

Inżynieria finansowa na rynku energii

Jerzy Dzieża

Wydział Matematyki Stosowanej
Akademia Górniczo-Hutnicza

22 marca 2016

Smart Grid

- 1 Matematyk na rynku energii
- 2 Spread
 - Dark Spread
 - Spark Spread
- 3 Clean Spread (dark oraz spark)
- 4 Opcja na (Clean) Spread: jednostka generacyjna, blok wytwórczy
 - wycena opcji na spread
 - zarządzanie ryzykiem (osłona)
- 5 Otwarte problemy
- 6 Uwagi końcowe

W finansach wiele znaczeń pojęcia spread:

- bid/ask spread
- strategie opcyjne:
spread byka (*bull spread*), spread niedźwiedzia (*bear spread*),
spread kalendarzowy, etc.
- TED spread
- spread kredytowy
- crack spread

Uwaga (te same oznaczenia, różne określenia):

CDS = Credit Default Swap (*Big Short*)

CDS = Clean Dark Spread

Dla dowolnego t można zdefiniować **spread** (PLN/MWh)

Spread

$$S(t) = S_e(t) - S_{in}(t)$$

S_e - cena 1 jednostki energii elektrycznej (MWh)

S_{in} - cena paliwa wejściowego potrzebna do generacji 1 jednostki en. elektrycznej (to może być: węgiel, gaz, ropa, etc.)

Dark spread DS

$$DS(t) = S_e(t) - H_c \cdot S_c(t)$$

- H_c - współczynnik efektywności (*conversion factor*) bloku węglowego [GJ/MWh]
- S_c - cena węgla [PLN/GJ]

Spark spread SS

$$SS(t) = S_e(t) - H_g \cdot S_g(t)$$

H_g - współczynnik efektywności bloku gazowego [GJ/MWh];
(*conversion factor, heat rate*) [GJ/MWh]

S_g - cena gazu [PLN/GJ]

Quark spread QS

$$QS(t) = S_e(t) - H_u \cdot S_u(t)$$

H_u - współczynnik efektywności [GJ/MWh]

S_u - cena uranu [PLN/GJ]

Green spread GS

$$GS(t) = S_e(t) + S_{REC}(t)$$

S_{REC} - cena certyfikatu [PLN/GJ]

Obserwacje:

- 1 współczynnik konwersji jest ściśle powiązany z jednostką generacyjną stąd *operacyjny* współczynnik konwersji (*operational efficiency factor*)
- 2 różne jednostki miary (np. MMBtu/MWh)
- 3 średni operacyjny współczynnik konwersji (Niemcy):
 $H_c = 2,5$; $H_g = 1,82$
- 4 im niższy współczynnik konwersji tym wyższa sprawność generacji
- 5 współczynnik konwersji dla OZE = 0

Sytuacja:

w dowolnej chwili t znane są ceny $S_e(t)$, $S_c(t)$, $S_g(t)$

zatem współczynnik konwersji może być implikowany przez rynek

Rynkowy (implikowany) współczynnik konwersji

$$H_{cm}(t) = \frac{S_e(t)}{S_c(t)}, \quad H_{gm}(t) = \frac{S_e(t)}{S_g(t)}$$

Gdy dane ceny (krzywa cen) forward dla węgla, gazu, ropy, etc. można zdefiniować forward spread

niech T data zapadalności kontraktu forward/futures na węgiel/gaz/ropę
oraz $t < T$ bieżąca chwila wtedy

forward spread

$$DS^f(t) = F_e(t, T) - H_c \cdot F_c(t, T)$$

$$SS^f(t) = F_e(t, T) - H_g \cdot F_g(t, T)$$

$F_e(t, T)$ cena forward energii elektrycznej w chwili t

$F_c(t, T)$ cena forward na gaz w chwili t

$F_g(t, T)$ cena forward gazu w chwili t

Clean spread

$$CS(t) = S(t) - S_{po}(t)$$

S_{po} - cena zanieczyszczenia środowiska z produkcji 1 MWh en. el.

Clean Dark Sread CDS

$$CDS(t) = S_e(t) - H_c \cdot S_c(t) - I_c \cdot S_{CO_2}(t)$$

I_c - intensywność emisji bloku węglowego [tCO₂/MWh]

S_{CO_2} - cena certyfikatów emisyjnych [EUR/tCO₂].

Clean Spark Spread CSS

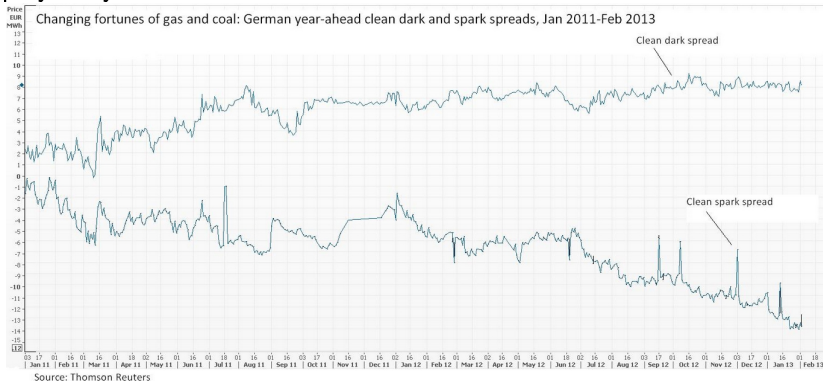
$$CSS(t) = S_e(t) - H_g \cdot S_g(t) - I_g \cdot S_{CO_2}(t)$$

I_g -intensywność emisji bloku gazowego [tCO₂/MWh]

Uwaga

Intercontinental Exchange ICE vs Towarowa Giełda Energii TGE

przykłady



Ceny clean dark spreadu oraz clean spark spreadu na rynku niemieckim w okresie styczeń 2011 – luty 2014

przykłady

Gross margins for coal- and gas-fired power plants

Difference between electricity price and cost of fuel* for coal (clean dark spread) and gas (clean spark spread)
€/megawatt hour

Germany



Sources: Bloomberg; McKinsey

Britain



*Including carbon price

Obserwacje:

- pojęcie CDS/CSS zostało wprowadzone przez traderów w UK w końcu lat 1990
- CSS - instrument w obrocie giełdowym (np. CME)
- CDS = marża brutto bloku węglowego
- CDS powinna pokryć inne koszty działania bloku
- przykładowe wartości CDS w Polsce (prezentacja Bartosz Krysta WROFIN 2015)
 - 2013: 70 PLN/MWh
 - 2015: 28 PLN/MWh
- ciekawostka: kwotowania RWE

Wartość firmy

Published on Investing.com, 21/Mar/2016 - 21:36:14 GMT, Powered by TradingView.

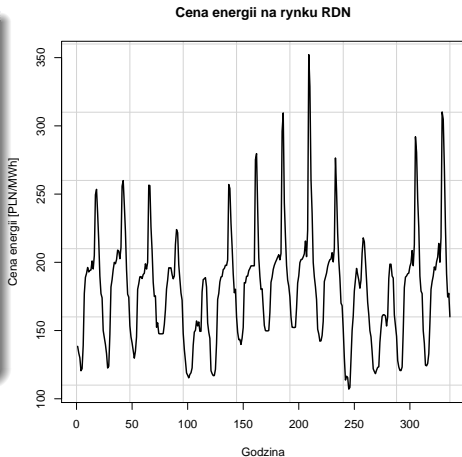
RWE AG ST O.N., Germany, Xetra(CFD):RWEAG, W



- wyjątkowość energii elektrycznej jako towaru
 - nie daje się przechowywać (w ilościach przemysłowych)
 - jest homogeniczna (vs. ropa naftowa)
 - jest produkowana w różny sposób
 - zapotrzebowanie z minuty na minutę
 - wysoka zmienność zapotrzebowania (popytu)
 - energia konsumowana jest na bieżąco
 - podaż i popyt silnie zależne od pogody
- ograniczenia sieci przesyłowej
- silne powiązania regionalne
(przykład Niemcy: generacja na północy, duży popyt na południu)

Własności cen energii:

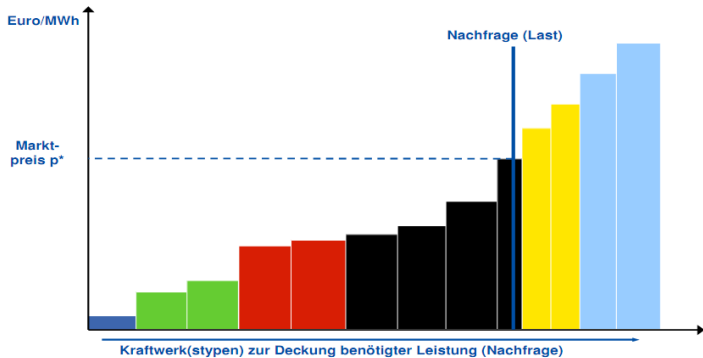
- wysoka zmienność cen (silna fluktuacja cen)
- skoki cen ("piki cenowe" *spikes*)
- sezonowość
- powracanie do średnich
- ujemne ceny (jeszcze nie w Polsce)



Towarowa Giełda Energii SA,
1/07/2014 - 14/07/2014

- generacja tylko gdy pokryte są koszty krańcowe
- koszty krańcowe generacji to głównie ceny paliwa i certyfikatów
- porządek generacji ze względu na koszty krańcowe
 - wiatr
 - woda
 - elektrownie jądrowe
 - elektrownie węglowe
 - gaz
 - ropa
- ostatni użyty blok wyznacza cenę energii

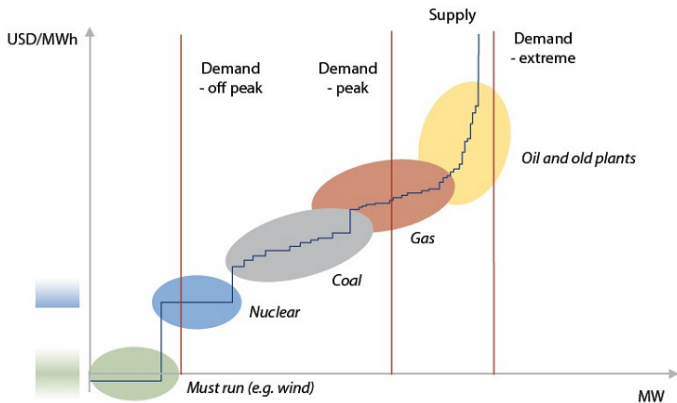
Krzywa podaży merit order



VORWEG GEHEN

RWE AG | Dr. Rolf Pohlig | Symposium | 13. Januar 2011

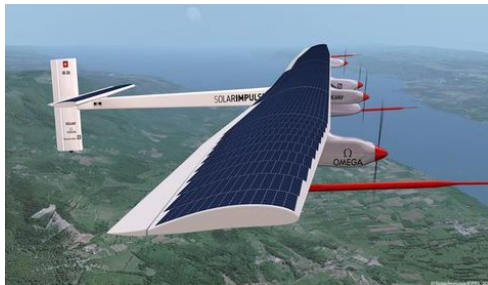
Krzywa podaży *merit order*



- farmy wiatrowe
- ogniwa fotowoltaiczne
- biomasa

stąd tzw. *Missing money problem*

Solar Impulse 2



Projekty inwestycyjne w energetyce

- wiele czynników ryzyka
- niepewność od strony regulatora
- długi czas pracy generatorów
- skomplikowane funkcje wypłaty

Problemy

- jak podjąć dobrą decyzję?
- jakie mamy narzędzia do dyspozycji?

Kryteria oceny projektów inwestycyjnych

- (zdyskontowany) okres zwrotu nakładów inwestycyjnych
- wartość bieżąca netto projektu (*Net Present Value NPV*)
inwestuj jeśli

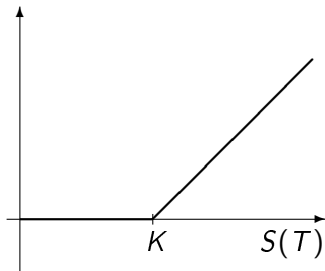
$$-I + \sum_{i=1}^T \frac{CF(t)}{(1+k)^i} \geq 0$$

- uśredniony koszt energii elektrycznej
(*Levelized Cost of Energy LCOE*)
jaka powinna być cena energii aby NPV projektu = 0?
- opcje realne

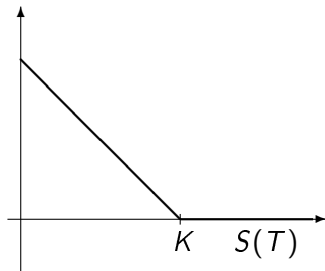
Idea opcji

- operator ma **możliwość zaprzestania generacji** gdy mu się nie opłaca
- taka możliwość ma cenę
- opcja realna idea z rynków finansowych

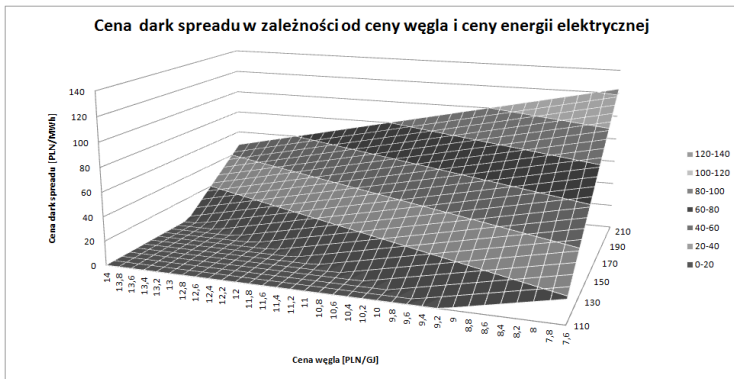
długa opcja kupna



długa opcja sprzedaży



Opcja na spread



Wycena europejskiej opcji

Klasyczny model wyceny europejskiej opcji kupna/sprzedaży:
w chwili t :

- ▶ dynamika ryzykownego instrumentu bazowego $S(t)$

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dW(t)$$

$W(t)$ - proces Wiener

μ - dryf

σ - zmienność instrumentu bazowego

- ▶ dynamika instrumentu wolnego od ryzyka $\beta(t)$

$$d\beta(t) = r d\beta(t)$$

- ▶ gdy $r \neq 0$, $S(t)/\beta(t)$ jest martyngałem
- ▶ przy zmianie miary dynamika instrumentu bazowego/wolnego od ryzyka

$$dS(t) = rS(t)dt + \sigma S(t)dW(t)$$

$$d\beta(t) = r d\beta(t)$$

Wycena europejskiej opcji

jeśli roszczenie warunkowe ma wypłatę typu:

$$\max(S(T) - K, 0) \quad \max(K - S(T), 0)$$

to cena w modelu Blacka-Scholesa

$$C_{BS}(t) = S(t)N(d_1) - e^{-r(T-t)}KN(d_2)$$

$$P_{BS}(t) = e^{-r(T-t)}KN(-d_2) - S(t)N(-d_1)$$

gdzie

$$d_{BS,1} = \frac{\ln(S(t)/K) + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)(T - t)}{\sqrt{\sigma^2(T - t)}}$$

$$d_{BS,2} = d_1 - \sigma\sqrt{T - t}$$

dystrybuanta standardowego rozkładu normalnego

$$N(x) = \int_{-\infty}^x e^{-u^2/2} du$$

Niech K cena realizacji opcji, T czas zapadalności opcji
wypłata długiej pozycji z opcji na CDS

$$\max(CDS(T) - K, 0)$$

$K = K_s$ - jednostkowe koszty generacji

Rozważmy kilka różnych przypadków

- 1 opcja na spread z ceną realizacji $K = 0$
- 2 opcja na spread z ceną realizacji $K \neq 0$
- 3 opcja na clean spread z ceną realizacji $K = 0$
- 4 opcja na clean na spread z ceną realizacji $K \neq 0$

przy czym skupimy się tylko na opcji na (clean) dark spread

Przypadek 1: $K = 0$, $t \leq T$

- ▶ mamy 2 źródła niepewności: $S_e(t)$ and $S_c(t)$
- ▶ operator bloku (elektrowni) może
 - kupić węgiel za S_c , wyprodukować energię elektryczną i sprzedać ją po cenie S_e , gdy $DS(T) > 0$
 - nic nie robić, gdy $DS(T) \leq 0$
- ▶ zatem można zapisać funkcję wypłaty

$$\max(S_e(T) - H_c \cdot S_c(T), 0)$$

- ▶ bądź

$$\max(S_e(T) - H_c \cdot S_c(T), 0) = \max((H_{cm}(T) - H_c) \cdot S_c(T), 0)$$

ponieważ $H_{cm}(T) = S_e(T)/S_c(T)$

- ▶ blok węglowy **może być** rozważany jak portfel opcji na dark spread

operator ma długą pozycję w opcji kupna na spread

Opcja na dark spread jest

- **w cenie** ITM, gdy $H_{cm}(t) > H_c$;
operator elektrowni może wykonać opcję
(kupić węgiel, wyprodukować energię elektryczną i sprzedać ją
na rynku)
- **po cenie** ATM, gdy $H_{cm}(t) = H_c$
- **poza ceną** OTM, gdy $H_{cm}(t) < H_c$;
operator może zamknąć elektrownię

Przypadek 1: (model Margrabe'78; opcja zamiany)

$$K_s = 0$$

$$C_M(t) = e^{-r(T-t)}(S_e(t)N(d_1) - S_c(t)N(d_2))$$

$$P_M(t) = e^{-r(T-t)}(S_c(t)N(-d_2) - S_e(t)N(-d_1))$$

gdzie

$$d_{M,1} = \frac{\ln(S_e(t)/S_c(t)) + \sigma^2(T-t)/2}{\sqrt{\sigma^2(T-t)}}$$

$$d_{M,2} = d_1 - \sqrt{\sigma^2(T-t)}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_c^2 - 2\rho\sigma_e\sigma_c}$$

oraz

σ_e zmienność ceny energii, σ_c zmienność ceny węgla, ρ współczynniki korelacji pomiędzy stopami zwrotu cen energii elektrycznej i węgla

Przypadek 2: (aproksymacja Kirka'95)

$K_s \neq 0$

$$C_K(t) = e^{-r(T-t)}(S_e(t)N(d_{K,1}) - (S_c(t) + K_s)N(d_{K,2}))$$

$$P_K(t) = e^{-r(T-t)}((S_c(t) + K_s)N(-d_2) - S_e(t)N(-d_1))$$

gdzie

$$d_{K,1} = \frac{\ln(S_e(t)/(S_c(t) + K_s) + \sigma_K^2(T-t)/2}{\sigma_K \sqrt{T-t}}$$

$$d_{K,2} = d_{K,1} - \sigma_K \sqrt{T-t}$$

$$\sigma_K = \sqrt{\sigma_e^2 + \left(\frac{S_c(t)}{S_c(t) + K_s}\right)^2 \sigma_c^2 - 2\rho\sigma_e\sigma_c \frac{S_c(t)}{S_c(t) + K_s}}$$

Przypadek 4: $K_s \neq 0$

K_s - stałe koszty produkcji 1 MWh

mamy 3 źródła niepewności: $S_e(t)$, $S_c(t)$, S_{CO_2}

blok węglowy może być postrzegany jako portfel długiej pozycji w opcji na dark clean dark spread

operator może

- wyprodukować energię elektryczną, gdy $CDS(T) > K_s$
- zaprzestać generacji, gdy $CDS(T) \leq K_s$

wypłata w chwili T

$$C(T) = \max(CDS(T) - K_s, 0)$$

Block pracujący w paśmie:

moc = 200 MW, $H_c = 12$ [GJ/MWh]

pozycja operatora: krótka w forward dark spread:

- cena sprzedaży energii elektrycznej $F_e(0, T) = 165$ PLN/MWh
- cena kupna węgla $F_c(0, T) = 9$ PLN/GJ

dark spread

$$DS^f(0, T) = 165 - 12 \cdot 9 = 57 \text{ PLN/MWh}$$

źródło niepewności: cena certyfikatów S_{CO_2} ; dynamika typu BS

$S_{CO_2}(0) = 8$ EUR/tCO₂, 1 EUR = 4 PLN (idealna osłona)

$I_c = 0,8514$ [tCO₂/MWh]

$K_s = 5$ PLN/MWh jednostkowe koszty stałe

Niech

$$A = DS^f(0, T) - K_s$$

zatem operator ma długą pozycję w opcji sprzedaży

$$\max(DS^f - K_s - I_c \cdot S_{CO_2}(T), 0) = \max(A - I_c \cdot S_{CO_2}(T), 0)$$

i cena

$$P(t) = e^{-r(T-t)}(-I_c \cdot S_{CO_2}(t) \cdot N(-d_1) + A \cdot N(-d_2))$$

w tym przypadku

$$P(0) = 24,54 \text{ PLN/MWh}$$

i wartość bloku 3,533 mln PLN

- ▶ Jak modelować dynamikę cen energii (efekt powracania do średnich oraz pików)
- ▶ Proces Ornsteina-Uhlenbecka? proces dyfuzji ze skokami?
- ▶ Proces Levy ?
- ▶ Jak kalibrować model?
- ▶ Wycena opcji
- ▶ Rynek niezpełny

- Brak wzoru analitycznego w modelu BS na cenę opcji na DS oraz CDS
- Metody numeryczne: Monte Carlo (Least Square MC), drzewa dwumianowe, metoda różnic skończonych
- Wycena w innym modelu niż BS
- Charakter generacji energii elektrycznej
 - wiele czynnik ryzyka
 - niepewność (regulacje)
 - ograniczenia technologiczne
- OZE
- Magazyny energii
 - oczekiwane zmiany modeli
 - technologia wciąż droga
- Opcje typu quanto

Dziękuję za uwagę