



6 Dimenzovanie solárnych fotovoltaických systémov



6.1 Návrh fotovoltaického systému pre rodinný dom

Fotovoltaický systém navrhujeme pre domácnosť s ročnou spotrebou elektrickej energie 3650 kWh. Mesačná spotreba elektrickej energie je teda cca 304 kWh. Z toho chceme fotovoltaickým systémom pokryť $\frac{1}{4}$ spotreby elektrickej energie. Preto musíme mesačne vyrobiť fotovoltaickým systémom cca 76 kWh.

Pre vzorový výpočet parametrov fotovoltaického systému sme vybrali mesiac november.

Azimutový uhol oslnenej plochy $\gamma = 0^\circ$

Sklon oslnenej plochy je identický ako sklon strechy $\beta = 45^\circ$

1. Vypočítame množstvo energie ktorá dopadne na 1m^2 za 1 deň v mesiaci november, pričom vychádzame z tabuľky 4 pre pomernú dobu slnečného svitu a dennej teoretickej dávky slnečného žiarenia, ktoré dopadne na 1m^2 oslnenej plochy.

$$H_{t,den} = H_{t,denteor} \tau_r = 3,79 \cdot 0,25 = 0,9475 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1} \quad (21)$$

2. Ďalej určíme množstvo energie vyrobenej 1 fotovoltaickým panelom za 1 deň $M_{1deň}$, pričom vychádzame z menovitého výkonu fotovoltaického panelu a účinnosti fotovoltaického panelu.

$P_m = 280 \text{ W}_p = 0,28 \text{ kW}_p$ – Špičkový výkon FV panelu

$E = 22\% = 0,22$ – Účinnosť FV panelu

$$M_{1deň} = P_m H_{t,den} E = 0,28 \cdot 0,9475 \cdot 0,22 = 0,059 \text{ kWh}\cdot\text{d}^{-1} \quad (22)$$

3. Následne určíme množstvo energie vyrobenej jedným fotovoltaickým panelom za 1 mesiac ako súčin množstva energie vyrobenej fotovoltaickým panelom za 1 deň a počtu dní v mesiaci (v našom prípade november, pre ktorý realizujeme vzorový výpočet)

n – počet dní v mesiaci

$$M_{mes} = M_{1deň} n = 0,059 \cdot 30 = 1,75 \text{ kWh}\cdot\text{mes}^{-1} \quad (23)$$

4. Ďalej vypočítame počet fotovoltaických panelov, ktorý by sme potrebovali nainštalovať v prípade, že chceme pokryť $\frac{1}{4}$ spotreby elektrickej energie FV systémom, čo predstavuje 76 kWh. Počet FV panelov určíme ako podiel hodnoty, ktorá predstavuje spotrebu elektrickej energie v domácnosti za kalendárny mesiac a množstva elektrickej energie vyrobenej jedným fotovoltaickým panelom za 1 mesiac.

$$N = \frac{76}{1,75} = 43,4 = 44 \text{ panelov} \quad (21)$$

5. Na záver určíme plochu fotovoltaického poľa potrebného pre pokrytie $\frac{1}{4}$ spotreby elektrickej energie v rodinnom dome. Z údajov výrobcu fotovoltaických panelov

zistíme základné rozmery fotovoltaického panela – výšku a šírku a následne výpočtom určíme celú plochu fotovoltaického panela. Plochu fotovoltaického systému zistíme násobením plochy 1 fotovoltaického panela príslušným počtom potrebných panelov.

a) Výpočet plochy 1 FV panelu

v_p – výška panelu

s_p – šírka panelu

$$S_{IP} = v_p s_p = 1,58 \cdot 0,8 = 1,264 \text{ m}^2 \quad (24)$$

b) Plocha FV poľa, ktorá by bola potrebná pre mesiac november

$$S_c = N S_{IP} = 44 \cdot 1,264 = 55 \text{ m}^2 \quad (25)$$

Tabuľka 12 časť a) Výsledky výpočtu parametrov fotovoltaického systému pre rodinný dom

mesiac	M_{Iden} kWh.d ⁻¹	M_{mes} kWh.mes ⁻¹	N —	S_{Ip} m ²	S_c m ²
január	0,06	1,91	39,80	1,26	50,31
február	0,10	2,99	25,38	1,26	32,08
marec	0,18	5,52	13,78	1,26	17,41
apríl	0,22	6,62	11,49	1,26	14,52
máj	0,27	8,49	8,95	1,26	11,31
jún	0,30	9,05	8,40	1,26	10,62
júl	0,33	10,11	7,52	1,26	9,50
august	0,30	9,24	8,23	1,26	10,40
september	0,25	7,47	10,17	1,26	12,85
október	0,15	4,60	16,51	1,26	20,86
november	0,06	1,75	43,40	1,26	54,86
december	0,04	1,17	64,82	1,26	81,93

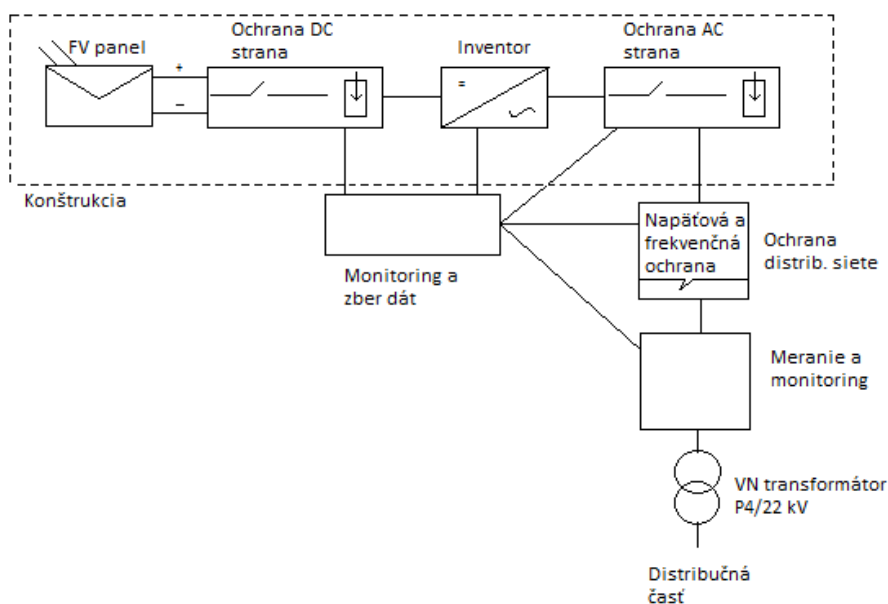
Tabuľka 12 časť b) Výsledky výpočtu parametrov fotovoltaického systému pre rodinný dom

mesiac	M_{Iden} kWh.d ⁻¹	M_{mes} kWh.mes ⁻¹	N —	S_{Ip} m ²	S_c m ²
január	0,06	1,91	39,80	1,26	50,31
február	0,10	2,99	25,38	1,26	32,08
marec	0,18	5,52	13,78	1,26	17,41
apríl	0,22	6,62	11,49	1,26	14,52
máj	0,27	8,49	8,95	1,26	11,31
jún	0,30	9,05	8,40	1,26	10,62
júl	0,33	10,11	7,52	1,26	9,50
august	0,30	9,24	8,23	1,26	10,40
september	0,25	7,47	10,17	1,26	12,85
október	0,15	4,60	16,51	1,26	20,86
november	0,06	1,75	43,40	1,26	54,86
december	0,04	1,17	64,82	1,26	81,93

V mesiaci november by $\frac{1}{4}$ spotreby elektrickej energie v domácnosti pokrylo 44 fotovoltaických panelov a celková plocha fotovoltaického poľa by predstavovala 54,86 m². Pre mesiac november sme vypočítali počet FV panelov 44. Takéto množstvo panelov by vyžadovalo veľkú sumu peňazí. Ak by sme chceli pokrývať $\frac{1}{4}$ spotreby el. energie iba v najslnečnejších mesiacoch (máj, jún, júl, august, september) potrebovali by sme 12 FV panelov. Ak chceme zabezpečiť dodávku el. energie FV systémom čo najefektívnejšie v čo najdlhšom období kalendárneho roka, tak vychádzame z tabuľky 12 časť b), z ktorej je zrejmé, že v prevažne v zimných mesiacoch (november, december, január a február) je počet FV panelov neúmerne vysoký a tomu zodpovedá aj väčšia plocha fotovoltaického poľa, ktoré značne zvyšuje počiatočnú obstarávaciu cenu FV systému. Ako optimálny kompromis pre naše klimatické podmienky s ohľadom na ekonomické aspekty sa javí variant s počtom FV panelov 17, ktorými je možné pokryť spotrebu $\frac{1}{4}$ elektrickej energie v mesiacoch marec až október.

6.2 Návrh fotovoltaickej elektrárne

Navrhujeme fotovoltaickú elektráreň pre mesto Bratislava, v ktorej budeme ako základný stavebný prvok inštalovať monokryštalický fotovoltaický panel s maximálnym výkonom 230 W a účinnosťou fotovoltaického článku cca 16,5 %. Pre účely dimenzovania sú dôležité okrem výkonu a účinnosti fotovoltaického panela aj jeho rozmerové charakteristiky tzn. jeho výška (v_p), ktorá je v tomto prípade 1,5 m a šírka fotovoltaického panela (s_p), ktorá je 1 m. Ďalej budeme vychádzať zo štandardných parametrov, ako sú uhol sklonu oslnenej plochy, $\beta = 30^\circ$ a azimutový uhol oslnenej plochy, ideálna orientácia je na juh, $\gamma = 0^\circ$.



Obrázok 45 Principiálna schéma FV elektrárne

Výpočty:

Vychádzame z rozmerových charakteristík fotovoltaického panela a vypočítame plochu 1 fotovoltaického panela S_1 násobením jeho šírky a výšky.

1. Plocha jedného fotovoltaického panela

$$S_1 = s_p v_p \quad (26)$$

Kde:

s_p – šírka FV panela (m)

v_p – výška FV panela (m)

$$S_1 = 1\text{m} \cdot 1,5\text{m} = 1,5\text{m}^2$$

Plocha jedného panela je $1,5\text{ m}^2$

V ďalšom kroku vypočítame počet fotovoltaických panelov potrebných pre dosiahnutie výkonu 1 MW. Vychádzame pritom z celkového výkonu fotovoltaickej elektrárne, ktorý predstavuje 1 MW a výkonu jedného panela, ktorý je v tomto konkrétnom prípade 230 W.

2. Vypočítame potrebné množstvo FV panelov potrebných pre dosiahnutie výkonu 1 MW

$$n_p = \frac{P_c}{P_{1p}} \quad (27)$$

Kde:

P_c – výkon, ktorý chceme dosiahnuť (W)

$$P_c = 1 \text{ MW} = 1\,000\,000$$

P_{1p} – výkon jedného panela (W)

$$P_{1p} = 230 \text{ W}$$

$$n_p = \frac{1000000 \text{ W}}{230 \text{ W}}$$

$$n_p = 4348 \text{ panelov}$$

Počet panelov potrebných pre dosiahnutie výkonu 1 MW s výkonom 230 W je 4 348.

V nasledovnom kroku určíme celkovú plochu fotovoltaického poľa (presnejšie sa jedná o určenie celkovej plochy fotovoltaických panelov a nie celkovú plochu fotovoltaickej elektrárne, ktorá bude podstatne väčšia, nakoľko fotovoltaické panely budú usporiadané do stringov a tieto budú rozmiestnené v radoch za sebou. Celkovú plochu FV elektrárne určíme až na záver)

3. Vypočítame celkovú plochu FV poľa

$$S_c = S_1 n_p \quad (28)$$

Kde:

S_1 – plocha jedného FV panela (m^2)

$$S_1 = 1,5 \text{ m}^2$$

n_p - nožstvo FV panelov potrebných na dosiahnutie výkonu 1 MW

$$S_c = 1,5 \text{ m}^2 \cdot 4\,348 = 6\,522 \text{ m}^2$$

Celková plocha FV poľa potrebná pre získanie výkonu 1 MW je $6\,522 \text{ m}^2$.

4. Vypočítame energiu vyrobenú FV elektrárnou s inštalovaným výkonom 1 MW za jeden mesiac

$$E_m = H_{t,den.teor} \tau_r n \eta S_c r_k \quad (29)$$

Kde:

$H_{t,den.teor}$ – teoretické množstvo energie dopadajúcej na 1 m² oslnenej plochy za 1 deň (kWh.m⁻².d⁻¹)

τ_r - pomerná doba slnečného svitu

n – počet dní v danom mesiaci (d)

η – účinnosť FV panela (%)

$$\eta = 16,5 \% = 0,165$$

S_c – celková plocha FV poľa (m²)

r_k – celková účinnosť ostatných komponentov (%)

$$r_k = 95 \% = 0,95$$

Mesiac január :

$$E_m = 3,0 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 0,25 \cdot 31 \cdot 0,165 \cdot 6522 \text{ m}^2 \cdot 0,95$$

$$E_m = 23\,769 \text{ kWh}$$

Energia vyrobená FV elektrárnou s inštalovaným výkonom 1 MW za mesiac január bude 23769 kWh. Hodnoty vypočítané pre ostatné mesiace sú uvedené v tabuľke 17.

Tabuľka 13 Vypočítané hodnoty pre mesto Bratislava za jednotlivé mesiace pri 30° sklone oslnenej plochy

mesiac	Počet dní v mesiaci	τ_r –	$H_{t, \text{den, teor}}$ kWh.m ² .d ⁻¹	E_m kWh
január	31	0,25	4,00	23 769,02
február	29	0,35	4,79	42 579,77
marec	31	0,46	6,28	86 595,30
apríl	30	0,50	7,16	110 410,90
máj	31	0,56	7,94	146 949,60
jún	30	0,59	8,30	158 694,30
júl	31	0,66	8,02	176 118,90
august	31	0,66	7,33	156 666,40
september	30	0,63	6,42	120 375,50
október	31	0,47	5,13	69 709,79
november	30	0,25	3,79	25 149,16
december	31	0,20	3,07	16 416,47
Σ	—	—	70,13	1 133 435
Aritmetický priemer	—	0,465	5,84	94 452,93

5. Vypočítame energiu vyrobenú FV elektrárnou s inštalovaným výkonom 1 MW za rok

$$E_{\text{rok}} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_{12} \quad (30)$$

$$E_{\text{rok}} = 1\,133\,435 \text{ W}$$

Energia vyrobená FV elektrárnou s inštalovaným výkonom 1 MW za jeden rok je 1133435 W.

6. Vypočítame výšku, a a šírku, b stringu a následne vzdialenosť medzi jednotlivými stringami, L .

$$\beta = 30^\circ$$

$$\alpha = 17^\circ$$

$$a = 2 v_p \sin \beta$$

$$a = 2 \cdot 1,5 \text{ m} \cdot \sin 30^\circ \quad (31)$$

$$a = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 2 v_p \cos \beta$$

$$b = 2 \cdot 1,5 \text{ m} \cdot \cos 30^\circ \quad (32)$$

$$b = 3 \cdot 0,866 = 2,598$$

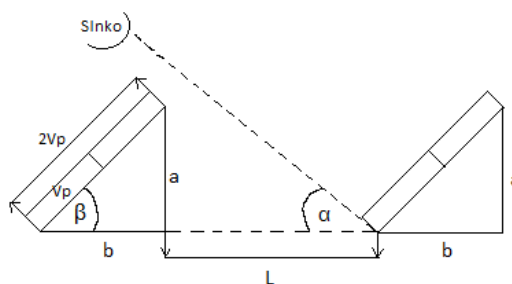
$$b = 2,6 \text{ m}$$

$$L = a \cot g \alpha \quad (33)$$

$$L = 1,5 \text{ m} \cdot 3,27$$

$$L = 4,9 \text{ m}$$

Výška stringu je 1,5 m, šírka stringu je 2,6 m a vzdialenosť medzi stringami bude 4,9 m.



Obrázok 46 Znárodnenie usporiadania fotovoltaických panelov v radoch

7. Vypočítame počet stringov

Najskôr určíme počet fotovoltaických panelov v jednom stringu a následne vypočítame počet stringov:

1 string.....20 panelov

x stringov.....4248 panelov

$$x = \frac{4\,248}{20} = 217,4 = 218 \text{ stringov} \quad (34)$$

Ďalej určíme rozmiestnenie stringov v radoch. V našom prípade zvolíme usporiadanie do 10 radov. V jednom rade bude inštalovaných 22 stringov. V jednom stringu bude 20 panelov usporiadaných do dvoch radov nad sebou. Medzi jednotlivými radmi stringov bude vzdialenosť $L = 4,9$ m.



Obrázok 471 Nákres rozmiestnenia fotovoltaických panelov v FV elektrárni

8. Výpočet rozmerov fotovoltaickej elektrárne vrátane ochranej zóny a medzier medzi radmi

Šírka jedného panela = 1 m

Dĺžka jedného stringu = 20 m

Dĺžka celého FV poľa = dĺžka 1 stringu x počet stringov v rade = $20 \times 22 = 440$ m

Šírka celého FV poľa bez medzier = šírka 1 stringu x počet radov = $2,6 \times 10 = 26$ m

Celková šírka medzier medzi FV panelmi = šírka medzery x počet medzier = $4,9 \times 11 = 53,9$ m

Šírka celého FV poľa s medzerami = šírka celého FV poľa bez medzier + celková šírka medzier medzi FV panelmi = $26 + 53,9 = 79,9$ m

Ochranná zóna horizontálna = $2 \times (\text{dĺžka celého FV poľa} \times L) + (2 \times L) = 2 \times (440 \times 4,9) + (2 \times 4,9) = 4312 + 9,8 = 4321,8 \text{ m}^2$

Ochranná zóna vertikálna = $2 \times (\text{šírka celého FV poľa s medzerami} \times L) = 2 \times (79,9 \times 4,9) = 783,02 \text{ m}^2$

Ochranná zóna spolu = $4321,8 + 783,02 = 5104,82 \text{ m}^2$

Plocha FV poľa bez ochranej zóny = dĺžka celého FV poľa x šírka celého FV poľa s medzerami = $440 \times 79,9 = 35\,156 \text{ m}^2$

Celková plocha FV poľa = Plocha FV poľa bez ochranej zóny + Ochranná zóna spolu = $35\,156 + 5\,104,82 = 40\,260,82 \text{ m}^2 \approx 4 \text{ ha}$

Záver: Celková plocha navrhutej FV elektrárne bude cca 4 ha. Stringy budú usporiadané v 10 radoch po 22 strigov pričom v jednom stringu bude 20 panelov.