

Energie 21

3 | 2024

OBNOVITELNÉ ZDROJE • EFEKTIVNÍ SPOTŘEBA • UDRŽITELNÝ ROZVOJ

Téma: Solární instalace

Dekarbonizace energetiky přinese snížení spotřeby energie
Samojízdné řezačky a obsluha bioplynových stanic
Bude možná náhrada lithia v bateriích sodíkem?
Více bateriových aut znamená více dobíječek

Poruchy fotovoltaických modulov a diagnostika

Poruchy akéhokolvek komponentu fotovoltaického (FV) systému môžu vážne ovplyvniť nielen účinnosť premeny a súvisiacu energetickú produkciu zdroja, ale aj bezpečnosť a spoľahlivosť celého systému. Okrem toho v prípade porúch niektorých komponentov môže situácia viesť k vzniku požiaru alebo úrazu. Cieľom príspevku je identifikácia a klasifikácia porúch, ktoré nastávajú vo FV elektrárnach v reálnej prevádzke.

Rozvíjanie metodík detekcie a diagnostiky porúch FV zariadení k zvýšeniu spoľahlivosti systému a udržaniu vysokej účinnosti a bezpečnosti systému sú nevyhnutné.

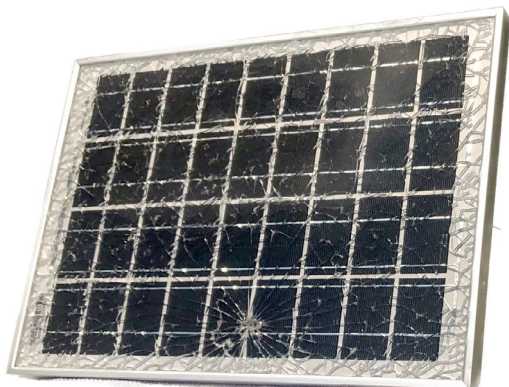
Príspevok je zameraný na klasifikáciu najčastejších porúch FV systémov a analýzu dopadov na bezpečnú a spoľahlivú prevádzku. Súčasťou príspevku je stručný popis metód slúžiacich na diagnostiku FV prvkov a systémov.

Príspevok vychádza aj z výsledkov výskumnej činnosti Fakulty elektrotechniky a informatiky, Ústavu elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Oddelenia materiálov a technológií, Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Najčastejšie poruchy FV systémov

Komponenty FV systému zahŕňajú okrem panelov, kabeľáž, nadprúdové a prepäťové ochrany, spínače, mechanické montážne komponenty, striedače, akumulátory, regulátory nabíjania, prvky merania a regulácie.¹

Keďže FV panel ako zdroj elektrickej energie je kľúčový prvok, pozornosť bude sústredená na najčastejšie sa vyskytujúce poruchy / prevádzkové stavy s najväčším dosahom na zníženie energetickej produkcie, prípadne ohrozujúce bezpečnosť.



Mechanické poškodenie FV panela často vzniká aj pri jeho nesprávnom upnutí

Horúce miesta (Hot Spots)

Hot spots (HS) alebo tzv. horúce body, resp. miesta nadmerného lokálneho ohrevu, sú spôsobené článkami vo FV reťazci (séria pospájaných FV článkov), ktoré sú svojimi elektrickými parametrami odlišné od elektrických vlastností zvyšných článkov, ktoré by mali byť v rámci určitej tolerancie rovnaké).

Tento negatívny jav vzniká napr. v dôsledku studených spojov, znečistením časti FV panela, hromadením prachu, degradáciou článku alebo napr. vodivými zvodmi na okrajoch článku. Najčastejším javom je čiastočné zatienenie – nečistota, tieň od stromu/budovy apod. Tieto zatienené články následne spotrebúvajú energiu z iných netienených článkov a pri pretrvávaní môže dôjsť k poškodeniu modulu jouleovým teplom. Častou príčinou vzniku HS sú aj poškodené FV články (napr. prasknuté).

Jednou z techník rýchlej detekcie HS sú infračervené merania napr. použitím termografickej kamery.² Horúce miesta možno eliminovať použitím premostovacích (bypass) diód, pravidelným čistením povrchu modulov, použitím puzdriacich materiálov s dobrým odvodom tepla, využitím sledovacích systémov, inštaláciou panelov pod správnym uhlom a eliminovaním výskytu prekážok v okolí FV systému.³

Poruchy premostovacích a blokovacích diód

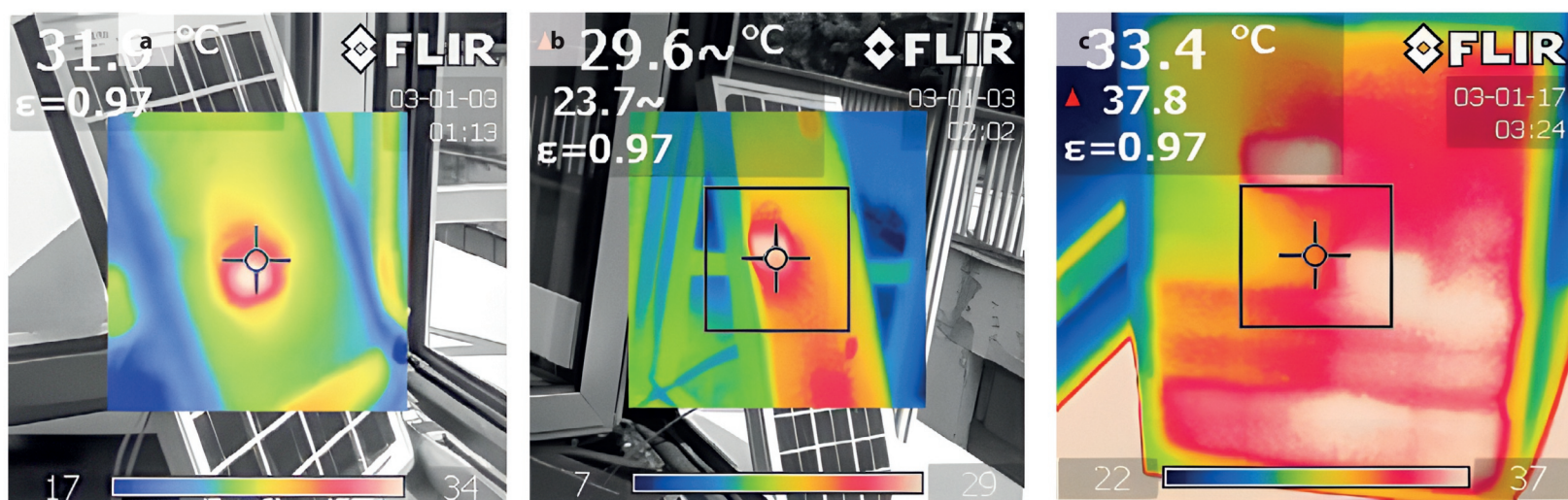
V reálnej FV prevádzke je snaha eliminovať výkonové straty spôsobené čiastočným/úplným zatienením panela, resp. súboru panelov (FV pole), ako aj vznik tzv. spätného prúdu spôsobeného tokom energie do panelov v režime úplného zatienenia (napr. vybijanie akumulátorov cez FV polia v noci). Zatiene- nie hoci len jedného článku v rámci FV panela môže spôsobiť neúmerné výkonové straty blížiacie sa k 50 %. Simulácie



Diagnostika HOT spotov (tzv. horúce body, resp. miesta nadmerného lokálneho ohrevu, sú spôsobené článkami vo FV reťazci)

ukázali, že riešením ako takmer úplne eliminovať efekt zatienenia, je antiparalelné pripojenie premostovacej diódy ku každému FV článku v rámci panela.⁴ Ekonomickou a technickou optimalizáciou sa realizuje kompromisné riešenie v podobe diódy pripojenej k reťazcu sériovo zapojených FV článkov. Blokovacie diódy bývajú zapojené v sérii s každou sériovou vetvou (článkov, panelov, polí). Blokovacie diódy zabezpečujú tok prúdu jedným smerom, tj. von zo sériového poľa k externej záťažalebo batériám. Dôvodom je zabránenie tomu, aby prúd generovaný ostatnými paralelne zapojenými FV panelmi v tom istom poli netiekol naspäť cez tienené časti FV poľa a zabrániť, aby sa nabité batérie v noci cez toto pole vybíjali.

Typ použitej blokovacej diódy závisí od fotovoltaického poľa a výkonových parametrov. V praxi sa osvedčili štandardné kremíkové a Schottkyho diódy.⁵ Bežnou príčinou zlyhania diód býva prúdové preťaženie a vysoké napätie v závernom smere.⁶ Poruchy bypass a blokovacích diód prispievajú k strate energie. Okrem výkonových strát modulu alebo panelu



Snímka z termovíznej kamery: a – zatienený článok, b – zeminou znečistený panel, c – poškodený panel

prispievajú HS aj k žltnutiu puzdriacich materiálov alebo prasklinám.

Poruchy v rozvodnej skrinke

Rozvodná skrinica (junction box) je prvok, v ktorom je vyvedený výkon z FV modulu a umožňuje jednoduché prepojenie medzi modulmi. Hlavnou funkciou diód v rozvodnej skrinke je udržiavanie prúdenia energie v požadovanom smere a zabránenie jeho spätnému napájaniu do panelov, keď nie je prítomná energia zo slnka. Korózia na kontaktných prvkoch v skrinke vznikajúca v dôsledku pôsobenia environmentálnych vplyvov, ako napr. zmeny teploty a vlhkosti, môže viesť k zvýšeniu prechodového odporu a súvisiacim výkonovým stratám. Za istých okolností môže medzi kontaktami vzniknúť elektrický oblúk, čo vedie k opotrebovaniu a roztaveniu súčiastok v rozvodnej skrinke.⁷ Elektrické oblúky sa vo fotovoltaike z hľadiska lokalizácie vo FV systéme delia na sériové a paralelné. Paralelné oblúky vznikajú buď medzi kladným a záporným pólom, alebo medzi živými vodičmi a zemou v prípade uzemneného systému. Príčinami paralelných oblúkov bývajú skraty a poškodená izolácia. Sériové oblúky súvisia s rozpojením obvodu. Hlavnými príčinami sú zle nalisované nástrčky, spomínané poruchy skriniek, vysoko ohmické prepojenia medzi článkami modulu, chybné pripojenia na DC strane a nevhodný výber poistiek.⁸

Časté príčiny porúch v rozvodných skrinách sú kontaktné problémy, neadekvátne výrobné postupy pri spájkovaní alebo zváraní a vniknutie nečistôt a prachu do spojov konektorov počas prepravy, skladovania a inštalácie.

K poruchám rozvodných skriniek dochádza aj pri kombinovaní zdanlivo kompatibilných častí konektorov od rôznych výrobcov.

Jednou z najčastejších porúch v dôsledku vysokých spätných prúdov je spálená bypass dióda. Ďalšou príčinou porúch je použitie nekvalitných káblov, nesprávne dimenzovanie a pripojenie káblov, čo môže byť zdrojom iskrenia.

Poruchy spojené s vonkajšími vplyvmi

Najbežnejšími poruchami sú farebné zmeny puzdriaceho materiálu, odizolovanie živých častí v dôsledku prasklín a mechanických poškodení a delaminácia. Tieto poruchy sa podieľajú na výkonových stratách približne v miere 10 % a môžu byť zdrojom požiaru a rizika úrazu elektrickým prúdom.⁹ Približná miera degradácie menovitého výkonu FV panela z kryštalického kremíka je 0,8 % ročne. Jedným z hlavných dôvodov nestability výkonu FV panelov je chybovosť výroby.

Ďalším častým zdrojom úbytku výkonu je tzv. svetlom indukovaná degradácia, ktorá je najvýraznejšia u panelov z amorfného kremíka.¹⁰ Panely z amorfného kremíka strácajú v počiatočných fázach prevádzky 10 až 30 % výstupného výkonu.

Medzi poruchy v dôsledku vonkajších vplyvov a príčin zaraďujeme poruchy pri preprave, chyby v káblovom prepojení, poruchy konektorov a vplyv atmosférickej elektriny. Otrasmí a vibráciami počas prepravy môžu byť spôsobené praskliny modulu alebo puzdrenia. Možno ich účinne identifikovať využitím termografie alebo elektroluminiscencie.

Ďalšie mechanické poškodenie vzniká často pri nesprávnom upnutí, ktoré často

vedie k rozbitiu skla bezrámových FV modulov. Káble a konektory, ktoré prepojujú jednotlivé moduly medzi sebou a medzi ďalšími prvkami FV systému, majú významný vplyv na bezpečnosť a spoľahlivosť pri výrobe a prenose elektrickej energie. Najčastejšie poruchy vznikajú v nevhodnom výbere kábla, konektora a ich vzájomného spojenia, čo často vedie k výkonovým stratám, elektrickým oblúkom a požiarom.

Úder blesku na jednosmernú stranu môže poškodiť premostovacie a blokovacie diódy alebo poškodiť aj FV články, ktoré sú súčasťou reťazca v rámci modulu.

Delaminácia

FV panel je viacvrstvová štruktúra (sklo, EVA vrstva, FV články, EVA vrstva, zadná vrstva). FV články sú utesnené puzdrením, často na báze etylénvinylacetátu (EVA). EVA zabezpečuje elektrickú izoláciu článkov, vylepšuje mechanické vlastnosti modulu a chráni FV články pred vonkajšími environmentálnymi činiteľmi. Ku delaminácii EVA dochádza najčastejšie v rohových oblastiach FV panela a v okolí prepojení. Zvýšená miera delaminácie je ovplyvnená použitým materiálom a technologickým postupom laminovania.

Delamináciu panela možno identifikovať aj bez zložitých diagnostických postupov a prejavuje sa znížením izolačného odporu.¹¹ Podľa normy¹² mal byť izolačný odpor FV modulu nad 40 MΩ/m² čo predstavuje pre štandardný panel so 60 článkami s povrchom 1,65 m² izolačný odpor nad 24,5 MΩ.

Delaminované moduly je užitočné vymeniť, aby sa predišlo výkonovým stratám a nebezpečenstvu. Na preskúmanie



Porucha fotovoltického kábla uloženého v zemi (deštruktívny efekt pochádzajúci zo skratu a sformovaného elektrického oblúka)



Príklad vizuálnej diagnostiky: Zatieňenie len nepatrnej časti fotovoltického článku pochádzajúce od montážnych svoriek a následný vznik hotspotu vygenerovalo dostatok tepla k roztopeniu námrazy povrchu celého panela

menej výrazných delaminácií sa používa časovo náročná röntgenová analýza a ultrazvukový skener.¹³

Strata priľnavosti prednej/zadnej vrstvy

Zadná strana panela slúži na ochranu poprepájaných FV článkov pred priamym vplyvom prostredia a na zabezpečenie bezpečnej prevádzky ochranou pred dotykom živých častí.

Zadná strana panela býva tvorená sklom alebo polymérnymi materiálmi a často obsahuje kovovú fóliu. Najčastejšie je tvorená vysoko stabilným (pred UV žiarením odolným) polymérom napr. fluórpolymerom. Výber materiálu ovplyvňuje cenu panela a mechanické vlastnosti. Pokiaľ je panel skonštruovaný s prednou a zadnou sklenenou vrstvou, dochádza k dodatočným mechanickým napätiam, ktoré pravdepodobnosť delaminácie zvyšujú.

Na príľnavosť (adhéziu) medzi rôznymi vrstvami panela vplyvajú rôzne faktory. Okrem mechanického namáhania zohrávajú významnú úlohu aj environmentálne vplyvy (vlhkosť, teplotné zmeny, UV žiarenie) a vo výsledku sa to prejavuje vznikom bublín na povrchu panela. Separácia ochranného skla, alebo delaminácia panelu je v podstate oddelenie ochranného skla s EVA-fóliou od FV článkov. V prípade, že by sa do vznikajúcich bublín dostala vlhkosť a voda, mohlo by to mať v dôsledku korózných procesov nežiaduci vplyv na účinnosť FV premeny.¹⁴

S delamináciou a vznikom bublín úzko súvisí aj ďalší efekt, ku ktorému okrem teplotných zmien a vlhkosti prispieva aj veľký potenciálový rozdiel medzi článkami a rámom FV panela. Keďže z bezpečnostných dôvodov musí byť rám panela uzemnený, prudký potenciálový spád zapríčiňuje migráciu častíc (iónov)

z článkov cez izolačné vrstvy smerom k rámu. Tento jav spôsobuje zmenu izolačných vlastností a znižuje výstupný výkon panela.^{14, 15}

Diagnostické metódy

Metódy detekcie a diagnostiky porúch FV prvkov klasifikujeme do dvoch hlavných kategórií:

- Vizuálne a tepelné metódy: Identifikácia poškodenia panelu, zafarbenie, zhnednutie a znečistenie povrchu. Medzi metódy diagnostiky patrí infračervené zobrazovanie, vizuálna kontrola, elektroluminiscenčné zobrazovanie, lock-in termografia alebo aj iné techniky.
- Elektrické metódy: Vychádzajú z meraných elektrických charakteristík FV článkov/panelov. Umožňujú detekovať poruchy na FV prvkoch a poskytujú komplexný obraz o elektrických transportných procesoch. Metódy sú založené na analýze VA charakteristík, analýze strát energie, metódach merania prúdu, napätia, teploty a výmeny tepla, analýze napäťového prúdového spektra, analýzach impedančných spektier a štatistických technikách a technikách spracovania signálov. Podrobnejší popis jednotlivých techník presahuje rámec tohto príspevku.

M. Perný, V. Šály, J. Packa, R. Klucha,
Ústav elektroenergetiky a aplikovanej
elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky
a informatiky, Slovenská technická
univerzita v Bratislave

(Tento článok bol podporovaný Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0049 a Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.)

Přehledem aktuálně využívaných měřicích technik a metod v souvislosti s poruchami FV modulů, včetně popisu provedených experimentů, se budou autoři článku zabývat v některém z příštích vydání Energie 21.

Seznam použité literatury je k dispozici v redakci.



Odborný recenzovaný
dvouměsíčník o obnovitelných
zdrojích energie

ROČNÍK – XVII

**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 %

zelená linka pro SR zdarma:
800 042 206 (bez předvolby)

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., Výzkumný
ústav zemědělské techniky v Praze
Ing. Vladimír Stupavský,
Klastr Česká peleta
Ing. Marek Světlík,
Mgr. Radovan Šejvl,
Sdružení Energis 24,
Ing. Vladimír Vík,
prof. Ing. Jana Zábranská, CSc.,
VŠCHT Praha

Grafika:

Tomáš Bronec

Jazyková korektura:

Věra Melicharová,
Mgr. Hana Gruntorádová,
Mgr. Marie Borská

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
75 Kč / 3 EUR

Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

ISSN 1803 – 0394
MK ČR E 18090

Vážení čtenáři,

doba je rychlá, ba přímo hektická, dalo by se říci. Také jste si všimli, jak jsou tyto měsíce nabitě událostmi, akcemi a konferencemi? A to napříč obory. Například koncem dubna proběhly tradiční Dny teplárenství a energetiky v Olomouci, které byly mnohohrstenaté až místy kontroverzní. Zazněla zde však i řada příspěvků, které ukazovaly na projekty do moderní energetiky. A květen a předprázdninový červen, to jsou již tradičně měsíce konferenční. Koncem května se odehrála významná akce v oboru, a to konference Solární energie a akumulace v ČR, která byla zaměřena na rozvoj obnovitelné energetiky, a to jak solární, tak agrovoltaiky, větrné a také akumulace. Zaznělo zde, že v rozvoji OZE musí ČR přidat, chce-li splnit evropské cíle. Představitelé solárních asociací a lidé, podnikající v tomto oboru, volají po budování velkých solárních parků, a po jejich provozní podpoře, která v tuto chvíli není. Proto se objevují mnohé FVE projekty na prodej, neboť dlouhé povoloovací procesy a omezené možnosti připojení vše prodlužují a zdržují. Konference je již tradiční a letos byla dokonce dvoudenní. A hned následující den prošla Senátem novela zákona o půdním zemědělském fondu, který zavádí a ukotvuje podmínky pro agrovoltaiku, tedy souběh produkce zemědělských plodin a výroby energie ze solárních panelů. Takže na další rozvoj OZE – fotovoltaiky, jakož i větrných elektráren a bioplynových stanic, je dobře našlápnuto. A v samém závěru měsíce se konala konference o vodíku a jeho využití s názvem Vodík jako řešení pro soběstačnost a udržitelnost v energetice budov. Plány na využití vodíku v průmyslu, dopravě a v domácnostech se tu skloňovaly ve všech pádech a dávaly dohromady s realitou. V červnu nás pak čeká další kolečko konferencí, například karlovarské česko-slovenské energetické fórum, a řada dalších. Je tedy na co se těšit.

Na co byste se měli těšit vy, vážení čtenáři? V tomto čísle přinášíme rozhovor s Petrem Holubem, vrchním ředitelem sekce ochrany klimatu z Ministerstva životního prostředí. V rozhovoru představuje plány, směry a úvahy ministerstva do blízké i vzdálenější budoucnosti. Jelikož je tématem tohoto vydání Solární instalace, fotovoltaice se zevrubně věnujeme. Nejen z hlediska údržby a bezpečnosti, ale i rozvoje. V této chvíli MŽP spolu s ostatními ministerstvy připravují a vyhledávají akcelerační zóny pro instalaci OZE, které by mohly zčásti pomoci. Nad stavem fotovoltaiky se zamýšlí i Petr Maule, výkonný ředitel České fotovoltaické asociace. Nezapomínáme ani větrnou energii, a článek, který v čísle najdete, shrnuje synergii či doplnění sluneční a větrné energie v praxi.

Je logické, že s přibývajícím megawatty elektriny z OZE bude potřeba posílit i distribuční soustavu. Tématu se věnujeme rubrice Distribuce, kde je také uvedeno, jaké částky budou muset distribuční společnosti i celá Evropská unie investovat do posílení sítí. A že jsou nemalé, ale ve finále se vyplatí, a soustava se musí obnovovat tak, jako tak. Věnujeme se i energetické transformaci, provozu bioplynových stanic a také elektromobilitě, zejména z pohledu budování dobíjecí infrastruktury. Nezapomínáme ani na vývoj v oblasti akumulace a baterií. V tomto vydání se věnujeme i jaderné energetice, konkrétně malým modulárním reaktorům, a to z pohledu toho, co by mohly přinést pro českou energetiku.

Vážení a milí čtenáři, přejeme vám příjemné čtení v Energii 21.

Eva Vítková



- jediný odborný časopis (nejen) o obnovitelných zdrojích energie
- vychází jako dvouměsíčník od roku 2008, tištěná i digitální verze
- informace o trendech i praktických řešeních pro dodavatele i spotřebitele
- více než čtyři tisíce předplatitelů v Česku i na Slovensku
- mediální partner významných veletrhů a odborných konferencí
- elektronické sdílení obsahu časopisu na internetových stránkách
- podpora obchodních sdělení redakčním článkem nebo reportáží
- součást největšího vydavatelství pro zemědělství, města a obce
- informace o předplatném (k tištěnému je digitální předplatné zdarma):
tel.: 277 001 600, odbyt@profipress.cz



Bližší informace o možnostech
obchodní spolupráce poskytne
manažer inzerce Ing. Jan Kroupa
mobil: +420 724 813 498
e-mail: jan.kroupa@profipress.cz

www.energie21.cz

Energie 21/Alternativní energie – váš spolehlivý obchodní partner