
FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

úvod do problematiky



TOMÁŠ KOSTKA, ÚNOR 2015

Základní zkratky

FV = fotovoltaika

PV = photovoltaic

FVE = fotovoltaická elektrárna

FVS = fotovoltaický systém

Wp – (wattpeak) watt špičkového výkonu.

STC – (Standard Test Condition) standardní testovací podmínky, za nichž jsou měřeny charakteristiky fotovoltaických panelů a článků, tj. intenzita záření 1000 W/m² a teplota panelu 25 °C.

MPP – (Maximum Power Point) bod maximálního výkonu; pracovní bod, ve kterém dodává fotovoltaický panel maximální výkon. MPP se mění v závislosti na intenzitě dopadajícího slunečního záření a na teplotě panelu.

MPPT – (Maximum Power Point Tracker) sledovač bodu maximálního výkonu; zařízení, které zvyšuje výnos energie tím, že zajišťuje, aby fotovoltaický panel pracoval stále v blízkosti bodu maximálního výkonu. MPPT je obvykle součástí střídače nebo regulátoru nabíjení, může však být i samostatně.

Základní pojmy

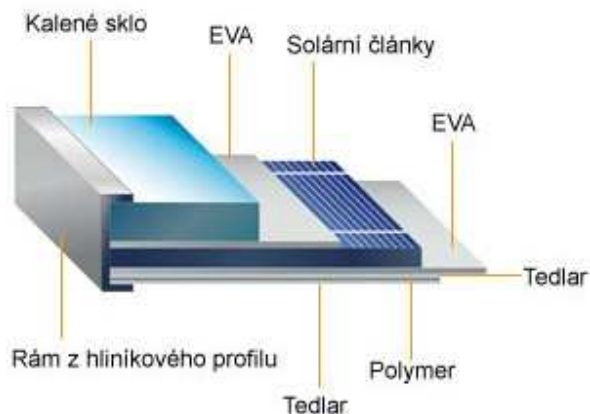
FOTOVOLTAIKA – technologie pro přímou přeměnu slunečního záření na elektřinu bez pohyblivých částí

FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA – zařízení pro přeměnu slunečního záření na elektřinu; obnovitelný zdroj, který v provozu neprodukuje žádné emise znečišťujících látek nebo oxidu uhličitého

FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK – (PV cell) je základní funkční prvek fotovoltaického panelu. Fotovoltaický článek je v principu velkoplošná polovodičová fotodioda schopná přeměňovat sluneční záření na stejnosměrný proud. Využívá při tom fotovoltaický jev. Napětí jednoho článku se pohybuje od zhruba 0,5 V u článků z krystalického křemíku až po jednotky voltů u tenkovrstvých článků s více přechody (vícevrstevných). Proud je úměrný ploše článku, jeho účinnosti a intenzitě slunečního záření, u konkrétního článku závisí částečně na spektru dopadajícího slunečního záření, které se v průběhu dne a roku mění.

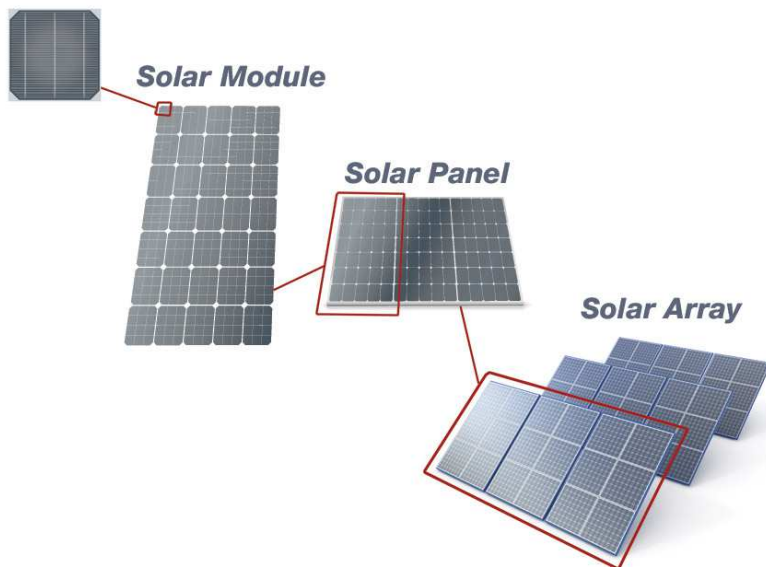
FOTOVOLTAICKÝ MODUL – (PV modul) je obvykle složen z většího počtu článků zapojených v sérii.

FOTOVOLTAICKÝ PANEL – (PV panel) základní samostatná výrobní jednotka pro FVS; se skládá obvykle z 60 nebo 72 článků z krystalického křemíku. Napětí v bodě maximálního výkonu se u těchto panelů pohybuje kolem 30 V resp. 36 V. Tyto panely jsou v současnosti nejrozšířenější.



FV POLE – (PV array) mechanicky a elektricky propojený komplet PV panelů a ostatních důležitých komponentů tvořících zdroj stejnosměrného napětí.

Solar Cell



STRING – řetězec sériově propojených článků/panelů. Sériovým propojením se dosáhne potřebného napětí.

JMENOVITÝ VÝKON PANELU – výkon fotovoltaického panelu za standardních testovacích podmínek (STC); udává se ve wattech špičkového výkonu. Skutečný výkon, který lze z panelu odebrat, závisí především na úrovni slunečního záření a úhlu dopadu paprsků, ale rovněž na přizpůsobení zátěže.

PŘIPOJOVACÍ BOX – (junction box) je obvykle umístěn na zadní straně panelu, slouží k vyvedení elektrické energie z panelu a k jeho připojení do obvodu.

BYPASSOVÁ DIODA – slouží k ochraně fotovoltaických článků v panelu při jejich částečném zastínění, zároveň omezuje ztrátu výkonu při zastínění. Bypassové diody jsou v panelu obvykle tři, každá přemostňuje třetinu článků v panelu, bývají umístěny v připojovacím boxu.

STŘÍDAČ/MĚNIČ – (PV inverter) převádí stejnosměrné napětí (DC) z panelů nebo akumulátoru na střídavé napětí (AC) vhodné pro běžné síťové spotřebiče, tj. obvykle na 230 V.

REGULÁTOR NABÍJENÍ – používá se ve stejnosměrných systémech s akumulátory. Je zapojen mezi FV panely a baterií. Zajišťuje optimalizované nabíjení a vybití akumulátorů. Chrání akumulátor před nadměrným nabitím a vybitím. Regulátory jsou vybaveny i spoustou nadstandardních funkcí jako jsou například ochrana proti přepólování, možnosti programovatelných funkcí, priority napájení spotřebičů při nedostatku energie či jiné bezpečnostní funkce. Součástí regulátoru nabíjení může být MPPT.

VÝKONOVÝ OPTIMIZÉR – DC/DC měnič s MPPT, připojuje se ke každému panelu ve stringu; umožňuje zapojit do série panely různých výkonů, s různým sklonem a orientací, případně i různě zastíněných, přičemž každý z panelů pracuje v optimálním pracovním bodě.

INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ – udává se ve wattech na metr čtvereční (W/m^2); nejvyšší intenzita slunečního záření se v České republice za ideálních povětrnostních podmínek při kolmém dopadu slunečních paprsků pohybuje kolem $1100 W/m^2$.



Způsoby provozu fotovoltaického systému

Fotovoltaickou elektrárnu lze v zásadě provozovat dvěma způsoby – ostrovní systém (FVE OFF-GRID) a systém připojení elektrárny k veřejné síti (FVE ON-GRID).

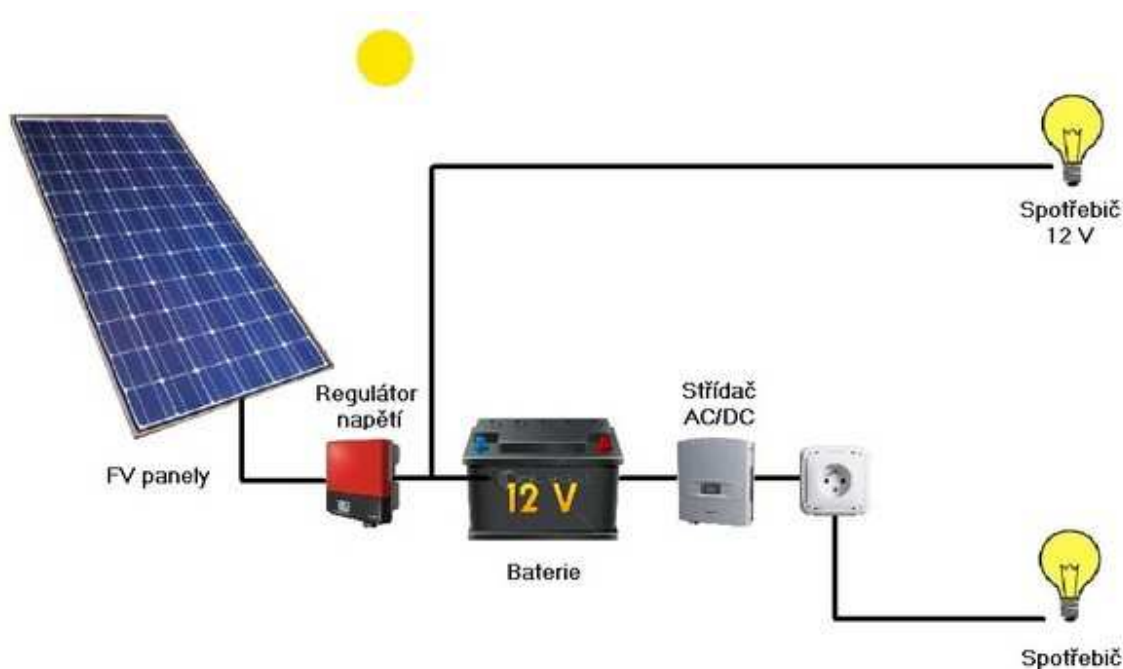
OSTROVNÍ SYSTÉM – je nejstarší aplikací fotovoltaiky. Ostrovní FVE napájí vesmírné satelity, sondy a stanice, počítače a další techniku v končinách, kde se s jiným zdrojem energie nedá počítat. Častou aplikací jsou systémy na čerpání vody. Největší slabinou těchto systémů jsou baterie.

SPOTŘEBITELSKÝ SYSTÉM – je určen především pro výrobu elektrického proudu pro vlastní spotřebu. Přbytek vyprodukované solární energie je možné dodávat do veřejné distribuční sítě.

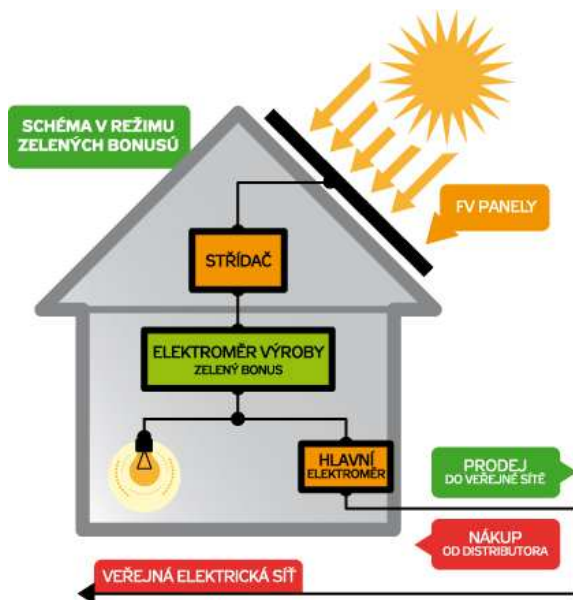
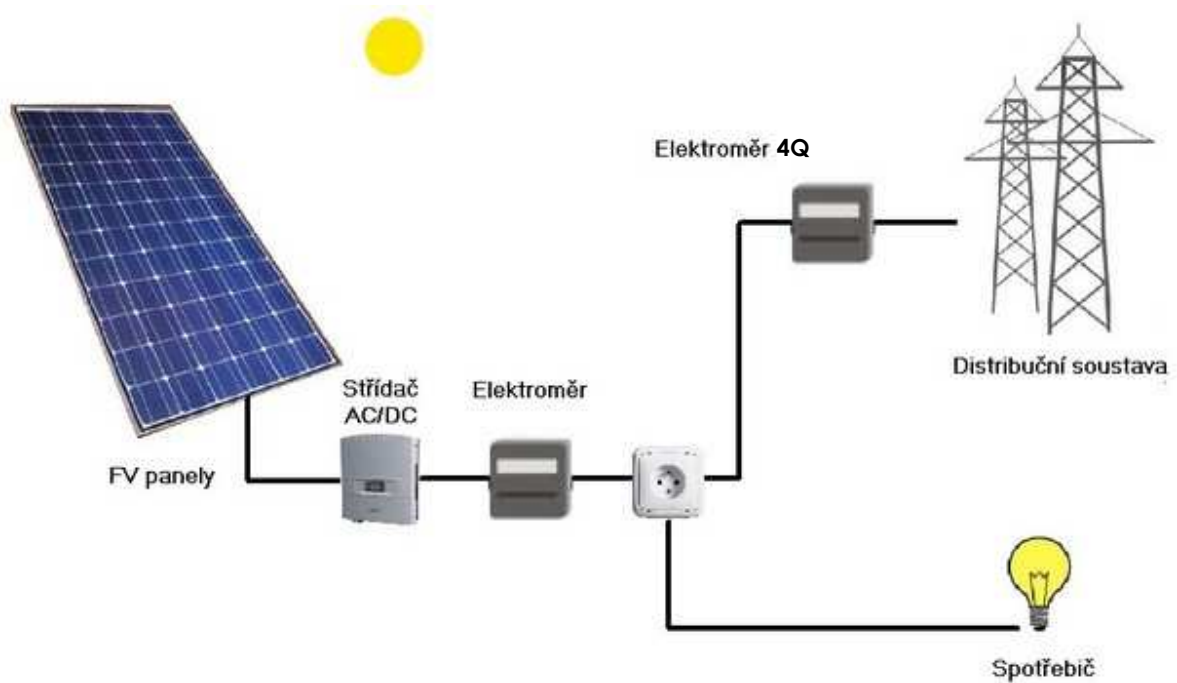
HYBRIDNÍ SYSTÉM – jedná se o kombinaci ostrovního a spotřebitelského systému. Hybridní FVE je konstruována tak, aby bylo možné spotřebovat veškerou energii, kterou lze z FV panelů vyrobit. Nejprve se nabíjí baterie a po plném nabití dochází k přeměření vyráběné energie do prioritních spotřebičů. Případné přebytky lze dodávat do sítě.

DISTRIBUČNÍ SYSTÉM – většina vlastníků tohoto systému jsou distributoři elektrické energie s zařízením, které do sítě dodává větší výkony. Součástí systému je i odbočka vlastní spotřeby.

OSTROVNÍ SYSTÉM



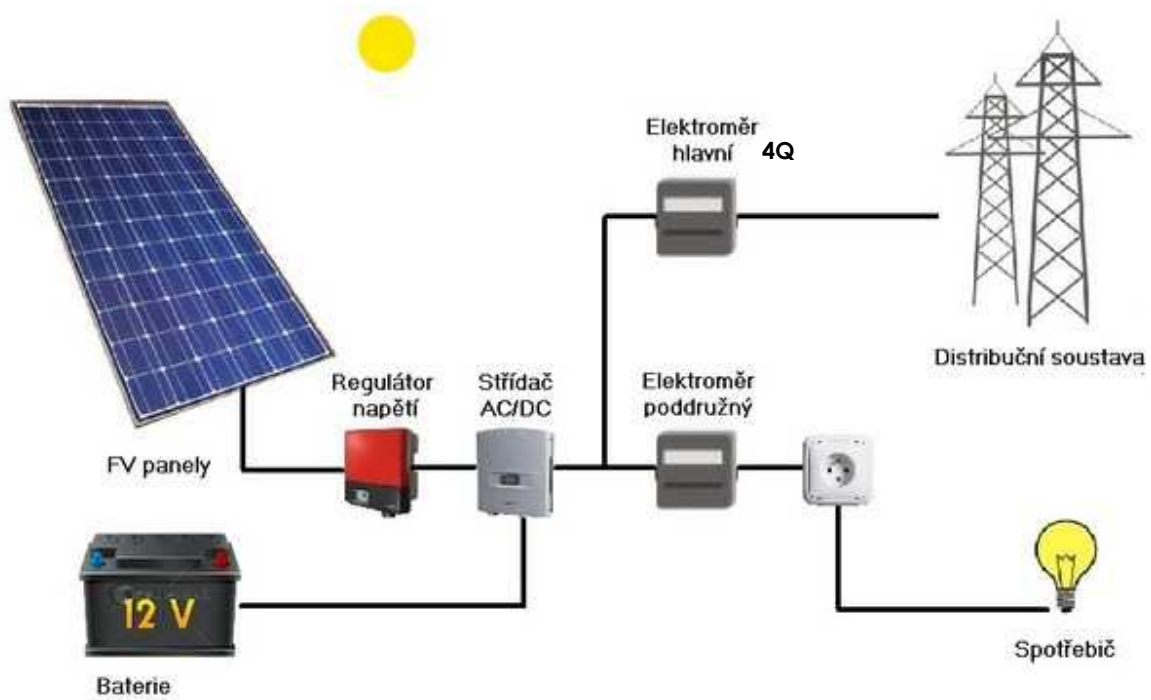
SPOTŘEBITELSKÝ SYSTÉM



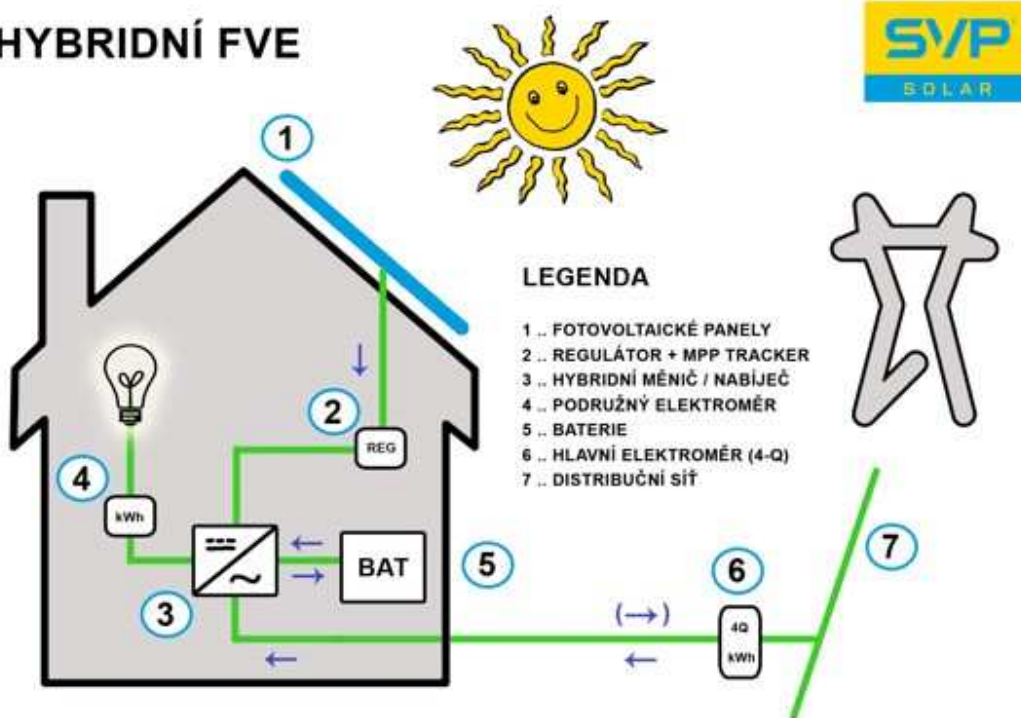
ZELENÝ BONUS

- je příplatek k tržní ceně elektřiny
- pro každý druh OZE upravuje každoročně cenu ERÚ
- na veškerou námi vyrobenou elektrickou energii (spotřebovanou i dodanou)
- nejefektivnější je co nejvíce vyrobené elektrické energie spotřebovat

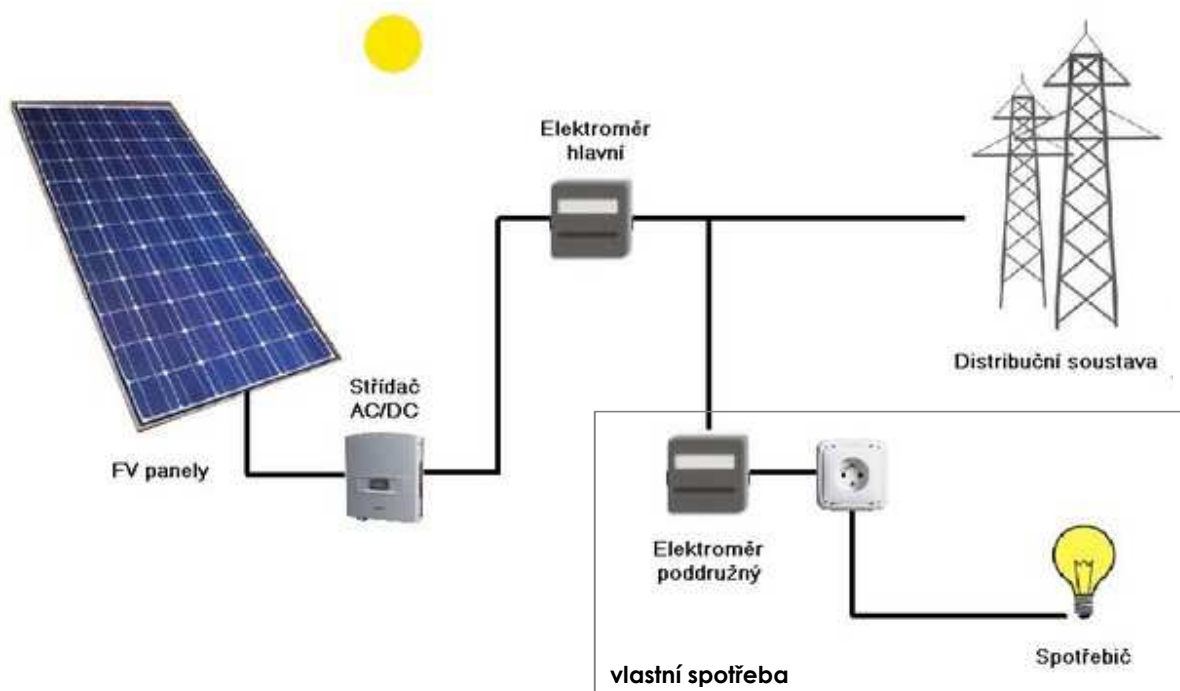
HYBRIDNÍ SYSTÉM



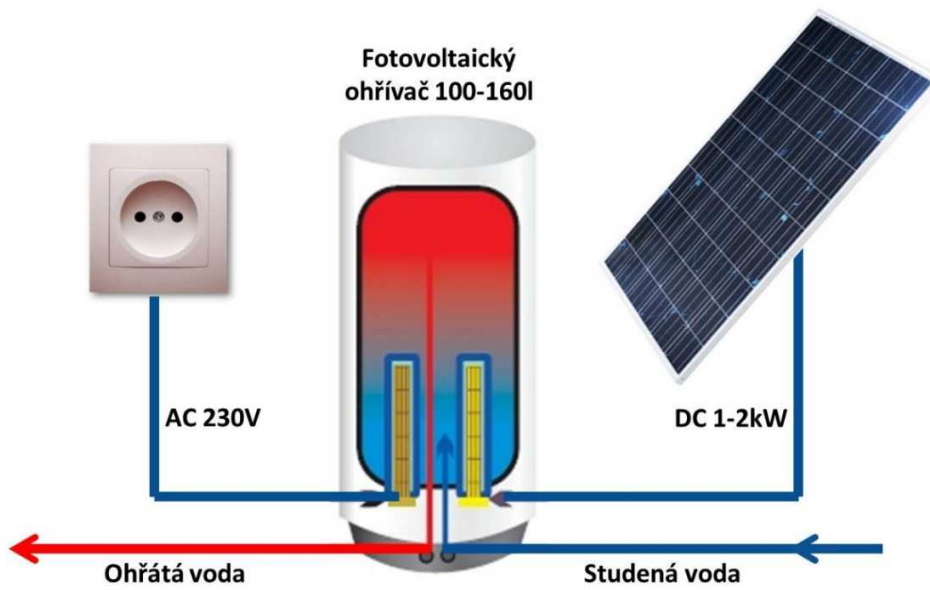
HYBRIDNÍ FVE



DISTRIBUČNÍ SYSTÉM



FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY



Základní hodnoty fotovoltaických panelů

Hodnoty uvedené na štítku panelu jsou jmenovité hodnoty měřené při standardních testovacích podmínkách (STC).

P_{MPP} – jmenovitý výkon panelu, uvádí se hodnota změřená v MPP (Wp)

$$P_{MPP} = U_{MPP} \times I_{MPP}$$

U_{MPP} – napětí při jmenovitém výkonu (V)

I_{MPP} – proud při jmenovitém výkonu (A)

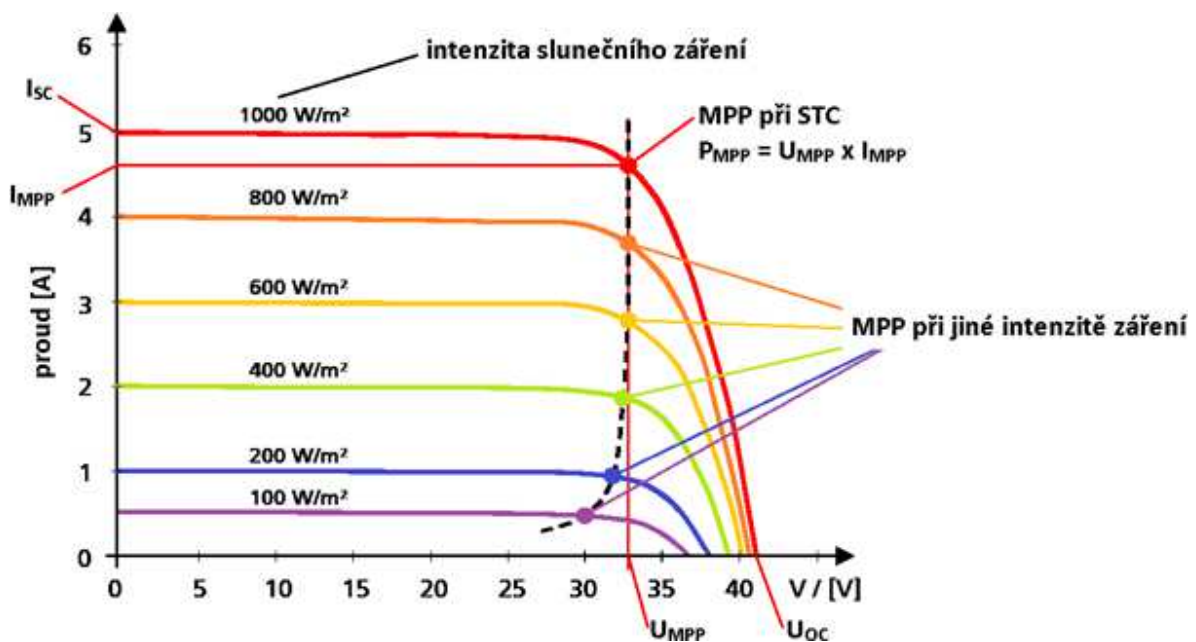
U_{OC} – napětí naprázdno; napětí na fotovoltaickém panelu bez připojené zátěže (V)

I_{SC} – proud nakrátko; největší proud, který je panel schopen dodat (A)

$I_{MOD\ REVERSE}$ – maximální dovolený zpětný proud panelu (A)

Max. System Voltage – nejvyšší systémové napětí; omezuje počet panelů, které lze zapojit do stringu (obvyklá hodnota je 1000 V).

VA charakteristika FV panelu



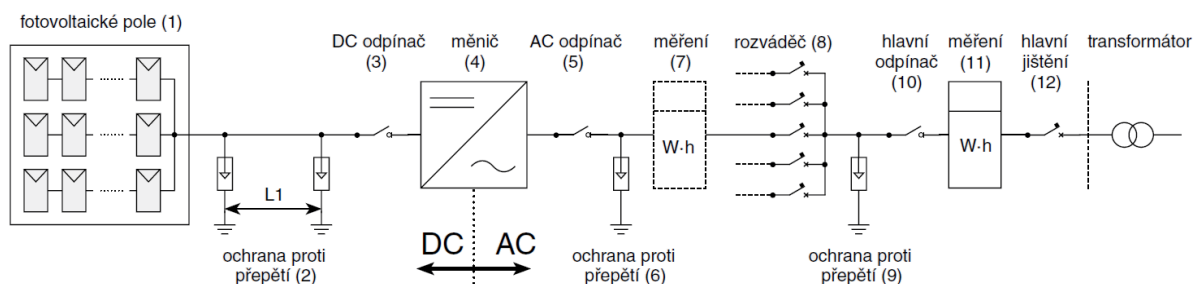
Zkratový proud I_{SC} FV panelu je jen o 10 až 20 % větší než provozní proud I_{MPP} . Pro fotovoltaický panel nepředstavuje zkrat žádný problém, vedení navrhujeme tak, aby průřez vyhovoval zkratovému proudu.

Obecné zapojení FV zdroje

Na obrázku je znázorněn příklad provedení FV zdroje pracujícího paralelně s distribuční sítí. Zdrojem elektrické energie je FV pole (1), které je pomocí vedení spojeno s měničem. V případě většího počtu paralelně řazených stringů je třeba zajistit ochranu FV panelů proti zpětným proudům a nadproudovou ochranu kabelů fotovoltaického pole při poruše.

Pro volbu jmenovitého proudu pojistkové vložky platí: $1,4 \cdot I_{SC} \leq I_N \leq 0,7 \cdot I_{MOD\ REVERSE}$

Současně je nutné řešit ochranu proti přepětí (2). Jedná-li se o delší vedení mezi FV polem a měničem, je vhodné použít svodiče přepětí jak u měniče, tak v blízkosti FV pole. K zajištění údržby měniče je nutné splnit požadavek na jeho možné odpojení od AC i DC strany, proto jsou u měniče instalovány DC odpínač (3) a AC odpínač (5). V případě, že je funkčně zajištěno, aby vypnutí (zapnutí) DC strany probíhalo vždy bez zátěže, tzn., že AC strana bude vypínána dříve a zapínána následně, pak lze na místě DC strany použít jen odpojovač.



Za AC odpínačem je instalován svodič přepětí (6), který je doporučen především následuje-li dlouhé vedení. Dále může být zapojeno místní měření elektrické energie a následuje připojení přes jističí přístroj k rozváděči (8). V případě FV zdroje velkého výkonu jsou do rozváděče připojeny přes jističí přístroje jednotlivé paralelní větve fotovoltaického zdroje. Rozváděč a následný elektrický rozvod je chráněn ze strany připojení k distribuční síti svodičem přepětí (9). Měření dodané a spotřebované energie (výroba a spotřeba v místě – zelený bonus) nebo jen dodané energie (pouze výroba bez spotřeby) předchází hlavní odpínač rozváděče (10). Rozváděč, odpínač a vedení směrem k distribučnímu rozvodu je chráněno proti přetížení a zkratu hlavním jističím přístrojem (12).

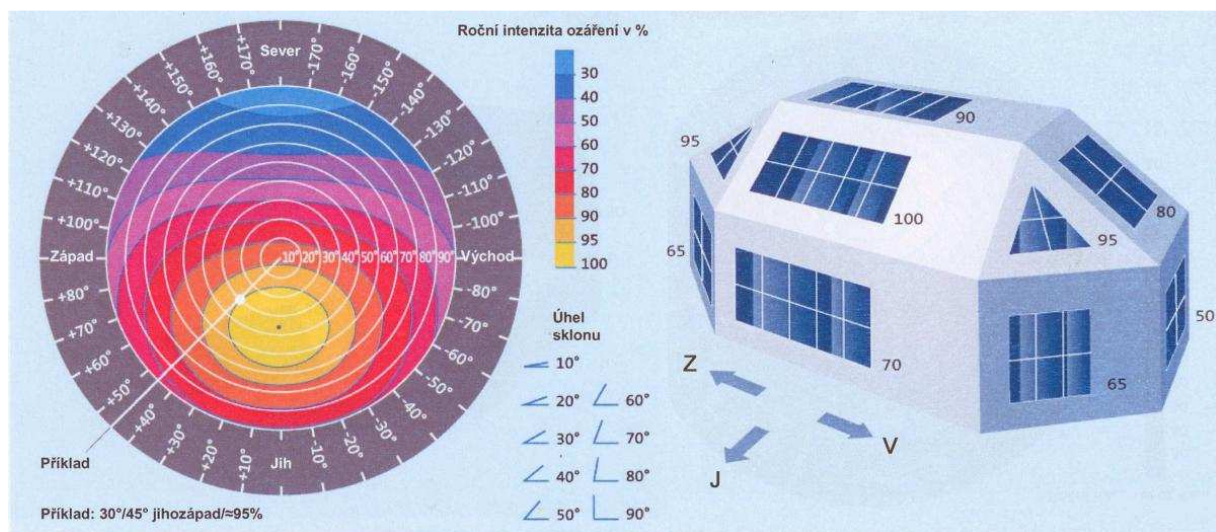
Účinnost FV systému a orientace FV panelů

ÚČINNOST FV ČLÁNKU – je podíl mezi elektrickým výkonem z jednotky plochy FV článku a intenzitou slunečního záření. Typická účinnost kvalitních krystalických křemíkových článků je v současnosti 17–18 % při STC, při intenzitě dopadajícího záření pod 200 W/m^2 účinnost krystalických článků klesá. Teoretická maximální účinnost pro jeden přechod je 34 %.

ÚČINNOST FV PANELU – je podíl mezi elektrickým výkonem z jednotky plochy FV panelu a intenzitou slunečního záření. Účinnost panelu je o 1 až 2 procentní body nižší než účinnosti použitých článků. Hlavním důvodem snížení účinnosti jsou optické ztráty odrazem na krycím skle.

TEPLOTNÍ KOEFICIENT VÝKONU – udává, o kolik se výkon panelu změní při zvýšení teploty o $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Pokles výkonu krystalických panelů je kolem $0,4 \text{ } \%/^\circ\text{C}$, u tenkovrstvých zhruba poloviční.

ORIENTACE FV PANELŮ – za ideální se považuje orientace panelů jižním směrem s maximální odklonem 15° na západ nebo na východ (v ČR ideálně 5° jihozápadním směrem), se sklonem panelů $25^\circ - 40^\circ$ (v ČR ideálně 34°).

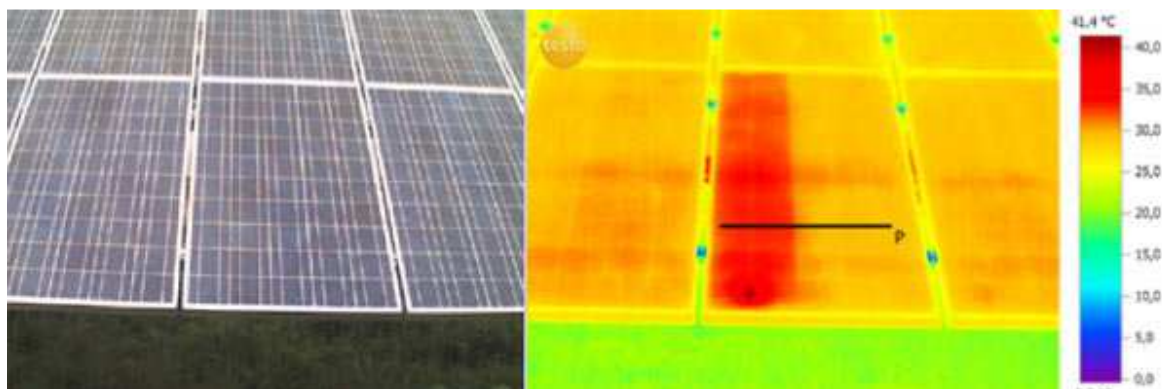
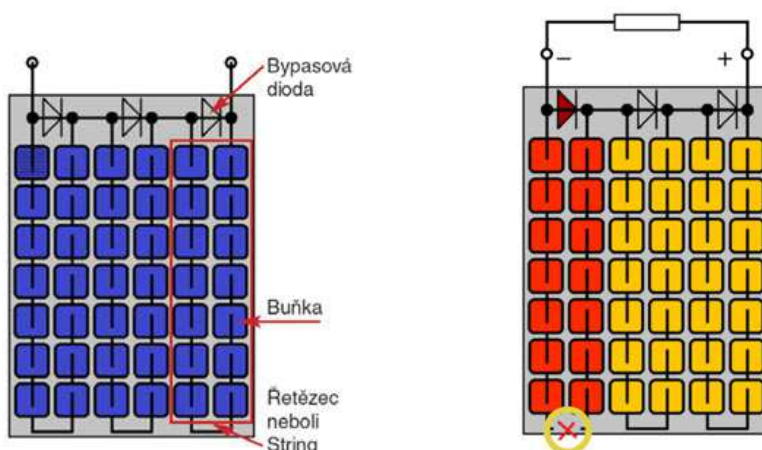


Uvedená % roční intenzita ozáření platí pouze při nulovém zastínění vedlejšími objekty (například stromy, komíny, vikýři, okolními budovami, panely z předcházejícího pole, sněhem apod.).

ŽIVOTNOST A STÁRNUTÍ – životnost krystalických FV článků výrobce obvykle uvádí 20–25 let (po tuto dobu výrobce garantuje, že výkon neklesne pod $80 \text{ } \% P_{MPP}$). Při stárnutí článků je potřeba počítat s úbytkem vyrobeného výkonu přibližně $0,8 \text{ } \%$ za rok.

Bypassová dioda

FV moduly přeměňují dopadající sluneční záření na elektrický výkon. Běžně používané moduly mají účinnost okolo 17 %, to znamená, že 83 % záření je v panelu přeměněno na teplo. Řádně nepřipojený modul přeměňuje všechno dopadající záření na teplo a proto je teplejší. FV modul se skládá z jednotlivých článků, které jsou zpravidla zapojeny sériově. Pokud je uzavřen elektrický obvod, každý článek by měl vyrábět stejné množství proudu. Pokud je nějaký článek slabší (má výrobní vadu nebo je zastíněný), dochází k jeho přepólování. Ostatní články v sérii předávají část své vyrobené energie právě do této slabší buňky, to vede k jejímu zahřátí. Nejsou výjimkou i teploty přes 100 °C. Samozřejmě takto zahřátému článku velice rychle klesá životnost a elektrický proud zvyšuje závěrné napětí. Aby se zabránilo této zpětné vazbě, jsou mezi jednotlivé části panelu instalovány tzv. bypassové diody. Bylo by nejvýhodnější, pokud by dioda byla u každého článku, to by však velice prodražilo výrobu. Pokud má jeden string z článků nižší proud než ostatní, je přebytečný proud převeden diodou.



Použitá literatura

1. BECHNÍK, Bronislav. Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice. In: [online]. 29.9.2014. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
2. Fotovoltaika: Co jsou fotovoltaické systémy?. TZB-energ [online]. 2014 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>
3. KMOCH, Jaroslav. Fotovoltaické moduly a instalace fotovoltaických elektráren pod kontrolou termokamer. In: *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2015. vyd. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/merici-technika/fotovoltaicke-moduly-a-instalace-fotovoltaickych-elektren-pod-kontrolou-termokamer>
4. Obecné schéma zapojení fotovoltaického zdroje. OEZ, s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/aktuality/obecne-schema-zapojeni-fotovoltaickeho-zdroje>
5. ČSN 33 2000-7-712. *Elektrické instalace budov - Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Solární fotovoltaické (PV) napájecí systémy*. Praha: Český normalizační institut, 2006.