

Směrem k optimalizaci výkonu panelů

CÍL

Tak jako lidé vyžadují ke své práci individuální přístup, aby pracovali na své osobní maximum, stejně tak to platí pro fotovoltaické panely. Panel může podávat maximální výkon pouze tehdy, dostane-li specifickou optimální kombinaci napětí a proudu. Na základě technické diskuse a reálných dat ukazuje tato studie, jak může být získána dodatečná energie při použití optimalizace výkonu panelů. Jejím záměrem je potvrdit, že množství takto získané energie je velké a vztahuje se na jakýkoli možný scénář ve světě fotovoltaiky.

Nesoulad a tradiční střídače

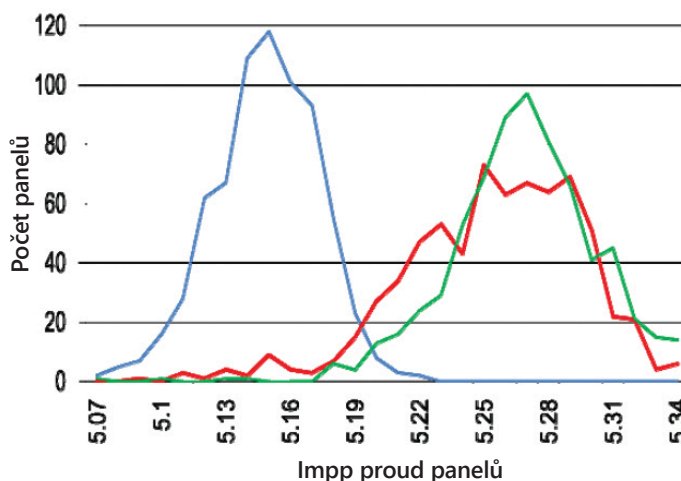
Nesoulad vzniká tehdy, jestliže panely nevykazují stejné elektrické vlastnosti anebo jsou vystaveny různým okolním podmínkám. Ve skutečnosti je nesoulad mezi panely normální už od jejich výroby (obrázek 1). Je všeobecně známo, že každý panel poskytuje maximální výkon (P_{mpp}) při různé kombinaci proudu (I_{mpp}) a napětí (V_{mpp}) (obrázek 2).

Gaussovo rozdělení I_{mpp} tří rozdílných výrobních šarží stejného panelu

Obrázek 1:

Paolo Perotti ve svém výzkumu podává svědectví o úsilí snížit nesoulad mezi 2 800 panely během výstavby 815 kWp elektrárny v Modeně (Itálie). Panely zde byly roztrženy na základě flash testů. Obrázek ukazuje tři rozdílná Gaussova rozdělení I_{mpp} tří výrobních šarží stejného panelu.

Zdroj: P. Perotti et. al., "Monitoring and evaluation of economic impact in the reduction of mismatching in a PV plant located in Northern Italy", 26th EUPVSEC, 5-9/9/11, Germany

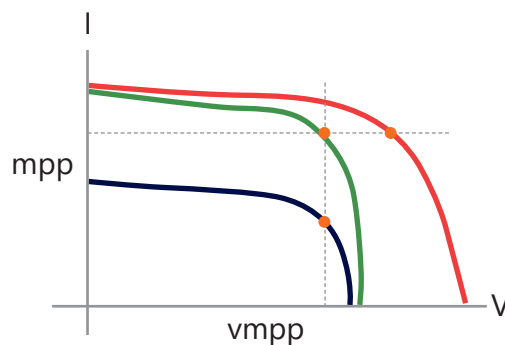


Stejný panel, rozdílná voltampérová charakteristika

Obrázek 2:

Tři podobné panely vykazují za různých podmínek různé vlastnosti:

- Zelená čára – voltampérová křivka za standardních podmínek
- Modrá čára – pokles proudu za nízkého osvětlení
- Červená čára – zvýšení napětí při nízké teplotě



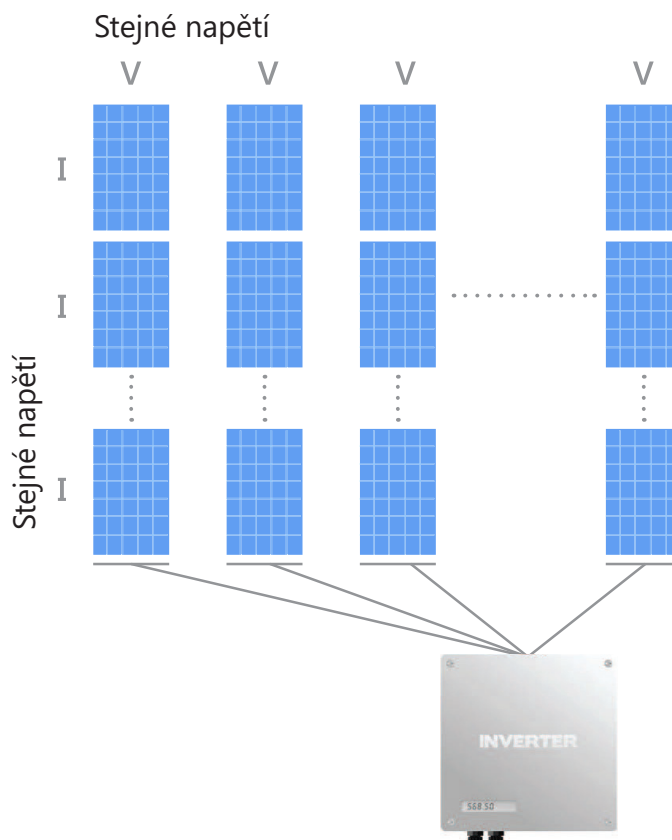
Ovšem klasické střídače, fungující jako centrální jednotky, nejsou schopny zvolit individuální voltampérové křivky panelů, natož přizpůsobit napětí a proud u panelů. Na místo toho tradiční střídače sledují optimální bod výkonu kolektivně za celou sestavu panelů (obrázek 3). Díky tomu získávají tradiční střídače ze systému pouze průměrný výnos, kdy slabší panely omezují výkon ostatních, výkonově silnějších panelů. Výsledkem je ztracená energie, kterou můžeme pojmenovat ztrátou z nesouladu.

Domněnka, že se dá nesouladu vyhnout vytvořením sestavy stejnorodých panelů, a to po celou dobu životnosti systému, je nerealistická. Přestože jsou panely podrobeny flash testům a zaříděny podle podobných výkonových křivek, standardní štitková odchylka $\pm 3\%$ zůstává. Nesoulad může být prohlouben prakticky čímkoli, co vyvolá rozdíl mezi některými panely v systému.

Tradiční FV instalace: one-size-fits-all

Obrázek 3:

Na obrázku je sériové zapojení panelů do stringu a paralelní zapojení několika stringů do střídače. Všechny panely v totožném stringu dostávají stejný proud, všechny paralelní stringy stejné napětí.

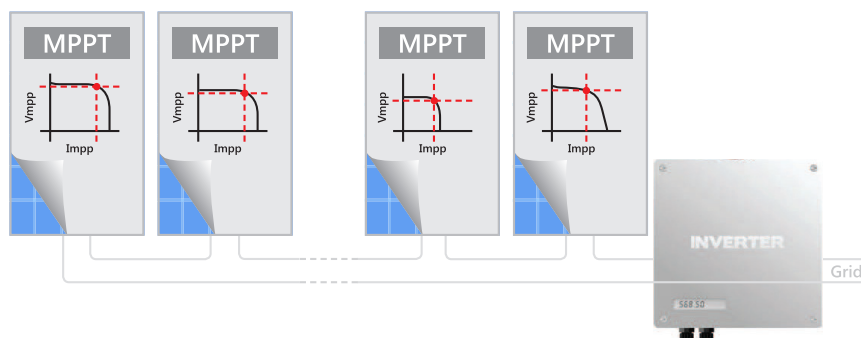


Jak optimalizéry výkonu získávají energii

Sledování maximálního bodu výkonu (MPPT) na úrovni panelů přizpůsobuje proud a napětí individuálním požadavkům každého panelu a garantuje maximální výkon každého panelu nezávisle na ostatních ve stringu (obrázek 4). Jednoduchá matematika, MPPT na úrovni panelů umožňuje sbírat energii ze všech optimálních provozních bodů panelů a znamená vyšší energetický zisk než je pouhý průměr.

Obrázek 4:

Optimalizéry výkonu přizpůsobují napětí a proud každého panelu zvlášť a díky tomu získávají z každého jednotlivého panelu maximum výkonu. Vzájemná závislost panelů v systému je odstraněna.



6 Příkladů

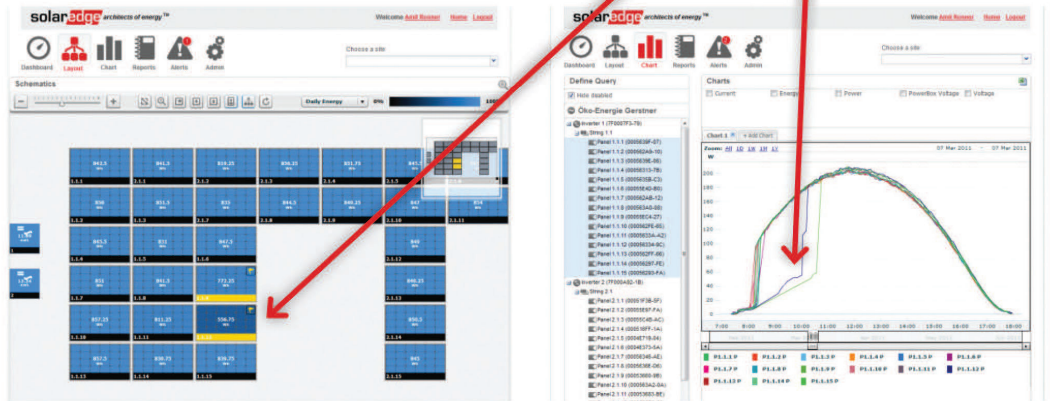
V následujících odstavcích je uvedeno 6 příkladů, které ilustrují různé úrovně energetických zisků při použití optimalizérů.

1. Částečné zastínění – nesoulad díky rozdílnému osvitu

S trochou představivosti může být seznam zdrojů způsobující částečné zastínění nekonečný – komíny, satelitní paraboly, kabel vedoucí nad instalací – to všechno může způsobit stín na panelu. Panely si mohou dokonce stínit navzájem. Při změně intenzity osvitu jen u několika panelů, částečné zastínění způsobuje rozdílný výstupní výkon panelů a vnáší nesoulad do řetězce. Následující příklad z Německa ukazuje, kolik energie může být zachráněno při částečném zastínění 6 kilowattové instalace: SolarEdge monitorovací portál odhalil, že 2 panely číslo 9 a 12 jsou každý den mezi 8 a 10 hodinou zastíněny (obrázek 5). Pro zjištění, jak velký vliv má zastínění na energetický výnos, byl použit software PVSyst vyvinutý na univerzitě v Ženevě. Ten simuloval výrobu ve dvou případech: při použití tradičního (one-size-fits-all) střídače a při použití střídače SolarEdge spolu s výkonovými optimalizéry sledujícími MPP každého panelu. Výsledky ukazují, že ztráta zastíněním je při použití technologie SolarEdge proporcionální k velikosti zastínění (1,5%), tradiční střídač ztrácí 13,4% z potenciálního energetického výnosu systému (obrázek 6). V praxi technologie Solaredge umožnila získat o 12,4 % více energie za první rok provozu.

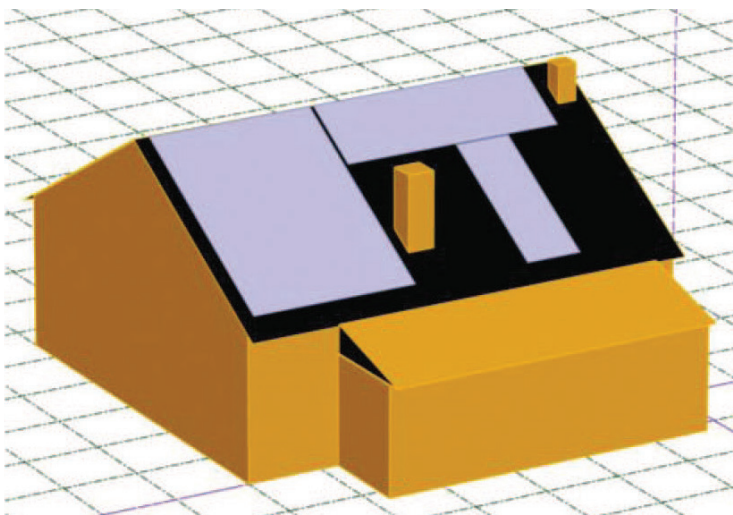
Obrázek 5:

Monitorovací portál SolarEdge ukazuje 2 panely, které jsou každý den ráno mezi 8:00 – 10:00 zastíněny komínem. Za pozornost stojí fakt, že nižší výkon panelů č. 9 a 12 neovlivňuje ostatní panely ve stringu.



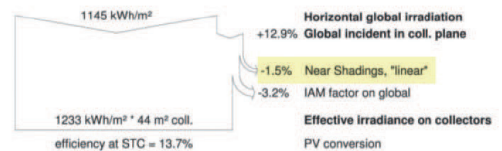
Obrázek 6:

Obrázek ukazuje výsledek simulace softwaru PVsyst pro 6 kWp střešní instalaci, která je vystavena časté formě zastínění, a to zastínění komínem. Na obrázku č.6 je vidět model střešního FVS a vpravo jsou zázorněny výsledky - jeden pro systém s technologií Solaredge a druhý pro fotovoltaický systém s tradičním střídačem.



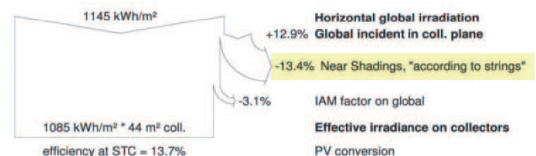
SolarEdge

Vyrobená energie 6262 kWh/rok
 Performance Ratio PR 80.7 %



Tradiční střídač

Vyrobená energie 5574 kWh/rok
 Performance Ratio PR 71.8 %



2. Znečištění - nesoulad díky rozdílnému osvitu

Další častou příčinou ztráty energetického výnosu je znečištění panelů. Stejně jako částečné zastínění i znečištění znamená menší osvětlenou plochu panelů. Může být způsobeno čímkoli, od padajících listů po prach a výkaly ptáků (obrázky a & b). Protože tyto faktory nikdy neovlivňují všechny panely stejně, způsobují nesoulad. V některých oblastech, kde se může písek nebo prach lehce akumulovat, mohou být efekty významné. Obrázek 7 je screenshot monitorovacího portálu SolarEdge, který ukazuje rozdílné výnosy znečištěných panelů na 700 kW elektrárně v Kalifornii před jejich umytím (indikováno rozdílným odstínem modré barvy).



Obrázky a&b:
2 časté zdroje znečištění:
ptáci a písek

Obrázek 7:

Rozdíl ve výrobě energie mezi stringy a panely díky různé úrovni znečištění. Intenzita modré barvy je proporciální k denní výrobě stringu (čím jasnější, tím větší výroba).



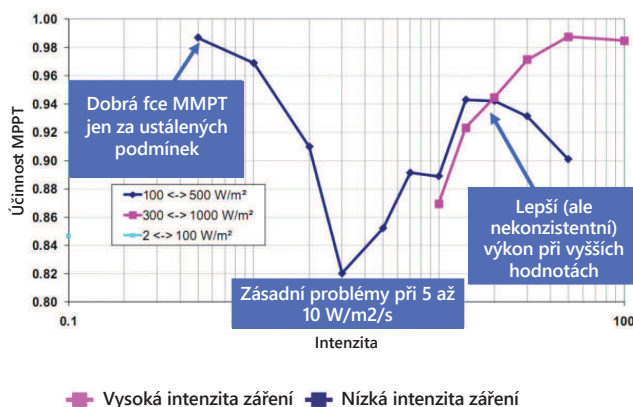
3. Dynamické změny – rychle se měnící klimatické podmínky a osvit

Dokonce i velmi vzdálené elementy jako jsou mraky mohou působit jako zdroje (přerušovaného) stínu. Tradiční střídače mají potíže detekovat kolísání výkonu dostatečně rychle a mohou zůstat na lokálních maximech, nikoli na maximálních hodnotách systému. Jak ukazuje obrázek 8 a 9, je důvod věřit, že energetická ztráta způsobená rychlou změnou světelných podmínek může být značná. Za takového stavu je nutná taková topologie sledování, aby bylo možné reagovat dostatečně rychle změnou napětí a proudu v reálném čase. Toto přesně umožňují výkonové optimalizéry. Hlídkají každý jednotlivý panel a mají schopnost rychle a adekvátně reagovat na rychlé změny v úrovni osvitu.

Obrázek 8:

Účinnost MPPT jako fce rychlosti změny osvitu

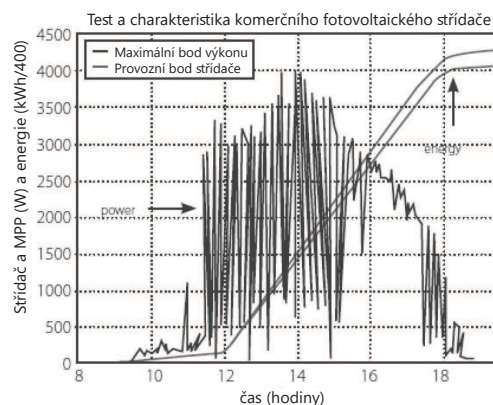
Zdroj: R. Bründlinger Austrian Institute of Technology, 4/2010



Obrázek 9:

Energie ztracená za dne s proměnlivým počasím. Klasický MPP tracker ve střídači ukazuje problémy při hledání bodů výkonového maxima a minima systému při měnícím se osvitu, zastínění.

Zdroj: On the Testing, Characterization, and Evaluation of PV Inverters and Dynamic MPPT Performance Under Real Varying Operating Conditions, Pablo Sanchis et al. (2007)



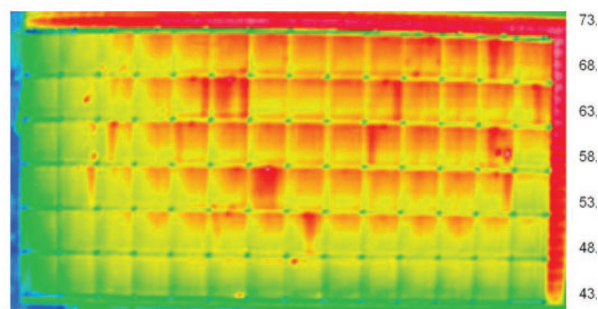
4. Rozdílné teploty, rozdílné mpps

Teploty na jednotlivých částech fotovoltaického systému mohou být velmi rozdílné. Výzkumnice Claudia Buerhop použila infračervenou kameru připevřenou na model helikoptéry, aby zjistila rozdílnost teplot na jedné elektrárně v Německu. Snímek z kamery odhalil rozdílné teplotní gradienty na elektrárně. Rozdíl teplot mezi horní a spodní řadou panelů byl 13 °C, a to byly řady mezi sebou vzdáleny pouhých 7,8 m. Infrakamera odhalila také rozdílné teplotní gradienty v rozmezí 3-5 °C mezi jednotlivými panely. Protože existuje přímá souvislost mezi okolní teplotou a výkonem panelů, budou panely vystavené rozdílným teplotám vykazovat odlišné výkonové křivky. Takové případy nastávají např. tehdy, jestliže je elektrárna postavená na svahu anebo za větrných dnů, kdy vítr odebírá teplo z panelů na jednom konci elektrárny a distribuuje ho skrz elektrárnu.

Obrázek 10:

Obrázek ukazuje infračervený snímek FV elektrárny. Různé panely projevují odlišné požadavky na V_{mpp} jako důsledek jejich vystavení značně rozdílným teplotám v rámci FVE. Obrázek 10 navíc ukazuje horká místa (hotspots), která indikují defekty v panelu a jsou dalším zdrojem nesouladu.

Zdroj: C. Buerhop et al., ZAE Bayern, "The role of infrared emissivity of glass on IR-imaging of PV plants", 26th EUPVSEC, 5-9/9/11, Germany

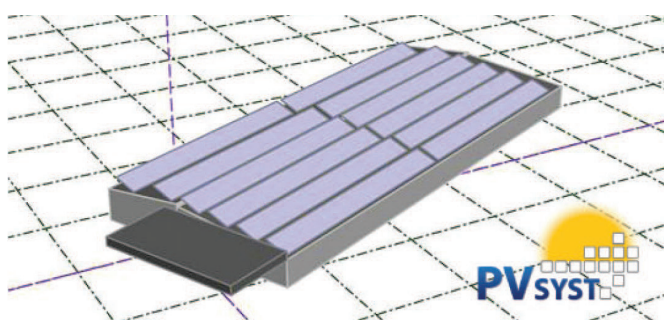


5. Za ideálních podmínek:

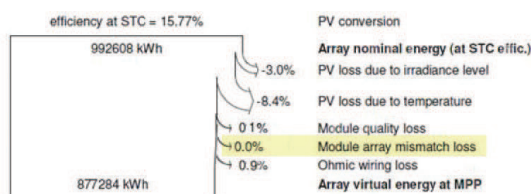
I za stálého počasí, nepřítomnosti zastínění, znečištění, rozdílných teplot nebo jednotlivého výkonově slabšího panelu, software PV syst predikuje, že i standardní výkonová odchylka panelů $\pm 3\%$ resultuje v energetickou ztrátu okolo 2% (obrázek 11). To odpovídá příjmu \$7,500 za první rok provozu, vezmeme-li jako příklad komerční instalaci v Kalifornii, jejíž vlastník má průměrnou měsíční spotřebu 3 650 MWh a pla tí za elektřinu 0.11 \$US/kWh.

Obrázek 11:

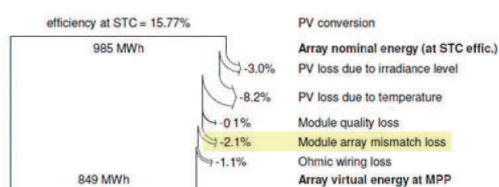
PVsyst simuloval 475 kW střešní elektrárnu a její výkon při použití Solaredge s optimizéry a tradičních střídačů. Žádné vlivy zastínění.



SolarEdge



Tradiční střídač



6. Stárnutí – nesoulad jako důsledek času

Je obecně známo, že panely časem ztrácí výkon a po 20 letech jsou asi na 80 % štítkového výkonu. Nicméně jednotlivé panely stárnou různým tempem a to způsobuje nesoulad stárnutím. Ten se prohlubuje v čase, ale jak ukazuje výzkum, je potřeba se na něj zaměřit již na začátku. Příkladem je test výzkumníka Jorge Coella, který ověřoval proces degradace krystalických panelů na dvou elektrárnách ve Španělsku (19 a 13 MW). Ještě před instalací v roce 2008 provedl Coello v akreditované laboratoři (IEC 17025) flash testy na vzorku 785 panelů od 5 různých výrobců. Testy poté opakoval v roce 2009 a 2010. Jak se předpokládalo, testy ukázaly pouze mírné snížení špičkového výkonu o 1-3,5 % za první rok a dalších 0,4 – 1,3 % za rok následující. Mnohem důležitější ale bylo zjištění, že panely stárly v absolutně různém tempu. V průběhu dvou let 2008 až 2010 se u jednoho z pěti

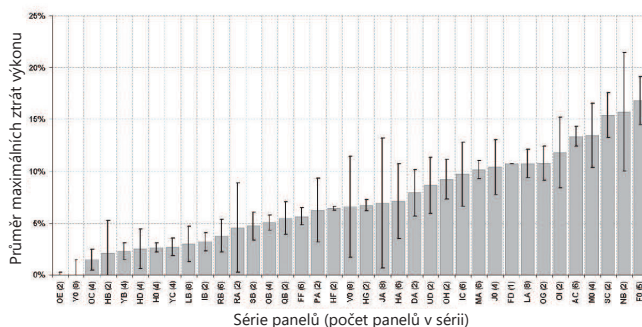
výrobců dokonce objevila odchylka mezi panely až 6 %. V dalším výzkumu, provedeném v roce 2009, prezentoval Artur Skoczek výsledky analýzy degradace setu 53 panelů od 20 různých výrobců. Celkem se jednalo o 204 panelů, které byly v European Solar Test Installation (ESTI, Ispra, Itálie) vystaveny venkovnímu provozu po dobu 19-23 let. Standardní odchylka snížení výkonu byla pro čtvrtinu panelů vyšší než 5 % a v něk terých případech dosáhla až 15 %.

Výkonová odchylka totožných panelů po 20 letech

Obrázek 12:

Černé linky: Výkonová odchylka identických panelů po 20 letech (diagram ukazuje pouze výsledky výkonově lepších řad panelů).

Zdroj: A. Skoczek et. al., "The results of performance measurements of field-aged c-Si photovoltaic modules", Prog. Photovolt: Res. Appl. 2009; 17:227–240



Závěrem

Výsledky uvedené ve studii ukazují, že nesoulad různého druhu je obvyklým stavem ve fotovoltaických systémech a zvyšuje se díky změnám v okolním prostředí. Výsledky také ukázaly, že každá topologie založená na domněnce, že fotovoltaické panely mohou působit jako homogenní celek, nebo že lze udržet jejich soulad po celou dobu životnosti systému, jde na úkor energetického výnosu.

Při aplikaci technologií pracujících na úrovni panelů lze získat dodatečnou energii prakticky z každé instalace. Množství takto získané dodatečné energie záleží na specifických podmínkách a nejlépe to vystihl časopis Photon v říjnu 2011: dokonce i za plné kontroly podmínek při testu prováděném v laboratoři PHOTON, dodatečně získaná energie pomocí SolarEdge optimizérů dosáhla hodnot od 1,6% do 34 % (obrázek 13). Tyto výsledky přitom nezahrnují vlivy, které jsou uvedeny v této studii a které je také nutno vzít v potaz. Jedná se např. o teplotní rozdíly, rychlé změny úrovně osvitů a nesoulad stárnutím. Nestejnoměrné tempo stárnutí panelů prohlubuje nesoulad a rok za rokem snižuje návratnost investice do fotovoltaického systému.

Závěrem je nutno podotknout, že za účelem dosažení společného cíle, kterým je vyšší efektivita energetického výnosu, by měl průmysl akceptovat rozdílnost panelů jako přirozený fakt a nezabývat se příliš tříděním panelů a prováděním flash testů. Cesta vpřed vede přes optimalizaci výnosu na úrovni jednotlivých panelů.

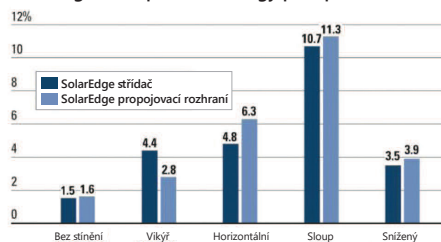
Laboratorní test časopisu PHOTON na dodatečně získanou energii pomocí optimizérů SolarEdge

Obrázek 13:

Grafy ilustrují dodatečný energetický zisk v pěti různých situacích za použití optimizérů Solaredge s MPP sledovačem (ve srovnání s tradičním střídačem a centrálním MPP sledovačem). Sloupce srovnávají dodatečné zisky při použití optimizérů se střídačem Solaredge a také při použití optimizérů se střídačem jiného výrobce.

Zdroj: PHOTON Magazine, Říjen 2011

Dodatečný zisk díky power boxům (optimizérům) Solaredge - dva paralelní stringy po 7 panelech



Dodatečný zisk díky power boxům (optimizérům) Solaredge - jeden string se 14 panely

