

Wycena projektów inwestycyjnych w energetyce w szczególności magazynów energii elektrycznej

Jerzy Dzieża

Wydział Matematyki Stosowanej
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

25 maja 2017

Warsztaty PIME



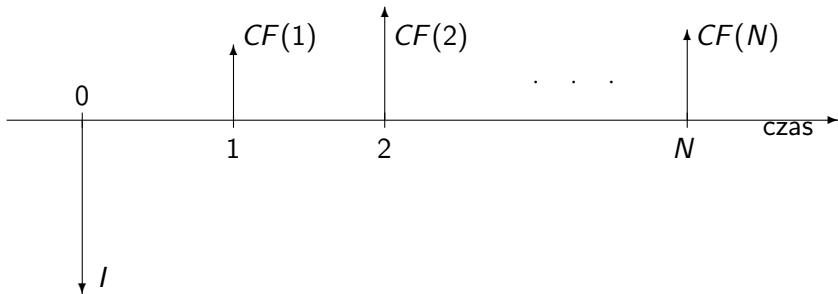
- 1 Kryteria podejmowania decyzji inwestycyjnych
 - Wartość bieżąca netto NPV
 - Wewnętrzna stopa zwrotu IRR
 - Levelized Cost of Electricity LCOE
 - Levelized Cost of Storage LCOS
- 2 Energia jako towar
- 3 Zasobnik i spread czasowy
- 4 Inne opcje realne w zasobniku
- 5 Uwagi końcowe

Podjęmowanie decyzji inwestycyjnych

Projekt inwestycyjny:

Wydatki: $I = CF(0)$ (często deterministyczne)

Wpływy: $CF(1), CF(2), \dots, CF(N)$ (losowe).



Dopuszczamy też $CF(i) < 0$ dla $i = 1, 2, \dots, N$

Kryteria oceny projektów inwestycyjnych

1. Wartość bieżąca netto projektu (*Net Present Value NPV*)
inwestuj jeśli

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

Główne problemy:

- estymacja przepływów pieniężnych $CF(t)$ projektu
- miara probabilistyczna
- koszt kapitału k projektu (najczęściej WACC projektu)

$$k = \frac{D}{D+E} k_D (1 - \tau_C) + \frac{E}{D+E} k_E$$

optymalna struktura kapitałowa? jakie k_E ?

Kryteria oceny projektów inwestycyjnych

2. Wewnętrzna stopa zwrotu (*Internal Rate of Return IRR*)

$$0 = -I + \sum_{i=1}^T \frac{\mathbb{E}(CF(t))}{(1 + IRR)^i}$$

rozwiązujemy równanie ze względu na koszt kapitału

Kryterium:

inwestuj jeśli $IRR \geq k$

Kryteria oceny projektów inwestycyjnych

3. Uśredniony koszt energii elektrycznej (*Levelized Cost of Electricity LCOE*)

jaka powinna być średnia cena energii el. S_{av} aby $NPV = 0$?

$$0 = -I + \sum_{i=1}^T \frac{N(S_{av} - H_c \cdot S_c - I_c \cdot S_{CO_2}) - \kappa}{(1 + k)^i}$$

N - liczba godzin pracy generatora w roku

κ - koszty stałe generacji

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

S_c - cena węgla [PLN/GJ]

I_c - intensywność emisji bloku węglowego [tCO₂/MWh]

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

Kryteria oceny projektów inwestycyjnych

Rozwiązanie dla bloku węglowego

$$S_{av} = H_c \cdot S_c + I_c \cdot S_{CO_2} + \frac{\kappa}{N} + \frac{I}{N} \frac{1 - \beta}{\beta \cdot (1 - \beta^T)}$$

dla OZE

$$S_{av} = -S_{REC} + \frac{\kappa}{N} + \frac{I}{N} \frac{1 - \beta}{\beta \cdot (1 - \beta^T)}$$

gdzie $\beta = 1/(1 + k)$

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

Przykład

	blok węglowy	farma wiatrowa
I	1,5 mln USD/MW	1,5 mln USD/MW
O&M (roczne)	60 tys. USD/MW	20 tys. USD/MW
T (lata)	40	40
N (h/rok)	3000	1700
H_c	0,4	
S_c	90	
I_c	1	
S_{CO_2}	15	
κ	40	40
k	10%	10%
LCOE	113 USD/MWh	100 USD/MWh

Kryteria oceny projektów inwestycyjnych

4. Uśredniony koszt składowania energii elektrycznej
(*Levelized Cost of Storage LCOS*)

$$0 = -I_{ESS} + \sum_{i=1}^T \frac{vol \cdot (S_s - \eta \cdot S_b) - \kappa}{(1+k)^i}$$

stąd

$$LCOS = \eta \cdot S_b + \frac{\kappa}{vol} + \frac{I}{vol} \frac{1 - \beta}{\beta \cdot (1 - \beta^T)}$$

gdzie:

 I_{ESS} - nakłady inwestycyjne w zasobnik vol - roczny wolumen sprzedanej energii z zasobnika S_b - cena kupna energii elektrycznej η - współczynnik sprawności κ - koszty stałe zasobnika T - czas eksploatacji zasobnika, $\beta = 1/(1+k)$

Przykład

parametry zasobnika litowo-jonowego:

- pojemność: 1 MWh
- współczynnik efektywności η : 90%
- nakłady inwestycyjne: 500 USD/kW
- stałe koszty O&M: 1000 USD/rok
- zmienne koszty O&M: 2 USD/kW
- czas życia zasobnika: 15 lat

1 USD = 3 PLN

1. przychody ze sprzedaży	25,9
2. stałe koszt O&M	3,0
3. zmienne koszty O&M	6,0
4. amortyzacja	100,0
5. EBT (1-2-3-4)	-83,1
6. podatki	0,0
7. EAT (5-6)	-83,1
8. operacyjny przepływ pieniężny (7+4)	16,9

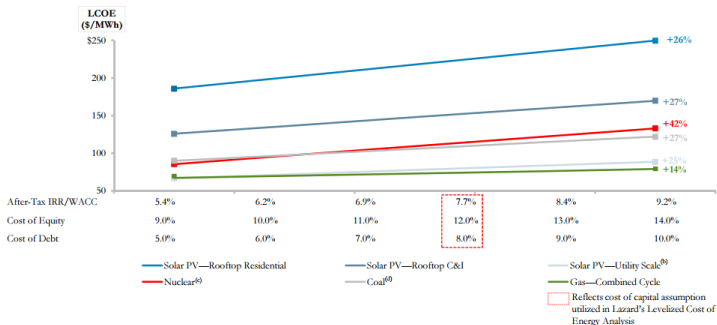
Tabela: przepływ pieniężny z zasobnika w danym roku w tys. PLN

NPV projektu

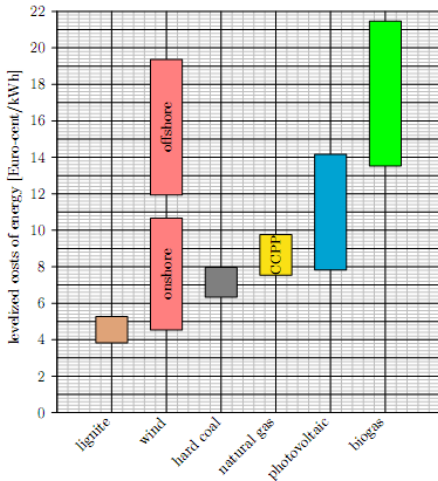
$$NPV(0) = -1500 + \sum_{i=1}^{15} \frac{16,9}{(1 + 0,10)^i} = -1371,2 \text{ tys. PLN}$$

Uwagi krytyczne

- metoda typu "teraz albo nigdy"
- nakłady inwestycyjne są nieodwracalne
- nie uwzględnia elastyczności projektu
- parametry równania na LCOE/LCOS są losowe
- nie rozróżnia kosztów krańcowych, stałych i inwestycyjnych
- nie bierze pod uwagę ryzyka projektu
- ignoruje niefinansowe czynniki wpływające na generację
- operacyjne i technologiczne założenia kluczowe przy wyznaczaniu LCOE/LCOS



źródło: Lazard, *Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - Ver 9.0*

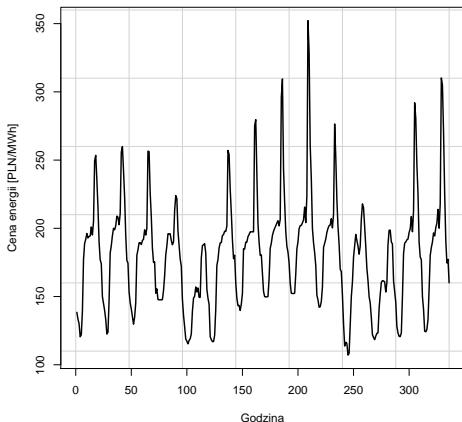


LCOE dla różnych generacji na rynku niemieckim w 2013 roku

źródło: M. Bischoff, J. Jahn, *Economic objectives, uncertainties and decision making in the energy sector*, J. Bus. Econ.: 85-102. 2016

- 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

Cena energii na rynku RDN

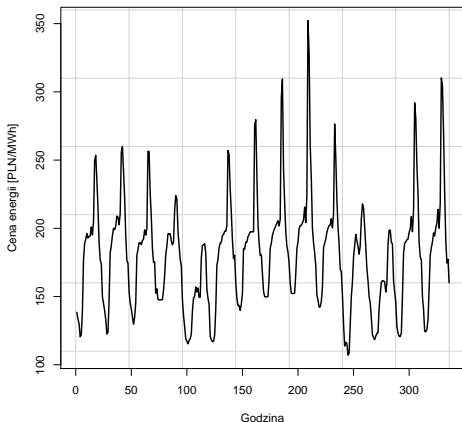


Towarowa Giełda Energii SA,
1/07/2014 - 14/07/2014

Własności cen energii:

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

Cena energii na rynku RDN



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

Własności cen energii:

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

Projekty inwestycyjne w energetyce

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

LCOS

$$0 = -I_{ESS} + \sum_{i=1}^T \frac{Vol \cdot (S_s - \eta \cdot S_b) - \kappa}{(1+k)^i}$$

Time (storage) Spread

$$TS(t) = S_s(t) - \eta \cdot S_b(t)$$

- TS = marża brutto zasobnika (analogon Clean Dark Spreadu/Clean Spark Spreadu)
- TS powinien pokryć inne koszty działania zasobnika
- operator zasobnika w chwili T może
 - sprzedać energię elektryczną, gdy $TS(T) > K_s$
 - nic nie robić, gdy $TS(T) \leq K_s$

czyli wypłata długiej pozycji z opcji na TS

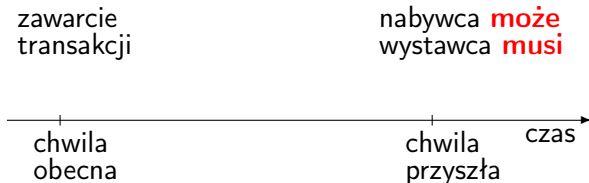
$$\max(TS(T) - K_s, 0)$$

$K = K_s$ - jednostkowe koszty stałe generacji

Dygresja: Opcje – podstawowe pojęcia

Europejska opcja (kontrakt opcyjny) – umowa między stronami, w której

- ▷ nabywca opcji ma prawo kupna (opcja kupna)/sprzedaży (opcja sprzedaży)
 - określony instrument bazowy
 - w określonym czasie w przyszłości
 - za określoną cenę
- ▷ wystawca opcji ma obowiązek zrealizować prawa nabywcy opcji



Terminologia:

- opcja kupna – opcja call
- opcja sprzedaży – opcja put

Przykład: opcja kupna

Bieżący kurs USD/PLN = 4,0. Opcja kupna USD/PLN: zapada za 1 miesiąc, cena realizacji 4,10; nominał opcji 10 mln USD.

Firma zajmuje długą pozycję w opcji kupna USD/PLN.

Bank zajmuje krótką pozycję w opcji kupna USD/PLN.

Za 1 miesiąc od dzisiaj:

- firma ma prawo kupić 10 mln USD od banku za 41 mln PLN
- bank musi sprzedać 10 mln USD firmie za 41 mln PLN, jeśli firma go do tego wezwie

Podział opcji ze względu na funkcję wypłaty:

- opcje waniliowe (*plain vanilla options*)
- opcje egzotyczne (*exotic options*)

Opcje – funkcja wypłaty

Niech $S(T)$ – cena instrumentu bazowego w chwili wygaśnięcia opcji europejskiej T .

Nabywca europejskiej opcji kupna w chwili T :

- jeśli $S(T) > K$, realizuje opcję i ma $S(T) - K$
- jeśli $S(T) \leq K$, nic nie robi i opcja wygasa bez wartości.

Przepływy pieniężne w chwili T – **wypłata** (*payoff*) – dla nabywcy opcji kupna

$$H_c(S(T)) = \begin{cases} S(T) - K, & \text{gdym } S(T) > K \\ 0, & \text{gdym } S(T) \leq K \end{cases}$$

czyli

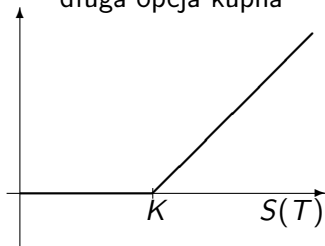
$$H_c(S(T)) = \max(S(T) - K, 0)$$

Wypłata długiej pozycji opcji sprzedaży

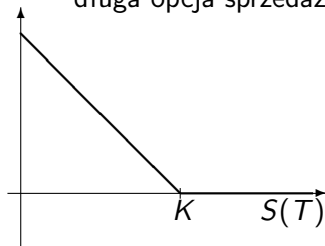
$$H_p(S(T)) = \max(K - S(T), 0)$$

Opcje – funkcja wypłaty

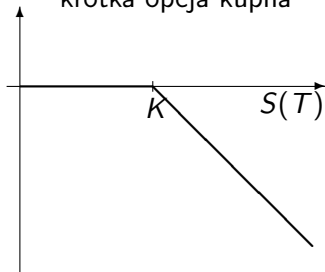
długa opcja kupna



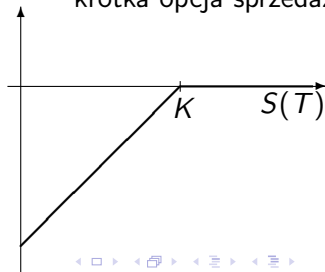
długa opcja sprzedaży



krótka opcja kupna



krótka opcja sprzedaży



Elastyczność operatora zasobnika

- przepływy pieniężne z zasobnika jak z opcji
- operator/deweloper/inwestor ma długą pozycję w opcji na spread czasowy

$$\max(TS(T) - K_s, 0)$$

- wycena spreadu czasowego: model Margrabe (opcja zamiany)
- strategia generująca dodatkowe przychody dla operatora zasobnika:
wystawianie opcji kupna na spread czasowy
- operator może zmieniać wielkość dostarczonego wolumenu =
opcja swing
- operator może świadczyć usługi systemowe

Opcje realne operatora zasobnika

- opcja odroczenia projektu w czasie
- opcja porzucenia projektu
- opcja rozszerzenia/zmniejszenia skali projektu
- opcja złożona

- klasyczne metody podejmowania decyzji inwestycyjnych nie uwzględniają wielu czynników
- losowa dynamika cen S_e

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

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

- uwzględnić opcje realne, ale wycena takich opcji
 - rynek niezupełny
 - opis dynamiki cen energii elektrycznej

Dziękuję za uwagę