

# FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY S VÝCHODO-ZÁPADNÍ

Pavel Žižka

V minulosti panovala určitá neochota instalovat fotovoltaické (FV) systémy orientované východo-západním směrem. Postupem času však lze pozorovat rostoucí zájem o instalaci FV generátorů na střechách s východo-západní orientací. FV systémy s jižní orientací sice výhodnější, avšak i FV generátory s východo-západní orientací umožňují dosáhnout značných výnosů.

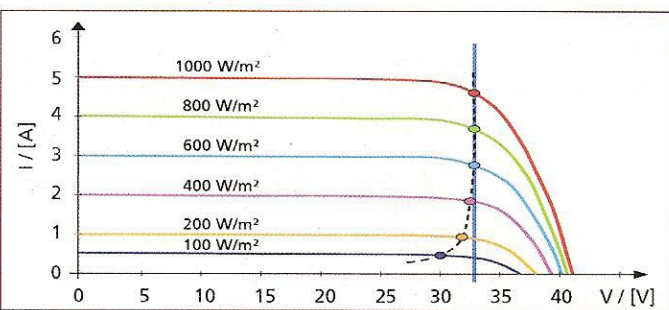
Vzhledem k prudce klesajícím cenám solárních panelů lze v budoucnu dokonce počítat s rostoucí poptávkou po východo-západních systémech. Z pohledu provozovatele elektrické sítě jsou fotovoltaické systémy s východo-západní orientací stejně zajímavé jako systémy orientované na jih, protože dodávky energie do sítě jsou po celý den rovnoměrnější, dochází ke snížení poledních špiček a v důsledku toho k odlehčení sítě. Dosud se vycházelo z předpokladu, že u FV systémů s východo-západní orientací jsou pro obě orientace zapotřebí samostatné střídače nebo alespoň jeden střídač s více MPP trackery (Maximum Power Point, bod maximálního výkonu), aby se zamezilo ztrátám nepřizpůsobením. Tento článek obsahuje analýzu FV generátorů s východo-západní orientací, které jsou instalovány pouze s jedním MPP trackerem, a dokládá, jak výkonné tyto systémy jsou.

## 1 - Úvod

Na základě teoretické analýzy bylo odvozeno chování MPP fotovoltaického systému s východo-západní orientací, které pak bylo pomocí srovnávacích měření ověřeno v praxi. K získání praktických výsledků byly k dispozici dva východo-západní systémy: jeden FV systém s tenkovrstvými solárními panely a jeden FV systém s krystalickými solárními panely. Oba systémy byly provozovány jak se samostatnými střídači (po jednom střídači na východní i západní části střechy), tak také se společným střídačem pro obě části střechy.

Tenkovrstvé panely byly instalovány s azimutem -67,5° pro východní generátor, 112,5° pro západní generátor a s úhlem náklonu 30°. Krystalické panely byly namontovány s přesnou orientací -90° pro východní generátor, 90° pro západní generátor a s úhlem náklonu 15°.

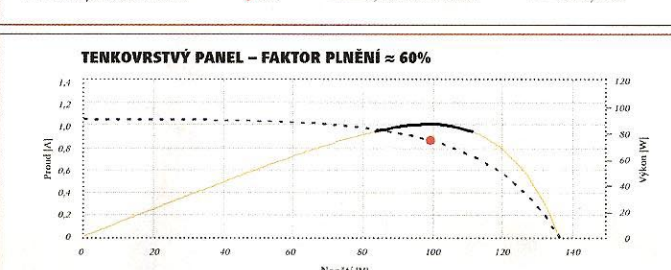
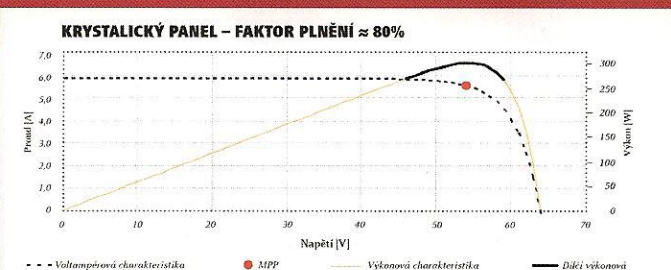
Byla provedena měření charakteristiky I/U s cílem dosáhnout přesných výsledků. Případné odchylky střídačů byly zohledněny při instalaci elektroměrů.



Obr. 1 - Voltampérová charakteristika krystalického panelu při různém osvětlení<sup>[1]</sup>

## 2 - Nepřizpůsobení

V případě instalace společného střídače v rámci FV systému s východo-západní orientací bychom na první pohled očekávali velké ztráty nepřizpůsobením. Vzhledem k různé orientaci u východo-západního systému jsou totiž solární panely vystaveny rozdílným hodnotám osvitů. Z tohoto důvodu vykazují východní a západní větve v závislosti na denní době rozdílné proudy. Přes velké proudové rozdíly mezi východním



Obr. 2 - Voltampérová charakteristika krystalického a tenkovrstvého panelu

a západním generátorem jsou hodnoty napětí MPP téměř identické, jak je patrné z obr. 1. Celkové napětí východního generátoru je přibližně stejně velké jako celkové napětí západního generátoru, proto se při paralelním zapojení těchto větví na společný střídač (s jedním MPP trackerem) očekávají jen velmi malé ztráty nepřizpůsobením.

Tyto minimální ztráty nepřizpůsobením závisí na úhlu náklonu instalovaných solárních panelů a na použité technologii panelů. Čím větší je úhel náklonu solárních panelů, tím vyšší jsou ztráty nepřizpůsobením. Pro výši ztrát v závislosti na technologii panelů je rozhodující faktor plnění a změna napětí MPP v závislosti na osvitě.

Faktor plnění, který je u krystalických panelů zpravidla vyšší než u tenkovrstvých panelů, určuje, jak prudce klesá výkonostní křivka před a po MPP. Na obr. 2 je znázorněna typická charakteristika krystalického a tenkovrstvého panelu. Je vidět, že výkonostní křivka krystalického panelu za bodem MPP klesá prudčeji než výkonostní křivka tenkovrstvého panelu. Z toho vyplývá, že krystalické panely ve FV systémech s východo-západní orientací způsobují vyšší ztráty nepřizpůsobením než tenkovrstvé panely.

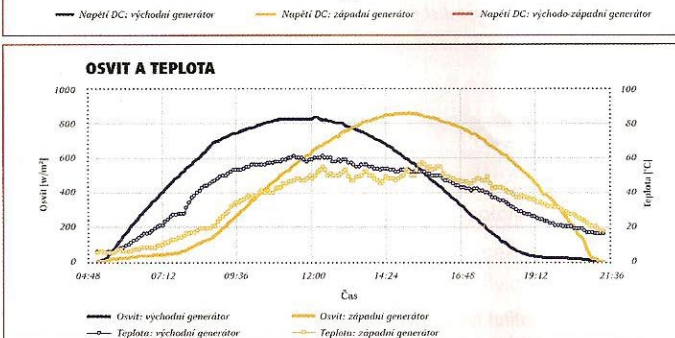
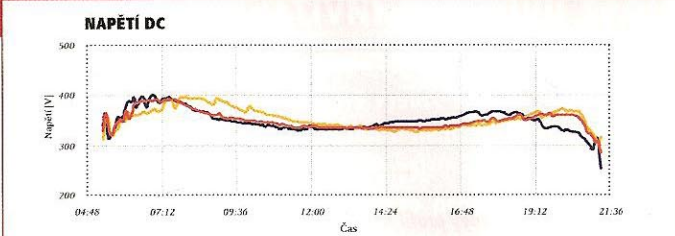
Dalším důležitým aspektem je změna napětí MPP v závislosti na osvitě (viz obr. 1). Malá změna napětí MPP přes širokou oblast osvitů přirozeně vede k minimálním ztrátám. Změna napětí MPP je ovlivněna zejména teplotou panelu. To znamená, že nízký teplotní koeficient a dobré zemění větrání solárních panelů vedou u FV systému s východo-západní orientací k vyššímu výkonu. Kromě toho velký výkon panelů při nepříznivých světelných podmínkách může značně vylepšit výkon systému. Protože jednotlivé solární panely mají uvedené parametry odlišné, nelze obecně říci, které technologie panelů jsou pro FV systémy s východo-západní orientací nejvhodnější.

## 3 - Výsledky

### 3.1 - Nízké ztráty nepřizpůsobením

Jak bylo vysvětleno, instalace společného střídače ve FV systému s východo-západní orientací nutně vede ke ztrátám nepřizpůsobením. Tyto ztráty jsou však minimální a částečně jsou kompenzovány jinými pozitivními efekty. Například FV systém s východo-západní orientací se společným střídačem pracuje většinou ve vyšší oblasti účinnosti, než by tomu bylo v případě instalace se samostatnými střídači. Na obr. 3 a obr. 4 jsou uvedeny údaje FV systému s východo-západní orientací a krystalickými panely (viz část 1).

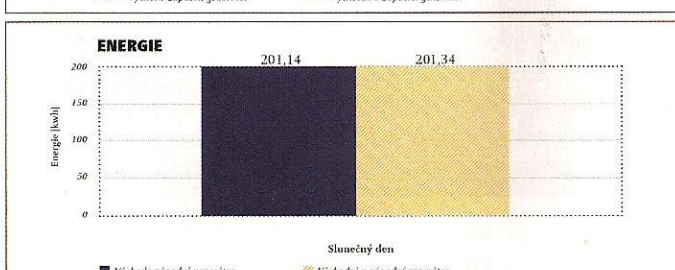
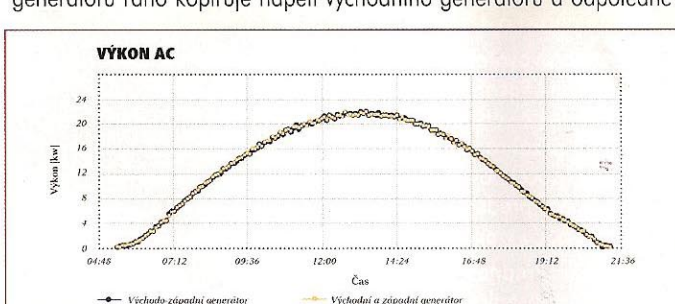
# ORIENTACÍ A POUZE JEDNÍM MPP TRACKEREM



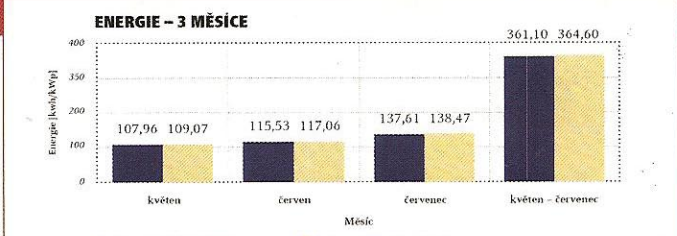
Obr. 3 - Porovnání naměřených hodnot napětí DC s odpovídajícím průběhem osvitů a teplotní profilu během slunečného dne

Na obr. 3 je porovnání napětí DC východo-západního generátoru se společným střídačem s napětím DC východo-západního generátoru se samostatnými střídači. Jak je vidět, napětí východního a západního generátoru se většinou liší. Ráno je napětí západního generátoru po většinu času vyšší než napětí východního generátoru, odpoledne je tomu přesně naopak. Tato skutečnost vyplývá z osvitových a teplotních vlastností fotovoltaických článků, protože napětí DC při globálním osvitě nad ~180 W/m<sup>2</sup> zůstává téměř konstantní a při klesajícím/rostejícím teplotě panelu roste/klesá.

Východo-západní generátor generuje ztráty nepřizpůsobením, protože napětí DC tohoto generátoru není identické s napětím DC západního generátoru ráno a napětím DC východního generátoru odpoledne. Ačkoli napětí DC východo-západního generátoru se liší od napětí generátorů se samostatnými střídači až o 5 %, energetické ztráty jsou velmi malé (viz obr. 4). Důvodem je, že napětí DC východo-západního generátoru ráno kopíruje napětí východního generátoru a odpoledne



Obr. 4 - Porovnání výkonu AC s odpovídajícím energetickým výnosem během slunečného dne. Energetické ztráty ~0,1 % u východo-západního generátoru se společným střídačem v porovnání s východo-západním generátorem se samostatnými střídači



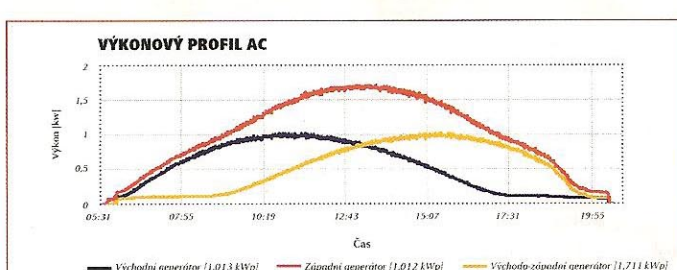
Obr. 5 - Srovnání energetických výnosů FV systému s východo-západní orientací a tenkovrstvými panely po dobu tří měsíců. Energetické ztráty ~1 % východo-západního generátoru se společným střídačem v porovnání s východo-západním generátorem se samostatnými střídači

napětí západního generátoru. Dalším aspektem je, že odchylka 5 % od optimálního napětí MPP nevede ke stejnému procentu ztrát výkonu, protože nižší/vyšší napětí MPP také vede k vyššímu/nížšímu proudu MPP. Výkon AC východo-západního generátoru s jedním střídačem se po celý den kryje s kumulativním výkonem AC východo-západního generátoru se samostatnými střídači. Rozdílné napětí DC generátorů vede ke ztrátám nepřizpůsobením cca 0,5 %, avšak konečné energetické ztráty činí pouze ~0,1 %, což je hodnota, která spadá do intervalu přesnosti měření elektroměrů ±1 %. Jak už bylo zmíněno, ztráty nepřizpůsobením se částečně kompenzují tím, že východo-západní generátor se společným střídačem pracuje většinou v oblasti vyšší účinnosti. Energetické ztráty jsou ve slunečné dny nejvyšší, protože odchylka mezi napětími DC je tím menší, čím nižší je rozdíl osvitů mezi východními a západními větvemi. To znamená, že v oblačné dny nebo ve dny s difúzním osvitem jsou energetické ztráty ještě menší.

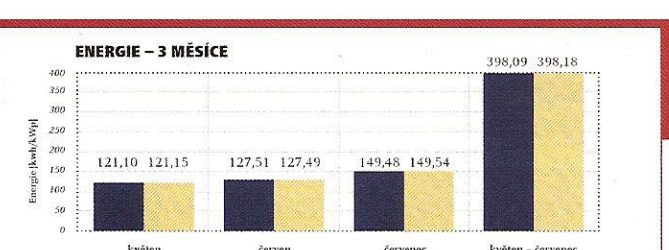
### 3.2 - Srovnání energetických výnosů - 1. část

Následující srovnání energetických výnosů znázorňuje výsledky pro FV systém s východo-západní orientací a tenkovrstvými panely. Jak vyplývá z obr. 5, energetické ztráty východo-západního generátoru se společným střídačem jsou po celou dobu velmi malé.

Na základě výsledků měření od května do července lze očekávat, že roční energetické ztráty východo-západního generátoru se společným střídačem budou nižší než 1 %. Instalace východo-západního generátoru se společným střídačem má tedy doplnit instalaci se samostatnými střídači a instalaci jedním střídačem se dvěma MPP trackery rozhodující výhodu: východo-západní generátor se společným střídačem je při téměř stejném energetickém výnosu ekonomicky výhodnější, protože je zapotřebí pouze jeden střídač. Kromě toho může společný střídač vykazovat nižší jmenovitý výkon, než je součet jmenovitých výkonů samostatných střídačů. Příčinou je časový posun špičkových výkonů východního a západního generátoru (viz obr. 6). Snížení jmenovitého výkonu závisí na úhlu náklonu solárních panelů. Čím vyšší je úhel náklonu, tím nižší může



Obr. 6 - Příklad: Výkonový profil AC fotovoltaického systému s východo-západní orientací a tenkovrstvými panely. Pro společný střídač je dostačující jmenovitý výkon ~85 % součtu jmenovitých výkonů samostatných střídačů.



Obr. 7 - Srovnání energetických výnosů FV systému s východo-západní orientací a krystalickými panely po dobu tří měsíců. Energetický výnos východo-západního generátoru se společným střídačem je téměř identický s výnosy východo-západního generátoru se samostatnými střídači.

být jmenovitý výkon společného střídače. Tenkovrstvé panely použité v tomto FV systému byly instalovány s úhlem náklonu 30°, a to vede ke klesajícímu jmenovitému výkonu společného střídače zhruba o 15 %. Z těchto výsledků vyplývá, že úspory nákladů jsou vyšší než energetické ztráty, takže východo-západní systém se společným střídačem se rychleji amortizuje.

### 3.3 - Srovnání energetických výnosů - 2. část

Výsledky měření v tomto oddíle se týkají srovnání energetických výnosů FV systému s východo-západní orientací a krystalickými panely.

Úhel náklonu solárních panelů je pouze 15°, proto nedochází k téměř žádným energetickým ztrátám (viz obr. 7). Ztráty nepřizpůsobením jsou zhruba 0,3 až 0,5 %, jsou však kompenzovány tím, že společný střídač pracuje většinou v oblasti vyšší účinnosti.

Také v tomto případě je východo-západní generátor se společným střídačem ekonomicky výhodnější variantou instalace. Úspory nákladů jsou patrné na první pohled i dosahují přibližně stejné výše jako úspory popsané v části 3.2. Zaprvé díky úspoře jednoho střídače, zadruhé díky snížení jmenovitého výkonu společného střídače asi o 5 % (viz obr. 8). Snížení jmenovitého výkonu o 5 % vyplývá z úhlu náklonu krystalických solárních panelů 15° (viz vysvětlení v části 3.2). Zde je třeba podotknout, že společný střídač, který má dvojnásobný jmenovitý výkon než samostatný střídač, je vždy levnější než dva menší střídače.

Je tedy zřejmé, že východo-západní generátor se společným střídačem se rychleji amortizuje než východo-západní generátor se samostatnými střídači.

### Základní pravidla instalace

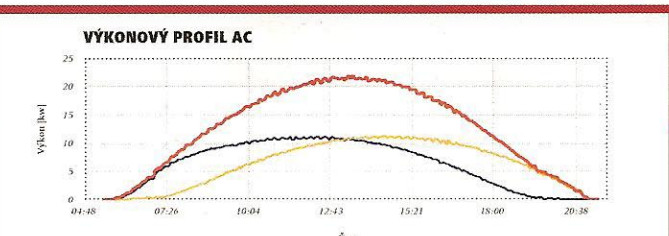
K dosažení optimálního provozu FV systému s východo-západní orientací a společným střídačem je nutné respektovat následující základní pravidla:

- Je třeba zamezit jakémukoli zastínění.
- Počet solárních panelů musí být ve všech větvích stejný.
- Všechny solární panely v jedné větvi musí mít stejnou orientaci (úhel náklonu a směr solárních panelů).

### Závěr

Testy obou FV systémů prokázaly, že FV systém s východo-západní orientací a jedním společným střídačem pro východní a západní generátor vykazuje ztráty nepřizpůsobením. Podle očekávání jsou však tyto ztráty velmi nízké a částečně jsou kompenzovány tím, že společný střídač pracuje většinou v oblasti vyšší účinnosti. Proti minimálním ztrátám výnosu stojí jednoznačné snížení nákladů v jiných oblastech. Zaprvé je možné snížit počet střídačů, zadruhé lze redukovat jmenovitý výkon společného střídače (v závislosti na úhlu náklonu instalovaných solárních panelů) až o 35 %. Navíc lze také minimalizovat náklady na instalaci.

Při správném dodržení základních pravidel instalace, úhlu náklonu solárních panelů a technologie panelů může být instalace společného



Obr. 8 - Příklad: Výkonový profil AC fotovoltaického systému s východo-západní orientací a krystalickými panely. Pro společný střídač je dostačující jmenovitý výkon ~95 % součtu jmenovitých výkonů samostatných střídačů.

střídače u FV systému s východo-západní orientací ekonomicky výhodnějším řešením než variantou instalace se samostatnými střídači. Nakonec ještě zbývá konstatovat, že instalace společného střídače nemá ve srovnání s instalací jednoho střídače se dvěma MPP trackery žádnou nevýhodu.

### Odkazy:

- [1] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Wie schnell muss ein MPP-Tracker wirklich sein? (Jak rychlý musí být MPP tracker?), 24. symposium fotovoltaické solární energie, Německo, 2009

## VELETRHU AMPER SE LETOS V BRNĚ DAŘILO VEZTRHU POČET VYSTAVOVATELŮ I NÁVŠTĚVÍKŮ

Veletrh AMPER v Brně rostl. Počet vystavovatelů 20. mezinárodního veletrhu elektrotechniky, elektroniky, automatizace a komunikace AMPER 2012, který se konal v Brně od 20. do 22. března, se vzrostlo o 5,5 %, stejně jako čistá výstavní plocha, která vzrostla o 4,5 %.

Veletrh AMPER v Brně je atraktivní také pro zahraniční vystavovatele, kteří se letos zúčastnili o 19 % více než v roce 2011. Letos navštívilo veletrh celkem 43 100 návštěvníků z řad odborné veřejnosti.

Podíváme se teď na uvedená čísla trochu podrobněji. Zde jsou základní statistické údaje veletrhu AMPER 2012, které jsme dostali po jeho skončení. Hrubá výstavní plocha veletrhu činila 30 000 m<sup>2</sup>. Čistá výstavní plocha zabrala 13 800 m<sup>2</sup>. To představuje nárůst o 4,5 % oproti roku 2011.

Počet vystavovatelů se zastavil na čísle 611 a byli celkem z 22 zemí. Počet vystavovatelů tak vzrostl oproti roku 2011 o 5,5 %. Ještě větší nárůst, o 19 % oproti roku 2011, byl u vystavovatelů ze zahraničí. Těch letos přijelo rovných 150. A konečně, zvýšil se i počet návštěvníků. Těch letos areálem výstaviště prošlo 43 100, což představuje nárůst o 2 % oproti roku 2011.

Na veletrhu AMPER 2012 proběhlo 20 konferencí a odborných seminářů. Přednášelo zde přes 80 renomovaných odborníků z ČR i ze zahraničí. Doprovodný program trval celkem 102 hodin. Zúčastnilo se ho celkem 1265 odborných posluchačů. Na veletrhu se registrovalo 145 novinářů ze čtyř zemí. Mediálním partnerem byla i naše redakce.

Takže zase za rok nasledovan v Brně. AMPER vám opět přinese to nejzajímavější, co se v jím sledovaných oborech děje.

