PRO RODINNÝ DŮM A ZPRACOVÁNÍ POSTUPU JEJÍ REVIZE

ASSESSMENT OF THE DESIGN OF A SMALL PHOTOVOLTAIC POWER PLANT FOR A FAMILY HOUSE
AND ELABORATION OF ITS REVISION PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Vozárik

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. František Veselka, CSc.

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Michal Vozárik

ID: 195464

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Posouzení návrhu malé fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům a zpracování postupu její revize

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou fotovoltaické výroby elektrické energie.
2. Zpracujte literární průzkum k této problematice podle zadání.
3. Zpracujte návrh postupu na ověření jejích bezpečnostních parametrů (revizi).
4. Zpracujte návrh FVE podle zadání a postup pro ověření jejích parametrů.
5. Vyhodnoťte a okomentujte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ČSN 33 1500, Elektrotechnické předpisy - Revize elektrických zařízení
- [2] Veselka, F., Huzlík, R.: Inspekční a revizní činnost, přednášky, cvičení.
- [3] Honys, V.: Bezpečná Elektrotechnika. IN - EL Praha, 1998

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 10.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. František Veselka, CSc.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce :

VOZÁRIK, Michal. *Posouzení návrhu malé fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům a zpracování postupu její revize*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2020. 60s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. František Veselka CSc.

Prehlásenie autora o pôvodnosti diela:

„Prehlasujem že svoju bakalársku prácu na tému *Posouzení návrhu malé fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům a zpracování postupu její revize* som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov , ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname použitej literatúry v závere práce. Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil žiadne autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. Díl 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne dňa 10.06.2020

.....

Pod'akovanie

Rád by som sa chcel poďakovať vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Františkovi Veselkovi, CSc. za metodické vedenie, odborné rady, postrehy a vecné pripomienky pri spracovávaní práce. Vďaka patrí i p. Hrunekovi za poskytnutie a možnosti analýzy jeho objektu fotovoltickej elektrárne a v neposlednom rade úprimne a vrúcne ďakujem mojim rodičom za neustálu podporu.

V Brne dňa Podpis autora.....

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca zahŕňa problematiku fotovoltaiky s konkrétnou fotovoltaiickou elektárnou doplnená o základné merania pri revíznej činnosti. V prvej časti sa autor venuje teoreticky slnečnému žiareniu a fotovoltaiickému oboru. V druhej časti práce sa autor venuje problematike revíznej činnosti. V rámci práce je posudzovaný konkrétny návrh malej fotovoltaiickej elektrárne na streche rodinného domu. K analýze a posudzovania objektu boli v rámci práce využité i rôzne softvéry pre dimenzovanie. Súčasťou práce je aj postup overovania parametrov danej FVE a revízna správa revidovaného elektrického zariadenia.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Slnečná energia, Fotovoltaika, Obnoviteľný zdroj energie, Revízna činnosť, PVSOL, PVGIS

ABSTRACT

This bachelor thesis includes the issue of photovoltaics with a specific photovoltaic power plant, supplemented by basic measurements during inspection activities. In the first part, the author deals theoretically with solar radiation and the photovoltaic field. In the second part of the work, the author deals with the issue of revision activities. Within the work, a specific design of a small photovoltaic power plant on the roof of a family house is assessed. Various sizing software were used to analyze and assess the object. Part of the work is also the procedure of verifying the parameters of the PV plant and the inspection report of the revised electrical equipment.

KEY WORDS

Sun energy, Photovoltaics, Renewable energy source, Audit activity, PVSOL, PVGIS

OBSAH

1	Slnko, slnečné žiarenie.....	9
1.1	Zdroj fotovoltaikej výroby energie – Slnko.....	9
1.2	Slnečné žiarenie	9
1.2.1	Priame slnečné žiarenie – I_p	9
1.2.2	Difúzne slnečné žiarenie – I_d	10
1.2.3	Priemerné slnečné žiarenie na území ČR a SR.....	10
2	Fotovoltaika.....	11
2.1.	Význam slova a úvod k fotovoltaike.....	11
2.2.	Dôležité roky z dejín fotovoltaiky.....	11
2.3.	Fotovoltaika na území Česka a Slovenska.....	11
2.4.	Podstata, fotovoltaičný článok.....	11
2.4.1.	Skladba a výroba fotovoltaičných článkov	12
2.4.2.	VA charakteristika FV článku.....	13
2.4.3.	Náhradná schéma FV článku.....	14
2.5	Druhy FV článkov.....	14
2.6	Fotovoltaičné panely.....	16
2.7	Životnosť, degradácia a závady na FV článkoch/paneloch	17
2.8	Fotovoltaičné systémy Grid off.....	19
2.9	Fotovoltaičné systémy Grid on.....	20
2.10	Invertory.....	21
2.11	Akumulátorové batérie.....	22
2.12	Regulátory nabíjania.....	23
2.13	Nosné konštrukcie	23
3	Revízná činnosť a revízie elektrických zariadení.....	25
3.1	Norma ČSN 33 1500.....	25
3.2.	Východiskové revízie.....	25
3.3	Pravidelné revízie.....	25
4	Praktická časť.....	25
4.1	Riešený objekt s malou FV elektrárnou na streche RD.....	27
4.1.1	Posúdenie lokality FVE.....	27
4.1.2	Charakteristika objektu FVE.....	27
4.1.3	Náhľad, popis a výpočet plochy FV panelov.....	28
4.1.4	Samostatný FV panel na záhrade mimo objektu.....	29
4.2	Posúdenie spotreby RD.....	30

4.2.1 Energetický profil spotreby v domácnosti.....	30
4.3. Posúdenie návrhu FV panelov.....	31
4.4 Posúdenie návrhu riadiacej jednotky.....	32
4.5 Analýza akumulátorových batérii.....	34
4.6 Analýza počiatočných nákladov.....	35
4.7 Programy pre návrh a dimenzovanie FV systémov.....	36
4.7.1 Program PVGIS.....	36
4.7.2 Program PVSOL.....	38
4.7.3 Porovnanie výsledkov v programoch PVGIS/PVSOL.....	40
4.8 Návratnosť riešeného FV systému.....	41
5 Atmosferické prepätie a ochrany FVE.....	42
5.1 Problematika prepätia.....	42
5.2 Atmosferické prepätie.....	42
5.3 Ochrana FVE pred bleskom.....	43
6 Návrh postupu overenia bezpečnostných a prevádzkových parametrov FVE.....	44
6.1 Technický popis objektu FVE.....	44
6.2 Popis a vyhodnotenie revízie.....	44
6.2.1 Meranie izolačného odporu.....	45
6.2.2 Meranie impedančnej smyčky.....	45
6.2.3 Meranie prechodového odporu.....	46
6.3 Overovanie parametrov FVE.....	46
7 Zhodnotenie.....	49
7.1 Zhodnotenie bezpečnosti FVE.....	49
7.2. Zhodnotenie a návratnosť FVE.....	49
7.3. Odporúčania a budúcnosť FVE.....	49
8 Záver.....	50
Zoznam použitej literatúry.....	51
Zoznam použitých symbolov a skratiek.....	53
Zoznam obrázkov.....	54
Zoznam tabuliek.....	55
Prílohy.....	55

ÚVOD

Za bakalársku prácu som si zvolil tému Posúdenie návrhu malej fotovoltaikej elektrárne pre rodinný dom a postup jej revízie.

Doba napreduje vo všetkých smeroch, a inak tomu nie je ani vo svete techniky, elektrickej energie a technológie. Elektrizácia sa významne rozšírila a život bez energie si človek už nedokáže ani len predstaviť. Človek si uvedomí jej dôležitosť a význam až vtedy, pokiaľ ju práve nemôže využívať. Elektrická energia nám enormne uľahčuje život vo všetkých smeroch a prácach. Elektrická energia nie je najľahšia záležitosť a preto človek zistil, že veľmi vhodné riešenie pre výrobu elektrickej energie bude z obnoviteľných zdrojov energie – pretože za ne nemusíme platiť, dovážať ich ani nič obdobné.

Jednoznačne môžeme povedať, že ide o zdroje budúcnosti, keďže si treba uvedomiť, že neobnoviteľné zdroje energie ako fosílna palivá, ropa, uhlie či zemný plyn tu nebudú večne. Medzi obnoviteľné zdroje energie okrem vody, vetra či biomasy rozhodne patrí aj energia zo Slnka. Aj vďaka rôznym programom a dotáciám na podporu fotovoltaikej výroby energie sa toto odvetvie čoraz viac a viac rozrastá i na území Českej republiky a Slovenska. Z tohto dôvodu je dôležité neustupovať trendom, a neustále analyzovať a vyhodnocovať nové poznatky a možnosti fotovoltaiiky.

Súčasťou práce je rozoberaná konkrétna malá fotovoltaiická elektrárňa na streche rodinného domčeku v Českej republike, ktorá sa bude posudzovať v danej práci. Hoci sú vynaložené počiatočné finančné prostriedky na výstavbu malej fotovoltaikej elektrárne vysoké, treba si uvedomiť, že ide o definitívnu investíciu s prakticky minimálnou údržbou a v neposlednom rade ekologickým charakterom. Keďže sa pri každej práci musí dbať na bezpečnosť človeka a jeho okolia – v rámci práce je zahrnutá aj revízna činnosť a bezpečnosť elektrických zariadení aby pri zaobchádzaní a činnosti neprišlo k úrazu osôb či škôd na majetku.

1 SLNKO, SLNEČNÉ ŽIARENIE

1.1 Zdroj fotovoltickej výroby energie – Slnko

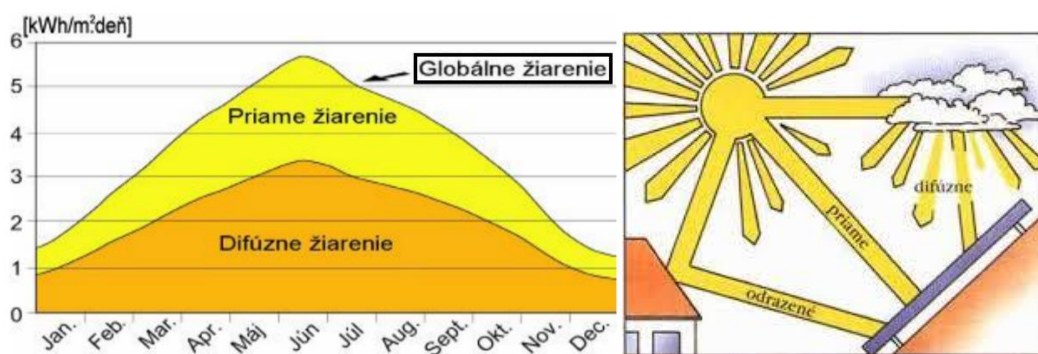
Energia Slnka je nevyhnutná pre život na Zemi a je tiež základným zdrojom výroby elektrickej energie vďaka fotovoltickej premene. Energia vyžarovaná z povrchu Slnka sa uvoľňuje v jeho jadre, v ktorom prebieha za vysokej teploty a tlaku jaderná syntéza vodíku za jeho vzniku jadier hélia. Energia sa pri takejto syntéze uvoľňuje vo forme kinetickej energie vzniknutých častíc a v žiarení gamma. Žiarenie gamma predstavuje krátkovlnné žiarenie. Energia sa na povrch Slnka dostáva konvekciou a vedením. Jeho žiarenie patrí medzi najčistejšie zdroje energie na Zemi. Slnko žiari v rozsahu vlnových dĺžok odpovedajúcich teplote povrchu Slnka 5770 K. Nachádza sa od nás vo vzdialenosti s rozpätím 147-152 miliónov kilometrov. Svetlu trvá približne 8,33 minúty kým sa dostane na Zem. Predpokladaná existencia Slnka sa odhaduje na ďalších 5 miliárd rokov. [2]

1.2 Slnečné žiarenie

Dôležitý faktom je, že nie všetko vyžarujúce slnečné žiarenie zo Slnka dopadá na Zem. Vysoká časť žiarenia je pohltená zemským povrchom, je spotrebovaná k odpareniu vody v oceánoch či odrazená od mrakov a atmosféry. Reálny žiarivý výkon Slnka, ktorý dopadne na Zem dosahuje asi polovicu z celkového vyžiareného výkonu. Teoretické množstvo žiarivého toku, ktoré dopadne na Zemský povrch za jednotku času na jednotkovú plochu je : $I_0 = 1366 \text{ W.m}^{-2}$. Ide o slnečnú konštantu.

Teoretické množstvo energie dopadajúce na oslnenú plochu za deň je závislé na sklone kolektoru α a súčiniteľu znečistenia Z . Hodnoty sklonu nie sú konštantné v priebehu roku, ale menia sa v závislosti na období. V letnom období je optimálny náklon 30 až 45 stupňov a v zimnom období je optimálny náklon 60 až 90 stupňov. Slnečné žiarenie, ktoré nám dopadá na Zemský povrch môžeme rozdeliť do dvoch skupín : priame slnečné žiarenie (I_p) a difúzne slnečné žiarenie (I_d).

Súčet priameho a nepriameho žiarenia nám dáva celkové globálne žiarenie. [2][3]



Obrázok 1: Grafické znázornenie dopadajúceho slnečného žiarenia [3]

Z obrázku č.1 je zrejmé, že v zimných mesiacoch december a január je hodnota rozptýleného difúzneho žiarenia najvyššia a naopak v letných mesiacoch jún a júl je pri jasnej oblohe táto hodnota najnižšia.

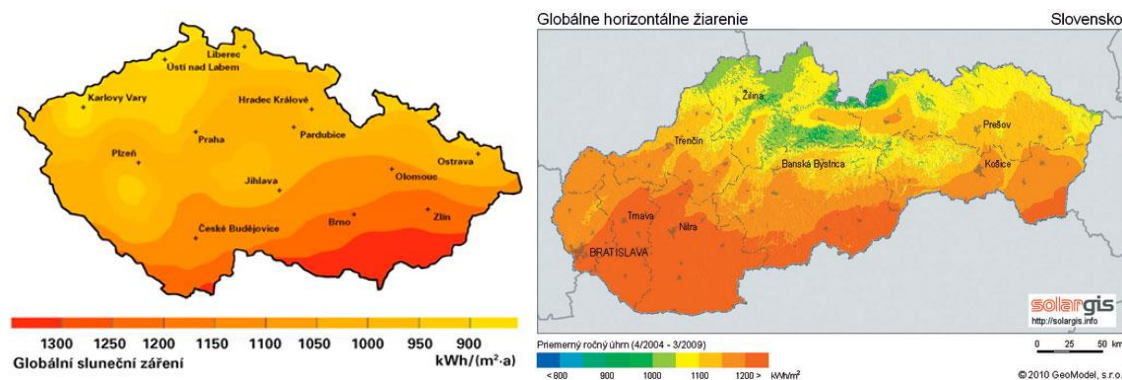
1.2.1 Priame slnečné žiarenie - I_p

Ide o slnečné žiarenie ktoré sa dostane na Zemský povrch cez atmosféru bez zmeny smeru. Reprezentuje vlastne zväzok paralelných slnečných paprskov prichádzajúcich priamo zo Slnka a jeho charakteristickým znakom je, že osvetlené predmety týmto žiarením vytvárajú ostré tieň. [3]

1.2.2 Difúzne slnečné žiarenie - Id

Ide o slnečné žiarenie, ktoré dopadá na Zemský povrch cez atmosféru rozptýlené v dôsledku oblakov a aktuálnym atmosférickým podmienkam. Prichádza z rôznych smerov. Podiel difúzneho žiarenia stúpa úmERE so zvyšujúcim sa podielom súčiniteľom znečistenia Z. [3]

1.2.3 Priemerné slnečné žiarenie na území ČR a SR



Obrázok 2: Grafické zobrazenie slnečného žiarenia v ČR a SR [17]

Z obrázku vyjadrujúceho priemerné hodnoty žiarenia na území ČR môžeme označiť juho-východnú časť ČR s najväčším predpokladom využitia fotovoltaiiky. Ide o Juhomoravský kraj, kde hodnota dopadajúceho slnečného žiarenia za rok môže dosiahnuť až 1300kWh na meter štvorcový.

Z obrázku vyjadrujúceho priemerné hodnoty žiarenia na území SR môžeme označiť juho-západnú časť a celkovo juh krajiny s najväčším predpokladom využitia fotovoltaiiky. Ide hlavne o Bratislavský a Nitriansky kraj, kde hodnota dopadajúceho slnečného žiarenia za rok môže dosiahnuť až viac ako 1250kWh na meter štvorcový. [17]

2 FOTOVOLTIKA

2.1 Význam slova a úvod k fotovoltaike

Pojem fotovoltaika sa skladá z dvoch slov: foto (svetlo) a volt (jednotka elektrického napätia). [1] Fotovoltaika je technický obor, ktorý sa zaoberá premenou energie slnečného žiarenia na energiu elektrickú. Na zemský povrch zo Slnka dopadá slnečné žiarenie s výkonom priemerne 1000 W/m^2 . [1] Fotovoltaika v súčasnosti napredaje vo všetkých smeroch a keďže ide o obnoviteľný a ekologický zdroj energie, rozvíjajú sa i rôzne dotácie a podpory pre jej rozvoj.

2.2 Dôležité roky z dejín fotovoltaiky

1839 - Francúzsky experimentálny fyzik Edmund Becquerel prišiel vo svojom laboratóriu k prvému fotovoltaickému efektu v histórii ľudstva. Stalo sa tak pri pokusoch s dvoma elektródami, ktoré boli umiestnené v elektroodivom roztoku. Pri osvetlení zariadenia vzrástlo na elektródach el.napätie.
1876 - William Grylls Adams a jeho žiak Richard Evans Day objavili prvý fotovoltaický článok vytvorený na PN prechode medzi selenom a platinou
1905 – Albert Einstein teoreticky opísal fyzikálny princíp fotoelektrického javu. Z jeho vysvetlenia vyplýva, že energia uvoľneného elektrónu závisí len na energii fotónov a počet elektrónov na počte fotónov. V roku 1921 získal Einstein Nobelovu cenu za vysvetlenie fotoelektrického javu a zásluhy v oblasti teoretickej fyziky.
1916 – Americký experimentálny fyzik Roberts Andrew Milikans experimentálne potvrdil Einsteinovu hypotézu. Za paradox môžeme označiť skutočnosť, že údajne pôvodný plán Milika bolo vyvrátenie Einsteinovej analýzy.
1918 – Poľský vedec Czochralský objavil možný spôsob rastu monokryštálu kremíku.
1940 – Americký vynálezca Russel Ohl vynášiel kremíkový solárny článok.
1954 – Chapin, Fuller a Pearson zhotovili kremíkové solárne články s účinnosťou 6%, neskôr 14%. [1]

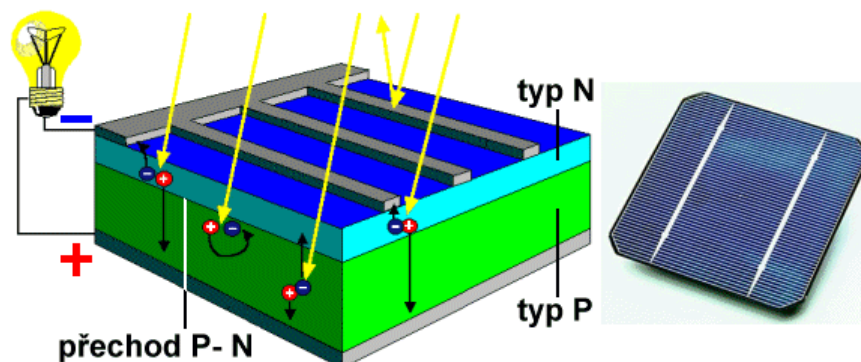
2.3 Fotovoltaika na Slovensku a Česku

Momentálne najväčšia FVE na území ČR je FVE Ralsko RA1 v obci Ralsko, ktorá sa nachádza v Libereckom kraji. Táto FVE s inštalovaným výkonom 38,3MW vyrobí ročne priemerne 40GWh. Celkový podiel výroby FVE v ČR však dosahuje stále len necelé 3%, hoci jej výstavba a využiteľnosť sa stále rozširuje. Podiel na jej rozvoji majú aj štátne dotácie a podpory. Celkový inštalovaný výkon fotovoltaických elektrární na území SR v roku 2012 dosahoval hodnotu 512MW s ročnou vyrobenou priemernou energiou 310 GWh. Toto množstvo energie pokryje približne 1,1% z celkovej spotreby Slovenska. V porovnaní s ČR sú na Slovensku pre FVE o niečo horšie podmienky, no zo všeobecného hľadiska sú stále veľmi priaznivé. Pre obe krajiny sú podmienky a predpoklady na výrobu energie z fotovoltaiky veľmi priaznivé. [17]

2.4 Podstata, fotovoltaický článok

Fotovoltaický článok je v podstate polovodičová dioda, ktorej základ tvorí kremíková doštička s vodivosťou typu P. Ide o veľmi tenkú doštičku – na ktorej sa pri výrobe vytvorí ďalšia tenká vrstva polovodiča typu N. Tzv. prechod PN oddeľuje tieto vrstvy medzi sebou navzájom. Ďalší pojmom je vnútorný fotoelektrický jav, ktorý vzniká v polovodiči po dopade slnečného žiarenia (po osvetlení článku). Následkom tohto javu sa v polovodiči z kryštálovej mriežky začnú uvoľňovať záporné elektróny. Na PN prechode sa vytvorí el. napätie. Na svorkách FV článku pri jeho maximálnom výkone vieme namerať hodnotu napätia 0,5V a pretekajúci prúd 3A. Keďže je toto napätie pre využitie veľmi nízke, jednotlivé články sa navzájom prepojujú sériovo/paralelne pre zvyšovanie napätie a

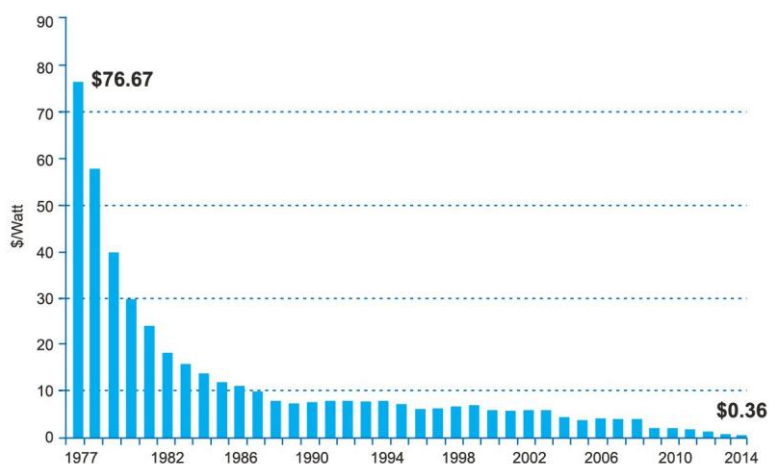
prúdu. Po pripojení článku pomocou vodičov k spotrebiču sa začnú kladné a záporné náboje vyrovnávať čoho následkom začne pretekať el. obvodom el. prúd. El. prúd je úmerný veľkosti ožarovanej plochy článku. [4]



Obrázok 3: Princíp FV článku [4]

2.4.1 Skladba a výroba fotovoltaických článkov

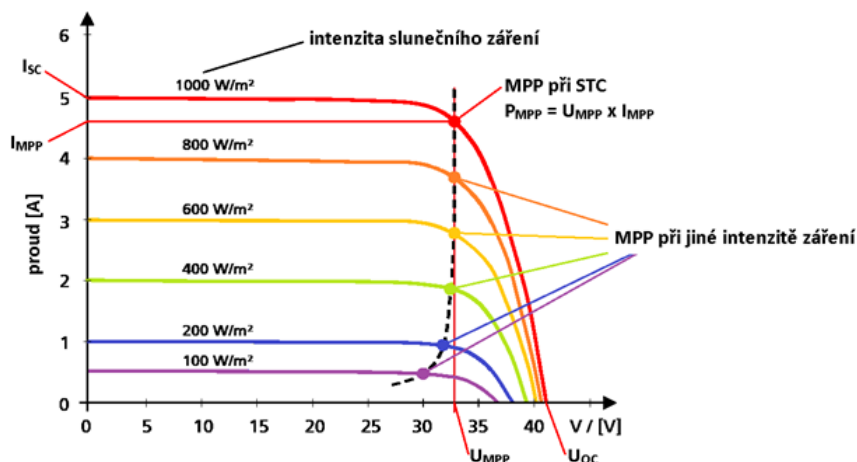
V roku 1954 nastalo prvé komerčné uvedenie FV kremíkového článku na svete. Pre rozhodovanie o vhodnosti vyvinutých technológií pre výrobu FV článkov je najdôležitejší parameter cena FV článku za jeden Watt. Okrem ceny sú rozhodujúce faktory pre výber vhodnej technológie i účinnosť a stabilita elektrických parametrov. Ako dosiahnuť práve zníženie výrobnéj ceny skúmali výskumné a vývojové pracoviská po celom svete. Zistilo sa, že výrobné ceny dosiahneme využitím nových základných materiálov, zvýšením účinnosti a lacnejšími technologickými postupmi. Najvhodnejší prvok pre výrobu fotovoltaických článkov, ktorý je rozhodne v súčasnosti najviac využívaný je kryštalický kremík, vďaka výhodným fyzikálnym a technologickým vlastnostiam a tiež vďaka faktu, že kremík je druhým najčastejšie sa vyskytujúcim prvkom na Zemi (až 30%). Technológia spracovania kremíku je dobre zvládnutá. Základom je čistý kremičitý piesok. Technologický postup je však energeticky náročný a zložitý. Surový kremík sa vyrába z piesku redukciou uhlíkom. Dej prebieha v oblúkovej peci, v ktorej dochádza k celému reťazcu chemických reakcií. Výsledkom je polykryštalický kremík o veľmi vysokej čistote. [5]



Obrázok 4: Vývoj ceny kremíkových FV článkov [14]

2.4.2 VA charakteristika FV článku

Volt-Ampérová charakteristika nám udáva základnú informáciu o činnosti FV článku.



Obrázok 5: VA char. FV článku pri rôznej intenzite ožarovania [6]

Vysvetlenie jednotlivých veličín vo VA charakteristike:

U_{OC} (V) maximálne napätie (pri chode naprázdno – bez záťaže)

Hodnota U_{OC} je maximálne napätie merané pri danej teplote a intenzite osvetlenia bez záťaže.

I_{SC} (A) maximálny prúd (skratový prúd)

Hodnota I_{SC} udáva maximálny prúd pri danom osvetlení a nulovom napätí. Za predpokladu, že sériový odpor je nulový – skratový prúd bude rovný prúdu generovanému svetlom.

U_{MPP} (V) napätie pri menovitom výkone

I_{MPP} (A) prúd pri menovitom výkone

P_{MPP} (W) menovitý výkon panelu

Výpočet menovitého výkonu FV panelu: $P_{MPP} = U_{MPP} * I_{MPP}$ (W)

Výkon solárneho článku sa určuje ako súčin prúdu a napätia. [6]

Výpočet účinnosti FV článku: $\eta = \frac{U_{MPP} * I_{MPP}}{P_{IN}}$ (%)

Účinnosť FV článku je definovaná ako podiel maximálneho výkonu článku v bode MPP a výkonu dopadajúceho slnečného žiarenia P_{IN} . [6]

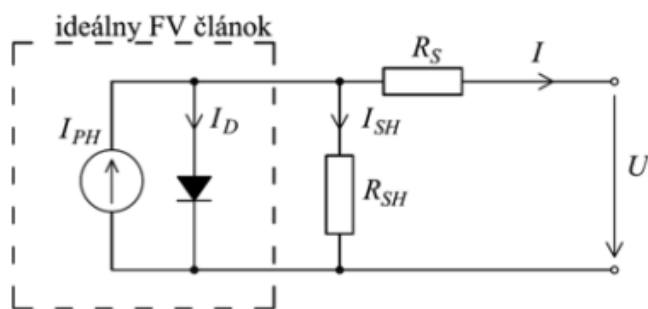
Teplotný koeficient výkonu udáva zmenu výkonu panelu pri zmene teploty o 1°C. Pokles výkonu kryštalickej panelov je obvykle 0,4% /1°C. [6]

Okrem účinnosti je dôležitým parametrom aj Faktor plnenia FF, ktorý je dôležitý z hľadiska energetického výnosu FV článku. [6]

Vzorec pre výpočet faktoru plnenia : $FF = \frac{I_{MPP} * U_{MPP}}{I_{SC} * U_{OC}}$ (-)

Pre riešený FVS: $FF = \frac{8,74 * 37,2}{9,15 * 45,8} = 0,78$ (-)

2.4.3 Náhradná schéma FV článku



Obrázok 6: Náhradná schéma FV článku [7]

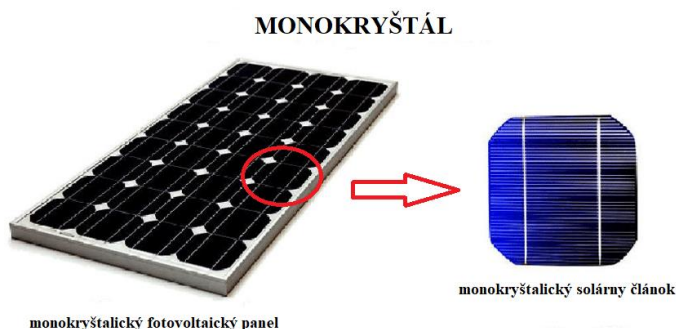
Shockleyho rovnica je základným podkladom a princípom pre vytvorenie náhradnej schémy FV článku. V náhradnej schéme sa nachádza prúdový zdroj, ideálna dióda, paralelný odpor a sériový odpor. Paralelný odpor vyjadruje rozptylový prúd a sériový odpor vyjadruje vnútorný odpor. Pre ideálny fotovoltaický článok neexistujú sériové ani paralelné straty a teda nedochádza ani k úbytku napätia voči zemi. Fotoprúd I_{PH} z veľkej časti závisí od intenzity žiarenia a od teploty pri ktorej solárny článok pracuje. Tento prúd I_{PH} vzniká na PN prechode o hustote J_{PH} po ožiarení plochy A . Oblasť typu P sa nabíja kladne a oblasť typu N sa nabíja záporne. Prechod PN je polarizovaný priepustne a z tohto dôvodu tečie časť generovaného prúdu späť diódou. Výstupné napätie fotovoltaického článku je nižšie ako napätie na dióde o úbytok napätia na sériovom odpore R_S . [7]

2.5 Druhy FV článkov

Najčastejšie sa stretávame s 3 druhmi FV článkov: a) monokryštalické, b) polykryštalické, c) amorfné.

a) Monokryštalické solárne články

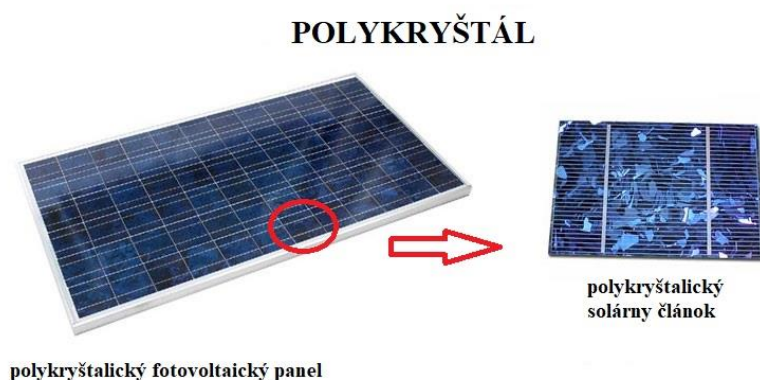
Vyrábajú sa z monokryštalického kremíku. Skladajú sa z jediného kryštálu s pravidelnou mriežkou. Ide o najprepracovateľnejší, najpoužívateľnejší, ale zároveň i typ s najväčšími výrobnými nákladmi. Výroba monokryštalického kremíku prebieha tzv. Czochralského metódou. Metóda je založená na princípe ponorenia zárodka kremíku do vysoko čistej taveniny. Gul'atá kremíková monokryštalická tyč o priemere 30cm a s dĺžkou niekoľko metrov sa pomaly vyťahuje pri pomalom otáčaní. Pri teplote 1400°C je v kotli tavený kremík. Gul'atá tyč sa následne rozreže na štvorcový prierez a na tenké 0,3mm tenké doštičky. Na doštičky sa nanáša antireflexná a kontaktná vrstva. Antireflexná vrstva má za úlohu využiť čo najviac dopadajúceho slnečného žiarenia. Hoci s nimi vieme v laboratóriu dosiahnuť účinnosť premeny 24%, v praxi sa účinnosť zníži na 15 až 17%. Solárny článok z monokryštalického kremíku je charakteristický svojimi zaguľatenými rohmi. Z dôvodu zloženia monokryštalického FV článku z jediného kryštálu je povrch modrý až čierny. [8]



Obrázok 7: Monokryštalický FV panel/článok [8]

b) Polykryštalické solárne články

Polykryštalické solárne články sú druhý najvyužívanejší typ po monokryštalických solárnych článkoch tvorené vysokým počtom kryštálov. Články sú štvorcového tvaru s dĺžkou hrany 100, 125, 150, 156 a 210 mm. Vyrábajú sa Siemensovou metódou alebo metódou blokového liatia. Kremík je vo vákuu zahriaty na teplotu 1500°C a následne je v grafitovom kremíku ochladzovaný až do bodu tavenia. Môžeme ich označiť za paralelné spojenie mnoho monokryštalických solárnych článkov. Články sú menej citlivé na tienenie, vplyv a zmeny teploty čím umožňujú vyššie spektrálne využitie slnečného žiarenia. Týmto spôsobom sa vytvárajú polykryštalické kremíkové bloky, ktoré sú následne rozrezané na tyče a neskôr doštičky. Výhodou týchto solárnych článkov je vznik nižšieho množstva výrobného odpadu a nižšie výrobné náklady (sú lacnejšie) oproti monokryštalickým, avšak nevýhodou je zase ich nižšia účinnosť (13 až 16%). [8]



Obrázok 8: Polykryštalický FV panel/článok [8]

c) Amorfné solárne články

Amorfné solárne články patria do skupiny tenkovrstvových solárnych článkov. Sú vyrobené z amorfného kremíku, pričom sú jeho atómy usporiadané náhodne (na sklenený substrát je naparený kremík). Využitie majú hlavne v oblasti malých výkonov alebo tiež v systémoch zabudovaných budov namiesto presklených plôch. Hlavný rozdiel pri výrobe od kryštalických materiálov je ten, že nie sú vyrábané jednotlivé články zvlášť, ale celé moduly naraz. Nevýhodou týchto solárnych článkov je nedostatečná dlhodobá stabilita a tiež nižšia účinnosť. Ak by sa podaril vyriešiť problém so stabilitou parametrov, význam tenkovrstvových fotovoltaických článkov by rýchlo vzrástla. Účinnosť premeny energie dosahuje v laboratóriu cez 10%, avšak v praxi iba 2 až 7%. Tieto tenkovrstvové články sú hrubé len niekoľko μm a spotrebujú menej základného materiálu (oproti klasickým solárnym článkom, ktoré majú hrúbku 0,2 až 0,3mm). Ich výhodou je možnosť ich nanášania na ohybnú fóliu, ktorá umožňuje prispôbenie sa tvaru pokladaného povrchu. [8]

AMORFNÝ FOTOVOLTAICKÝ PANEL/ČLÁNOK



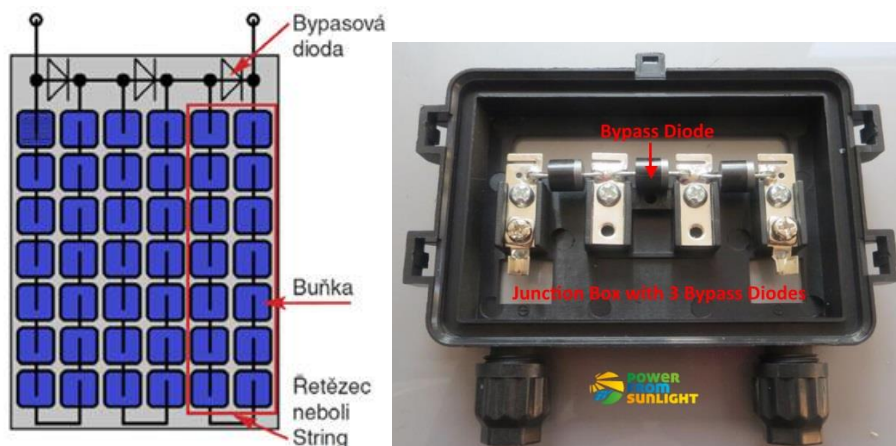
Obrázok 9: Amorfný FV panel/článok [8]

Fotovoltaický modul

Solárny modul tvorí spravidla niekoľko solárnych článkov dohromady, ktoré premieňajú dopadajúce slnečné žiarenie na elektrický výkon. Robí sa to pre jednoduchšiu manipuláciu so solárnymi článkami, kôli ochrane pred vplyvmi okolia a tiež za účelom získania vyššieho napätia. Priemerná účinnosť panelov je 17% čo znamená že zvyšných 83% žiarenia je premeneného na teplo. Nesprávne pripojený solárny modul premieňa všetko dopadajúce žiarenie na teplo a z tohto dôvodu je teplejší. [9]

Dióda By-pass

Fotovoltaický modul sa skladá z jednotlivých buniek, ktoré sú spravidla zapojené v sérii. Horná mriežková elektróda je záporná a dolná celokovová elektróda je kladná. Každá bunka by mala v uzavretom el. obvode vyrábať rovnaké množstvo el.prúdu. Pokiaľ má však nejaká bunka výrobnú vadu alebo je zatienená – je automaticky o niečo slabšia a dochádza k jej prepólovaniu. Tento jav má za následok prijatie časti energie ostatnými okolitými bunkami, ktoré sú v sérii. Tým môže dôjsť k jej nebezpečnému prehriatiu čím jej automaticky klesá životnosť a el. prúd jej zvyšuje záverné napätie. Za určitých okolností môže byť až zničená. Tomuto negatívne vplyvu (kladnej spätnej väzby) však vieme zabrániť premost'ovacími diódami By-pass, ktoré pripojíme vždy cez určitý počet článkov (väčšinou 1 string). Pokiaľ má 1 string nižší prúd než ostatní, diódou sa prevedie prebytočný prúd. [9]



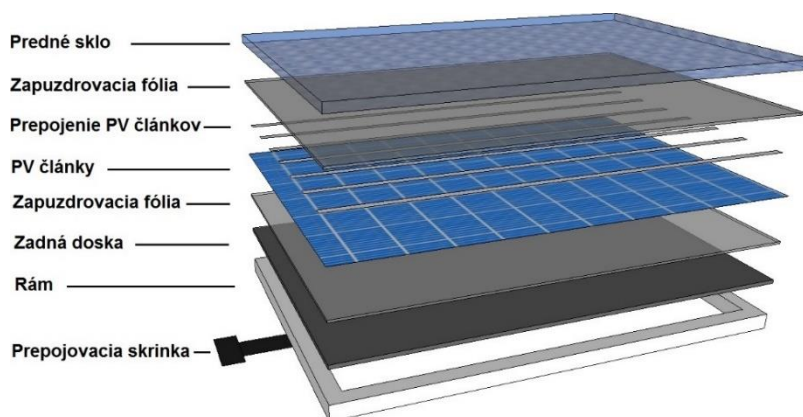
Obrázok 10: Dióda By-pass pri zatienenom FVčlánku a ich ukážka v RS [9] [10]

Ak nastane situácia, že bude článok zatienený – prúd začne pretekať spomínanou diódou a tým sa náš článok nezničí. Niektorí výrobcovia dokonca tieto diódy zabudovávajú už priamo do svojich výrobkov. Schottkyho dióda je takisto výhodná, keďže má malý úbytok napätia. Solárne články (bunky) môžeme zapojovať buď do série, paralelne alebo kombinovane. Články s rovnakými vlastnosťami zapojujeme do série, ich napätia sa sčítajú a výstupný prúd bude odpovedať prúdu jedného článku. Paralelné zapojenie má napätie jedného článku a prúdy článkov sa sčítajú. Pre väčšie výkony sa spravidla používa zapojenie do série, alebo paralelne. [11]

2.6 Fotovoltaické panely

Fotovoltaický panel je základná samostatná výrobná jednotka pre fotovoltaický systém. Najčastejšie sa skladá zo 60 alebo 72 fotovoltaických článkov. Napätie v bode maximálneho výkonu sa pohybuje v hodnotách 30 až 36V. V závislosti od celkovej plochy FV článkov (veľkosti panelov) sa odvíja hodnota maximálneho výkonu. FV panely musia byť odolné voči námrazám, krupám i zlým poveternostným podmienkam. Najbežnejšia konštrukcia FV panelu sa skladá z predného skla, zapúzdrovacej fólie, FV článkov, zadnej dosky, rámu a prepojovacej skrinky – vid' obrázok č.11

FV je možné umiestniť prakticky kamkoľvek – na strechu, fasádu, balkóny či voľné priestranstvo. Ideálnym smerom je natočenie panelu na juh až juhozápad a je samozrejme potrebné počítať s variabilitou svitu – iný je výkon v prípade svitu slnka zo strany v porovnaní s priamym svitom okolo obeda. Ideálny sklon FV panelu na území ČR a SR je 35°. Treba si tiež uvedomiť, že extrémne hodnoty slnečného žiarenia nemusia nevyhnutne znamenať extrémny výnos energie. Tými najlepšimi regiónmi sú skôr vnútrozemské oblasti s vysokou intenzitou slnečného žiarenia a súčasne nízkou teplotou – Čile, Mongolsko a Tibet. [21]



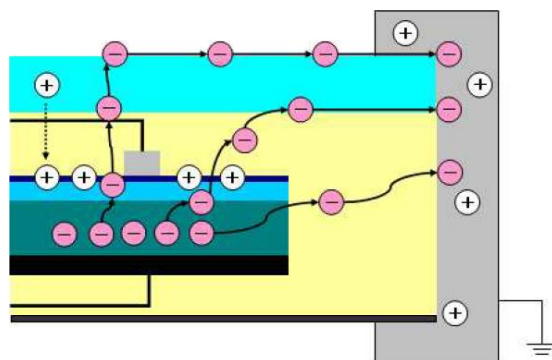
Obrázok 11: Najčastejšia konštrukcia FV panelu [12]

2.7 Životnosť, degradácia a závady na FV článkoch/paneloch

Životnosť FV panelov udávajú výrobcovia v priemere na 25 rokov, pričom uvádzajú pokles ich účinnosti každý rok zhruba o 0,8%. To znamená pokles účinnosti za 10 rokov o hodnotu 8% na 92% menovitého výkonu a po 25 rokoch o 20% na hodnotu 80% menovitého výkonu. Táto technológia je tiež vystavená rôznym defektom, starnutiu a iným javom. Zníženie výkonu FVE môžu spôsobiť aj poškodenia počas prepravy, počas inštalácie, počas prevádzky či zmeny prostredia. [22]

a) Vysokonapäťový stres – PID

Potenciálna indukovaná degradácia je málo známy fyzikálny jav ktorý spôsobuje zdanlivo nevysvetliteľný pokles výkonu FV panelov. Je ovplyvnení faktormi ako teplo, vlhkosť a vysoký rozdiel napätia v stringu. Tento jav sa väčšinou začína prejavovať po 3 rokoch prevádzky FVE a spôsobuje pokles v priemere o 70% zasiahnutého panelu a pokles 10% celkového inštalovaného výkonu FVE. Ide vlastne o medzivrstvovú polarizáciu, ktorá súvisí s rozdielom potenciálov voči zemi. Jav PID sa začne prejavovať najskôr u posledného zapojeného FV panelu na zápornom konci stringu. Tu je totiž potenciál (napätie voči zemi) FV článku podľa počtu zapojených panelov v stringu najvyššie – väčšinou 250V až 450V. Keďže z bezpečnostných dôvodov musí byť rám panelu uzemnený – jeho potenciál je 0V a z dôvodu el. napätia medzi FV článkami a rámom môžu vznikáť nežiaduce vzdušné prúdy čím sa zmení aj charakteristická krivka článkov a pokles výstupného výkonu. Mobilita iónov a tým i degradačný efekt PID urýchľuje vysoká teplota, vysoká vlhkosť a vysoký potenciál – naopak regenerácii napomáha nízka teplota a nízka vlhkosť. Našťastie pre majiteľov FV systémov sa jav PID nevyskytuje u všetkých typov modulov a dnes už existujú testy k určeniu či ide o moduly na PID rezistentné alebo citlivé. [13]



Obrázok 12: Migrujúce negatívne ióny od polovodičov a migrujúce pozitívne ióny z obalu skla [13]

b) Chybné pripojenie časti modulu

Pri tomto type chyby sa prejavuje zlý kontakt vo vnútri FV modulu, kedy je jeden string modulu vplyvom zlého vnútorného prepojenia odpojený. Ide o chybu vo výrobe.

Všetko absorbované slnečné žiarenie sa v tomto stringu mení na teplo a preto je teplejší než zbytok panelu. Vďaka termokamere vieme tento teplotný rozdiel veľmi ľahko zbadat'. Vyrobený prúd od susedných FV modulov a zvyšku modulu prechádza By-passovou diódou, ktorá sa zahrieva. Funkcia panelu však vplyvom tohto 1 stringu nie je ohrozená. [9]

c) Zlá bunka FV panelu

Pri tomto type chyby sa prejavuje znížený výkon len jednej z buniek. Ide o výrobnú chybu. Pokiaľ sú By-passové diódy zapojené cez celý modul a nie na viaceré stringy v module, zlá bunka je namáhaná vysokým záverným napätím celého modulu čo môže viesť až k požiaru, poškodenia FV modulu či dokonca úrazu el. prúdom. [9]

d) Zatienenie FV panelu

Pri tomto type chyby sa prejavuje znížený výkon jednej bunky z dôvodu zakrytia danej bunky (tienenie). V takejto situácii dochádza k prepólovaniu danej bunky pričom sa zahrieva a stáva sa spotrebičom. Prúd takéhoto stringu je rovný prúdu, ktorý vyrába táto zatienená bunka. Výkon a životnosť danej FV bunky sa znižuje so vzrastajúcou teplotou. [9]

e) Prechodové odpory na el. inštaláciách vo FV systéme

Pri tomto type chyby sa prejavuje zvýšená teplota a tým i zvýšený el. odpor v elektrických inštaláciách, ktoré vieme jednoducho odhaliť termokamerou. Zvýšená produkcia tepla v mieste el. spoja je spôsobená prechodovým odporom. Prechodový odpor môže spôsobiť i požiar. Včasným a rýchlym odhalením môžeme predísť stratám. [9]

a) Horúce miesta (Hot-spots)

Horúce miesta vznikajú v miestach defektov kryštalickej mriežky FV článkov. Ide o veľmi častý defekt FV panelov, ktorého dôsledkom je nadmerné produkovanie tepla. Kritická hodnota teploty ktorý môže viesť až k deštrukcii FV článku a tým i celého FV panelu je 50 °C. Vznik horúcich miest vieme spozorovať napríklad jednoduchým pohmatom rukou, termokamerou či elektroluminiscenciou. [15]

f) Vyhorenie By-passovej diódy

Diódy By-pass majú hlavné využitie v prípade, pokiaľ sú niektoré FV články zatienené. V prípade zatienenia jedného článku FV panelu môže dôjsť k situácii, kedy sa tento článok prestane chovať ako

generátor el.prúdu, ale naopak – ako spotrebič el.prúdu. V takejto situácii prichádza k jeho prehrievaniu. To môže mať za dôsledok až jeho zničenie. Poškodenie By-passových diód ovplyvňuje parametre FV panelu ako sú životnosť i výkon a ich poškodenia predstavujú problém. [15]

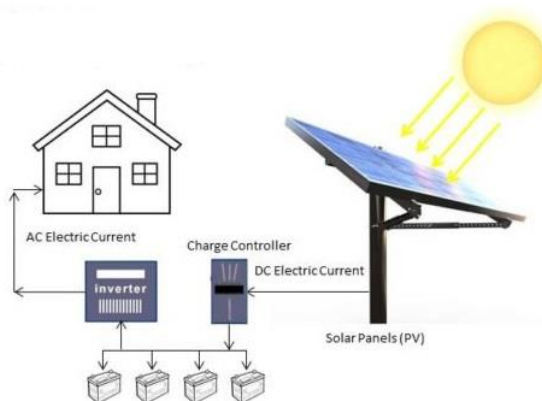
Pre predĺženie životnosti FV panelov sa odporúča:

- Uistiť sa, že má solárny panel plný prístup k svetlu
- Odstrániť všetky časti ktoré blokujú slnečné svetlo
- Udržovať solárne panely čisté bez prachu, špiny, piesku a peľu
- V zimnom období odstraňovať mráz a sneh z panelov [22]

Pojem FV pole tvorí viacero FV panelov, ktoré sú vzájomne mechanicky a elektricky komplet prepojené a tiež ostatných dôležitých komponentov, ktoré tvoria zdroj jednosmerného napätia. Pojem FV systém znamená celok – všetky komponenty a prvky FVE. [22]

2.8 FV systémy GRID OFF

Ide o autonómne systémy (ostrovné), ktoré sa budujú spravidla na miestach, kde nie je výhodné budovať elektrickú prípojku. Máme na mysli miesta hlavne v prírode či na horách, kde sa nenachádzajú rozvodné siete, resp. sú veľmi neobvyklými, prípadne sa nachádzajú viac ako 500 metrov od nášho objektu. Hovoríme o horských chatách, rekreačných objektoch, telekomunikačných zariadeniach či samotách. Výkony týchto systémov sa pohybujú v rozmedzí 10Wp až 10kWp. V Európe sú rozšírené najmä vo Francúzsku, Španielsku či Švajčiarsku. Pri týchto systémoch je kladený dôraz na používanie energeticky úsporných spotrebičov a na minimálne straty energie. [11]



Obrázok 13: Príklad systému Grid off [16]

a) GRID OFF s priamym napájaním

Ide o ostrovný systém bez akumulácie el. energie. Typickým príkladom je rodinná chata v prírode, ktorá nemá zabudovanú prípojku na privod el.energiu. Môže ísť o chatu, na ktorú si rodina zájde cez víkend len v prípade priaznivého počasia. Ide o jednoduché prepojenie fotovoltického panelu a spotrebiča, kde spotrebič funguje iba počas doby dostatočnej intenzity slnečného žiarenia. [11] [16]

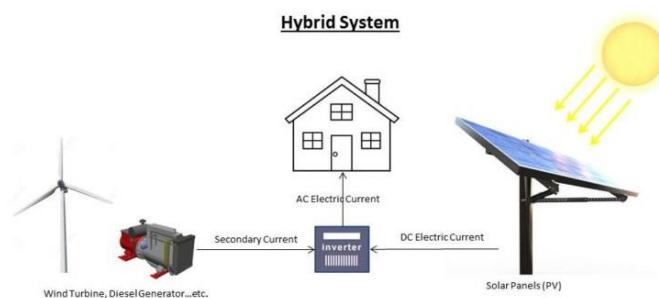
b) GRID OFF s akumuláciou el. energie

V predošlom type systému, sme mohli využívať elektrickú energiu iba v prípade priaznivého počasia, no s týmto typom systému môžeme využívať elektrické zariadenia i v počasí nepriaznivom, kedy práve el.energiu nebude možné vyrábať – keďže si budeme elektrickú energiu uskladňovať do akumulátorov. Z tohto dôvodu sú akumulátorové batérie najdôležitejším prvkom tohto typu systému. Systém bol vymyslený preto, lebo najväčšia spotreba energie nie je väčšinou totožná s dobou počas

ktorej je k dispozícii energia zo solárnych panelov. Pre optimálny chod systému je zaistený solárny regulátor. [11] [16]

c) GRID OFF hybridný systém

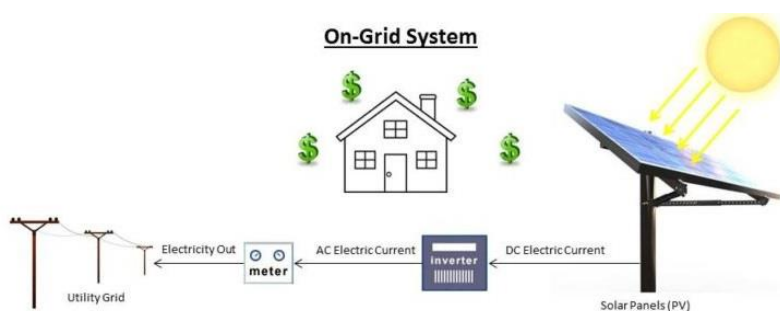
Ide o systém, ktorý pozostáva i z výroby iných OZE. Keďže v zimných mesiacoch vieme získať z FV panelov omnoho menej energie ako v letných mesiacoch, musíme myslieť a dimenzovať ich na zimnú prevádzku a to hlavne na miestach, kde je nutná prevádzka celoročná a kde je občas používané i zariadenie s vysokým príkonom. Môže ísť napríklad o zdroje ako veterný generátor, spaľovací generátor, elektrocentrála, kogeneračná jednotka či malá vodná elektrárňa. [11] [16]



Obrázok 14: Príklad hybridného systému grid off [16]

2.9 FV systémy GRID ON

Ide o systémy, ktoré sa používajú hlavne v krajinách s plne rozvinutou elektrickou rozvodnou sieťou a v oblastiach s hustou sieťou elektrických rozvodov obecne. Sú priamo prepojené na el. sieť, čo im umožňuje dodávať energiu priamo do elektrizačnej siete cez elektromer v prípade prebytku elektrickej energie a v prípade nedostatku elektrickej energie ju z nej odoberať. Systém funguje automaticky. [11] [16]



Obrázok 15: Príklad systému Grid on [16]

a) GRID ON - spotrebiteľský systém

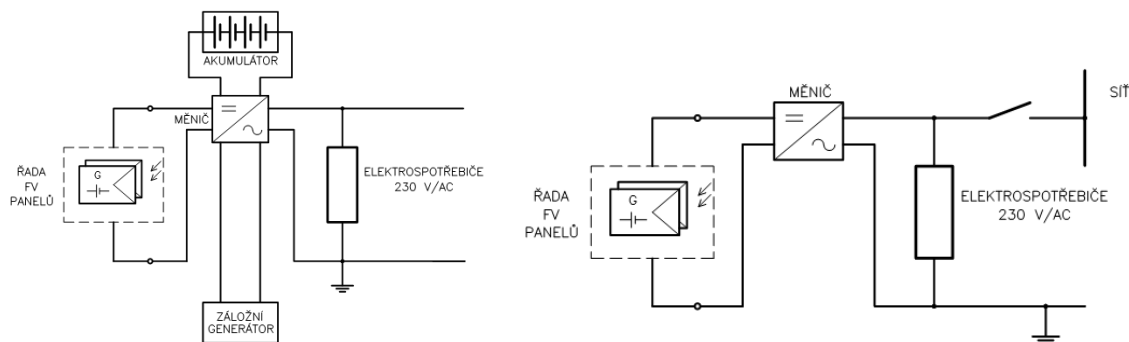
Tento systém je určený predovšetkým pre výrobu elektrickej energie pre svoju vlastnú spotrebu. Prebytok energie je však možné dodávať do verejnej distribučnej siete. [11]

b) GRID ON - distribučný systém

Tento systém je určený predovšetkým pre dodávanie elektrickej energie do verejnej distribučnej siete. Väčšina vlastníkov sú dodávatelia energie so zariadením, ktoré do siete dodáva väčšie výkony. Súčasťou tohto systému je odbočka pre vlastnú spotrebu. [11]

c) GRID ON – hybridný systém

Hybridný systém GRID ON je kombináciou autonómneho systému, ktorý je bez pripojenia na sieť a spotrebiteľského systému, ktorý dodáva energiu do siete len v prípade prebytku. Je konštruovaný tak aby bolo možné spotrebovať úplne všetku energiu ktorú vieme vyrobiť z FV panelov. Prioritne z vyrobenej energie nabíjajú akumulátory, po plnom nabití akumulátorov dochádza k prenosu energie do prioritných spotrebičov a následne sa môže dodať prebytok energie do siete. [21]



Obrázok 16: Schéma hybridného systému grid off s akumuláciou / Schéma systému grid on [30]

Podľa inštalovaného výkonu delíme FV systémy na :

- Systémy do 100kWp (malé meniče 1,5-8kW)
- Veľké systémy nad 100kWp (centrálne meniče 40-1000kW)
-

Podľa nosnej konštrukcie delíme FV systémy na:

- Pevné systémy
- Natáčacie systémy (jednoosé, dvojosé) [11]

2.10 Invertory

Meniče nám slúžia na zmenu zo vstupného jednosmerného napätia z FV panelov na výstupné striedavé napätie elektrorozvodnej siete, ktoré možno regulovať. Ide o elektronický prístroj, ktorý je po FV paneloch najdôležitejším prvkom FV systému. Skladá sa z elektronicky výkonných tranzistorov, pomocou ktorých sa prúd za sekundu zapne a vypne až 20 000x. Najdôležitejším parametrom invertoru je jeho účinnosť – tá sa pohybuje v rozmedzí 90-98%. Vysoká maximálna účinnosť však automaticky negarantuje vysoké energetické výnosy. Maximálnu účinnosť dosiahne striedač za predpokladu optimálnych podmienok. Optimálne podmienky sú spravidla menovité jednosmerné napätie a stredné hodnoty striedavého výkonu. Okrem maximálnej účinnosti sa v praxi stretávame aj s pojmom európska účinnosť. Ide o účinnosť, ktorá je meraná pri meniacich sa klimatických podmienkach. Funkcia v striedači obstarávajúca zaistenie optimálne chodu striedača sa nazýva MPP Tracker. Beztransformátorové striedače väčšinou dosahujú najvyššie hodnoty absolútnej účinnosti. Ich nevýhodou je absencia galvanického oddelenia. Galvanické oddelenie predstavuje maximálnu ochranu striedača pred poškodením (oddelenie jednosmernej a striedavej strany). Striedač odolný proti skratu sa pri skrate automaticky vypne - tým zabráni poškodeniu striedača samotného ale i iných súčastí solárneho elektrického zariadenia. Ak nastane preťaženie, striedač odpojí spotrebič – tým zase zabráni k poškodeniu daného zariadenia. Ako bežné prvky sa používajú tyristory alebo unipolárne tranzistory. Činnosť striedača spočíva v striedavom zapínaní tyristorov, v dôsledku čoho sa striedavo mení smer prúdu vo vinutí transformátora – vzniká tak striedavé napätie. [18]

Podľa oblasti využitia poznáme striedače izolované a striedače paralelné so sieťou.

a) Striedače izolované

Izolované striedače vyrábajú striedavý prúd pre izolovanú sieť oddelenú od verejnej rozvodnej siete a pracujú bez vonkajšieho nastavovania veličín (napr. frekvencia alebo napätie).

b) Striedače paralelné so sieťou

Takýto typ striedačov je navrhnutý špeciálne pre FV zariadenia spojené s elektrickou rozvodnou sieťou. Nastavujú sa na frekvenciu a napätie siete a posielajú do siete vyrobený elektrický prúd, ktorý je synchronný so sieťou. [11]

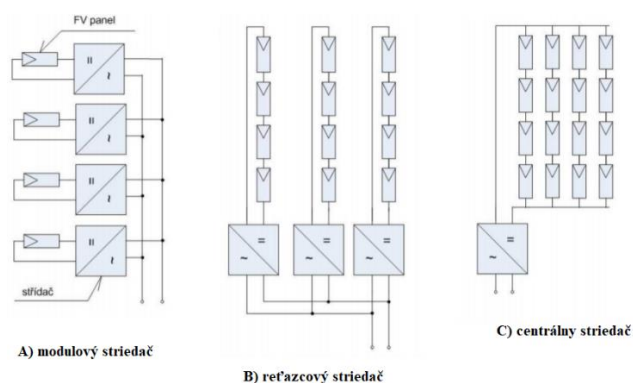
Delenie striedačov podľa výkonu :

a) Modulové – ich využitie je veľmi zriedkavé a je veľmi obmedzené – hlavne pre malé systémy. Stretneme sa s nimi pri výkonoch od 50-180 W. Striedač je pripojený len k jednému FV modulu.

b) Reťazcové (stringové) – ich využitie je mnohonásobne väčšie. Stretneme sa s nimi pri výkonoch od 1-12kW hlavne v stredne veľkých elektrárňach. Najširšie využitie majú v systémoch do 20kWp. Pripojenie : každý striedač je pripojený k niekoľko FV panelom, ktoré sú vzájomne prepojené sériovo/paralelne.

c) Centrálné - ide o veľké striedače vo veľkých FVE , ktoré sú pripojené na stovky až tisíce FV panelov. Stretnutie s nimi je obvyklé pri výkonoch od 20 - 1000kW.

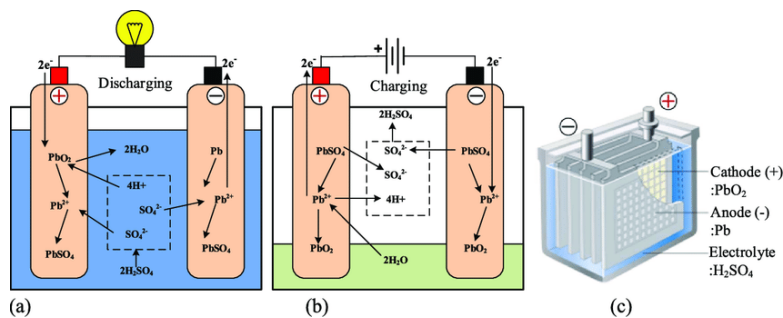
Majú väčšie nároky na DC kabeľáž ale zároveň majú jednoduchšiu ochranu proti prepätiu. [11]



Obrázok 17: Ukážka zapojenia jednotlivých invertorov [11]

2.11 Akumulátorové batérie

Nevýhodou využívania energie zo Slnka je nerovnomernosť slnečného svitu. V noci, kedy potrebujeme energiu najviac, nesvieti vôbec. Z tohto dôvodu v dobe prebytku energie je výhodné ju akumulovať pre neskoršie využitie – v dobe nedostatku. V akumulátoroch sa ukladá elektrická energia vďaka vratným chemickým pochodom. V praxi sa dnes používajú výlučne elektrochemické akumulátory, ktoré vieme opakovane nabíjať. Počas nabíjania nabíjajúcim prúdom z iného zdroja sa dodávaná el.energia mení v chemickú energiu a počas vybijania sa akumulovaná chemická energia opäť mení v el. energiu. [11]



Obrázok 18: Proces vybíjania akumulátora a nabíjania akumulátora a prototyp [19]

Záporná elektróda je počas vybíjania katódou a počas nabíjania anódou. Kladná elektróda je počas vybíjania anódou a počas nabíjania katódou. Počas procesu vybíjania oxiduje reaktant a voľné elektróny predáva zápornej elektróde. Pri vybíjaní dochádza k redukcii reaktantu a voľné elektróny reaktant prijíma z kladnej elektródy. Pre nabíjanie musí vždy platiť, že záporná elektróda je anódou a kladná elektróda je katódou. Napätie na článkoch elektrochemických akumulátorov je relatívne malé : obvykle 1,2 až 3,7V. Pre dosiahnutie vyššieho napätia sú články združované do akumulátorových batérii. Akumulátory sa nikdy nenabijú / nevybijú do svojho úplného maxima. [11]

Olovené akumulátory sa skladajú z dvoch doskových elektród. V nabitom stave sa záporná doska skladá z čistého olova a kladná doska sa skladá z oxidu olovnatého. Ich hlavná výhoda je relatívne nízka cena, vysoký výkon a dobre zvládnutá technológia výroby. Najdôležitejším znakom akumulátora je však jeho kapacita. Kapacita nám udáva množstvo elektrického prúdu, ktorý je možné odoberať z nabitého akumulátora až do jeho úplne vybitia. Kapacita akumulátora sa udáva v Ampérhodinách (Ah). Olovený akumulátor sa vyrába s kapacitou až do 10 000 Ah. [11]

Okrem olovených akumulátorov sa môžu využívať aj nasledujúce akumulátory: Nikl-kadmiový (Ni-Cd), Nikl-metalhydridový (Ni-MH), Lithium-ionotový (Li-ion) a Lithium-polymerový (Li-pol). [11]

2.12 Regulátory nabíjania

Regulátory nabíjania tvoria dôležitý spojovací článok vo FS medzi FV panelmi, akumulátorom a spotrebičom. Ide prakticky o stabilizátor napätia a automatickú nabíjačku akumulátora, ktorá môže dosiahnuť účinnosť až 95%. Max. straty nastávajú v maximálnych bodoch (max. slnečné žiarenie alebo žiadne). Regulátor nabíjania má 3 základné úlohy :

- Zistiť optimálne nabíjanie akumulátora
- Zabrániť vybíjaniu akumulátora cez FV panely
- Chrániť akumulátor pred hlbokým vybitím

Solárny regulátor zníži hodnotu jednosmerného napätia z FV panelov na požadovanú hodnotu, ktorá je optimálna pre dobíjania akumulátorov a spotrebičov. V prípade ak sú akumulátory plne nabité, regulátor zaistí aby boli odpojené od FV panelov. Ak by tak neučinil, mohlo by prísť k tzv. prebitiu a taktiež zníženiu ich životnosti. Pokiaľ hodnota napätia na fotovoltaiických paneloch poklesne pod hodnotu napätia, ktorá je únosná pre nabíjanie akumulátorov – opäť príde k odpojeniu akumulátora. Niektoré regulátory sú navrhnuté tak, aby počas doby prebytku elektrickej energie automaticky pripojili akumulátor k spotrebiču s veľkým príkonom. [11]

2.13 Nosné konštrukcie

Nosné konštrukcie sú využívané predovšetkým na voľných priestranstvách a na plochých strechách. Kovové konštrukcie sú vyrobené najmä z hliníku a pozinkovanej ocele. Základné kritérium je mechanická a klimatická odolnosť. Pri montáži musíme dbať pozor na všetky parametre ako : výška strechy, zóna vetru, kategória terénu, veľkosť modulu, rozostupy a pod., pretože zlý návrh môže spôsobiť sklz, nadvihnutie či preklopenie konštrukcie so solárnymi modulmi. Nosné konštrukcie môžu byť pevné alebo natáčacie. Dôležitou skutočnosťou je zabezpečenie dostatočných rozstupov medzi radami FV panelov. Pokiaľ rozostupy nebudú dostatočné, hlavne v zimných mesiacoch (kedy je Slnko nižšie) nastane vzájomné tienenie panelov.

Pri rozhodovaní sa o počte panelov musíme brať do úvahy zaťaženie vetrom, zaťaženie snehom, dĺžku kabeláže, modularitu a zatienenie panelov. Zatienenie panelov môže byť spôsobené tiež stromami, stĺpmi elektrického vedenia, komínmi či časťami budov. Je fakt, že i čiastočné, ale každodenné zatienenie panelov má vplyv na zníženie energetických ziskov. Pre maximálne využitie FV panelov nám slúžia navádzacie mechanizmy FV panelov. Navádzacie mechanizmy nám zabezpečia natáčanie FV panelov za Slnkom, keďže maximálny výkon môže byť dosiahnutý len za predpokladu že slnečné žiarenie dopadá na panel kolmo. Navádzacie mechanizmy poznáme aktívne (s časovačom) a pasívne. Ich využitie však nie je časté a v našej práci ho nebudeme brať v úvahu, keďže ide o finančne náročné zariadenie. [11]

3 REVÍZNA ČINNOSŤ A REVÍZIE ELEKTRICKÝCH ZARIADENÍ

Revízia elektrického zariadenia (obecne) v sebe zahŕňa úkony pri ktorých sa zisťuje daný stav elektrického zariadenia z hľadiska bezpečnosti. Medzi úkony patrí prehliadka, skúšanie, meranie. Vďaka kladnej revíznej správe sa uvádza elektrické zariadenie do prevádzky. [20]

Účelom revízie elektrických zariadení je overovanie ich stavu z hľadiska bezpečnosti. Požiadavky bezpečnosti sa považujú za splnené, pokiaľ EZ zodpovedá z hľadiska bezpečnosti príslušným ustanovením noriem.

Základnou normou pre revízie EZ a zariadení pre ochranu pred účinkami atmosferickej a statickej elektriny je norma ČSN 33 1500. [20]

3.1. Norma ČSN 33 1500

Táto norma platí pre všetky EZ, ktoré môžu ohroziť ľudské zdravie, úžitkové zvieratá alebo majetok a okolité prostredie za stanovených podmienok prevádzky pod elektrickým prúdom alebo napätím alebo javmi vyvolanými účinkami elektriny. [20]

3.2. Východiskové revízie

Revízia prevedená na novom alebo rekonštruovanom EZ pred jeho uvedením do prevádzky. Nové EZ je možné uviesť do prevádzky len vtedy ak bol ich stav overený z hľadiska bezpečnosti východiskovou revíziou. EZ alebo ich časti, ktoré zo závažných spoločenských, národohospodárskych alebo technologických dôvodov nemôžu byť počas prebiehajúcej rekonštrukcie bez napätia po celú dobu trvania prác, je možné ich v priebehu týchto prác prevádzkovať bez prevedenej východiskovej revízie. Musia však byť prevedené také opatrenia, aby uvedením pod napätie nebola ohrozená bezpečnosť. [20]

3.3. Pravidelné revízie

Revízia prevádzkovaných EZ sa vykonáva pravidelne v stanovených lehotách. Prevádzkované EZ, okrem zariadení na: /vedeniach prenosovej sústavy, distribučnej sústavy, transformovných vn/nn a rozvodných zariadeniach nn distribučnej sústavy, pokiaľ bezpečnosť týchto EZ je zaisťovaná pravidelnými kontrolami a údržbou podľa vlastného poriadku preventívnej údržby/, musia byť pravidelné revidované najneskôr v lehotách stanovených v tejto norme. Lehota pre zložité prostredie je rovná najkratšej lehote z lehôt pre jednoduché prostredie, z ktorej je prostredie zložité zložené. [20]

druh prostredia	lehota (roky)
základné	1 x 5
normálne	5
studené	3
horúce	3
vlhké	3
prašné s nehorľavým prachom	3
so zvýšenou koróznou agresivitou	3
s extrémnou koróznou agresivitou	1
mokrú	1

Tabuľka 1: Príklady lehoty pravidelných revízií stanovené podľa druhu prostredia [20]

umiestnenie EZ	lehota (roky)
murovaná obytná a kancelárska budova	5
škola, materská škola, hotel a iné ubytovacie zariadenie, rekreačné stredisko	3
výšková budova pre obytnú budovu je vyššia ako 50m, iné budovy nad 30m, objekty určené na zhromažďovanie viac ako 250 osôb (kultúrne a športové zariadenie, obchodné domy, stanice hromadnej dopravy a pod.)	2
objekt zhotovený z horľavých materiálov so stupňom horľavosti C,D,E,F	2
pojazdný a prenosný prostriedok	1
dočasná elektrická inštalácia	0,5

Tabuľka 2: Príklady lehoty pravidelných revízií stanovené podľa druhu prostredia so zvýšeným rizikom ohrozenia osôb [20]

druh objektu	lehota (roky)
objekty s priestorom s nebezpečenstvom požiaru a výbuchu	2
ostatné objekty	5

Tabuľka 3: Príklady lehoty pravidelných revízií zariadení pre ochranu pred účinkami atmosferickej a statickej elektriny [20]

V závere správy o revízii musí byť uvedené, či je elektrické zariadenie z hľadiska bezpečnosti schopné prevádzky. V prípade, že pri revízii boli zistené závady, musí byť v revíznej správe uvedené, s akým ustanovením normy alebo iného predpisu sú v rozpore. Revízna správa musí byť uložená u prevádzkovateľa EZ a prístupná orgánom štátneho odborného dozoru. Správa o východiskovej revízii musí byť uložená trvale až do zrušenia EZ. [20]

Prehľad medzinárodných noriem pre FV systémy:

IEC 62446 – FV systémy pripojené na sieť (grid on), minimálne požiadavky na dokumentáciu systému, skúšky uvedenia do prevádzky a kontrolu

IEC 60364-7-712 – elektrické inštalácie budov podľa časti 7-712 : požiadavky pre špeciálne inštalácie alebo lokality – solárne FV systémy napájania

IEC 60891 - postupy korekcie teploty a ožiarenia nameraných hodnôt VA char.

IEC 60904-1 – meranie VA char. (meranie napätia a prúdu)

IEC 61853-2 – meranie výkonu ožiarenia, teploty a menovitý výkon [22]

4 PRAKTICKÁ ČASŤ

4.1. RIEŠENÝ OBJEKT S MALOU FV ELEKTRÁRŇOU NA STRECHE RD



Obrázok 19: Riešený objekt FVE

V praktickej časti bakalárskej práce sa zaoberám posúdením návrhu malej FV elektrárne pre rodinný dom. Riešený objekt - ide o malú FVE v Juhomoravskom kraji 15km od Brna , ktorá sa nachádza na streche rodinného domu v obci Popůvky. Fotovoltaický 1-fázový systém sa momentálne skladá z 10 FV panelov, každý o výkone 325Wp. Celkový výkon FVE je 3,25kWp.

4.1.1 – Posúdenie lokality FVE

Malý rodinný dom sa nachádza nad obcou Popůvky – v nadmorskej výške 321m.n.m hore smerom na vinice. Výber miesta FVE je veľmi priaznivý, keďže podmienky v Juhomoravskom kraji z hľadiska slnečného žiarenia sú najviac vyhovujúce v rámci ČR. Priemerné ožarovanie má hodnotu 1150W/m². Dom nie je tienенý okolitými domami, vplyv na nižšiu účinnosť má 1 strom nachádzajúci sa v objekte za domom , 3 vysoké stromy od suseda vľavo a čiastočné vzájomné tienenie. Priemerná ročná teplota v danej lokalite je podľa programu PVSOL takmer 10 °C.

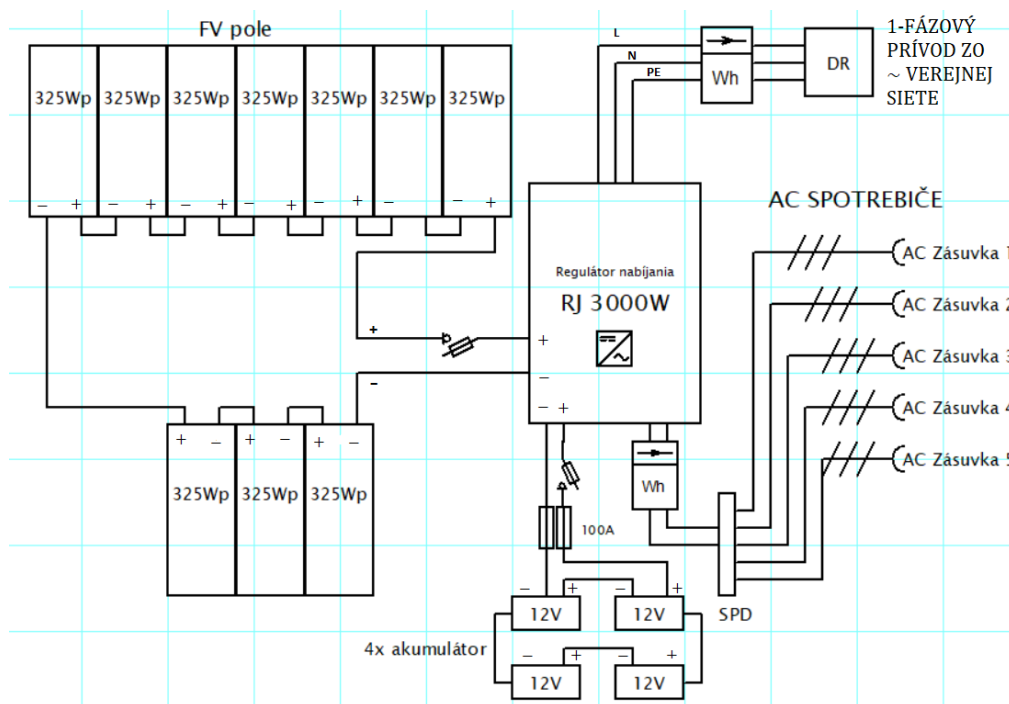
4.1.2 – Charakteristika objektu

Dom je trvale celoročne obývaný 2 dospelými ľuďmi, rozloha domčeku je 80 m². V dome sa momentálne vykuruje el. energiou (tepelné čerpadlo), predtým sa vykurovalo drevom v krbe. Všetky komponenty na FV elektrárňu sa objednávali v júli 2019 a zhotovenie a sprevádzkovanie FV elektrárne prebehlo po cca 2 mesiacoch samoprácou majiteľom FVE v septembri 2019. Od tohto obdobia sa v dome využíva aj energia zo slnečného žiarenia, vďaka ktorej nám klesá odber el. energie z verejnej siete. Ide o hybridný systém GRID OFF s akumuláciou elektrickej energie. Majiteľ domu/elektrárne hodnotí FVE ako definitívnu investíciu s minimálnymi nárokmi na manipuláciu a údržbu. FV panely sú natočené na juh pod uhlom 35 stupňov – presne ako je odporúčané nattočenie pre objekty v ČR. [21]

Za prevádzkovú dobu FVE majiteľ neriešil žiadne väčšie závady a komplikácie. Po zhruba 2 mesiacoch prevádzky riešil jedine problém s prepätím. 11 FV panelov zapojených sériovo dodávalo vyššie napätie do RJ, ako dokázala RJ prijať (signalizovalo mu to na displeji RJ). Po konzultácii so spoločnosťou od výrobcu FV panelov 1 FV panel z obvodu odpojil.

Údržba FV systému je prakticky nulová, zametanie (oplachovanie) FV panelov od drobných nečistôt v priemere 2x do týždňa a čistenie filtra na riadiacej jednotke (z bočnej strany RJ).

Na obr. 20 je uvedená principiálna elektrická schéma a zapojenie riešenej FVE.



Obrázok 20: Principiálna schéma riešenej FVE

4.1.3 Náhľad, popis a výpočet plochy FV panelov



Obrázok 21: Horná rada FV panelov (7ks)



Obrázok 22: Dolná rada FV panelov (3ks)

Celková plocha FV panelov je $19,4\text{m}^2$, podľa výpočtu :

*Plocha FV panelov = počet panelov * šírka 1 FV panela * dĺžka 1 FV panela*

$$S_{FV \text{ panelov}} = 10 * 0,992 * 1,956 = 19,4\text{m}^2$$

Na začiatku bolo zapojených 11 polykryštálických FV panelov značky Amerisolar o max. výkone 325 Wp s menovitým napätím 37,2V a max. prúdom pri záťaži 8,74A. FV panely sú navzájom prepojené v sérii, pričom výstupná svorka plus a výstupná svorka mínus sú zapojené do riadiacej jednotky. Po zhruba 3 mesiacoch bol 1 FV panel zo zapojenia vyradený z dôvodu nadmerného napätia v systéme ako bolo spomenuté vyššie. Panely sa nachádzajú na streche RD v 2 radách, v hornej rade 7 panelov vedľa seba s minimálnym rozstupom. Medzi štvrtým a piatym panelom je rozstup asi 25cm. Pod nimi sa nachádzajú v spodnej rade 3 FV panely taktiež s minimálnym rozstupom od seba.

4.1.4 Samostatný FV panel na záhrade mimo domu

Okrem desiatich FV panelov na streche RD má majiteľ aj 1 FV panel na svojej záhrade mimo objektu, ktorá sa nachádza 2km od jeho RD. Tento polykryštálický FV panel s max.výkonom 270Wp od výrobcu BYD je vo funkčnosti od roku 2017 a vďaka jeho výrobe sa napája wifi router v minibunke na záhrade spolu s kamerou. Vďaka pripojenej kamere si majiteľ domu vie kedykoľvek z hociktorého miesta na svete cez aplikáciu mobilného telefónu pozrieť, čo sa deje v jeho záhrade. Získané skúsenosti s týmto FV panelom a výrobou el. energie majiteľ domu využil a zúročil pri realizácii svojej FV elektrárne priamo na streche svojho rodinného domčeka. Podobné kamery má majiteľ domu nainštalované aj priamo na svojom dome. Jeho štítkové údaje sú uvedené v tabuľke 4 nižšie:

FV panel BYD 270 P6C-30	
	Elektrická špecifikácia STC
Výkon	270 W
Menovité napätie	31,18 V
Maximálny prúd pri záťaži	8,66 A
Napätie naprázdno	39 V
Skratový prúd	9,13 A
Účinnosť	16,5%

Tabuľka 4: Štítkové parametre FV panelu BYD 270Wp [32]

4.2. Posúdenie spotreby RD

Majiteľovi RD ide hlavne o zaistenie základných životných potrieb ako sú pre neho televízor, zapojenie chladničky či mrazničky s úrodou a zeleninou, internet a základné potreby v kuchyni. Najviac energie sa v domácnosti spotrebuje vo forme tepla na vykurovanie a ohrev teplej vody. Nemálo peňazí však stojí aj elektrina potrebná na chod domácnosti – na varenie, pranie, osvetlenie, umývanie riadu, vysávanie a na prevádzku spotrebnej elektroniky.

Najväčší odber v riešenom RD majú jednoznačne 2 klimatizačné jednotky na vykurovanie – respektíve ochladzovanie RD a elektrický kotol na ohrievanie teplej vody. Elektrický kotol na ohrievanie teplej vody však FV systémom zatiaľ nemôžeme napájať, keďže jeho okamžitý príkon je vyšší ako doposiaľ vyrábaná energia FV systému.

4.2.1 Energetický profil spotreby v domácnosti

poradie	spotrebič	počet	príkon (W)	odhad denného zapojenia (h)	denná spotreba (kWh)	mesačná spotreba (kWh)	ročná spotreba (kWh)
1	Klimatizačná jednotka	2	850	6	10,2	306	2754
2	Elektrický kotol	1	2500	2	5	150	1800
3	El. sporák	1	5000	1	5	150	1800
4	Ostatné spotrebiče	10	-	-	2,78	83,33	1000
5	Elektrická trúba	1	3000	1	3	90	1080
6	Televízor	1	100	12	0,12	36	432
7	Chladnička	1	60	24	0,581	17,43	212
8	Mraznička 150l	1	60	24	0,515	15,45	188
9	Mraznička 200l	1	55	24	0,48	14,4	175,2
10	Osvetlenie - LED svetidlá	15	5	5	0,375	11,25	135
11	Internet (wifi router)	1	10	24	0,24	7,2	86,4

Σ9663kWh

Tabuľka 5: Energetický profil spotreby domácnosti

/Pri výpočtoch sme uvažovali využitie klimatizačných jednotiek 9 mesiacov v roku.
/z tabuľky č.5 vyplýva že 28,5% spotreby el. energie odoberajú klimatizačné jednotky na vykurovanie/ochladzovanie RD

Tabuľka č.4 bola vytvorená na základe priemerných príkonov a časov využívania jednotlivých spotrebičov v danej domácnosti.

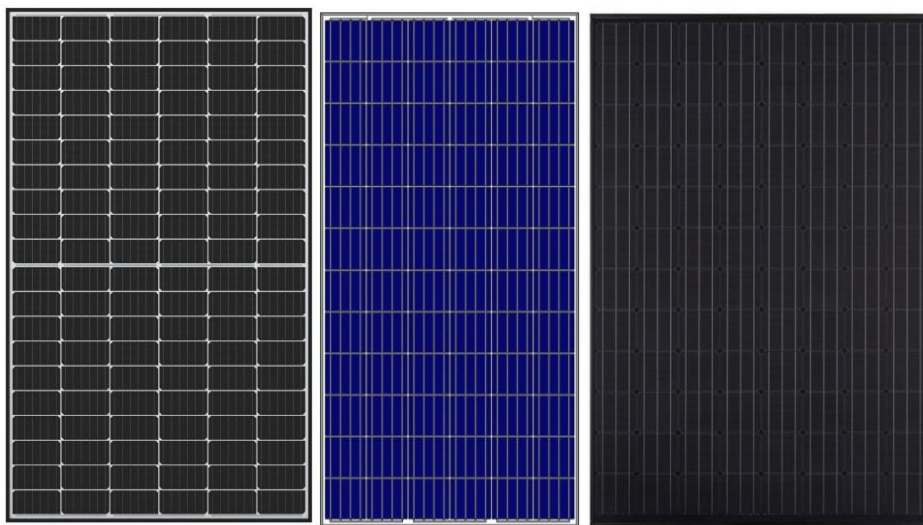
Z tabuľky vidíme, že priemerná ročná spotreba RD je až 9663 kWh, čo môžeme označiť za nadpriemer spotreby v ČR.

Priemerná mesačná spotreba tým pádom dosahuje hodnotu 805 kWh.

Za najväčšieho odberateľa el. energie môžeme jednoznačne označiť tepelné čerpadlá (klimatizačné jednotky). Samozrejme hodnoty nebudú nikdy presné, keďže dĺžka používania spotrebičov sa môže meniť nie len vplyvom počasia ale i ďalších faktorov. Chladničky a mrazničky síce nemajú príliš veľký príkon, ale energiu potrebujú 24 hodín denne po celý rok. Na spotrebe elektriny v domácnosti sa tak podieľajú významnou mierou. Spotrebiče mraznička, chladnička, TV, osvetlenie a internet sú na energiu z FV systému zapojené natrvalo (cez deň priamo a cez noc z akumulátorov). FV panely dokážu od svojho uvedenia do prevádzky tieto základné spotrebiče zabezpečiť natrvalo bez obmedzenia. Okamžitý príkon týchto spotrebičov je cca 350Wh.

4.3 Posúdenie návrhu FV panelov

Na obr. 23 vidíme pre výber a porovnanie 3 rozdielne FV panely s rovnakým menovitým výkonom.



Obrázok 23: Monokryštalický / Polykryštalický / Amorfný FV panel [23] [33]

Pre prehľadnosť porovnania základných parametrov FV panelov je uvedená tabuľka 6:

	Monokryštalický	Polykryštalický	Amorfný
Výkon	325W	325W	325W
Menovité napätie	33,65 V	37,2 V	57,6 V
Napätie naprázdno	40,40 V	45,8 V	69,6 V
Prúd pri záťaži	9,66 A	8,74 A	5,65 A
Skratový prúd	10,14 A	9,15 A	6,3 A
Účinnosť	19,30%	16,75%	19%
Záruka	10 rokov 92%, 25 rokov 83% menovitého výkonu	10 rokov 93,94 % + 25 rokov 88,35 % menovitého výkonu	10 rokov 90%, 25 rokov 80% menovitého výkonu
Cena	175 €	200 €	257 €
Výrobca	Q-Cells	Amerisolar	Panasonic

Tabuľka 6: Porovnanie základných parametrov 3 rozdielnych FV panelov s rovnakým výkonom[23] [33]

Uvedený monokryštalický FV panel je cenovo dostupný s dobrou účinnosťou. Pri porovnaní s polykryštalickým panelom má o 2,55% vyššiu účinnosť, hoci uvedená účinnosť a parametre môžu byť ovplyvnené typom prostredia, kde sú inštalované. Menovité hodnoty napätí a prúdov sú u týchto 2 typov FV panelov veľmi podobné – monokryštal má o niečo nižšie hodnoty menovitého napätia a napätia naprázdno a naopak má čiastočne vyššie hodnoty prúdu pri záťaži a skratového prúdu. Daný typ amorfného panela je finančne náročný, s extrémne opozitnými hodnotami napätia a prúdu. Menovité napätie má hodnotu 57,6V čo je pri porovnaní s monokryštalom až o 23,95V vyššie číslo. Naopak, hodnoty prúdov – ako pri záťaži tak pri skratovom sú skoro o polovicu nižšie.

Majiteľ FVE vybral pre svoj objekt polykryštalické FV panely značky Amerisolar s menovitým výkonom 325 Wp. Polykryštalické FV panely reagujú podľa majiteľa FVE veľmi dobre a citlivo na

osvetlenie - na východ i západ Slnka a celkové výkyvy slnečného žiarenia. Pri rozhodovaní zavážila najmä cenová dostupnosť, overená a dostupná značka, a taktiež jeho parametre.

Vybraný FV panel

Po preskúmaní trhu sa majiteľ FVE rozhodol pre FV panely od firmy Amerisolar. Amerisolar je profesionálny výrobca solárnych modulov a kontrolou kvality od roku 1993. [24] Keďže skúsenosti firmy na trhu sú už viac ako 25 rokov, môžeme povedať že ide o overeného výrobcu, ktorý má produkty dostupné i na území ČR a SR a preto sa môže ich výber zhodnotiť ako dobrá voľba.

FV panel Amerisolar 325Wp AS-6P	
	Elektrická špecifikácia STC
Výkon	325 W
Výrobná tolerancia výkonu	0 ~ +3 %
Menovité napätie	37,2 V
Maximálny prúd pri záťaži	8,74 A
Napätie naprázdno	45,8 V
Skratový prúd	9,15 A
Účinnosť	16,75%
Ožarovanie	1000W/m ²
Teplota panelu	25°C
Spektrum žiarenia	AM 1,5
Maximálne systémové napätie	1000V DC
Poistky pre sériové zapojenie	16A
Záruka na pokles výkonu	12 rokov 91,2 % + 30 rokov 80,6 % menovitého výkonu

Tabuľka 7: Štítkové parametre FV panelu Amerisolar 325Wp [23]

4.4 Posúdenie návrhu riadiacej jednotky

Na obr. 24 vidíme pre výber a porovnanie 3 typy riadiacich jednotiek od rovnakého výrobcu s rozdielnym menovitým výkonom. Ide o inteligentné riadiace systémy, ktoré v sebe zahrňujú funkciu invertora i regulátora nabíjania súčasne.



Obrázok 24: Striedače Conversol 2K / Converstol VM3000/ Conversol V5 [25] [26] [27]

Pre prehľadnosť porovnania základných parametrov riadiacich jednotiek je uvedená tabuľka č.8 :

		Conversol 2K-24 PLUS MPPT	Conversol VM3000	Conversol V5 5kVA Off Grid
	Menovitý výkon (W)	1600	3000	5000
Vstup	Napätie (V AC)	120 / 230	120 / 230	230 ± 5%
	Voliteľný rozsah napätia (V AC)	65-140 / 90-280	95-140 / 170-280	110-280
Výstup	Regulácia striedavého napätia (V AC)	110/120 ± 5% / 230 ± 5%	230 ± 5%	230 ± 5%
	Prepätiová sila (VA)	4000	6000	10000 pre 5s
	Účinnosť (% - vrchol)	90 - 93	90 - 93	90 - 93
Batérie	Napätie batérie (V DC)	24	24	48
	Nabíjacie napätie (V DC)	27	27	54
	Ochrana pred prebitím (V DC)	31	33	66
Regulátor nabíjania	Maximálny výkon FV poľa (W)	1500	4000	4000
	Rozsah MPPT - Prevádzkové napätie (V DC)	60 - 115	120- 450	60 - 115
	Maximálne napätie naprázdno FV poľa (V DC)	145	500	145
	Maximálny slnečný nabíjací prúd (A)	60	80	80
	Maximálny nabíjací prúd AC (A)	60	60	60
	Maximálny nabíjací prúd (A)	120	80	140
	Účinnosť (%)	98	98	98
	Cena (€)	397	477	596

Tabuľka 8: Porovnanie základných parametrov 3 typov striedača [25], [26], [27]

Riadiaca jednotka Conversol 2K-24 PLUS MPPT disponuje menovitým výkonom 1600 W s pracujúcim napätím 120/230 V. Z uvedených 3 typov striedačov je finančne najviac dostupný, ľahko použiteľný a univerzálny. Poskytuje spoľahlivú premenu energie v kompaktnej robustnej jednotke. Vďaka nízkemu prúdu bez záťaže ponúka menič dlhú životnosť batérie. Extrémne špičkový výkon umožňuje ľahké spustenie vysokých záťaží bez poklesu výkonu alebo slabého blikania – dokáže pracovať až pri teplote -20°C. Ide o inteligentný kombinovaný solárny invertor s jednoduchým ovládaním vďaka pokročilému mikroprocesoru. Je vybavený solárnym regulátorom nabíjania MPPT. [27]

Za výhodu môžeme označiť jeho nízku cenu, účinnosť a spoľahlivosť. Hlavnými nevyhovujúcimi parametrami v riešení s FV panelmi Amerisolar 325Wp sú jeho nízky menovitý výkon, nízka hodnota max. napätia naprázdno ako i prevádzkového napätia a nízka hodnota max. výkonu FV poľa. Pri uvažovaní daných FV Paneloch by sme ich na riešený striedač mohli zapojiť len 3 – čím by sme vedeli vyrobiť veľmi málo el.energie. [27]

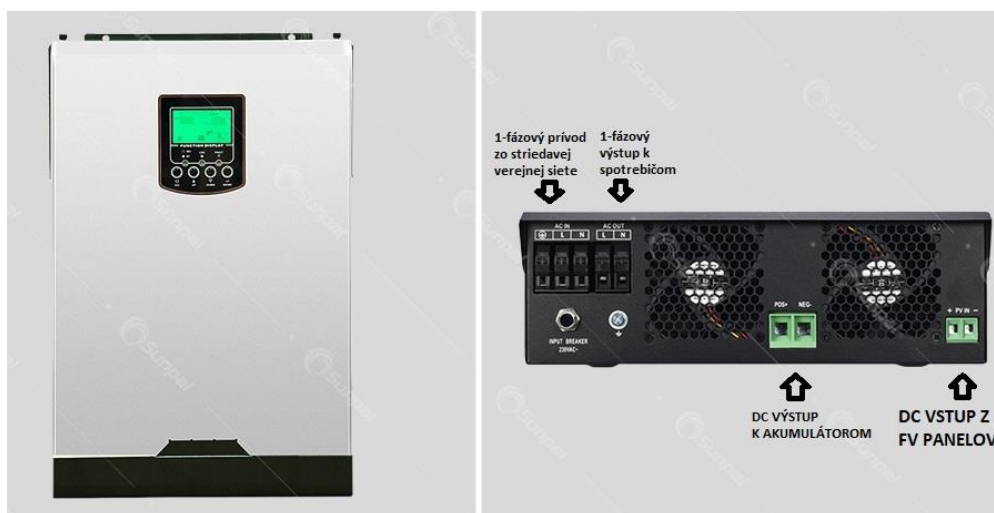
Riadiaca jednotka Conversol VM3000 disponuje vyšším menovitým výkonom 3000W , čo je o 1400W viac ako pri predchádzajúcom striedači. Má čistý sínusový výstup s jednotkovým účinníkom a aktívnejšou výkonovou schopnosťou. Hlavný rozdiel medzi parametrami je v max. výkone FV poľa, ktorý je až o 2500W vyšší (Conversol 2K – 1500W, Conversol VM3000 – 4000W) a max. napätí naprázdno FV poľa, ktoré je vyššie až o 355V (Conversol 2K – 145V, Conversol VM3000 – 500V). Daný typ riadiacej jednotky je cenovo dostupný s dobrou účinnosťou a parametrami. [25]

Moderný výkonový menič Conversol V5 je vhodný aj pre tie najväčšie objekty. Disponuje viacerými funkciami, ktoré pri predošlých strieďačoch siete chýbajú, no nie sú pre činnosť nevyhnutné. Systém sa integruje do mobilného zariadenia prostredníctvom komunikácie Bluetooth. Pridruženú mobilnú aplikáciu môže človek používať odkiaľkoľvek na svete - stačí mu pripojenie na internet. Riadiaci modul podporuje tiež funkcie USB On-the-Go a BMS porty.

Finančné prostriedky na tento systém sú podstatne nákladnejšie. Systém disponuje vyššími nabíjacími možnosťami, účinnosť je však rovnaká. Max.výkon FV poľa je však na rovnakej hodnote ako u predchádzajúceho strieďača ConversolVM 3000 a dokonca max. napätie naprázdno FV poľa je len 145V ako pri prvej riadiacej jednotke – čo pre náš systém nie je vyhovujúce. [26]

Vybraný strieďač / riadiaca jednotka

Po preskúmaní trhu sa majiteľ FVE rozhodol pre riadiaci systém Conversol VM3000 s menovitou hodnotou záťaže 3000W. Podľa tabuľky č. 7 sa zdá byť daná riadiaca jednotka ako vhodná voľba pre FV systém, keďže ide o cenovo dostupnú jednotku s dobrými a vhodnými parametrami pre riešený FV systém.



Obrázok 25: Vybraný strieďač Conversol VM3000 z prednej a zo spodnej strany [25]

Riadiaca jednotka FV systému je elektronické zariadenie (krabica), ktoré v sebe zahŕňa regulátor nabíjania i strieďač. Ide o inteligentný systém, ktorý si majiteľ RD nastavil podľa potreby a automaticky vie prepínať funkcie.

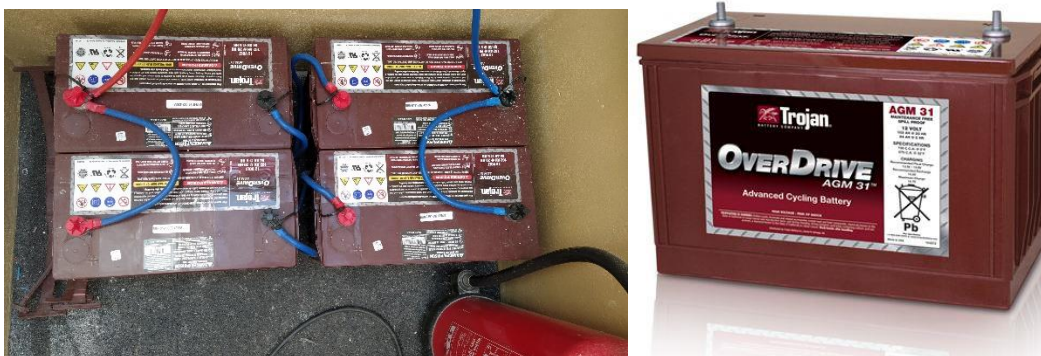
Regulátor pracuje s hodnotou napätia do 500V. Riadiaca jednotka je napájaná na zdroj z verejnej siete – v prípade odpojenia prívodu verejnej siete sa automaticky začne napájať na fotovoltaiku.

4.5 Analýza akumulátorových batérii

V riešenom FV systéme sú k dispozícii 4 olovené akumulátory. Akumulátory sú značky Trojan – o napätí 12V s elektrickým nábojom 102Ah. Veličina Ampérhodina vyjadruje dodávanie prúdu o hodnote 1A po dobu 1 hodiny. Hodnotu energie, akú môžeme z akumulátorov využiť vypočítame násobkom menovitého napätia a el. náboja. Pri výpočte uvažujeme 50% využiteľnosť akumulátora, keďže kapacitu akumulátoru nie je vhodné využiť na jej plný rozsah. [11]

$$12V \times 51Ah = 612 \text{ Wh} = 0,612 \text{ kWh.}$$

$$0,612\text{kWh} \times 4 \text{ akumulátory} = 2,448\text{kWh.}$$



Obrázok 26: Akumulátorové batérie v objekte FVE / akumulátorová batéria Trojan-Over Drive AGM 31 [28]

OverDrive AGM 31 batéria obsahuje celý rad konštrukčných prvkov nevyhnutných na zabezpečenie dlhej doby skladovania energie. Dobre navrhnutá batéria AGM môže poskytnúť širokú škálu výhod oproti zaplaveným technológiám vrátane dlhšej životnosti, dlhšej doby prevádzky a menšej údržby. Batéria OverDrive AGM 31 od Trojan je skutočná batéria s hlbokým cyklom, ktorá je navrhnutá tak, aby odolala prísny a zneužívajúcim aplikáciám s hlbokým vybíjaním. [28]

Spoločnosť Trojan Battery Company je popredným svetovým výrobcom batérií s hlbokým cyklom a je priekopníkom v oblasti technológií batérií. Spoločnosť je na trhu od roku 1925 – čím má v oblasti výroby bohatú prax s 95 ročnými skúsenosťami. Spoločnosť udržuje dve z najväčších výskumných centier venujúcich sa vývoju nových a pokrokových technológií batérií so sídlom v Severnej Amerike. [28]

Vybraté akumulátory sú navzájom prepojené sériovo/paralelne. Priemerná trvalá spotreba našich základných spotrebičov, ktoré sú zapojené na FV systém natrvalo je cca 350Wh = 0,35kWh. Keďže vybraté akumulátory majú energiu celkovú 2,448kWh – tieto spotrebiče dokážu napájať po dobu necelých 7 hod podľa výpočtu :

$$\frac{\text{Celková využiteľná kapacita akumulátorov}}{\text{Okamžitá spotreba natrvalo zapojených spotrebičov}} = \frac{2,448kWh}{0,35kWh} = 6,99h$$

Dobrý akumulátor by mal vo FV systéme splňovať nasledujúce požiadavky:

- Minimálne samovybíjanie
- Pracovať s dobrou účinnosťou už pri malých nabíjajúcich prúdoch
- Vhodný pre cyklické prevádzkovanie
- Znížiť hlbšie vybíjanie
- Vyžadovať minimálnu údržbu a mať dlhú životnosť
- Mať minimálne zníženie nabíjajúcich a vybíjajúcich vlastností pri nízkych teplotách [11]

4.6 Analýza počiatočných nákladov

	počet	cena za 1ks s DPH	celková cena
FV panely	11	5000Kč	55000Kč
Riadiaca jednotka	1	20000Kč	20000Kč
Akumulátory	4	6500Kč	26000Kč
Kabeláž, istenie, ostatné prvky	-	12000Kč	12000Kč

Tabuľka 9: Jednotlivé počiatočné náklady FVE

Od počiatočných nákladov nebola zatiaľ potreba investície ďalších finančných prostriedkov počas chodu a funkčnosti FV systému. Počiatočná investícia sa odhaduje na 115 000 Kč.

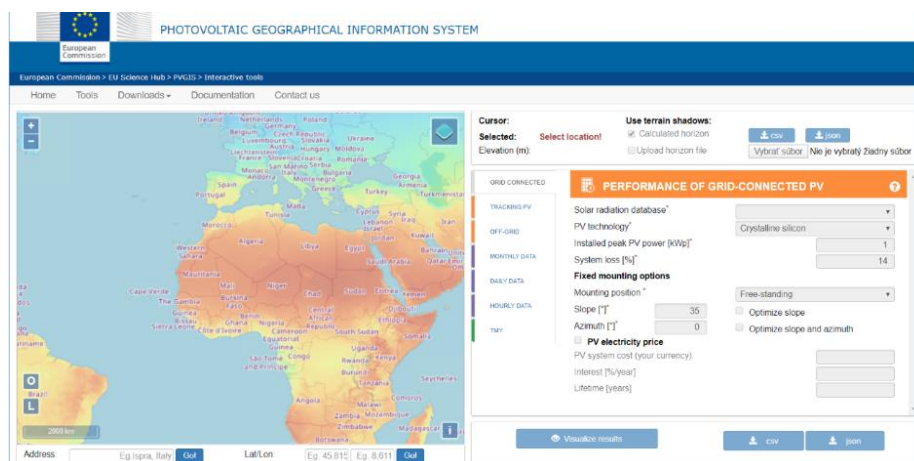
4.7 Programy pre návrh a dimenzovanie FV systémov

Pre návrh, dimenzovanie a odhad výroby FV systémov sa môžu využívať rôzne softwéry či už voľne dostupné na internete ako free, alebo za menší či väčší poplatok na stiahnutie.

4.7.1 Program PVGIS

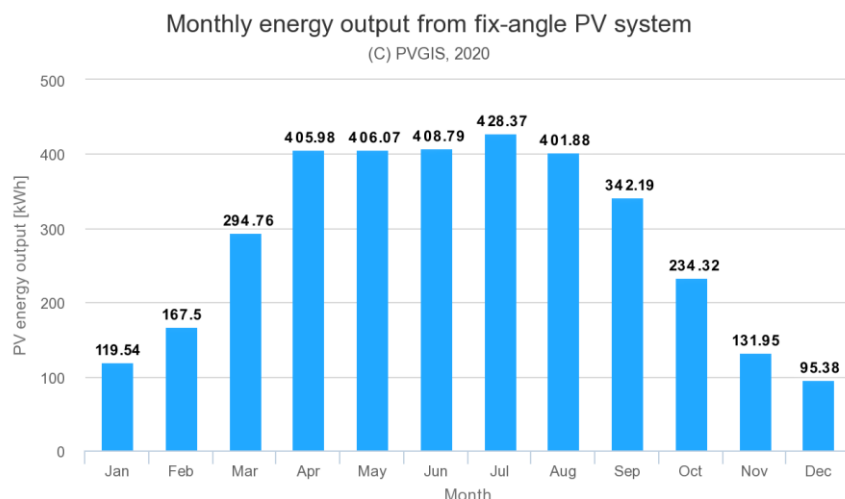
Fotovoltaický geografický informačný systém je bezplatný internetový online program, vďaka ktorému je si možné vypočítať približné hodnoty výroby el. energie podľa našich zadaných parametrov a tiež je vďaka nemu vidieť priemerné hodnoty slnečného žiarenia vo vybratej oblasti. Výstupom programu môžu byť textové alebo grafické súbory vo formátoch csv, pdf, png, jsn. Program umožňuje tiež ročný výstupný výkon solárnych FV panelov. Táto aplikácia počíta mesačnú a ročnú potenciálnu výrobu el.energie fotovoltaického systému s definovaným sklonom, orientáciou modulov, lokality a parametrami FV panelov.

Nevýhodou programu je obmedzené množstvo prístupných jazykov. Program je komplet preložený a k dispozícii v jazyku anglickom, talianskom, francúzskom, španielskom a nemeckom. Na obr.27 je náhľad základného prostredia programu PVGIS.



Obrázok 27: Základné prostredie programu PVGIS [29]

Po zadefinovaní základných parametrov a lokality riešenej FVE nám softvér vypočítal odhad výroby el. energie na jednotlivé mesiace počas roku ako je vidieť na obr. č. 28.

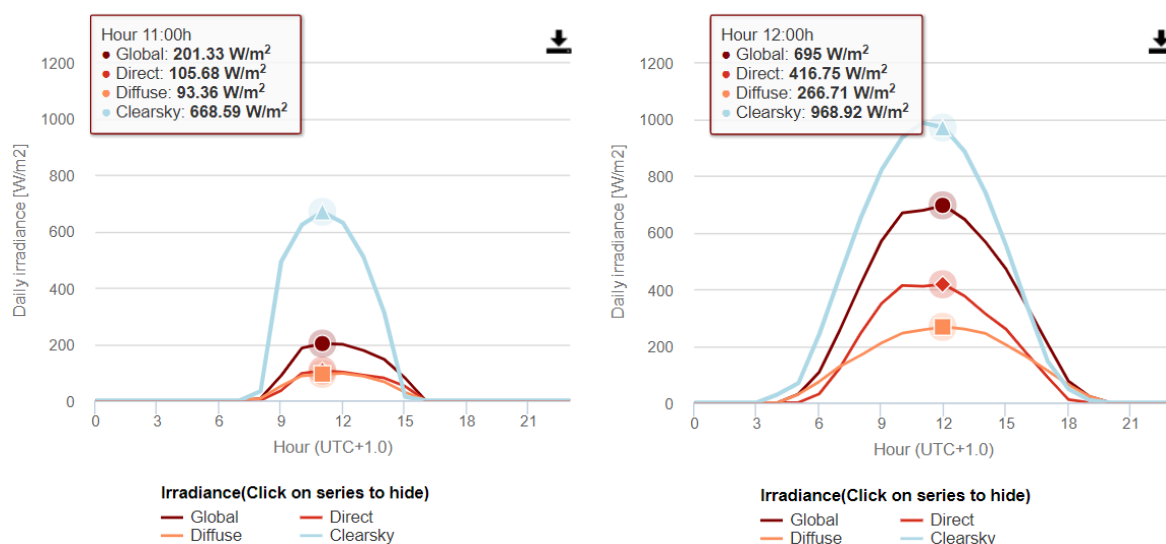


Obrázok 28: Výpočet výroby el. energie FVE programom PVGIS [29]

Mesiac s najvyššou potenciálnou výrobou el. energie je podľa programu PVGIS mesiac Júl s hodnotou 428kWh a najmenej priaznivý mesiac je December s vyrobenou energiou 95kWh. Z uvedeného grafického potenciálu je zrejmé, že hodnoty nad 300kWh tvoria presne polovicu roka. Najlepšie obdobie podľa tohto programu je na FV výrobu v mesiacoch apríl až august, kedy sa hodnoty držia nad 400kWh mesačne.

$$\begin{aligned}
 FV_{výroba_{celková}} &= \sum \text{Jan} + \text{Feb} + \text{Mar} + \text{Apr} + \text{May} + \text{Jun} + \text{Jul} + \text{Aug} + \text{Sep} + \text{Oct} + \text{Nov} + \text{Dec} \\
 &= 119,54 + 167,5 + 294,76 + 405,98 + 406,07 + 408,79 + 428,37 + 401,88 \\
 &\quad + 342,19 + 234,32 + 131,95 + 95,38 = 3437 \text{ kWh/rok}
 \end{aligned}$$

Celková potenciálna ročná výroba el. energie riešenej FVE je podľa programu PVGIS 3437 kWh.



Obrázok 29: Porovnanie dennej intenzity ožarovania v mesiaci december a júl [29]

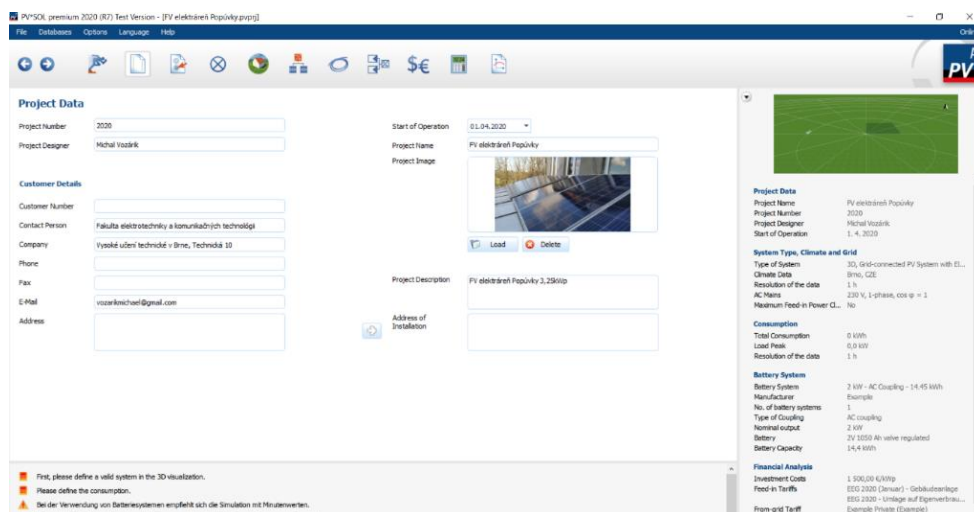
Vďaka programu PVGIS si vieme zobrazit' hodnoty a krivky denného ožarovania počas jednotlivých mesiacov. Vďaka týmto krivkám vie človek porovnať a odhadnúť potenciál výroby el. energie podľa jednotlivých mesiacov v roku. Najmenšie ožarovanie je počas roka podľa programu PVGIS v mesiaci December. Ide o pochopiteľný fakt, keďže v danom mesiaci je slnečné žiarenie počas roka najkratšie.

Krivka sa v grafickej závislosti dvíha o 7:00h ráno a úplne zapadá o 16:00 poobede, pričom prvé 2 a posledné 2 hodiny je potenciál výroby prakticky minimálny. Najvyššie hodnoty v mesiaci December sú zaznamenané v čase o 11:00h dopoludnia. Priame slnečné žiarenie (direct) vtedy dosahuje hodnotu 105,68 W/m², difúzne žiarenie (diffuse) 93,36 W/m² pričom celkové žiarenie (global) dosahuje v danom čase hodnotu 201,33 W/m². Potenciál jasnej oblohy (clearsky) je v uvedenom čase 668,59 W/m². Naopak – podľa programu PVGIS je najpriaznivejší mesiac Júl a najlepšie hodnoty sú dosiahnuté v čase 12:00 presne na poludnie. Priame slnečné žiarenie (direct) vtedy dosahuje hodnotu 105,68 W/m², difúzne žiarenie (diffuse) 93,36 W/m² pričom celkové žiarenie (global) dosahuje v danom čase hodnotu 201,33 W/m². Potenciál jasnej oblohy (clearsky) je v uvedenom čase 668,59 W/m². Pre daný mesiac sa krivka v grafickej závislosti dvíha už o 4:00h ráno, pričom úplne zapadá až o 19:00h čo tvorí celkový denný potenciál 15 hodín.

4.7.2 Program PVSOL

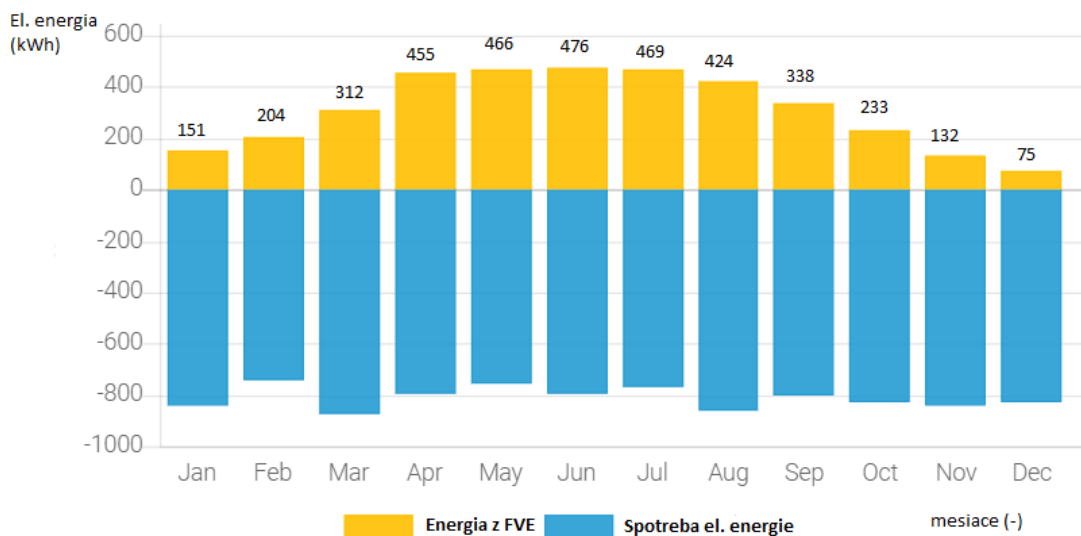
PV SOL je dynamický simulačný program nemeckej spoločnosti Valentin Energie Software GmbH. Ide o softvér s možnosťou 3D vizualizácie a podrobnou analýzou tieňov pre výpočet FV systémov v kombinácii so spotrebičmi, batériovými systémami a pod. Ide o prepracovaný platený softvér, ktorý je na trhu stále viac a viac využívaný nie len projektantmi. V našej práci sme použili bezplatnú skúšobnú 30 dňovú verziu, ktorá je k dispozícii na stiahnutie zadarmo a taktiež online bezplatnú verziu dostupnú na internete. Zaoštaranie plnej verzii programu PVSOL je finančne veľmi náročné – suma sa pohybuje v stovkách eur.

Na obr. 30 možno je zobrazené základné prostredie v programe PVSOL Premium 2020. [34]



Obrázok 30: Základné prostredie programu PVSOL Premium 2020 [34]

Vďaka online nástroju verzii PVSOL sa vieme dopracovať k výsledkom ako sú ročná potenciálna výroba z FV systému, vlastná spotreba energie, výkonnostný pomer a mnoho iných. Do programu sa zadávajú základné údaje o FV systéme ako umiestnenie a lokalita FV systému, profil zaťaženia, priemerná ročná spotreba energie, zadefinovanie a výrobca meniča, zadefinovanie konkrétnych FV panelov s kompletnými údajmi ako výrobca, typ modelu, orientácia panelov atď. Po zadefinovaní hodnôt a parametrov sú výsledky zobrazené na obrázku č. 31 :



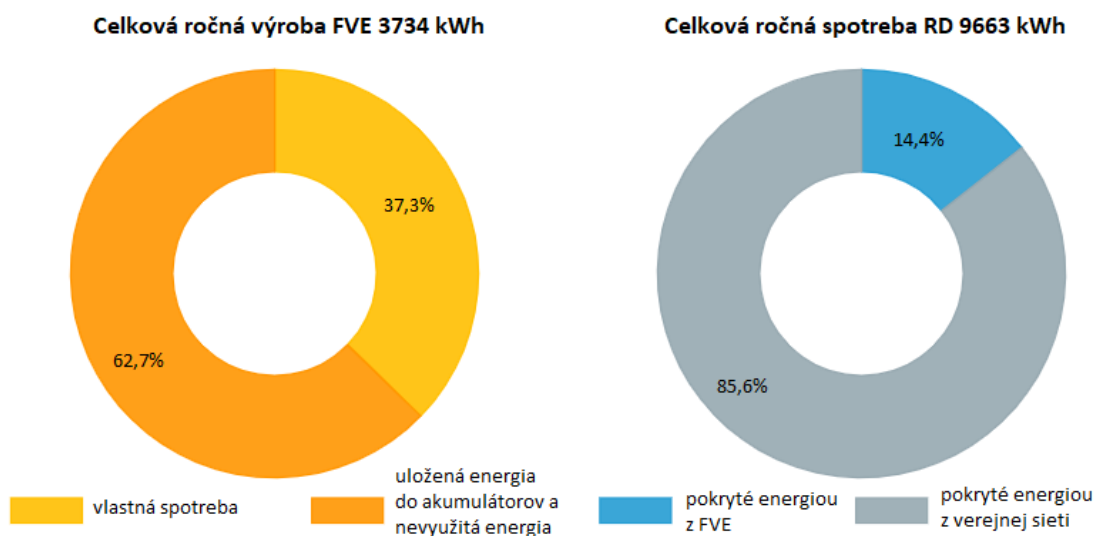
Obrázok 31: Grafické znázornenie výroby a spotreby el. energie FVE programom PVSOL [34]

Najproduktívnejší mesiac podľa programu PVSOL: Jún - 476kWh.

Najmenej produktívny mesiac podľa programu PVSOL : December – 75kWh

Najlepšie obdobie podľa tohto programu je na FV výrobu v mesiacoch apríl až august, kedy sa hodnoty držia mesačne nad 424kWh.

Celková potenciálna ročná výroba el. energie riešenej FVE je podľa programu PVSOL 3734kWh.



Obrázok 32: Grafické závislosti pre prehľad vyrobenej a spotrebovanej energie program PVSOL[34]

Celková ročná výroba FVE podľa programu PVSOL je 3734 kWh.

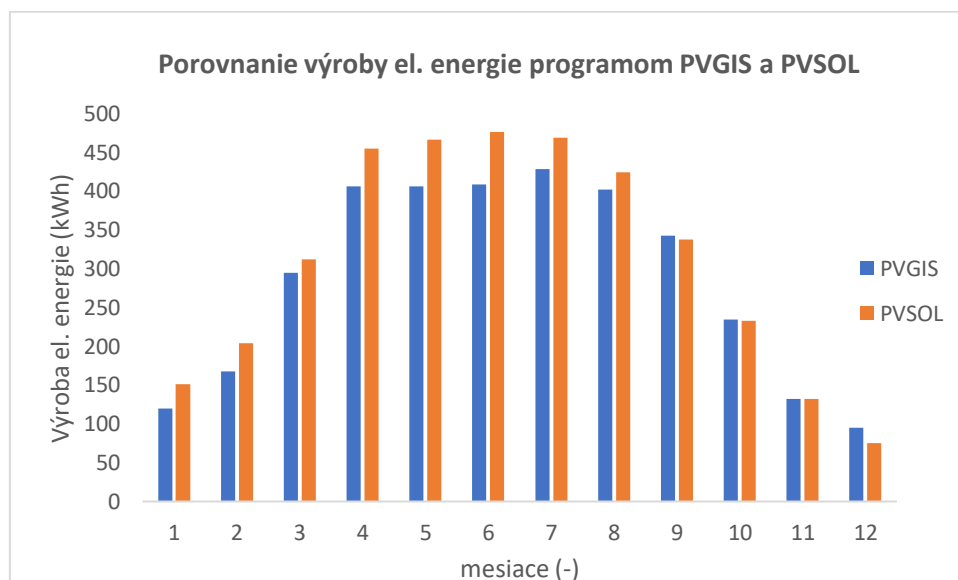
Z tejto hodnoty sa na vlastnú spotrebu využije 1391 kWh čo predstavuje 37,3%. Keďže daný program neumožnil nasimulovať hybridnú FVE a s tým aj akumuláciu energie – zvyšných 2343 kWh predstavuje energiu, ktorá by mohla byť dodaná do verejnej distribučnej siete. Reálne však v našom prípade zo zvyšných 2343 kWh sa bude energia ukladať do akumulátorových batérií – prípadne zostane nevyužitá. Z celkovej spotreby RD pokryjeme fotovoltaiou podľa programu 14,4% čo predstavuje energiu 1391 kWh - keďže sú však k dispozícii akumulátory, ktoré v programe nie sú definované – číslo bude dosahovať vyššie hodnoty.

Naopak - 8272 kWh by sme mali odoberať z verejnej siete, ktoré predstavuje 85,6% - číslo by však malo reálne dosiahnuť určite menšie hodnoty.

Ročný výnos dosahuje podľa programu hodnotu 1149.02 kWh / kWp.

4.7.3 Porovnanie programov výsledkov PVGIS a PVSOL

Na grafickej závislosti obr. 33 vidíme porovnanie výroby el. energie jednotlivými programami.



Obrázok 33: Grafické porovnanie výsledných hodnôt programov PVGIS a PVSOL [29] [34]

Hodnoty generované oboma programami sú veľmi podobné – najväčší rozdiel medzi výstupnými hodnotami je v mesiaci Jún. Podľa programu PVGIS je výroba v tomto mesiaci 408,79 kWh, zatiaľ čo podľa programu PVSOL o 67,21 kWh (476 kWh).

V 11. mesiaci November sú hodnoty prakticky totožné (131,95kWh - 132kWh).

Z celkového počtu 12 mesiacov ukazuje program PVSOL až v 2/3 vyššie hodnoty výroby el. energie ako program PVGIS.

mesiac	9.	10.	11.	12.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Spotreba z FVE (kWh)	339	288	109	44	55	97	455	255	377	443	449	412
Spotreba z EON (kWh)	288	490	850	1078	1033	759	46	189	45	152	153	131
Celková spotreba energie (kWh)	627	778	959	1122	1088	856	501	444	422	595	602	543

Tabuľka 10: Reálna spotreba a výroba el. energie RD po zabudovaní FV systému

/6.7.8. mesiac v roku 2020 označujú predpokladané priemerné hodnoty spotreby a výroby el.energie

V tabuľke vidíme reálne hodnoty výroby el. energie o niečo nižšie ako predpokladané výroby podľa programov PVGIS a PVSOL. Najväčšia výroba by mala byť dosiahnutá v mesiaci jún a najnižšia výroba bola v mesiaci december podľa predpokladu. V mesiaci marec je hodnota vysoká z dôvodu

vykurovaní tepelným čerpadlom zapojeným na FV systém a tým pádom vysokým využitím výroby z fotovoltaiiky.

4.8 Návratnosť riešeného FV systému

Celková reálna výroba (spotreba) el. energie z FV systému by mala dosiahnuť 3313 kWh za 1 rok.

Keďže majiteľ FVE platí za el. energiu z verejnej siete od distribútora EON 2,60 Kč za kWh – pri danej výrobe energie by mal za 1 rok ušetriť 8614Kč podľa výpočtu ušetrených 3313 kWh x 2,6 Kč.

Počiatočná investícia by sa mu mala vrátiť za 13,35 roka, podľa výpočtu :

$115\,000\text{ Kč} / 8614\text{ Kč} = 13,35.$

5 ATMOSFERICKÉ PREPÄTIE A OCHRANY FVE

5.1. Problematika prepätia

Definícia prepätie definuje mimoriadne vysoké prevádzkové alebo krátkodobé zvýšené napätie, ktoré prevyšuje najvyššiu dovolenú hodnotu prevádzkového napätia v el.obvode. Je spôsobené cudzím vplyvom a môže narušiť správnu funkciu, poškodenie až zničenie EZ. Atmosferické prepätie, prepätie spôsobené nukleárnym výbuchom a elektrostatický výboj zaraďujeme medzi prírodné prepätia. Pri spínacích procesoch v el. sieti vzniká prepätie umelé. Človek sa snaží vzniku a veľkosti prepätia chrániť keďže jeho účinky môžu mať rušivé až ničivé charaktery. Najpodstatnejšie prepätie je bleskový výboj. Je ovplyvnené miestom vzniku, dobou trvania, tvarom vlny, zdrojom ale aj vlastnosťou el. vedení po ktorých sa šíri. [31]

5.2. Atmosferické prepätie

Atmosferické prepätie je vyvolané vplyvom blesku. Patria medzi veľmi nebezpečné prepätia, ktorých účinky sa prejavujú až do vzdialenosti niekoľko kilometrov od miesta úderu blesku. Blesk je prírodný jav ktorý vzniká vo chvíli, kedy sa v mraku nazbierajú častice rovnakej polarity. Nad Zemským povrchom vo výške 100 až 400km sa tvorí obrovský guľatý kondenzátor o kapacite asi 0,05F s hodnotou napätia ktoré môže dosahovať hodnotu až 400kV. Prúdy bleskového výboja sa pohybujú v jednotkách až stovkách kA s dobou nábehu 20 až 200 kA mikrosekúnd. Rušivé napätie bleskového výboja dosahuje desiatky až stovky kV. [31]

5.3 Ochrany FVE pred bleskom

Pre čo najmenšie negatívne dopady pred úderom blesku sa inštalujú hromosvody (vonkajšie ochrany), ochranné pospojovania, uzemnenie kovových hmot a prepäťové ochrany. ČSN EN 62305-1 až -4 ed. 2 je súbor noriem pre ochranu pred bleskom. Prepäťové ochrany, ktoré sa inštalujú vo vnútri objektov EZ tvoria vnútorné ochrany pred bleskom (EN ČSN 62305-4). Norma ČSN EN 62305 rieši všeobecné všetky ochrany pred prepätiami. [31]

Prepäťová ochrana má za úlohu zmierniť hodnotu napätia vyššieho ako je prevádzkové a prebytočnú energiu odniesť do necitlivého miesta systému. Ide o ekvipotenciálnu prípojnicu systému. S touto ekvipotenciálnou prípojnou systémom je nutné prepojiť všetky neživé časti, ktoré sa v danom objekte nachádzajú. Uzemňovacia sústava má funkciu odvodu bleskového prúdu do zeme, ktorý vzniká pri priamom údere blesku do hromozvodnej sústavy. Hodnota odporu zemníča musí byť čo najnižšia, aby kládol bleskovému prúdu čo najmenší odpor. Limitná hodnota zemníča je do 10Ω. Zemniaci odpor závisí od faktorov ako hĺbka, uloženie, technický stav vodičov, vlhkosť a pod. Základovým zemničom rozumieme zemniace systémy uložené v základovom betóne budov. [31]

Projektanti při navrhování FV systémů se řídí základnou normou ČSN EN 62305 a též normami ČSN 33 2000-7-712 a ČSN EN 61173. Navrhování přepětových ochrán na AC straně se řídí podle ČSN EN 62305-4 a na DC straně podle IEC 60634-7-712 ed.2, EN 50539-11 a technickou specifikací CLC/TS 50539-12, kde je uvedené jako mají být přepětové ochrany na DC straně zapojené a dimenzované. [31]

Podle základnej normy ČSN EN 62305 je nevyhnuté vykonať výpočet riadeného rizika pre každú elektrárňu. Priamy úder blesku FVE spôsobuje viditeľné poškodenia panelov, meničov a pod. Nepriamy úder blesku v blízkom okolí FVE môže spôsobiť prepätie v sieti. [20]

Možnosti chránenia FVE pred bleskom :

- a) Bez ochrany pred bleskom.
- b) Priame prepojenie bleskového zberača s vodivou časťou konštrukcie
- c) Oddialený bleskozvod [31]

6 NÁVRH POSTUPU OVERENIA BEZPEČNOSTNÝCH A PREVÁDZKOVÝCH PARAMETROV FVE

6.1. Technický popis objektu FVE

Technický popis objektu sa nachádza v revíznej správe, ktorá je súčasťou prílohy.



Obrázok 34: Vnútna časť FVS v objekte

Bezpečnosť a efektivitu FV systémov vieme zabezpečiť len pravidelným meraním a kontrolou FVE. Bez pravidelného merania môže dôjsť k poklesu výkonu, efektivity i k prípadnému neskoršiemu poškodeniu FV systému. Podkladom ku každej revízii je kompletná dokumentácia EZ vrátane fotovoltaiiky. [22]

Základná prepäťová ochrana je už súčasťou riadiacej jednotky (vo vnútri). Ochrana pred prepätím je riešená štvorzásuvkou s prepäťovou ochranou čím je zabezpečená ochrana napájaných spotrebičov.

Nakoľko zariadenie je v prevádzkovom režime krátku dobu, ochrana pred bleskom zatiaľ ešte nebola riešená, nakoľko sa budova nachádza v lokalite s nízkym počtom úderom bleskov.

6.2 Popis a vyhodnotenie revízie FVE

Revízia bola vykonaná pod dohľadom revízneho technika. Na základe prehliadky, merania a skúšania EZ sa vyhotovila revízna správa s posudkom - zariadenie je schopné bezpečnej prevádzky. Každá revízia sa skladá z troch úkonov ako bolo spomenuté vyššie : prehliadka, meranie a skúšanie revidovaného EZ.

V prvej časti sme sa dôkladne zoznámili s daným zariadením FVE, ktorej súčasťou bolo aj preštudovania predložených dokumentov od majiteľa FVE. Následne prebehla vizuálna kontrola a prehliadka, či skutočné prevedenie elektroinštalácie odpovedalo projektovej dokumentácii. Vizuálnou prehliadkou neboli zistené žiadne viditeľné nedostatky. Farebné značenie vodičov, dimenzovanie a istenie vodičov a káblov, uloženie a úchyt vodičov vyhovovalo normám.

V druhej časti sa uskutočnilo skúšanie elektrických prvkov.

Tretia časť pozostáva z meraní: izolačných stavov káblov, merania impedancie vypínacej slučky a merania prechodového odporu napojenia ochranného vodiča.

Z prehliadky, skúšok a meraní vyplýva že elektrické zariadenie je z hľadiska bezpečnosti schopné prevádzky.

Na nasledujúcu pravidelnú revíziu sa odporúča vyžiť merací prístroj Metrel MI3108 EurotestPV, prípadne Metrel MI3109 EurotestPV Lite, ktoré sú vhodné pre meranie VA kriviek a meraní ako na DC tak aj AC strane. Ide o profesionálny multifunkčný prístroj pre 1 fázové FV systémy, ktorý zahŕňa všetky potrebné merania normou EN 62446. [22]

6.2.1 Meranie izolačného odporu

Základný výsledok merania izolačného odporu je posúdenie stavu a kvality izolácie kábla. Poškodenia môžu byť spôsobené napríklad vlhkosťou alebo rôznymi nečistotami. Meranie musí prebiehať v bežnom napätí. Pri meraní izolačného odporu našim meracím prístrojom napájame meraný obvod el. napätím voliteľným napätím – od 100 do 1000V pre NN. Izolačný odpor sa meria medzi fázovým vodičom a nulovým vodičom. Pokiaľ je všetko v poriadku a daný kábel je nepoškodený, hodnota odporu by sa mala pohybovať v nekonečne vysokých číslach (rádovo desiatky MΩ). Minimálna hodnota pre NN hodnoty je 5MΩ.

Namerané hodnoty izolačného odporu sú uvedené v revíznej správe. [31]

6.2.2 Meranie impedančnej smyčky

Impedančná slučka je vlastne odpor vedenia od napájacieho zdroja po spotrebič (zásuvku). Čím sme ďalej od zdroja – a teda čím je dlhšia trasa kabeláže, tým náš impedančný odpor smyčky je vyšší. Meria sa pod napätím – meraný obvod nie je vypnutý. Jeden vodič meracieho prístroja sa priloží na fázový vodič L a druhý vodič sa priloží na neživý vodič kontrolovaného zariadenia – nulový vodič N alebo kostru. Vyhovujúce hodnoty impedančnej smyčky sa určujú podľa vypínacej char. isticeho prvku. [31]

mer. veličina	zásuvka 1	zásuvka 2	zásuvka 3	zásuvka 4	zásuvka 5
U (V)	227	226	229	225	222
I skr (A)	177	173	188	179	164
R (Ω)	1,28	1,31	1,22	1,26	1,35

Tabuľka 11: Meranie impedančnej smyčky na začiatku trasy vedenia

mer. veličina	zásuvka 1	zásuvka 2	zásuvka 3	zásuvka 4	zásuvka 5
U (V)	221	223	226	220	216
I skr (A)	153	138	144	112	85
R (Ω)	1,77	1,66	1,57	1,62	1,44

Tabuľka 12: Meranie impedančnej smyčky na konci trasy vedenia

Z tab. č.12 je zrejmé, že na konci trasy vedenia sú vyššie hodnoty impedančnej smyčky ako sa prejavuje i čiastočný úbytok napätia.

Maximálna hodnota impedancie vypínacej slučky pre istiaci prvok LSN-B 16A. Hodnota z vypínacej charakteristiky je 3,3.

Podľa výpočtu : $U/I = 221V/3,3 \times 16A = 221V/55,8A = 3,96 \Omega$.

3,96 Ω je limitnou hodnotou impedancie pre danú vypínaciu smyčku. Namerané hodnoty neboli v ani jednom prípade vyššie ako limitná hodnota impedancie.

6.2.3 Meranie prechodového odporu

Vplyv na prechodový odpor má nedobré dotiahnutie spojov, preto musí byť pravidelne vykonávaná kontrola dotiahnutia spojov. Prechodový odpor u zásuvkových obvodov by mal byť do limitnej hodnoty 0,1 Ω . Prechodový odpor sa meria medzi fázovým vodičom L a kolíkom. Pri prítomnosti cudzieho napätia väčšieho ako 5V pri meraní prechodového odporu na meranom objekte nastáva blokovanie merania. [31]

Hodnoty prechodového odporu sú uvedené v revíznej správe.

Na meranie prakticky všetkých veličín bol v práci použitý prenosný multifunkčný revízny merací prístroj UNIMER 09. Tento prístroj má prakticky všetky potrebné funkcie v sebe, je riadený procesorom a umožňuje vykonať prakticky všetky merania ktoré sú nevyhnutné pri revíziách EZ. Výsledky meraní sú zobrazované na veľkom grafickom displeji. Ovládanie prístroje je veľmi jednoduché a intuitívne. Prístroj tiež umožňuje uloženie nameraných výsledkov do pamäte prístroja a ich následné spracovanie. [31]

Pre porovnanie hodnôt boli v práci tiež použité meracie prístroje Metrel Easytest MA2064, Revex2051, MEGMET 501D, Zerotest 46N 9200, DigiOhm20 9200.

6.3 Overovanie parametrov FVE

Aby bolo možné vyhodnotiť a porovnať namerané hodnoty FV systému, musia sa namerané hodnoty modulu prepočítať na hodnoty STC, ktorými sú ožarovanie 1000 W/ m², teplota článku 25 °C a hmotnosť vzduchu (AM) 1,5 [22]

čas merania	10:00	10:10	10:20	10:30	10:40	10:50	11:00	11:10	11:20	11:30
U (V)	415	397	403	407	399	408	402	417	414	416
I (mA)	302	246,1	255,5	284,1	253,3	295	250,8	303,3	300,9	301,2

Tabuľka 13: Meranie okamžitého napätia a prúdu na DC prívoде z FV poľa

P vyp (W)	125,33	97,7	102,97	115,63	101,07	120,36	100,82	126,48	124,57	125,3
P skut (W)	122	94	99	113	100	118	98	126	123	123
Odchýlka (W)	-3,33	-3,7	-3,97	-2,63	-1,07	-2,36	-2,82	-0,48	-1,57	-2,3

Tabuľka 14: Vypočítané a skutočné hodnoty okamžitého výkonu FV poľa

Meranie napätia na DC privode z FV systému bolo prevedené digitálnym meracím prístrojom Retlux RDM 9001 a meranie prúdu bolo prevedené kliešťovým prúdovým meracím prístrojom zn. Mastech. Hodnoty okamžitého výkonu na displeji riadiacej jednotky korešpondovali s hodnotami napätia a prúdov zmeraných mer. prístrojom. Meranie bolo prevedené v polojasný deň, preto sú hodnoty okamžitého výkonu len okolo 120W.

čas merania	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
U (V)	43,3	42,2	41,1	40,8	41,6	43,3	44,6	45,5	45,8	46,1

Tabuľka 15: Meranie napätia na odpojenom FV paneli

Meraním napätia na odpojenom FV paneli sa overil jeho štítkový údaj napätia naprázdno. Štítková hodnota napätia naprázdno FV panela Amerisolar 325Wp je 45,8V. Reálne hodnoty merania boli v stanovených medziach, najväčší výkyv bola hodnota 40,8V čo predstavuje o 5V nižšie napätie. Meranie bolo prevedené klasickým univerzálnym meracím prístrojom pre meranie jednosmerného napätia Retlux RDM 9001.

čas merania	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
I (mA)	44	55	24	37	66	88	52	39	2	29

Tabuľka 16: Meranie DC prúdu do akumulátorových batérii



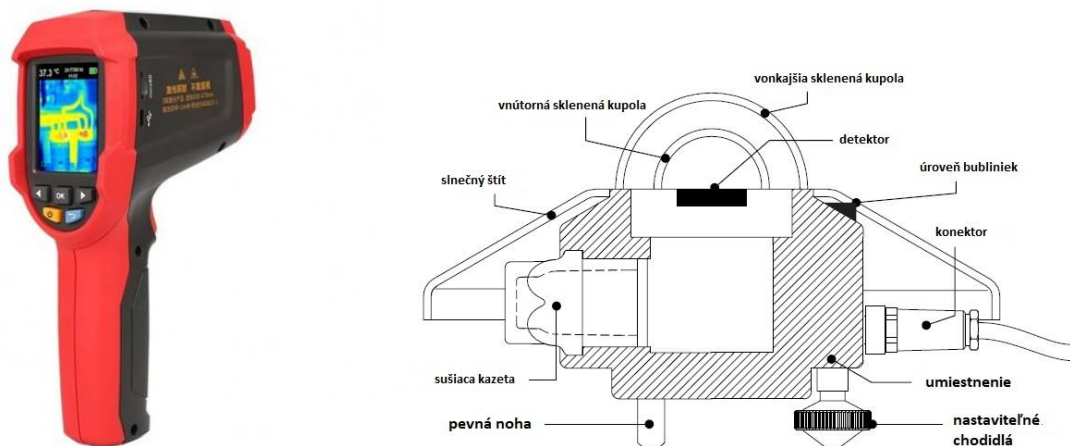
Obrázok 35: Použité mer. prístroje a ukážka z meraní

Využitie termokamery

Pre kontrolu bezporuchovosti FV systému sa odporúča využiť funkciu termokamery. Termokamera je zariadenie ktoré meria intenzitu elektromagnetického žiarenia v infračervenom spektre a následne prepočítava hodnotu tohto žiarenia na teplotu. Termogram (rozloženie povrchových teplôt) je výstupom termokamier. Ku každej hodnote teploty je priradená iná farba podľa zvolenej farebnej stupnice. Vďaka termokamerám vieme veľmi jednoducho zistiť teplotné anomálie. Do budúcnosti je odporúčané využiť termokameru UNI-T UTI 80. [31] [22]

Využitie pyranometra

Pyranometer je typ aktinometra využívajúci sa na meranie slnečného žiarenia a hustoty jeho toku (W/m^2). Pred meraním je potrebné zozbierať dáta mer. modulu a vložiť do prístroja štruktúru FV systému. V prvom bode sa prevedie vizuálna kontrola celého systému pri ktorej sa informujú všetci nachádzajúci sa ľudia v objekte o možnom nebezpečí. Následne sa bezpečne vypne celý systém a nainštalujú sa sondy prostredia, ktoré sa pripájajú k záznamníku. Pyranometer sa pevne zafixuje v rovnakom uhle na FV modul, a teplotný senzor sa zafixuje do zadnej strany FV modulu. Oba senzory sa pripoja do vzdialenej jednotky, synchronizuje sa čas a spustí sa záznamník. [31] [22]



Obrázok 36: Termokamera UNI-T UTI 80 / Pyranometer s popisom častí [36]

7 ZHODNOTENIE

7.1 Zhodnotenie bezpečnosti FVE

Vďaka kontrole v rámci revízie FVE pod dohľadom revízneho technika sa nám podarila overiť bezpečnosť FVE. Po prevedení úkonov prehliadka, meranie a skúšanie môžeme zhodnotiť danú FVE. Riešená FVE je schopná prevádzky bez závad, ktoré by znemožnili jej funkčnosť a bezpečnosť.

7.2. Zhodnotenie a návratnosť FVE

Keďže majiteľ domu vďaka svojej šikovnosti a zručnosti si FV panely inštaloval samostatne, už pri realizácii FV elektrárne ušetril nemalé finančné prostriedky. Investícia bola dlhodobá a definitívna, preto návrh FV elektrárne označujeme za úspešný s pomerne rýchlou návratnosťou.

Návratnosť FVE s priemernými hodnotami, výrobou a spotrebou sa odhaduje na 13,35 roka.

7.3. Odporúčania a budúcnosť FVE

Pri analýze, zapisovaní a odčítovaní hodnôt z elektromera sme sa viac krát stretli s malým číslom výroby el. energie z FV systému z dôvodu – že el. energia sa nemala kde spotrebovať. Pre zvýšenie využitia elektrickej energie z FV systému je rozhodne odporúčané dokúpiť akumulátorové batérie. Je odporúčané dokúpiť 4ks akumulátorových batérii tej istej značky s rovnakými hodnotami – Trojan – 102Ah / 12V. Vďaka tejto kúpe by mal majiteľ domu využiť vyrobenú energiu z FV systému a tým ešte viac znížiť náklady na spotrebu el. energie z verejnej siete o.

Vďaka celkovému počtu 8ks (4 + 4) akumulátorových batérii v domácnosti by sme mohli na el. energiu z bateriek fungovať minimálne 14 hodín bez obmedzenia základných „potrieb“.

8 ZÁVER

Rozhodnutie výberu témy bakalárskej práce bol pre záujem autora práce o obnoviteľné zdroje energie ako zdroje budúcnosti. Téma obnoviteľných zdrojov energie je veľmi dôležitá nielen z hľadiska udržateľného rozvoja pre ľudstvo. Ak má byť udržateľný rozvoj zachovaný, nemôže dochádzať k ďalšiemu technickému pokroku na úkor zvyšovania výroby a spotreby elektrickej energie z neobnoviteľných zdrojov energie, ktoré sa postupne vyčerpávajú a tiež neúmerne zaťažujú naše životné prostredie. Z tohto dôvodu je autor práce presvedčený, že celkovo téma obnoviteľných zdrojov energie by mala v ľudoch stále viac a viac rezonovať a vytvárať možnosti k jej využitiu.

Hlavným cieľom bakalárskej práce bolo posúdiť návrh malej fotovoltickej elektrárne na streche rodinného domu. Súčasťou práce bol aj postup jej revízie.

V teoretickej časti bakalárskej práce sme sa zoznámili so Slnkom a jeho žiarením, fotovoltickým odvetvím ako i s revíznou činnosťou a základnými normami.

V praktickej časti boli využité poznatky z teoretickej časti práce. V tejto časti sa posudzoval návrh fotovoltickej elektrárne z viacerých hľadísk ako je výber miesta a lokality, panelov, striedača, akumulátorových batérií či hodnotenie ekonomických nákladov.

V rámci práce boli použité programy pre dimenzovanie a návrh fotovoltických elektrární PVGIS a PVSOL. V práci je zahrnuté viacero grafických závislostí a porovnanie výsledkov daných programov. Podľa programu PVGIS dokážeme našou fotovoltickou elektrárnou ročne vyrobiť 3437 kWh a podľa programu PVSOL je táto hodnota výroby 3734 kWh.

Celková reálna výroba el. energie z FV systému by mala dosiahnuť priemerne podľa predpokladu 3313 kWh za 1 rok. Pri uvedenej hodnote výroby elektrickej energie by bola návratnosť investícia do fotovoltického systému 13,35 roku.

V rámci revíznej správy bola prevedená prehliadka, skúšanie a meranie revidovaného elektrického zariadenia. Súčasťou práce bol tiež návrh postupu bezpečnostných a prevádzkových parametrov FVE.

Výstupom práce je revízna správa, ktorá posudzuje riešenie elektrární z hľadiska bezpečnosti. Vďaka prevedenej revízii, ktorá sa vykonala pod dohľadom revízneho technika - môžeme vyhodnotiť že riešená fotovoltická elektrárňa je z hľadiska bezpečnosti schopná prevádzky.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Ing. Bronislav Bechník, Ph.D., Stručná historie fotovoltaiky. [online] 2014, [cit. 01. 09. 2014]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [2] ŠKORPÍK, J. *Sluneční záření jako zdroj energie*. [online] 2006, [cit. 16. 11. 2015]. Brno, ISSN 1804-8293. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [3] *Aplikace solárních fotovoltaických systémů* [online]. 2014 [cit. 18. 11. 2015]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/06.html>
- [4] KUSALA, Jaroslav. *Solární (fotovoltaičné) články* [online]. In: . Solární Energie, 2006 [cit. 2006-10-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.html>
- [5] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. *Fotovoltaičné 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.
- [6] Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice [online]. 2014. [cit. 29. 09. 2014]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaike>
- [7] Belán Anton, Model fotovoltaického článku [online]. 2013. [cit. 09.10.2013]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=16396>
- [8] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [9] ING. JAROSLAV KMOCH, TESTO, S.R.O. *Fotovoltaičné moduly a instalace fotovoltaických elektráren pod kontrolou termokamer* [online] 2020. [cit. 01.05.2012]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/merici-technika/fotovoltaicke-moduly-a-instalace-fotovoltaickych-elektren-pod-kontrolou-termokamer>
- [10] Solar bypass diode guide: This is what you should know about solar bypass diodes [online] 2017. [cit. 20. 09. 2017]. Dostupné z : <https://www.powerfromsunlight.com/solar-bypass-diode-guide-this-is-what-you-should-know-about-solar-bypass-diodes/>
- [11] LIBRA, M. – POULEK, V. *Solární energie, fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2006. 149s. ISBN 80-213-1488-5.
- [12] Súčasný vývoj integrácie fotovoltaických systémov do fasád budov [online] Ing. Jakub Čurpek 2018. [cit. 20. 08. 2018]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/17784-sucasny-vyvoj-integracie-fotovoltickych-systemov-do-fasad-budov>
- [13] Ing. Martin Lahký. Pokles výkonu fotovoltaických elektráren v důsledku vysokonapětového stresu [online] 2015. . [CIT. 26. 01. 2015]. Dostupné z : <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/12260-pokles-vykonu-fotovoltaickych-elektren-v-dusledku-vysokonapetoveho-stresu>
- [14] California leading the future of energy [online] 2017. [cit. 13. 11. 2017]. Dostupné z : <http://www.fictiontofact.com/technology/technology-energy/california-leading-the-future-of-energy/>
- [15] TOMEŠ Milan. Zkušenost soudního znalce z posuzování FVE v roce 2011. [online] Ostrava, 2012. Unie soudních znalců.
- [16] TYPES OF SOLAR PV SYSTÉM. [ONLINE] dostupné z : <https://brightsource.com.au/system-types/>
- [17] ASB - Fotovoltaika a jej postavenie na Slovensku. [online] 2010. [cit. 01. 10. 2010]. <https://www.asb.sk/stavebnictvo/technicke-zariadenia-budov/fotovoltaika/fotovoltika-ajei-postavenie-na-slovensku>

- [18] Fotovoltaický střídač - účinnost není vše. Důležitější je maximální výnos energie. [online] 2019. [cit. 20. 04. 2019]. Dostupné z : <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltacky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [19] LEAD-ACID BATTERY CHEMISTRY. [ONLINE] 2017. [CIT. 01. 2017]. DOSTUPNÉ Z: https://www.researchgate.net/figure/Lead-acid-battery-chemistry-a-during-discharging-b-during-charging-and-c-LA_fig4_311305861
- [20] ČSN 33 1500 Elektrotechnické předpisy - Revize elektrických zařízení.
- [21] Fotovoltaické elektrárny. [online] 2019. [cit. 11. 02. 2019]. Dostupné z: <https://www.istavebnictvo.sk/clanky/fotovoltacke-elektrarne>
- [22] Testování el. instalací a FV elektráren. Metrel. Materiály zapůjčené doc. Veselkom.
- [23] Amerisolar AS-6P [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: <https://static.solar-eshop.sk/files/products/3389/AmerisolarAS6P.pdf>
- [24] Amerisolar about us. [online]. Dostupné z: <http://www.weamerisolar.com/english/about/>
- [25] Conversol a7 off-grid inverter - 3kva, 24v, mppt charger [ONLINE]. DOSTUPNÉ Z : <https://voltaconsolar.com/conversol-vm3000-24v-off-grid-inverter.html>
- [26] Conversol v5 super off grid-inverter - 5kva, 48v, parallel function, mppt, bluetooth [online]. Dostupné z: <https://voltaconsolar.com/conversol-v5-off-grid-inverter-bluetooth.html>
- [27] CONVERSOL A3 OFF-GRID INVERTER - 2KVA, 24V, MPPT CHARGER [ONLINE]. DOSTUPNÉ Z: <https://voltaconsolar.com/conversol-2kva-24v.html>
- [28] BOYD BROS. SELECTS OVERDRIVE AGM 31™ TO BE FACTORY INSTALLED BY NAVISTAR [ONLINE]. [CIT. 2014-03-27]. DOSTUPNÉ Z: <https://news.cision.com/trojan-battery-company/r/boyd-bros--selects-overdrive-agm-31--to-be-factory-installed-by-navistar,c9557823>
- [29] Photovoltaic geographical information system. [online]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
- [30] Solartec. Schéma možných pripojení. [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.solartec.eu/rodinne-domy-a-strechy/fotovoltaika/schema-moznych-pripojeni>
- [31] doc. Ing. Veselka František CSc., studijné materiály - časopisy, odborné články. 2019, 2020.
- [32] Iftech solární panel byd 270wp dostupné z: <https://shop.iftech.cz/polykrystalicke-panely/1784-solarni-panel-byd-270wp-poly-stribny-ram.html>
- [33] SOLAR ESHOP. FOTOVOLTAICKÉ PANELY. [ONLINE]. DOSTUPNÉ Z :<https://www.solar-eshop.sk/c/fotovoltaika-1/fotovoltacke-moduly/>
- [34] Valentin software gmbh. Pvsol online.[online]. 2020. Dostupné z: <http://pvsol-online.valentin-software.com/#/>

Zoznam použitých symbolov a skratiek

Skratka	Význam
FV	Fotovoltaika/Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárňa
FVS	Fotovoltaický systém
EZ	Elektrické zariadenie
El.energia	Elektrická energia
ČR	Česká republika
SR	Slovenská republika
Mer.prístroj	Merací prístroj
MPP	Maximal power point (maximálny výkonový bod)
RJ	Riadiaca jednotka
RD	Rodinný dom
TV	Televízor
Char.	Charakteristika
VA	Volt-Ampérova
RS	Rozvodná skriňa
DR	Domovský rozvádzač
BP	Bakalárska práca
PVGIS	Photovoltaic Geographical information system
PID	Potencial induced degradation (potenciálna indukovaná degradácia)
W _p	Wattpeak
STC	Standard test conditions (štandardné testovacie podmienky)

Symbol	Popis	Jednotka
I	elektrický prúd	[A]
I ₀	slnečná konštanta	[W/m ²]
U	elektrické napätie	[A]
P	výkon	[W]
I _D	intenzita difúzneho slnečného žiarenia	[W/m ²]
I _P	intenzita priameho slnečného žiarenia	[W/m ²]
DC	direct current, jednosmerný prúd	[A]
AC	alternating current, striedavý prúd	[A]
°C	jednotka teploty	
K	základná jednotka termodynamickej teploty	

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Grafické znázornenie dopadajúce slnečného žiarenia.....	9
Obrázok 2: Grafické zobrazenie slnečného žiarenia v ČR a SR.....	10
Obrázok 3: Princíp FV článku	12
Obrázok 4: Vývoj ceny kremíkových FV článkov	12
Obrázok 5: VA char. FV článku pri rôznej intenzite ožarovania	13
Obrázok 6: Náhradná schéma FV článku	14
Obrázok 7: Monokryštalický FV panel/článok.....	14
Obrázok 8: Polykryštalický FV panel/článok.....	15
Obrázok 9: Amorfný FV panel/článok	15
Obrázok 10: Dióda By-pass pri zatienenom FV článku a ich ukážka v RS	16
Obrázok 11: Najčastejšia konštrukcia FV panelu	17
Obrázok 12: Migrujúce negatívne ióny od polovodičov a migrujúce pozitívne ióny z obalu skla.....	18
Obrázok 13: Príklad systému Grid off	19
Obrázok 14: Príklad hybridného systému grid off	20
Obrázok 15: Príklad systému Grid on	20
Obrázok 16: Schéma hybridného systému grid off s akumuláciou / Schéma systému grid on	21
Obrázok 17: Ukážka zapojenia jednotlivých invertorov.....	22
Obrázok 18: Proces vybíjania akumulátora a nabíjania akumulátora a prototyp	22
Obrázok 19: Riešený objekt FVE.....	27
Obrázok 20: Principiálna schéma riešenej FVE.....	28
Obrázok 21: Horná rada FV panelov (7ks)	28
Obrázok 22: Dolná rada FV panelov (3ks)	29
Obrázok 23: Monokryštalický / Polykryštalický / Amorfný FV panel.....	31
Obrázok 24: Striedače Conversol 2K / Converstol VM3000/ Conversol V5	32
Obrázok 25: Vybraný striedač Converstol VM3000 z prednej a zo spodnej strany.....	34
Obrázok 26: Akumulátorové batérie v objekte FVE / akumulátorová batéria Trojan-Over Drive AGM 31.....	35
Obrázok 27: Základné prostredie programu PVGIS.....	36
Obrázok 28: Výpočet výroby el. energie FVE programom PVGIS	37
Obrázok 29: Porovnanie dennej intenzity ožarovania v mesiaci december a júl	37
Obrázok 30: Základné prostredie programu PVSOL Premium 2020.....	38
Obrázok 31: Grafické znázornenie výroby a spotreby el. energie FVE programom PVSOL.....	39
Obrázok 32: Grafické závislosti pre prehľad vyrobenej a spotrebovanej energie program PVSOL.....	39
Obrázok 33: Grafické porovnanie výsledných hodnôt programov PVGIS a PVSOL.....	40
Obrázok 34: Vnútroštruktúra FVS v objekte.....	44
Obrázok 35: Použité mer. prístroje a ukážka z meraní.....	47
Obrázok 36: Termokamera UNI-T UTI 80 / Pyranometer s popisom častí.....	48

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Príklady lehoty pravidelných revízií stanovené podľa druhu prostredia.....	25
Tabuľka 2: Príklady lehoty pravidelných revízií stanovené podľa druhu prostredia so zvýšeným rizikom ohrozenia osôb.....	26
Tabuľka 3: Príklady lehoty pravidelných revízií zariadení pre ochranu pred účinkami atmosferickej a statickej elektriny.....	26
Tabuľka 4: Štítkové parametre FV panelu BYD 270Wp.....	29
Tabuľka 5: Energetický profil spotreby domácnosti.....	30
Tabuľka 6: Porovnanie základných parametrov 3 rozdielnych FV panelov s rovnakým výkonom.....	31
Tabuľka 7: Štítkové parametre FV panelu Amerisolar 325Wp.....	32
Tabuľka 8: Porovnanie základných parametrov 3 typov striedača	33
Tabuľka 9: Jednotlivé počiatkové náklady FVE.....	35
Tabuľka 10: Reálna spotreba a výroba el. energie RD po zabudovaní FV systému.....	40
Tabuľka 11: Meranie impedančnej smyčky na začiatku trasy vedenia.....	45
Tabuľka 12: Meranie impedančnej smyčky na konci trasy vedenia.....	46
Tabuľka 13: Meranie okamžitého napätia a prúdu na DC privode z FV poľa.....	46
Tabuľka 14: Vypočítané a skutočné hodnoty okamžitého výkonu FV poľa	47
Tabuľka 15: Meranie napätia na odpojenom FV paneli	47
Tabuľka 16: Meranie DC prúdu do akumulátorových batérii.....	47

Prílohy

Správa o revízii elektrického zariadenia

vykonaná podľa ČSN 33 1500

Druh revízie: Východisková

Dátum začatia revízie: 25.05.2020
Dátum ukončenia revízie: 26.05.2020

Revízny technik: Michal Vozárik, Kratiny xxx, xxxxx Radava
Evidenčné číslo osvedčenia: študent
Názov objektu : Malá FVE na streche rodinného domu

Revidované elektrické zariadenie:
Elektrická inštalácia fotovoltaičného systému rodinného domu.

Napäťová sústava:
2 DC 37-500V, IT
TN-S 3x230V/400V/50Hz AC

Vymedzenie rozsahu revidovaného elektrického zariadenia:

Predmetom tejto revízie bolo elektrického zariadenia počnúc:
Fotovoltaičné panely na streche, prívod z nich do riadiacej jednotky, samotná riadiaca jednotka so
striedačom – rozvodná skriňa, vývody k jednotlivým silovým zariadeniam
- Končiac na pripojovacích svorkách spotrebičov, zásuviek a svietidiel

Prevádzkovateľ : Vladimír xxxxx, Pod Vinohrady xxx, 664 41 Popůvky

Východisková revízia sa vzťahuje na :

-DC rozvádzač FVE
-AC rozvádzač FVE
-Riadiaca jednotka Conversol VM3000 inverter 3kW – v.č.92331903100679
-FV panely Amerisolar 325Wp (10ks)
Predmetom tejto východiskovej revízie nie je celková elektroinštalácia RD ani vonkajšia ochrana
pred úderom blesku, ale len elektroinštalácia napájaná z fotovoltaičnej časti.

Podklady použité k vykonaniu revízie:

- Kompletná projektová dokumentácia elektroinštalácie, vypracoval Ing. Matej Holúbek – TM,
s.r.o., Bajkalská 22, 612 00 Brno. PD sa nachádza u majiteľa FVE.
- Protokol o stanovení vonkajších vplyvov : základné – vnútorná časť domu – vonkajšie (FVE),
ČSN 33 2000-5-51 ed.3

Postup pri revízii:

V zmysle ČSN 331500 a ČSN 332000-6:
a) prehliadka, b) skúšanie c) meranie revidovaného el.zariadenia.

a) Prehliadka elektrického zariadenia

bola prevedená podľa požiadavkov ČSN 33 2000-6 .

Kontrola stavu el.zariadenia ohľadom požiadaviek v zmysle
ČSN 332000-6 čl.61.3 a čl.62.6.N1 pre siete TN na základe predloženej dokumentácie.

- v súlade s bezpečnostnými požiadavkami príslušných noriem pre zariadenia
- sú riadne zvolené a inštalované v súlade s IEC 60364 a s návodmi od výrobcov
- nie sú viditeľne poškodené alebo nevyhovujúce do tej miery, že by to mohlo ohroziť bezpečnosť

b) Skúšanie elektrického zariadenia

Vykonané boli skúšky funkčnosti bezpečnostných prvkov elektrického zariadenia najmä hlavných vypínačov/v rozvádzačov/,ochranných a signalizačných prvkov, zamerané na zaistenie bezpečnosti.

c) Meranie elektrického zariadenia

a/Účinnosť ochrany pred nebezpečným dotykovým napätím neživých častí
v sieťach TN-**impedancia vypínacej slučky** v zmysle ČSN 33 2000-4-41 č.411.4.4.
medzi pracovnými fázovými vodičmi a vodičmi PE, N.

b/Izolačný odpor el.zariadenia:meranie vykonané v zmysle ČSN 33 2000-6 čl. 62.3
medzi každým fázovým vodičom a vodičom PE, N.

c/Prechodové odpory:pripojenie ochranného vodiča včetně pripojenia
všetkých kovových častí na ochranný pospojovací vodič-vykonané
v zmysle ČSN 33 0360 čl.3.1.

Súpis použitých meracích prístrojov:

Meranie izolačného odporu :

MEGMET 501D PU182.1 - výr. č. 000990311161

Meranie impedancie vypínacej smyčky:

Zerotest 46N 9200 - výr. č. 000990311151

Meranie prechodového odporu:

DigiOhm20 9200 - výr. č. 000990007212

Ďalšie použité meracie prístroje:

Unimer 09 – výr.č. 000990311188

Revex 2051 Illko s.r.o Blansko – výr.č. 0401183

Easytest MA2064 – výr.č. 80000007430

Technický popis:

Malá fotovoltaická elektrárň sa nachádza na streche rodinného domu. Ide o hybridný typ elektrárne. Fotovoltaické panely zapojené do série (10ks) premieňajú dopadajúce slnečné žiarenie na jednosmernú elektrickú energiu. Táto jednosmerná elektrická energia je vedená z panelov do riadiacej jednotky. Riadiaca jednotka je napájaná 1-fázovým prívodom z verejnej siete. Ide o 1-fázový prívod napojený z hlavného domového rozvádzača, ktorý sa nachádza v kuchyni. V prípade prebytku el. energie je vyrobená energia z FV systému vyvedená do štyroch akumulátorových batérii z riadiacej jednotky (z regulátora nabíjania).

Výstup zo striedača je striedavé napätie ktoré je vedené z riadiacej jednotky ku spotrebičom cez 4-zásuvku s prepäťovou ochranou. Elektrická inštalácia je prevedená medenými káblami CYKY-J (samostatný ochranný aj neutrálny vodič), ktoré sú vedené v elektroinštalčných trúbkách a zaústené do rozvodnej skrine – riadiacej jednotky. Pre napájanie samotných spotrebičov z RJ sú použité káble CYKY-J 3 x2,5mm. FV Panely sú umiestnené na ľahkej hliníkovej konštrukcii, ktorá je uchytená na streche RD. Dĺžka kabeľáže do riadiacej jednotky je 10,5m a pre minimalizovanie strát bol použitý vodič CYA 2x6 mm².

Na prívodnom vodiči el.energie z verejnej siete, ktorá sa nachádza nad RJ je jednoduchý vypínač pre tento prívod, ktorým sa odstaví prívod el.energie z verejnej siete do RJ. Na prívode el.energie z FV panelov pod RJ je vypínač, ktorým v prípade potreby odpojíme prívod z panelov. Na trase medzi RJ a akumulátormi je vypínač, vďaka ktorému môžeme dočasne/trvale odpojiť z obvodu akumulátory (v prípade údržby/komplikácii). Na danej trase smerom k akumulátorom sa nachádza aj poistka.

Uloženie elektrického vedenia vyhovuje požiadavkom normy ČSN 33 20000 5-52 ed. 2 „elektrické zariadenia – výber sústav a stavby vedenia“.

Dimenzovanie a istenie vodičov a káblov vyhovuje požiadavkom podľa:

ČSN 33 2000-5-52 ed.2 čl.523 "Elektrické zariadenia - Dovoľené prúdy"

ČSN 33 2000-4-43 ed.2 "Elektrické zariadenia - Ochrana pred nadprúdmi"

ČSN 33 2000-4-42 ed.2 "Elektrické zariadenia - Ochrana pred účinkami tepla"

ČSN 33 2000-4-473 "Elektrické zariadenia – Opatrenia k ochrane proti nadprúdom"

Vybavenie bezpečnostnými tabuľkami, pracovnými a ochrannými pomôckami:

Označenie elektrických zariadení vyhovuje požiadavkom ČSN 33 2000 1 ed.2 čl. 134.1.7.

Predmetom revízie nebolo:

- elektroinštalácia AC strany mimo fotovoltaickú časť
- drobné spotrebiče napojené pohyblivým prívodom do zásuvky 230V
- ochrana pred bleskom revidovaného objektu

Namerané hodnoty:

Rozvádzač R1 – oceľo-plechová rozvodnica na povrchu v kuchyni za dverami,

Štítok : elektro Haramria Lozorno, v. č. 182/99, IP40/20, In=20A, rok 2015

číslo zásuvk. vývodu	názov vývodu	kábel	istenie	izolačný odpor (MΩ)	impedancia vyp. smyčky (Ω)	prechodový odpor (Ω)
zásuvka č.1	TV, chladnička	CYKY 3x2,5mm	B16	120	2,54	0,018
zásuvka č.2	Klimatizácia	CYKY 3x2,5mm	B16	177	1,96	0,022
zásuvka č.3	Mraznička	CYKY 3x2,5mm	B16	133	1,57	0,055
zásuvka č.4	Mraznička 2	CYKY 3x2,5mm	B16	118	1,62	0,09
zásuvka č.5	Teplomet	CYKY 3x2,5mm	B16	155	1,44	0,063

U meraní izolačného stavu boli merané hodnoty vždy medzi krajnými a ochrannými vodičmi-uvádzaná je vždy minimálna nameraná hodnota zo všetkých káblov.

Predmetom merania ďalej bolo meranie prechodového odporu napojenia ochranného vodiča na ochrannú svorku-namerané hodnoty nepresiahli 0,1Ω- čo vyhovuje ustanoveniam ČSN.

Vyhodnotenie merania:

1. Izolačný odpor vodičov vyhovuje podľa ČSN 33 2000-6 čl. 62.3
2. Impedancia slučky vyhovuje podľa ČSN 33 2000-4-41 č.411.4.4.
3. Prechodový odpor ochranných vodičov vyhovuje podľa ČSN 33 0360 čl.3.1.

Súpis zistených závad:

Pri revízii neboli zistené žiadne závady.

Záver:

Revidované elektrické zariadenie je z hľadiska bezpečnosti schopné prevádzky.

Upozornenie

Všetky prevádzkované elektrické zariadenia musia byť pravidelne revidované a to najneskôr V lehotách stanovených zákonom resp. ČSN 331500 – tab.1.

Vypracované : 1.6.2020
Odovzdané : 1.6.2020

Revízný technik: