

# ANALÝZA OPTIMÁLNEHO NAČASOVANIA INVESTÍCIE DO FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMOV

*Lucia Fabiánová, Maroš Andrejko*

## **ABSTRACT**

*Photovoltaic systems can be installed anywhere and the installation cost of solar modules is decreasing, which makes solar energy more attractive to the investors. Uncertainty regarding the future electricity prices reduces their attractiveness and makes valuing of solar systems more difficult. This paper describes real option method for determining the optimal timing of the investment. A case study using the real option binomial model is used to evaluate the investment value of small photovoltaic system and to determine the effect of price uncertainty on the option value.*

## **KEY WORDS**

*Real option analysis. Photovoltaic system. Investment evaluation. Renewable energy. Managerial flexibility.*

## **JEL CLASSIFICATION**

*D81, G11, G17, L94, Q20*

## **ÚVOD**

Fotovoltaičné (skr. FV) systémy sú populárnou technológiou obnoviteľnej energie, ktorá má potenciál naplniť budúci svetový energetický dopyt. Napriek svojim mnohým výhodám nemusia byť FV systémy atraktívne pre potenciálnych investorov, a to najmä v dôsledku neistoty vyplývajúcej z cien elektrickej energie. Z tohto dôvodu má význam pri oceňovaní takejto investície použiť sofistikovanejšie metódy oceňovania, ktoré zohľadňujú relevantné zdroje neistoty a ich vplyv na hodnotu investície. Za jednu z takýchto metód sa považuje aj analýza reálnych opcí.

Náš príspevok má nasledujúcu štruktúru. V prvej kapitole článku zhrnieme doterajší výskum v oblasti oceňovania obnoviteľných zdrojov energie a stručne predstavíme teoretické základy analýzy reálnych opcí. Druhá kapitola približuje cieľ našej práce, použité metódy a premenné vstupujúce do ďalšej analýzy. Tretia kapitola je venovaná samotnej analýze

reálnych opcií, výpočtu hodnoty reálnej opcie a zhrnutiu výsledkov tejto analýzy. Záver ponúka celkové zhrnutie nášho príspevku a interpretáciu výsledkov analýzy.

## 1 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ

Čoraz viac krajín si uvedomuje dôležitú úlohu obnoviteľných zdrojov energie pre spoločnosť. Význam týchto zdrojov vyplýva z globálnych obáv ohľadom vyčerpania bežne používaných zdrojov energie a rastie spolu s dôrazom na environmentálnu ochranu a obavami z klimatických zmien v dôsledku nárastu skleníkových plynov. Pozornosť sa v tomto prípade upriamuje najmä na solárnu energiu, ktorá je považovaná za jeden z obnoviteľných zdrojov s najväčším potenciálom. (Zhang, 2016)

Reálne opcie predstavujú manažérsku flexibilitu vzťahujúcu sa na nefinančné aktívum. Môžeme ich chápať ako korekciu nedostatkov vyplývajúcich z oceňovacích metód založených na diskontovaných peňažných tokoch, ktoré predpokladajú absenciu flexibility v investičnom rozhodovaní a konštantnú diskontnú sadzbu (Copeland a Antikarov, 2003). Analýza reálnych opcií sa ukázala byť užitočným nástrojom pri oceňovaní investičných scenárov, ktoré zahŕňajú vysokú úroveň neistoty. Táto metóda našla za posledné roky svoje využitie aj v energetickej oblasti a v sektore obnoviteľných zdrojov energie, vrátane FV systémov.

Gahrooei et al. (2016) využili metódu reálnych opcií pri analýze optimálneho načasovania investície do rezidenčného FV systému pod vplyvom neistoty a v rámci rôznych investičných scenárov.

Locatelli et al. (2016) vo svojom výskume oceňujú hodnotu opcie, ktorá umožňuje počkať s investíciou do energetických úložných systémov na zmeny trhových podmienok a prehodnotiť ziskovosť investície v každom kroku vývoja projektu.

Martin-Barrera et al. (2016) vo svojej analýze zohľadnili aj granty určené na vedecko-výskumné projekty a ich vplyv na hodnotu investície do obnoviteľných zdrojov energie.

Kim et al. (2017) sa vo svojej publikácii zamerali na stanovenie hodnoty manažérskej flexibility pri oceňovaní výstavby integrovaných FV systémov s použitím metódy reálnych opcií.

## 1.1 Analýza reálnych opcí

Reálne opcie predstavujú pre ich vlastníka právo, avšak nie povinnosť realizovať investíciu do FV systému počas doby životnosti danej opcie. V prípade, ak očakávaný výnos z investície do FV systému prevýši očakávané náklady na jeho inštaláciu a prevádzku, investor realizuje investíciu. Investor nemusí investíciu realizovať okamžite, t.j. môže inštaláciu FV systému odložiť na pre neho priaznivejšie obdobie.

Prvým krokom pri výpočte reálnej opcie je stanovenie budúcich príjmov, ktoré tvoria hodnotu podkladového aktíva. V prípade FV systému sú tieto príjmy rovné nákladom na elektrickú energiu, ktoré by musel investor vynaložiť v prípade, ak by kupoval elektrickú energiu zo siete. Hodnotu takéhoto príjmu stanovíme ako súčin výkonu FV systému počas celej doby jeho životnosti a budúcich cien elektriny.

Druhým krokom pri stanovovaní hodnoty opcie je určenie realizačnej ceny oceňovanej investície. Tú predstavujú predovšetkým celkové náklady na obstaranie jednotlivých častí FV systému, ich dovoz, montáž, údržbu a prevádzku.

Posledný krok predstavuje samotný výpočet hodnoty reálnej opcie. Pre výpočet sme zvolili binomický model, ktorý vyžaduje 5 základných vstupov - hodnota podkladového aktíva, realizačná cena investície, bezriziková úroková miera, volatilita a doba životnosti reálnej opcie. Následne vypočítame hodnotu opcie metódou spätnej indukcie. Pri tejto metóde využívame rizikovo neutrálne pravdepodobnosti vypočítané podľa nasledujúceho vzťahu:

$$\frac{\exp(r\delta t) - D}{U - D}$$

Premenná  $r$  predstavuje bezrizikovú úrokovú mieru,  $\delta t$  je dĺžka 1 kroku binomického stromu,  $D$  je faktor poklesu a  $U$  faktor rastu.

Výslednú hodnotu reálnej opcie interpretujeme a porovnáme s výsledkom tradičnej metódy čistej súčasnej hodnoty.

## 2 CIEĽ A METÓDY

Analýzu reálnych opcí sme sa rozhodli aplikovať na modelový príklad. Cieľom je identifikovať optimálny čas pre inštaláciu FV systému s ohľadom na manažérsku flexibilitu a trhovú neistotu.

Predpokladáme malý podnik sídlaci v Košiciach v budove s rozlohou 144 m<sup>2</sup> a s rovnou strechou. Podnik uvažuje nad investíciou do FV systému, ktorý by bol umiestnený na streche danej budovy a pozostával by z bežných FV modulov s výkonom 260 Wp. Podnik disponuje

opciou so životnosťou 10 rokov, ktorá mu umožňuje v prípade nepriaznivého vývoja trhovej ceny elektriny odložiť, resp. úplne zrušiť uvažovanú investíciu.

Ako prvé je potrebné určiť veľkosť investície, t.j. veľkosť a parametre FV systému, ktorý budeme oceňovať. Z celkovej plochy strechy je možné využiť 121 m<sup>2</sup> na umiestnenie FV modulov a ich konštrukcií. Spoločnosť EasySun na svojej stránke uvádza, že na 1 kWp výkonu je potrebný priestor 15 m<sup>2</sup> plochy strechy, pričom v tomto priestore sú už zohľadnené aj rozmery konštrukcie a rozstupy medzi panelmi, ktoré zamedzujú ich vzájomnému tieneniu. Ak vychádzame z týchto údajov, tak jeden FV panel s výkonom 0,260 kWp potrebuje plochu 4 m<sup>2</sup>. Na strechu s plochou 121 m<sup>2</sup> je možné umiestniť 30 panelov s celkovým výkonom 7,8 kWp (30\*0,260 kWp), čo predstavuje veľkosť nami oceňovaného FV systému. FV moduly by boli na strechu inštalované s azimutom 0° a sklonom 30°, čo predstavuje ideálne umiestnenie. Predpokladáme nulové, resp. minimálne tienenie z okolitých budov a objektov. Životnosť tohto FV systému je 25 rokov.

Na výpočet odhadovaného elektrického výkonu FV systému sme použili nasledujúci vzťah:

$$E = A * r * H * PR$$

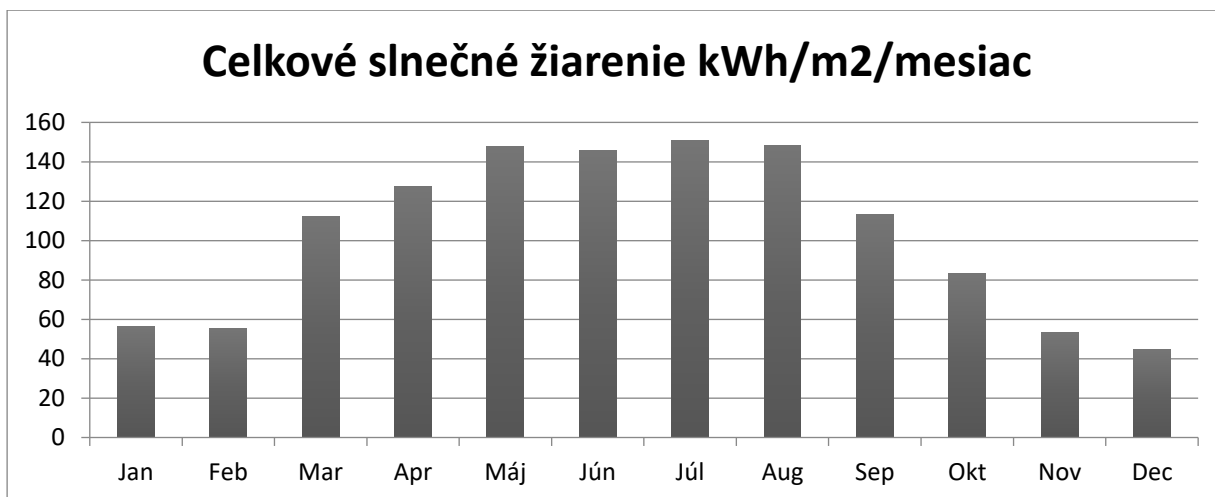
Parametre vstupujúce do predchádzajúcej rovnice sú zhrnuté v Tabuľke 1:

Tabuľka 1 Parametre vzťahu pre výpočet elektrického výkonu

E	Elektrický výkon (kWh)
A	Celková plocha solárnych panelov (m <sup>2</sup> )
R	Efektívnosť solárneho panelu (%)
H	Ročné priemerné slnečné žiarenie dopadajúce na naklonené panely (kWh/m <sup>2</sup> /rok)
PR	Výkon; koeficient strát

Prameň: <http://photovoltaic-software.com/PV-solar-energy-calculation.php>

Jeden solárny modul s výkonom 260 Wp má plochu 1,64 m<sup>2</sup>, 30 takýchto modulov má celkovú plochu 49,2 m<sup>2</sup>. Efektívnosť solárneho panelu je uvádzaná výrobcom vo výške 16%. Ročný priemerný dopad slnečného žiarenia bolo vypočítané z klimatických údajov Dátového centra atmosférických vied NASA pre oblasť mesta Košice a sklon panelov 30% (viď Graf 1).



Graf 1 Celkové slnečné žiarenie v kWh/m<sup>2</sup>/mesiac

Prameň: NASA

Koeficient strát sa uvádza z intervalu 0,5 - 0,9. V našom prípade sme počítali s koeficientom 0,75. Celková hodnota odhadovaného ročného elektrického výkonu nášho FV systému je 7 308,38 kWh.

Budúca cena elektriny bola odhadnutá na základe jej historickej volatility. Pre jej výpočet boli použité priemerné ročné historické ceny elektriny pre stredné podniky za obdobie rokov 2006-2016 získané z databáz Eurostatu. Smerodajná odchýlka logaritmickej výnosnosti týchto cien elektriny predstavuje ročný faktor volatility vo výške 5,554%.

Výdavky na zhotovenie FV systému sme odvodili z cenovej kalkulácie spoločnosti EasySun, ktorá je voľne prístupná na ich webovej stránke. Cenová kalkulácia je zo 4. novembra 2014 pre FV systém s výkonom 30 kWp.

Tabuľka 2 Cenová kalkulácia nákladov na FV systém

Cena za 1 kWp	1 650 EUR
Počet kWp	30
Cena spolu za FVE 30 kWp	49 500 EUR

Prameň: vlastné spracovanie podľa EasySun

Ceny FV panelov v priebehu času klesajú, avšak náš FV systém je menší ako FV systém od firmy EasySun, preto sme sa rozhodli cenový pokles nezohľadňovať. Kalkulovať budeme s cenou 1 650 EUR na 1 kWp inštalovaného výkonu. V tejto cene sú zahrnuté montáž, podpory, FV panely, meniče, tj. všetko potrebné pre inštaláciu a prevádzku FV systému. Nami

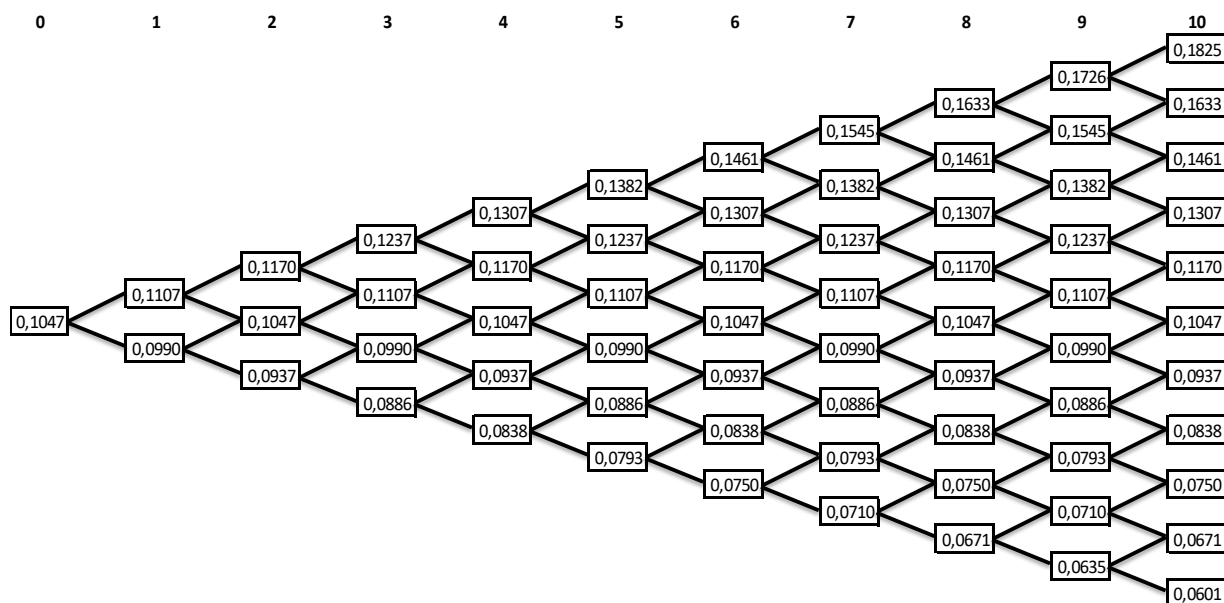
navrhnutý FV systém má výkon 7,8 kWp a celkové výdavky na jeho inštaláciu sme odhadli na sumu 12 700 EUR.

Bezrizikóvú úrokovú mieru sme odvodili od výnosností AAA dlhopisov Eurozóny s dĺžkou splatnosti rovnou životnosti opcie, t.j. 10 rokov. Bezrizikóvú úrokovú mieru je v tomto prípade 0,17%.

Na základe vyššie popísaných hodnôt a premenných sme zostavili binomický model pre oceňovanie reálnych opcí.

### 3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Binomický strom cien elektriny bol zostavený pre obdobie 10 rokov s krokom  $\delta t = 1$  rok. Cena v počiatočnom bode je priemernou cenou elektriny za 1 kWh pre rok 2016. Ceny elektriny v bode 1 boli vypočítané pre násobením predchádzajúcej, v tomto prípade počiatočnej, ceny faktormi rastu a poklesu. Faktory rastu a poklesu sú odvodené od ročného faktoru volatility a dosahujú hodnoty  $u=1,0571$  a  $d=0,9460$ . Rovnakým spôsobom boli získané ceny v ostávajúcich bodoch stromu. Výsledný binomický strom je znázornený na Obrázku 1.



Obrázok 1 Budúci vývoj ceny elektriny

Prameň: vlastný výpočet a spracovanie

Strom vývoja hodnoty podkladového aktíva (Obrázok 2) bol zostavený zo súčinov budúcich cien elektriny a výkonu FV systému počas celej doby životnosti. Výkon systému

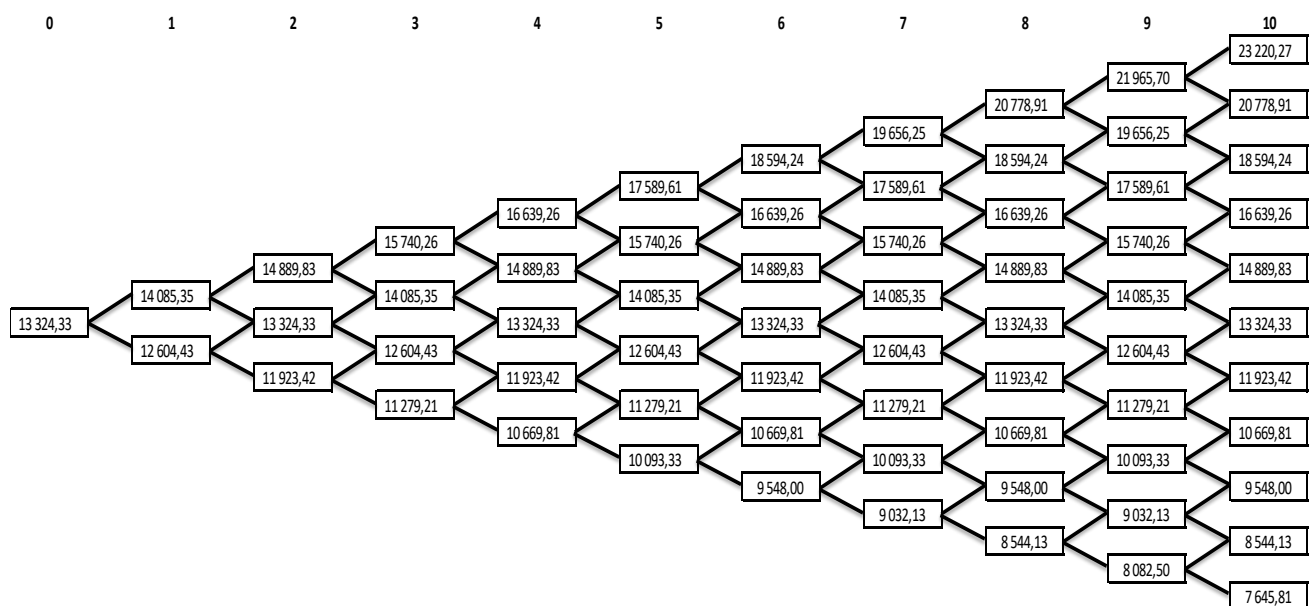
počas celej doby životnosti sme získali pre násobením ročného výkonu FV systému a jeho doby životnosti, t.j. 25 rokov.

Kim et al. (2017) vo svojej práci predpokladajú, že cena elektriny ostáva po realizácii investície fixná až do konca jej životnosti, t.j. vláda po celých 25 rokov garantuje investorovi stabilnú cenu elektrickej energie. Následne jednotlivé hodnoty cien násobených výkonom diskontovali pri bezrizikovej úrokovej miere s použitím zásobiteľa:

$$\frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n}$$

Parameter  $i$  predstavuje v predchádzajúcom vzťahu bezrizikovú úrokovú mieru a  $n$  určuje životnosť FV systému.

Vzhľadom na to, že cena elektriny nevykazuje vysokú volatilitu, a taktiež kvôli zjednodušeniu výpočtov, sme v našej práci použili rovnaký predpoklad fixnej ceny, a teda aj rovnaký výpočet hodnôt podkladového aktíva.

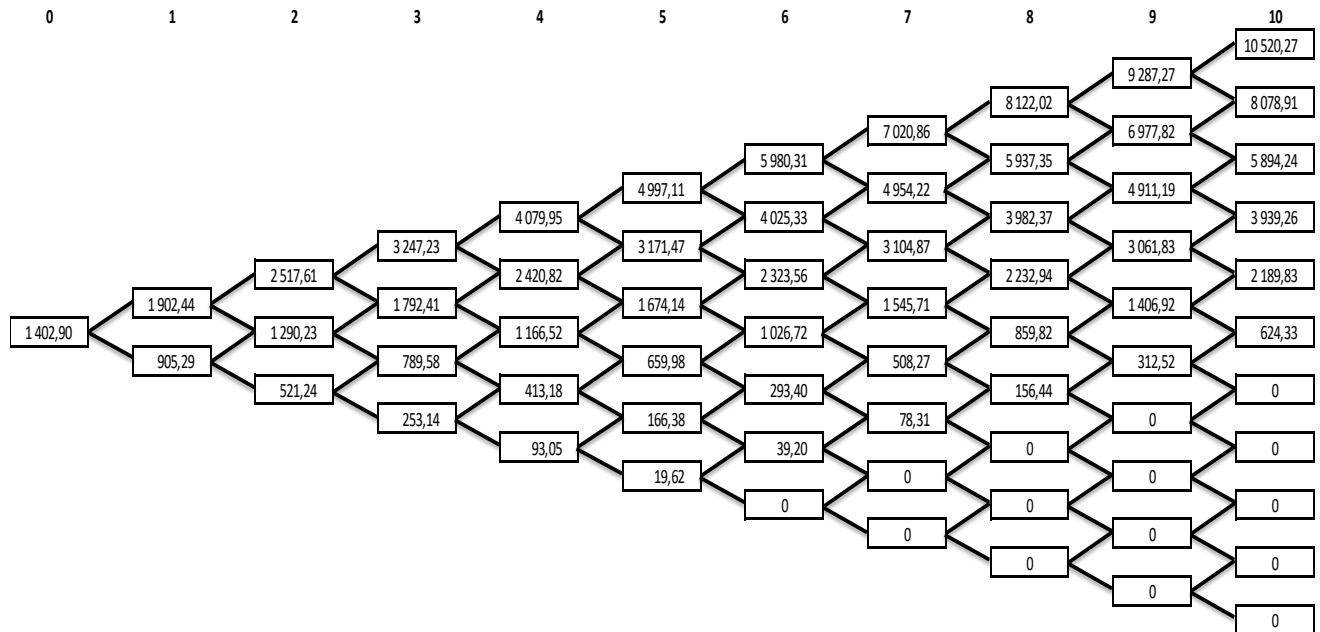


Obrázok 2 Strom vývoja podkladového aktíva

Prameň: vlastný výpočet a spracovanie

Podkladové aktívum má v počiatočnom bode hodnotu 13 324,33 EUR.

Posledný binomický strom (Obrázok 3) znázorňuje vývoj hodnôt reálnej opcie. Jednotlivé hodnoty sme získali metódou spätnej indukcie, pričom výpočet začíname od najväčšej, t.j. najoptimistickejšej hodnoty v poslednom roku. Pri určovaní jednotlivých hodnôt využívame vzťah z kapitoly 1.1 pre výpočet rizikovo neutrálnych pravdepodobností.



Obrázok 3 Strom vývoja hodnoty opcie

Prameň: vlastný výpočet a spracovanie

Hodnota oceňovanej reálnej opcie je 1 402,90 EUR. Táto hodnota je kladná a hovorí v prospech realizácie danej investície. Rovnaký výsledok sme získali aj na základe čistej súčasnej hodnoty:

$$NPV = 13\,324,33 - 12\,700 = 624,33 \text{ eur}$$

Táto metóda taktiež odporúča investovať do analyzovaného FV systému. Hodnota reálnej opcie je vyššia ako čistá súčasná hodnota, t.j. manažérska flexibilita je prínosom pre investora a zvyšuje hodnotu jeho investície.

## ZÁVER

Investícia do nášho modelového strešného FV systému s výkonom 7,8 kWp sa ukázala byť pre investora výhodnou. Na tento fakt poukazuje nielen kladná čistá súčasná hodnota (624,33 EUR), ale aj hodnota reálnej opcie (1 402,90 EUR). Tá v sebe zahŕňa aj flexibilitu investora pri rozhodovaní, ktorá ho chráni pred nepriaznivými rizikami vyplývajúcimi z neistoty na trhu s energiami. V prípade, že sa investor rozhodne s realizáciou projektu počkať, podstupuje riziko, že v prípade poklesu ceny elektrickej energie pod hodnotu 0,075 EUR/kWh sa jeho investícia stane nevýhodnou. V tomto prípade je okrem manažérskej flexibility potrebné zohľadniť aj správne načasovanie realizácie investície.



Nami predstavený model počíta s zjednodušenými výpočtami. V prípade väčších a nákladnejších projektov je vhodné tento model rozšíriť o ďalšie druhy rizík, ktoré môžu mať vplyv na vývoj hodnoty opcie.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER. 2017. NASA Surface Meteorology and Solar Energy [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné na internete: [https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-](https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=202139&lat=48.71&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=ret_tlt0&step=2&lon=21.26)

[bin/sse/grid.cgi?&num=202139&lat=48.71&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid\\_id&p=ret\\_tlt0&step=2&lon=21.26](https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=202139&lat=48.71&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=ret_tlt0&step=2&lon=21.26)

COPELAND, T., ANTIKAROV, V. 2001. Real Options: A Practitioner's Guide. New York: TEXERE, 2001.

EASYSUN, 2014. Akú plochu by zaberala navrhovaná fotovoltaická elektráreň [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné na internete: <http://www.easysun.sk/aku-plochu-zaberala-navrhovana--fotovoltaicka-elektren/>

EASYSUN, 2014. Návravnosť fotovoltaickej elektrárne pre firmu [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné na internete: <http://www.easysun.sk/fotovoltaicka-cena-navratnost-fotovoltaickej-elektarne-pre-firmu/>

GAHROOEI, M. R., ET AL. 2016. Timing residential photovoltaic investments in the presence of demand uncertainties. In Sustainable Cities and Society 20, 2016, s. 109-123.

KIM B., ET AL. 2017. Determining the optimal installation timing of building integrated photovoltaic systems. In Journal of Cleaner Production 140, 2017, s. 1322-1329.

LOCATELLI, G., ET AL. 2016. Investment and risk appraisal in energy storage systems: A real options approach. In Energy 104, 2016, s. 114-131.

MARTIN-BARRERA, G., ET AL. 2016. Application of real options valuation for analysing the impact of public R&D financing on renewable energy projects: A company's perspective. In Renewable and Sustainable Energy Reviews 63, 2016, s. 292-301.

ZHANG, M. M., ET AL. 2016. Optimal feed-in tariff for solar photovoltaic power generation in China: A real options analysis. In Energy Policy 97, 2016, s. 181-192.

## KONTAKT

*Ing. Lucia Fabiánová*

*Technická univerzita v Košiciach*

*Ekonomická fakulta*

*Nemcovej 32, 040 01 Košice, Slovensko*

*lucia.fabianova@tuke.sk*

*Mgr. Maroš Andrejko*

*Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach*

*Prírodovedecká fakulta*

*Jesenná 5, 040 01 Košice, Slovensko*

*maros.andrejko@gmail.com*