

Deriváty na elektrickou energii

Tomáš Tichý¹

Abstrakt

Tento článek je zaměřen na specifický typ kontraktů jejichž podkladovým aktivem je dodání elektrické energie. Základní specifikum spočívá ve skutečnosti, že toto aktivum není mezi jednotlivými časovými okamžiky skladovatelné (a tedy ani obchodovatelné) a není tak možná jeho přímá replikace. Možným řešením tohoto oceňovacího problému může být nalezení odpovídajícího portfolia obchodovatelných aktiv (tj. *twin security*) nebo zahrnutí preferencí investorů. Kromě základních typů kontraktů (swapy, forwardy) jsou obchodovány i kontrakty specifické. Pozornost je zde zaměřena i na tzv. swing opce, které umožňují určitou flexibilitu co se týče množství podkladového aktiva.

Klíčová slova

Elektrická energie, neskladovatelné aktivum, nereplikovatelné aktivum, finanční deriváty, reálné opce, swing opce

1 Úvod

Existence derivátů na elektrickou energii je úzce spjata s liberalizací energetického sektoru. Co se týče Evropy, liberalizace vychází z příslušné směrnice, která působí zejména na zvýšení konkurence na straně nabídky, přenosu a produkce elektřiny.

Avšak ještě před přijetím této směrnice došlo k vzniku centralizovaného trhu (*poolu*), s cílem zjednodušit příslušné transakce a případně i soustředit obchod s energetickými deriváty. Jinak řečeno, šlo o vznik burzy s elektrickými aktivy. Konkrétně se jednalo o Anglii a Wales (*Pool*, 1990) a Norsko (*Nord Pool*, 1993). K posledně jmenovanému se postupně přidružilo Švédsko, Finsko a Dánsko, čímž byla liberalizace umožněna v rámci prostoru více zemí. V současné době je tento trh považován za pravděpodobně nejvyspělejší a nejefektivnější.

Na přelomu tisíciletí pak došlo k vytvoření příslušných trhů ve většině zemí EU s různým stupněm deregulace. Má se za to, že trh s elektřinou by v průběhu svého dospívání prošel vzhledem ke své povaze při deregulaci od fáze státního monopolu přes výrazný pokles cen v období relativně vysoké konkurence po návrat cen nad původní úroveň v důsledku soukromého monopolu.

Zkušenosti z dosavadního vývoje spolu s vlastnostmi elektrické (i jiné) energie ukazují, že spotové ceny jsou vysoce volatilní (dáno nízkou přizpůsobivostí výroby, obtížemi se vstupem do odvětví či instalací dodatečné kapacity). Tyto charakteristiky určují nízkou elasticitu ceny na změnu poptávky v oblasti objemu produkce pokryté nukleárními a vodními zdroji a vysokou elasticitou v oblasti produkce s vyššími mezními náklady (např. plyn).

¹Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., Katedra Financí, VŠB-TU Ostrava, Sokolská 33, 701 21 Ostrava, Česká Republika. E-mail: tomas.tichy@vsb.cz.

Zásadní část tohoto příspěvku vznikla v rámci podpory MSM 6198910007.

Dalším problémem pak je poněkud nevyvážený vztah mezi jednotlivými subjekty na trhu. Zatímco (přínejmenším drobní) odběratelé těží s dlouhodobě dohodnutých (a často i regulovaných) cen, producenti mohou poskytovat energii za tržní ceny. Mezi těmito subjekty pak stojí operátor, tj. subjekt, který zajišťuje převod produktu – nakupuje za cenu tržní, avšak prodává za cenu regulovanou.

Z uvedeného vyplývá, že právě operátoři jsou vysoce vystaveni riziku volatility tržní spotové ceny. Možným způsobem řízení uvedeného rizika je hedging pomocí derivátů.²

Cílem tohoto článku je představit základní typologii trhu s finančními deriváty na elektrickou energii a dále ukázat možnosti ocenění.

2 Typologie derivátů

Pojem deriváty ve finanční terminologii obecně označuje finanční aktiva jejichž hodnota v době zralosti je jedinečným způsobem odvozená od stavu podkladových hodnot. Lze rozlišit dvě základní skupiny – lineární a nelineární finanční deriváty.

V případě lineárních finančních derivátů jsou práva a povinnosti obou stran kontraktu symetricky rozdělena. Příkladem mohou být *forwardy* (povinnost nákupu/prodeje podkladového aktiva v době zralosti za předem stanovenou cenu), *futures* (tj. standardizované forwardy) a *swapy* (opakovaná směna stanovených aktiv).

Oproti tomu pro nelineární deriváty je typické nesymetrické rozdělení práv a povinností. Zatímco držitel disponuje právem nákupu (či prodeje), výstavce takového derivátu má odpovídající povinnost dané aktivum dodat (odkoupit). Základním příkladem jsou *opce*.

Podkladem derivátů mohou být různá finanční aktiva, jako akcie, měny, úrokové sazby, indexy, komodity či různé stavové veličiny (např. průměrná teplota). V tomto článku se zaměřujeme na specifický typ derivátů, které jsou vystaveny na elektrickou energii (nadále budeme označovat jako *elektrický derivát*).

Významným specifickým elektrických derivátů je podkladové aktivum. Oproti klasickým derivátům je důležité, že podkladové aktivum (tj. elektřina) se v čase a často i místě liší. Důležitá je rovněž skutečnost, že na tzv. *spotovém trhu* se obchoduje zpravidla na *day-ahead* bázi – dohodnutý objem energie bude dodán v průběhu následujícího dne.

Předpokládejme derivát na akcii. Jelikož akcie zjednodušeně představuje právo podílet se na řízení společnosti, včetně podílu na zisku, a pomineme-li některé krajní scénáře, bude se dnes i zítra jednat o stejnou akcii. Obdobně, rozdíl mezi vlastnictvím těžce akcie, řekněme, z Austrálie nebo Spojeného království není významný.

Na druhou stranu, nelze ztotožnit vlastnictví elektřiny dnes a zítra. Elektřina je neskladovatelná a proto lze jen těžko dnes nevyužitou elektřinu spotřebovat zítra.³ Problematikou je rovněž převoditelnost mezi místy – elektřina je v podstatě nepřevoditelná z australské energetické soustavy do soustavy evropské.

Elektrické deriváty je dále možné rozčlenit dle části dne, v němž dochází k dodávce, tj. zda se jedná o *denní* (zpravidla 6⁰⁰h až 22⁰⁰h) nebo *noční* proud.

Výplatní funkce forwardu f v době zralosti (jeho hodnota) má následující podobu:

$$\Psi(f)_T = S_T - \mathcal{K}. \quad (1)$$

²Za učebnicový případ může být považována nedávná krize v Kalifornii, kde jedním z hlavních faktorů bylo bránění využívání hedgingovým strategiím pomocí derivátů.

³Určitou možností skladování elektřiny je existence přečerpávacích elektráren. Náklady jsou však relativně vysoké a pružnost dosti nízká.

Zde \mathcal{S}_T označuje cenu elektřiny platnou v době zralosti, respektive průměrnou hodnotu v období dodání, a \mathcal{K} je dodací cena dle kontraktu.

Vzhledem k tomu, že forwardy jsou vyspecifikovány pro konkrétní uživatele, jsou vystaveny na výrazně vyšší množství elektřiny než burzovně standardizované futures. Rozdíl je také ve způsobu dodání. Forwardy jsou realizovány převážně fyzicky, futures jsou zakončeny finančním plněním. V případě, že přeci jen dojde k fyzickému plnění, je místo určení stanoveno tak, aby bylo využitelné pro co největší množství potencionálních zájemců. K prvnímu uvedení těchto kontraktů na burzu došlo před necelými 10 lety na New Yorkské NYMEX.

Elektrické swapy jsou blízké swapům na klasická aktiva. Zpravidla je lze chápat jako portfolio forwardů s různou dobou zralosti. Specifické vlastnosti trhů s elektřinou daly vzniknout i specifickým swapům. Jako příklad uveďme swap na rozdíl cen elektřiny na místně různých trzích.

Inovační schopnosti tržních subjektů se nejvíce projeví na opcích. Novým proměnným atributem těchto kontraktů se tak staly podkladové množství, místo dodání a jeho načasování, kvalita, typ vstupního paliva apod.

Mezi nejčastěji obchodované a tedy i vysoce likvidní opce patří měsíční. Například prosincová call opce bude po uplatnění na konci listopadu přinášet svému držiteli ve všech pracovních dnech prosince stanovené množství MWh elektrické energie za stanovenou cenu.

Mnohem méně likvidní jsou opce denní a hodinové, které poskytují právo na dodání elektřiny ve vybrané dny (hodiny) předem stanoveného období (rok, sezóna, čtvrtletí, apod.).

Více specifickým typem derivátu jsou opce na rozpětí (*spark spread option*) mezi cenou výstupu (tj. elektřinou) a potřebného vstupu (tj. příslušného paliva).

Vysoce zajímavé jsou rovněž *swing opce*. Tyto opce je možné uplatnit denně ve stanoveném období (celkový počet dnů může být omezen). Důležité je, že není přesně stanoveno podkladové množství. To je pouze omezeno shora i zdola, $Q \in (Q_{min}, Q_{max})$. V rámci tohoto intervalu může variovat (proto swing). Zároveň bývají stanoveny limity, opět horní i dolní, na celkové množství elektřiny, kterou je nutné v daném období odebrat.

3 Oceňování

Nejjednodušším případem, jak nalézt teoreticky správnou cenu (tj. znemožňující arbitráž) finančního derivátu, je využití tržních cen blízce spjatých aktiv.

Například měsíční forward lze staticky rozložit pomocí denních forwardů. Obdobně lze forwardy využít při hledání ceny opce. Označme cenu elektrické energie v čase t jako \mathcal{S}_t a forwardovou cenu⁴ v čase t pro čas T jako $\mathcal{F}_{t,T}$.

Je-li podkladové aktivum obchodovatelné a skladovatelné (tj. finanční derivát je replikovatelný), pak obecně platí, že forwardová cena odpovídá ceně podkladového aktiva očekávané po uplynutí daného časového úseku při neutrálním vztahu k riziku:

$$\mathcal{F}_{t,T} = \mathbb{E}_t^Q[\mathcal{S}_T], \quad (2)$$

kde \mathbb{E}_t^Q označuje očekávání učiněné v čase t při neutrálním vztahu k riziku, neboli s využitím rizikově neutrálních pravděpodobností Q .

⁴Forwardovou cenou je myšlena realizační cena forwardu, která dává nulovou hodnotu kontraktu.

Alternativně, není-li možná replikace a tedy ani vytvoření bezrizikového portfolia, bude forwardová cena dána dle očekávání při tržních pravděpodobnostech:

$$\mathcal{F}_{t,T} = \mathbb{E}_t^{\mathcal{P}}[S_T]. \quad (3)$$

Při hledání hodnoty opce je důležitý následující vztah:

$$f_{t,T} = e^{df\tau} \mathbb{E}_t[\Psi_T], \quad (4)$$

kde Ψ označuje výplatní funkci a $e^{df\tau}$ označuje příslušný diskontní faktor, přičemž $\tau = T - t$. Budeme-li uvažovat nejjednodušší typ call opce, můžeme (4) přepsat do tvaru:

$$f_{t,T} = e^{df\tau} \mathbb{E}_t[(S_T - \mathcal{K})^+]. \quad (5)$$

Jelikož \mathcal{K} je konstanta, je nejdůležitější součástí oceňovací procedury nalezení \mathcal{S}_T . Existuje-li však likvidní trh s forwardy či futures, je možné dosadit forwardovou cenu dle (2) či (3).

Standardní přístup dle Blacka a Scholese [1] předpokládá, že podkladové aktivum je obchodovatelné, což při splnění některých dalších podmínek umožňuje replikaci derivátů. Derivát však lze alternativně replikovat i s využitím forwardů či futures. Proto je možné do uvedené formulace zahrnout bezrizikový výnos jak při hledání vhodné dynamiky ceny elektřiny \mathcal{S} tak při stanovení diskontního faktoru, tj. $df = -r$. Doplňme, že učiněné závěry platí i pro složitější výplatní funkce.

Další problém je, jakým způsobem modelovat vývoj rozhodných veličin v čase. V jednodušších případech je postačující modelování ceny energie. Za tímto účelem je nutné aplikovat některý z komplexních procesů, který zohledňuje tendenci návratu k dlouhodobě rovnovážné ceně, měnící se volatilitu, vliv sezónnosti a existenci skoků.

V případě komplexněji pojatých derivátech využívaných producenty je nutné modelovat celou strukturu relevantního prostředí – vývoj ceny vstupu či případně alternativních vstupů, podobu tzv. *heat rate* (transformační funkci vstup/výstup) a podobně.

Kupříkladu *spark spread option* – opce na rozpětí vstup (nákupní cena paliva)/výstup (prodejní cena elektřiny) bude mít výplatní funkci specifikovanou v závislosti na ceně elektřiny a *hr*

Nakonec uvedme specifický přístup k určení forwardové ceny elektřiny $\mathcal{F}_{t,T}$ jako součet výchozí ceny \mathcal{S}_0 a funkce φ :

$$\mathcal{F}_{t,T} = \mathcal{S}_0 + \varphi(w(t, T), L(t, T)). \quad (6)$$

Uvedená funkce vychází z ekonomické reality. Forwardová cena je proto určena v závislosti na odhadované produkci (poptávce) a předpokládaných (forwardových) cenách vstupů relevantních pro daný objem produkce (mezní náklady provozu). Uvedenou funkci lze nejčastěji specifikovat prostřednictvím konstant α a β v exponenciálním vyjádření (mezní náklady jsou zpravidla exponenciální funkcí objemu produkce):

$$\varphi(w(t, T), L(t, T)) = w \exp(\alpha L + \beta). \quad (7)$$

Parametry těchto funkcí je zpravidla vhodné získat jako implikované z tržních cen derivátů.

4 Závěr

Trh s elektrickou energií a s ním související trh derivátových produktů prošel v posledním desetiletí mnohými inovacemi. Významnou roli hraje liberalizace předmětného trhu včetně mezinárodního hlediska.

Hlavním problémem oceňování elektrických derivátů je problém skladování elektřiny, její přenos a omezený transport vstupů pro její výrobu.

Základním principem proto je více než kde jinde dekompozice složitějších aktiv a jejich následné ocenění na bázi existujících tržně oceněných produktů. Zůstává však problém ohodnocení a zajištění těchto primárních složek.

Reference

- [1] BLACK, F., SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities, *Journal of Political Economy* **81** (May-June 1973), 637–659, 1973.
- [2] DENG, S.J., JOHNSON, B., SOGOMONIAN, A. Exotic electricity options and the valuation of electricity generation and transmission assets. *Decision Support Systems* **30** (3), 383-392, 2001.
- [3] DENG, S. Pricing electricity derivatives under alternative stochastic spot price models, *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences – 2000* **33**, 10p, 2000.
- [4] EYDELAND, A., WOLYNIEC, K. *Energy and power risk management*. John Wiley & Sons, 2003.
- [5] PILIPOVIC, D. *Valuing and Managing Energy Derivatives*. McGraw-Hill, 1997.
- [6] SCHWARTZ, E.S. The stochastic behavior of commodity prices, *Journal of Finance* **52** (3), 923–973, 1997.

Summary

Electricity derivatives

In this paper we focus on specific derivatives contracts, whose underlying right is to deliver electricity. The basic difference is that such asset is not possible to store (and thus traded), which considerably complicates direct replication of the derivative asset. Another problem is how to model the underlying asset price or the structure of prices, since the payoff of many contracts depends also on heat rate of inputs/outputs, transmission constraints and significant spikes in the electricity price. In this paper we provide basic details of the most frequent derivatives contract at energy market and review basic of pricing.