

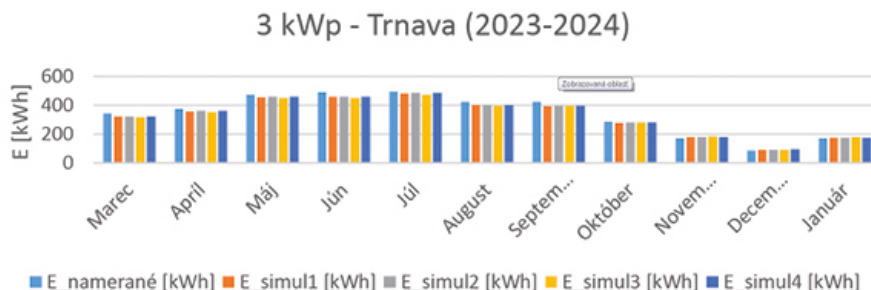
Odhady fotovoltickej produkcie s využitím rozšírených simulácií

Premenlivosť dodávok energie z fotovoltických (FV) zdrojov je ich prirodzenou vlastnosťou. Táto premenlivosť vychádza z dostupnosti a premenlivosti slnečného žiarenia, ktoré sú silne závislé od počasia a ročného obdobia. V príspevku sú opísané faktory, ktoré ovplyvňujú a limitujú FV produkciu. Experimentálna časť je zameraná na konfrontáciu simulácií s uvažovaním vplyvu vetra a slnečného žiarenia a reálnej produkcie FV zdrojov v platiach lokalitách juhozápadného Slovenska.

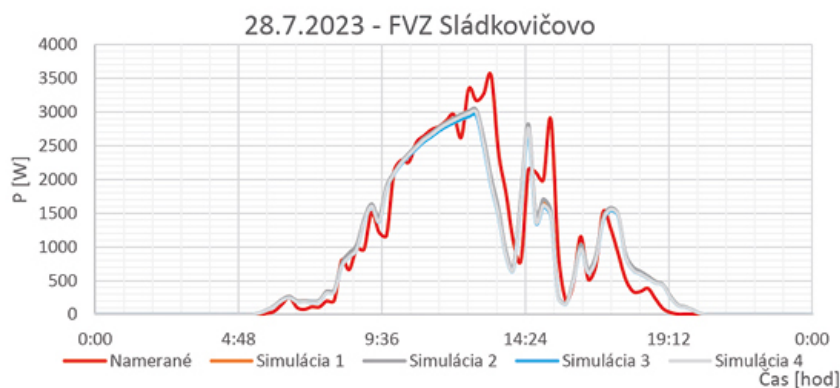
Simulácia výroby a súvisiacich parametrov FV systému poskytuje investorovi základné informácie. V súčasnosti rozlišujeme rôzne prístupy k problematike – od jednoduchých odhadov pomocou ročnej spotreby odberného miesta a porovnania s priemernou ročnou produkciou fotovoltického systému až po sofistikovanejšie prístupy zohľadňujúce zmeny parametrov v krátkom časovom úseku.

Množstvo generovanej energie z FV systému v danej lokalite ovplyvňuje najmä teplota, intenzita slnečného žiarenia, ktoré súvisia s klimatickými okolnosťami ako napr. vlhkosťou a rýchlosťou vetra. Z tohto dôvodu konvenčné simulačno-predikčné nástroje vychádzajú najmä z dát o počasi a opierajú sa o riešenie sústav lineárnych rovníc. Tieto modely doplnené o ďalšie vplyvy, ako napr. azimutálny a sklonový uhol, vplyv spektrálneho zloženia žiarenia, znečistenie panela a pod., môžu priniesť zvýšenú mieru predikcie výroby z FV zdroja.

Výskumný kolektív na Fakulte elektrotechniky a informatiky, Ústavu elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Slovenskej technickej univerzity Bratislava, navrhol simulačný softvér, aby porovnával namerané dáta spotreby elektrickej energie z elektromera na existujúcom odbernom mieste a predpokladanú výrobu fotovoltického systému v rovnakom čase, čím je možné dosiahnuť pri správnom nastavení softvéru analýzu porovnateľnú s reálnym stavom.



Graf 1 – Porovnanie nameranej produkcie elektrickej energie voči simuláciám - FVZ Trnava



Graf 2 – Závislosť aktuálneho elektrického AC výkonu z FVZ počas dňa 28. 7. 2023 – zvýšená oblačnosť

Predpokladaná výroba fotovoltického systému bola počítaná pomocou príslušných fyzikálnych a empirických vzťahov a zároveň implementáciou dát od spoločnosti Solcast, ktorá poskytuje meteorologické údaje pre rôzne lokality. Celý systém bol vytvorený v programovacom jazyku Python, ktorý nachádza široké uplatnenie aj vo FV sektore. Príspevok je zameraný na konfrontovanie rôznych simulačných algoritmov pre FV zdroje situované v rôznych geografických lokalitách.

Faktory ovplyvňujúce FV produkciu

Dopadom slnečného žiarenia na FV článok dochádza ku generovaniu voľných elektrónov a dier, a teda vytvoreniu predpokladu na produkciu FV systému na základe fotovoltického javu. Množstvo generovaných voľných nosičov náboja ovplyvňuje predovšetkým uhol dopadu slnečného žiarenia na povrch FV modulu, ožiarenosť modulu, spektrálne zloženie slnečného žiarenia, teplota modulu, znečistenie modulu a degradácia modulu.

a) Vplyv spektrálneho zloženia slnečného žiarenia na účinnosť FV premeny

Okrem oslabovania intenzity slnečného žiarenia prechodom cez atmosféru Zeme dochádza aj k zmenám spektrálneho zloženia žiarenia. Spektrum žiarenia vplýva taktiež na účinnosť premeny slnečnej energie na elektrickú energiu, pretože fotovoltické články pri rôznych vlnových dĺžkach majú rozličnú absorpčnú citlivosť. Keďže historické meteorologické dáta o spektrálnom zložení slnečného žiarenia nie sú dostupné a nie sú poskytované ani spoločnosťou Solcast, v rámci simulácie boli hľadané alternatívy, ktoré by tvorili empirickú náhradu zohľadňujúcu spektrum žiarenia.

b) Korekcia difúzneho slnečného ožiarenia plochy

Spočíva vo vyjadrení pomeru difúzneho ožiarenia voči globálnemu ožiareniu následným použitím tejto hodnoty vo vzťahu platnom pre spektrálny korekčný činiteľ difúzneho ožiarenia. Hodnota korigovanej difúznej intenzity lepšie vystihuje

reálnu energiu, ktorú dokáže FV modul využiť z difúzneho svetla. Korekčný činiteľ môže byť kladný alebo záporný, takže výsledný výstupný výkon môže byť mierne vyšší alebo nižší, než by sa očakávalo bez uváženia korekcie.

c) Korekcia priameho slnečného ožiarenia plochy

Postup je založený na základe poznania terestriálneho slnečného spektra AMn a na jeho zavedení do polynomickej rovnice 2. rádu, ktorá vyjadruje spektrálny korekčný činiteľ priamej zložky ožiarenia.

Globálna (celková) ožiarenosť dopadajúca v mieste orientácie FV modulov je nakoniec súčtom priamej a difúznej zložky intenzity ožiarenia s korekciou a zanedbaním albeda. Albedo sa pri návrhu FV systémov zvyčajne zanedbáva.

d) Vplyv teploty na výkon fotovoltaických modulov – simulačné hľadisko

Pre optimalizáciu simulácií boli použité dve metódy výpočtu teploty FV modulov, ktoré zohľadňovali aktuálne meteorologické podmienky v mieste inštalácie. Skutočná teplota článkov vo FV moduloch je výsledkom mnohých fyzikálnych procesov a vypočítať ju úplne presne pomocou zložitých fyzikálnych rovníc by bolo neefektívne a zdĺhavé. Z tohto dôvodu sa používajú rôzne empirické metódy, ktoré prinášajú uspokojivé výsledky:

- Metóda HOMER: Metóda HOMER nezohľadňuje vietor a používa približnú absorptanciu 90 %.
- Metóda PVLIB: Metóda PVLIB zohľadňuje aj vplyv vetra na ochladzovanie panelov.

Experimentálna časť

a) Simulačné metódy

V rámci návrhu simulácie sa vytvorili viaceré varianty softvéru, ktorých výstupy boli porovnávané s reálnymi údajmi z fotovoltaických zdrojov (FVZ). Medzi tieto varianty patrili:

- simulačný model bez uvažovania korekcie na spektrálny charakter žiarenia (AMn) a bez uvažovania vplyvu rýchlosti vetra na ich teplotu (metóda HOMER) – simulácia 1,
- simulačný model bez uvažovania korekcie na spektrálny charakter žiarenia a s uvažovaním vplyvu rýchlosti vetra na ich teplotu (metóda PVLIB) – simulácia 2,
- simulačný model s uvažovaním korekcie

na spektrálny charakter žiarenia a bez uvažovania vplyvu rýchlosti vetra na ich teplotu (metóda HOMER) – simulácia 3, simulačný model s uvažovaním korekcie na spektrálny charakter žiarenia a s uvažovaním vplyvu rýchlosti vetra na ich teplotu (metóda PVLIB) – simulácia 4. Výpočtové metódy boli porovnávané s dátami z existujúcich FVZ na základe produkcie elektrickej energie na AC svorkách striedačov počas jednotlivých dní a mesiacov. V rámci vstupných parametrov sa okrem technických parametrov meničov, modulov, optimizérov, sklonu a orientácie modulov uvažovalo s počtom MC4 konektorov, dĺžky kabeláže a podobne. Predmetom analýzy bolo 5 fotovoltaických zdrojov umiestnených v rôznych lokalitách juhozápadného Slovenska. Analyzované FV inštalácie situované v Trnave (3 kWp), Voderadoch (5 kWp), Jaslovských Bohuniciach (3 kWp), Blatnom (3 kWp) a Sládkovičove (4 kWp) zvyšujú relevantnosť porovnaní medzi simuláciami a realitou.

b) Výstupy zo simulácií

Proces simulácie bol opakovaný pre päť rôznych vyššie spomenutých lokalít. Výsledky z rôznych lokalít sú porovnateľné, a preto uvádzame len vybrané výsledky. Na grafe 1 je prezentovaný vybraný výstup analýz a simulácií pre konkrétny FV zdroj v Trnave. Je to ukážka porovnania reálnej produkcie a výstupov aplikovaných simulačných algoritmov a porovnanie odchýlok pre vybranú FV inštaláciu.

Na základe analyzovaných dát z 5 FV zdrojov a vypočítanej priemernej odchýlky je možné konštatovať, porovnaním s inými vedeckými štúdiami [12], že simulácie mali vysokú mieru presnosti. Priemerná mesačná odchýlka vyprodukovanej elektrickej energie z FV systému dosahuje približne 4 %.

Analýzou odchýlok v produkcii elektrickej energie počas jednotlivých mesiacov bolo zistené, že najväčšia chybovosť predikcií nastáva zrejme vzhľadom na aktuálne meteorologické podmienky a dynamiku počasia. Zároveň dochádza

Tab. – Priemerné odchýlky výpočtových metód voči nameraným dátam

Výpočtová metóda	Priemerná odchýlka [%]
Simulácia 1	3,87
Simulácia 2	3,99
Simulácia 3	4,26
Simulácia 4	3,94

k zvýšeným výkyvom v pomere difúzneho a priameho žiarenia dopadajúceho na FV moduly, čo môže prinášať vyššiu nepresnosť aj do meteorologických dát poskytovaných v 15minútových intervaloch. Naopak v jarom a v letnom období sú odchýlky simulácií v produkcii elektrickej energie voči skutočnosti výrazne nižšie a v mnohých prípadoch dosahujú úroveň pod 1 %.

Výpočtové metódy boli testované aj na základe dát o produkcii elektrickej energie počas dňa. Porovnávaný bol AC výkon na výstupe zo striedača SolarEdge SE4000H (FVZ Sládkovičovo) meraný v 15 minútových intervaloch k dátam zo simulácie (počítaných v totožných intervaloch). Výsledky porovnania algoritmov a reálnych dát z FV zdroja pre oblačný deň sú uvedené na grafe 2.

Pri jasnej oblohe a taktiež pri malej oblačnosti simulácie poskytujú veľmi presné hodnoty aktuálneho AC výstupného výkonu zo striedača voči realite. Odchýlku možno považovať za zanedbateľnú. Výraznejšie odchýlky je badať iba pri zvýšenej oblačnosti a v zimnom období. V zimnom období sa na výsledkoch taktiež prejavilo neuvažovanie tienenia medzi radmi FV modulov, pretože moduly boli umiestnené na plochej streche vo vzdialenosti medzi radmi 60 cm. Zároveň možno usúdiť, že metódy na určenie vplyvu spektrálneho charakteru žiarenia a vplyvu rýchlosti vetra na teplotu FV článkov v simuláciách nespôsobujú výrazné rozdiely a pre jednoduchosť výpočtov je ich možné aj zanedbať.

Záver

Hlavným prínosom je porovnanie štyroch algoritmov s reálnou produkciou z piatich zdrojov, pričom priemerná odchýlka bola okolo 4 %.

(Podakovanie: Tento článok bol podporovaný Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-23-0012 a APVV-23-0025 a taktiež financovaný EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I04-03-V02-00033).

M. Perný, V. Šály, P. Čuboň, D. Takács,
ÚEAE, FEI STU Bratislava

Použitá literatúra:

Použitá literatúra je k dispozícii v redakcii časopisu Energie 21.

80 Kč/3,3 €

Energie 21

5 | 2025

OBNOVITELNÉ ZDROJE • EFEKTIVNÍ SPOTŘEBA • UDRŽITELNÝ ROZVOJ



Téma: Ochrana ovzduší, doprava

Jak dobře vybrat domácí vodárnu

Kompostování a využití kompostu v zemědělství

Nová pravidla ekologicky šetrné dopravy

Zelený vodík má ambice změnit globální energetiku



Odborný recenzovaný
dvoměsíčník o obnovitelných
zdrojích energie

ROČNÍK – XVIII

**Předplatné, distribuci
a fakturaci pro ČR a SR
zajišťuje:**

odbyt – předplatné
tel.: 277 001 600

e-mail: odbyt@profipress.cz
reklamace@profipress.cz
<http://www.profipress.cz>
Sleva pro studenty 50 %

Šéfredaktorka:

Ing. Eva Vítková
tel.: 277 001 615,
mobil: 702 153 813

e-mail: eva.vitkova@profipress.cz

Spolupracovník redakce:

Ing. Jiří Trnavský
tel.: 277 001 637
mobil: 724 813 504

e-mail: jiri.trnavsky@profipress.cz

Inzerce:

Ing. Jan Kroupa

Jana Masaryka 2559/56b
120 00 Praha 2
tel.: 277 001 636

mobil: 724 813 498

e-mail: jan.kroupa@profipress.cz

Redakční rada:

Ing. Bronislav Bechtník, Ph.D.,

Ing. Jan Habart, Ph.D.,

CZ Biom – České sdružení pro
biomasu

Ing. Václav Sladký, CSc., Národní
centrum zemědělského a potravi-
nářského výzkumu, v. v. i.

Ing. Vladimír Stupavský,

Klastr Česká peleta

Ing. Marek Světlík,

Mgr. Radovan Šejvl,

Sdružení Energis 24,

Ing. Vladimír Vík,

prof. Ing. Jana Zábanská, CSc.,
VŠCHT Praha

Grafika:

Tomáš Bronec

Jazyková korektura:

Věra Melicharová,

Mgr. Hana Gruntorádová,

Mgr. Marie Borká

Tisk:

H. R. G. spol. s r. o.

Vydává:

Profi Press s. r. o.

Jana Masaryka 2559/56b
120 00 Praha 2

Vychází jednou za dva měsíce.

Cena jednotlivého výtisku
80 Kč / 3,3 EUR

Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

ISSN 1803 – 0394
MK ČR E 18090

Volební podzim naznačí další směřování

Podzim se nezahlubně blíží milovými kroky, aniž jsme si stačili všimnout, jak se to stalo. Ale chladná rána a studené noci nás nenechávají na pochybách, že tomu tak je. Nic nenásvedčuje tomu, že by mohl nastat návrat teplých letních dnů. Na světové scéně pak hoří další válečné konflikty, a ty stávající neustávají. Rozbouřená světová scéna jako by byla předzvěstí té domácí, na které se chystá velká událost. Ano, čekají nás podzimní parlamentní volby. Jak dopadnou, rozhodnou voliči, a také to určí další směřování naší zahraniční politiky. Pro Českou republiku však zůstává nadále důležitá ochrana klimatu. Ta je ostatně i tématem tohoto vydání, spolu s dopravními opatřeními. Neboť, jak známo, doprava je jedním z největších znečišťovatelů životního prostředí. Proto je důležité hledat nová řešení, aby i paliva, na která jezdíme, byla ekologičtější. V čísle se věnujeme jak biopalivům a jejich budoucnosti, tak elektromobilitě, kterou razí naše největší energetické společnosti. A samozřejmě budování dobjívací infrastruktury, která je zásadní pro rozšíření elektroaut. Nezapomínáme ani na vodík a jeho výrobu, tedy téma sice populární, ale zatím v praxi málo praktikované. Zda se tato cesta ukáže jako správná, potvrdí čas.

Elektromobilitu sice považujeme za moderní civilizační jev 21. století, avšak většinou si neuvědomujeme, že první automobily koncem 19. století byly na elektřinu. Na začátku automobilové dopravy byly elektromobily jednou z variant, která to se spalovacími motory nějakou dobu hrála docela nerozhodně. Ale spalovací motory se zatím běžným lidem jeví jako praktičtější vzhledem k dojezdu i nárokům na primární zdroje energie. Přesto politici prosazují cestu elektromobility, posílenou masovou výrobou elektrobaterií různých velikostí, tvarů i trvanlivostí. Co ale dělat s použitými bateriemi, zda se dají dále využít, tomu se věnujeme v rubrice hospodaření. A nutno říci, že některé firmy už na jejich dalším využití pracují a zkoušejí různé možnosti.

Podle plánu by v Evropě v roce 2050 již neměla být k dispozici žádná fosilní paliva v dopravě. Na tento stav se připravuje řada automobilů, přestože výroba čistě elektrických aut tvoří zatím nízké podíly v jejich produkci. Proto jistou nadějí na dekarbonizaci dopravy v zemích Evropy představuje rok 2027, kdy má být v zemích EU pro domácnosti a dopravu vytvořen samostatný obchodní systém emisních povolenek EU ETS 2, tedy systém zatím hojně diskutovaný. Neboť bude znamenat nejen zdražení fosilních paliv, a následný kýžený pokles zájmu o jejich využívání, ale celkové zdražení životních nákladů. Uvidíme a nechme se překvapit, na čem se politici dohodnou.

Věnujeme se i dalším oblastem oboru – sluneční a vodní energii, biomase, legislativě, judikatuře a novým výrobkům, které se na trhu objevují. Zkrátka a dobře, nabídka témat a článků je pestrá a vybrat si může každý.

Vážení čtenáři, přejeme vám hezké čtení v Energie 21.

Eva Vítková

www.energie21.cz



**KOMUNÁLNÍ
KOMUNÁLNIA
TECHNIKA**

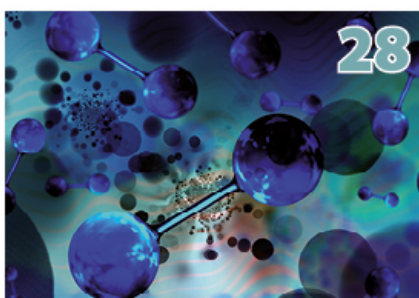


Měsíčník o technice pro komunální služby

- Prostranství a komunikace
- Veřejná zeleň
- Nakládání s odpady
- Finance a legislativa
- Téma měsíce
- Aktuální dění v oboru

Ta píše!

www.komunalweb.cz



Aktuálně

Prestížní ocenění v soutěži E.ON Energy Globe 2025 získaly Ptačí parky	6
Díky bateriím a flexibilitě Česko udává směr.	6
Dekarbonizace zvýšila ceny energií v EU, lze je snížit?	7
Innogy má nového člena představenstva	7

Rozhovor

Vzduchotechnika z tuzemska může být i v jaderné elektrárně Dukovany	8
---	---

Téma: ochrana ovzduší, doprava

Obnovitelné zdroje energie v dopravě – možnosti a perspektivy využití.	10
Vnímání elektromobility se v Česku mění jen pozvolna	13
Plány Skupiny ČEZ: Až tisíc dobíjecích stanic	14
V Čáslavi už mohou řidiči dobít u nového hubu	16

Reportáž

Dobrovolníci a dobrovolnice pomáhají utvářet českou krajinu	18
---	----

Vodní zdroje

Jak dobře vybrat domácí vodárnu	20
Slapy jsou připraveny na budoucnost	21

Větrná energie

Anketa kvůli největšímu větrnému parku v Česku se odkládá	26
---	----

Sluneční energie

Odhady fotovoltaické produkce s využitím rozšířených simulací.	24
---	----

Biomasa

Kompostování a využití kompostu v zemědělství.	26
---	----

Alternativní energie

Zelený vodík má ambice změnit globální energetiku	28
---	----

Legislativa

Nová pravidla ekologicky šetrné dopravy	30
---	----

Hospodaření

Co s dosloužilými bateriemi z aut? Firmy pro ně hledají využití.	32
---	----

Trh

Prodejna s nízkou uhlíkovou stopou	34
Aplikace pomáhá při výběru zdroje	34
Moderní čerpadla Wilo pro výzkum čisté energie	36
VRF jednotky ECOi EX MZ1 mají skvělou účinnost a kompaktní design	36
Bateriová úložiště pro logistiku, retail a automotive	37
Energetické úspory i pro chráněné budovy	38
Solar Global Energy nabízí fixní sazby ze služeb výkonové rovnováhy	39
Spolupráce, která ponese plody	39

Souvislosti

Desetileté uhelné minimum, nové projekty však stále vznikají	40
--	----

Fórum

Zlaté klasy i pro čistou energetiku	42
---	----

Na titulu: Nabíjení elektromobilu, Německo / Archiv KIA

Vydavatel nenese odpovědnost za údaje a názory autorů jednotlivých příspěvků a inzerci. Současně si vyhrazuje právo na drobné stylistické úpravy uveřejňovaných textů.
© 2025 Profi Press s. r. o. Žádná část tohoto časopisu nesmí být kopírována a rozmnožována za účelem dalšího rozšiřování v jakékoli formě či jakýmkoli způsobem bez písemného souhlasu vlastníka autorských práv.