



Stowarzyszenie Ekologiczno-Turystyczne „Lubiatowska Wydma”



Nasze środowisko WYDMA LUBIATOWSKA – NATURA 2000 jest kapitałem WSZYSTKICH POLAKÓW I EUROPEJCZYKÓW.

Oszacowania kosztów energii elektrycznej z „pierwszej” polskiej elektrowni jądrowej przez prof. Strupczewskiego i „Lubiatowską Wydmę”

1. Ukryta „magia” wskaźnika LCOE

W swojej publikacji pt. „**Analiza i ocena kosztów energii elektrycznej z różnych źródeł energii w Polsce**” prof. A. Strupczewski¹ podał ocenę kosztów inwestycyjnych związanych z budową, w Polsce, „pierwszej” elektrowni jądrowej. Niestety, z określonych względów, autor posłużył się, prezentując wyniki swojego „modelowania ekonomicznego”, definicją LCOE, która, naszym zdaniem, wielce utrudnia właściwą ocenę generowanych kosztów. Formalnie rzecz biorąc funkcja rzeczywista określająca *całkowite nakłady inwestycyjne* ma nośnik, który jest zazwyczaj mniejszy od okresu żywotności inwestycji.

W swoim opracowaniu prof. Strupczewski (patrz: Tabela 1.1) zdefiniował okres „życia” elektrowni jądrowej na 60 lat, natomiast nośnik funkcji określającej *całkowite nakłady inwestycyjne* na 18 lat (patrz: str. 1-17 wspomnianego wyżej opracowania). Zatem, zgodnie z twierdzeniem o wartości średniej funkcji, uśrednianie powinno być przeprowadzone dla nośnika równego 18 lat, gdyż później funkcja zwana *całkowite nakłady inwestycyjne* nie jest zdefiniowana. Opisowo rzecz ujmując, sposób finansowania należy dopasować do propozycji kredytodawcy, a nie wymagań inwestora.

Dlatego, w niniejszym opracowaniu, przedstawiamy prostą technikę formalną, pozwalającą na dokonanie porównań symulacji otrzymanych różnymi metodami.

Na podstawie tego twierdzenia o wartości średniej funkcji otrzymujemy następujący wzór,

$$x = (K_{LCOE} - K_{f+O\&M})T_L/T_C, \quad (1)$$

gdzie:

T_L – czas „życia” elektrowni jądrowej [lata],

K_{LCOE} – koszty LCOE [PLN/MWh],

T_C – czas kredytowania inwestycji [lata]

$K_{f+O\&M}$ – koszty paliwa i O&M [PLN/MWh]

x – średni koszt produkcji energii elektrycznej (bez $K_{f+O\&M}$) w okresie kredytowania inwestycji T_C , konieczny do zbilansowania poniesionych nakładów [PLN/MWh],

$0 < K_{f+O\&M} \leq K_{LCOE}$, $T_L \geq T_C$.

Uwaga 1: procedura przedłużania nośnika funkcji *całkowitych nakładów inwestycyjnych* jest kwestią założenia (kwestia umowy), a więc formalnie nie jest jednoznaczna. Naszym zdaniem, do kosztów $K_{f+O\&M}$ należy doliczyć koszty zanieczyszczenia środowiska.

Przy wyprowadzeniu wzoru (1) złożono przedłużenie nośnika funkcji *całkowite nakłady inwestycyjne* na okres $(T_L - T_C)$, używając jedynie kosztów paliwa i O&M.

Interesuje nas tutaj przypadek 2*EPR, który Anglicy nazywają Hinkley Point C (**HPC**). Tabela 1

przedstawia wyniki obliczeń przedstawianych przez prof. Strupczewskiego.

Tab.1

Tabela 2.2 Bezpośrednie i całkowite nakłady inwestycyjne dla elektrowni jądrowych

Kraj	Technologia	Moc netto MWe	Nakłady bezpośrednie (Overnight) ² USD/kWe	Nakłady inwestycyjne całkowite		
				3%	7%	10%
				USD/kWe		
Belgia	Generacja III	1 000-1 600	5 081	5 645	6 498	7 222
Finlandia	ALWR-WWER	1 200	6 667	7 425	8 576	9 559
	ALWR-EPR	1 600	5 250	5 832	6 714	7 463
Francja	ALWR-EPR	1 630	5 067	5 629	6 479	7 202
Węgry	ALWR-WWER	1 180	6 215	6 756	7 535	8 164
Japonia	Advanced LWR	1 152	3 883	4 313	4 965	5 519
Korea	ALWR- APR1400	1 343	2 021	2 177	2 400	2 580
Słowacja	LWR-WWER	535	4 986	5 573	6 472	7 243
UK	ALWR-EPR	2 x 1650	6 070	6 608	7 399	8 053
USA	ALWR-AP1000	1 400	4 100	4 555	5 243	5 828

Uwaga 2: nakłady bezpośrednie w Finlandii na 1*EPR wynoszą, zgodnie z propozycją Strupczewskiego, około 4.77 [mld euro/1000MW] i są zgodne z tym co postulował już w 2010r.. Ponieważ jedynym EPR'em budowanym obecnie w Finlandii jest trzeci reaktor w Olkiluoto, który jest nadal w fazie budowy, a koszty budowy są już „astronomiczne”, to wartość podana w tabeli 2.2 nie ma nic wspólnego z rzeczywistymi nakładami. Obecnie analitycy przyjmują dla 1*EPR nakłady bezpośrednie równe lub większe od 5.5 [mld euro/1000MW]. Dane (Tabela 2.2) zostały zaczerpnięte z publikacji: Projected Costs of Generating Electricity: 2015 Edition.

Stosując przelicznik 1 USD = 3.85 PLN i zakładając moc elektrowni jądrowej 3200 MW otrzymujemy dla krajów takich jak: Finlandia i UK następujące całkowite nakłady inwestycyjne w mld PLN (dane Strupczewskiego).

Tab. 2

Kraj	Technologia	Moc	3,00%	7,00%	10,00%
Finlandia	ALWR-EPR	2*1600	71.85 [mld PLN]	82.72 [mld PLN]	91.94 [mld PLN]
UK	ALWR-EPR	2*1600	81.411 [mld PLN]	91.156 [mld PLN]	99.213 [mld PLN]

Uśrednione koszty energii elektrycznej z elektrowni jądrowej w Finlandii i UK prezentowane są przez Strupczewskiego w następującej tabeli:

Tab. 3

Tabela 2.14: Uśrednione w ciągu życia koszty energii elektrycznej z elektrowni jądrowych

Kraj	Technologia	Moc netto MWe	Koszty inwestycyjne ¹³³			Koszty remontów i likwidacji			Koszt paliwa USD/MWh	Koszty CO2 USD/MWh	Koszty O&M USD/MWh	LCOE		
			3%	7%	10%	3%	7%	10%				3%	7%	10%
			USD/MWh			USD/MWh						USD/MWh		
Finlandia	ALWR	1 600	27.89	62.09	95.87	0.44	0.06	0.01	5.09	0.00	14.59	48.01	81.83	115.57
	ALWR	1 200	35.50	79.31	122.81	0.41	0.05	0.01	5.09	0.00	16.23	57.23	100.69	144.14
Francja	ALWR*	1 630	26.91	59.92	92.53	0.40	0.06	0.01	9.33	0.00	13.33	49.98	82.64	115.21
UK	ALWR	2 x 1650	31.59	68.42	103.46	0.54	0.09	0.02	11.31	0.00	20.93	64.38	100.75	135.72
USA	ALWR	1 400	30.75	54.86	79.16	1.26	0.52	0.26	11.33	0.00	11.00	54.34	77.71	101.76

Uwaga 3: koszty O&M – koszty eksploatacji i utrzymania (patrz: Strupczewski, str. 1-18). Dane (Tabela 2.14) zostały zaczerpnięte z publikacji: Projected Costs of Generating Electricity: 2015 Edition. Tabela 2.14 jest niespójna, ponieważ koszty remontów należą do pozycji O&M. Koszty O&M rozkładają się na koszty stałe i ruchome. Koszt likwidacji bloków 1600 MW nie jest znany, gdyż są to bloki w „wiecznej” budowie i nigdy nie zostały

jeszcze uruchomione. W zamian za koszty CO₂ powinny być uwzględnione koszty cieplnego zanieczyszczenia środowiska i koszty związane ze składowaniem odpadów radioaktywnych. Jeżeli, oczywiście, autor myśli poważnie o spójności prezentowanego modelu ekonomicznego.

Stosując przelicznik 1 USD = 3.85 PLN otrzymujemy:

Tab. 4

Kraj	Technologia	Moc	3,00%	7,00%	10,00%
Całkowite nakłady inwestycyjne			71.85 [mld PLN]	82.72 [mld PLN]	91.94 [mld PLN]
Prof. Strupczewski (model deterministyczny)			K _{LCOE}	K _{LCOE}	K _{LCOE}
Finlandia/Polska	ALWR-EPR	2*1600	184,84 [PLN/MWh]	315.05 [PLN/MWh]	444.95 [PLN/MWh]
Prof. Strupczewski (model deterministyczny)			K _{LCOE}	K _{LCOE}	K _{LCOE}
UK	ALWR-EPR	2*1600	247.86* [PLN/MWh]	387.89* [PLN/MWh]	522.52* [PLN/MWh]

Można założyć, że pozycja oznaczona w Tabeli 4 '*' odpowiada inwestycji *HPC*. Przyjmując przelicznik 1 [GBP] = 5.95 [PLN] otrzymamy: K_{LCOE} = 522.52 [PLN/MWh] = 87.81 [GBP/MWh]. Należy przy tym pamiętać, że to są koszty uśrednione w okresie T = 60 lat, przy okresie kredytowania T_c = 18 lat.. Natomiast cena ustalona (SP - strike price) przez rząd UK i EDF, dla inwestycji *HPC*, wynosi SP = 92.5 [GBP/MWh], ale tylko na okres 35 lat. Zgodnie z danymi Strupczewskiego całkowity koszt inwestycji *HPC* wynosi 125.54 [mld GBP] dla oprocentowania 10%, 93.2 [mld GBP] (7%) i 59.55 [mld GBP] (3%).

2. Ukryta „magia” kontraktów różnicowych (CfD)

2.1 przypadek bilansowania finansowego w okresie „życia” elektrowni jądrowej

W pracy Strupczewskiego oceniono K_{LCOE} dla inwestycji *HPC*. Całkowity koszt tej inwestycji można wyznaczyć następująco,

$$CK_{HPC} = K_{LCOE} T_L * (365*24*0.85)*3200, \quad (2)$$

gdzie:

CK_{HPC} - całkowity koszt *HPC* [GBP/MWh],

K_{LCOE} - 87.81 [GBP/MWh] (10%),

T_L - 60 lat

Z wzoru (2) wynika, że CK_{HPC} = 125.54 [mld GBP]. Jaki zysk ze sprzedaży energii elektrycznej przyniesie *HPC* w okresie T_L określa wzór,

$$Z_{HPC} = [SP T_{KR} + (T_L - T_{KR}) * Z_{EDF}] * (365*24*0.85)*3200, \quad (3)$$

gdzie:

SP - cena jednego MWh energii elektrycznej ustalona na podstawie CfD, SP = 92.5 [GBP/MWh],

T_{KR} - czas trwania kontraktu różnicowego, T_{KR} = 35 lat,

Z_{EDF} - zysk konieczny inwestora w [GBP/MWh].

Łącząc wzory (1) i (2) otrzymujemy następującą nierówność, z której można wyznaczyć żadaną wartość zmiennej Z_{EDF},

$$CK_{HPC} \leq Z_{HPC}, \quad (4)$$

Z nierówności (4) wynika, że dla obliczeń proponowanych przez Strupczewskiego $Z_{EDF} \geq 81.24$ [GBP/MWh] w okresie bilansowania równym T_L . Definiując współczynnik $\alpha = Z_{EDF}/K_{LOCE}$ otrzymamy dla danych Strupczewskiego: $\alpha = 0.93$. Wniosek jest następujący: energia elektryczna z elektrowni jądrowej **HPC**, w świetle modelu postulowanego przez Strupczewskiego **nie jest tania**, pomijając fakt, czy rynek energetyczny UK zaakceptowałby cenę energii elektrycznej 81.24 [GBP/MWh] na okres dalszych 25 lat.

Jednak, jak wyżej wspomniano, okres bilansowania zobowiązań finansowych jest równy T_C , gdzie $T_L \geq T_C$. W proponowanym przez Strupczewskiego modelu przyjęto $T_C = 18$ lat, a to całkowicie zmienia sytuację finansowania inwestycji.

2.2 kontrakt różnicowy z przesunięciem finansowaniem dłużnym

Dla porównania, przedstawimy teraz wyniki losowego modelu finansowania **HPC** opracowanego przez Stowarzyszenie „Lubiatowska Wydma”.

Tab. 5

Całkowite nakłady inwestycyjne			108 [mld PLN]	
Lubiatowska Wydma (model losowy) ²			Spłata całkowitych kosztów inwestycji po 20 latach losowe oprocentowanie	
UK	ALWR-EPR	2*1600	$x = 767.67$ [PLN/MWh]	$x = 129.02$ [GBP/MWh]
			K_{LOCE}	
(wzór 1)			375.89* [PLN/MWh]	63.17 [GBP/MWh]

Uwaga 4: warto porównać wartości z tabeli 4 i 5 oznaczone przez '*'. $CK_{HPC} = 90.31$ [GBP/MWh]. Ponieważ nie jest znana wartość T_C rozpatrywana przez EDF, do obliczeń przyjęto $T_C = 20$ i $K_{f+O\&M} = 120$ [PLN/MWh] = 20.17 [GBP/MWh].

Z Tabeli 5 wynika, że przez okres $[0, T_C]$ wartość energii elektrycznej wynosi $129.02 + K_{f+O\&M}$ [GBP/MWh]. To bilansuje finansowanie inwestycji **HPC**. Jednakże wyborcy UK nie są gotowi na zapłacenie tej wielkości, przy obecnej cenie energii elektrycznej około 50 [GBP/MWh] na rynku towarowym energii. Co zatem musi zrobić EDF jeżeli chce sfinansować budowę **HPC**, proponując wyborcy UK w miarę akceptowalną cenę? EDF wprowadza pojęcie kontraktu różnicowego, aby obniżyć $129.02 + K_{f+O\&M}$ [GBP/MWh] do jakiejś - w miarę akceptowalnej - wartości. Możliwości jest bardzo wiele, ale my tutaj pokażemy jedną z prostszych metod. Metoda ta polega na przesunięciu części zobowiązań finansowych na okres $[T_C, T_{KR}]$. W tym czasie koszty produkcji energii elektrycznej przez elektrownię jądrową są oczywiście określone, a więc można sobie pozwolić na ich powiększenie poprzez obciążenia finansowe z okresu $[0, T_C]$. Wymaga to np. dalszego kredytowania, ale już na znacznie mniejszą wartość. Tego typu model kontraktu różnicowego można zapisać formalnie w postaci następującej nierówności,

$$(x + K_{f+O\&M} - SP)T_C(1+\gamma) \leq (SP - K_{f+O\&M})(T_{KR} - T_C), \quad (5)$$

gdzie:

γ – współczynnik kosztu kontraktu różnicowego [bezwymiarowy], $\gamma \geq 0$. Aby zapewnić ekonomiczną sensowność inwestycji musi być, naszym zdaniem, spełniona następująca nierówność,

2 Model „Lubiatowska Wydma”: <https://www.scribd.com/doc/181666759/PGE-Choczewo-3>

$$\beta (SP - F_{pw})T_{KR} \leq F_{pf} (T_L - T_{KR}), \quad (6)$$

gdzie:

F_{pw} – średnia cena energii elektrycznej na towarowym rynku energii w okresie $[0, T_{KR}]$, [GBP/MWh], $SP > F_{pw}$,

F_{pf} - średnia cena energii elektrycznej na towarowym rynku energii w okresie $[T_{KR}, T_L]$, [GBP/MWh],

β – współczynnik zwrotu subsydiów [bezwymiarowy], $0 < \beta \leq 1$, przyjęto, że $\beta = 1$.

Uwaga 5: wielkości SP ustala się w negocjacjach z rządem państwa. γ należy ustalić w procesie wtórnego kredytowania. Wielkość F_{pw} musi być wyliczona na podstawie prognozy działalności rynku energii z uwzględnieniem nowej elektrowni jądrowej subsydiowanej przez rząd państwa. „Elektrownia jądrowa” sprzedaje energię elektryczną po kosztach $K_{f+O\&M}$, a więc rzeczywiście relatywnie tanio, obniżając tym samym wartość F_{pw} .

Przyjmując, że $T_C = 20$ lat z (5) wynika, że $\gamma = 0$, ale więc $CK_{HPC} = 90.31$ [mld GBP]. Zakładając, że dla okresu $[0, T_{KR}]$ wartość $F_{pw} = 55$ [GBP/MWh] z (6) otrzymujemy $F_{pf} \geq 52.5 + K_{f+O\&M} \geq 72.67$ [GBP/MWh]. Do tej ceny należy doliczyć koszty likwidacji **HPC**. Koszty te oszacowano na 9.88 [GBP/MWh]. Stąd $F_{pf} \geq 82.54$ [GBP/MWh]. Zatem współczynnik integracji finansowej **HPC** w systemie energetycznym UK można zdefiniować następująco,

$$\varepsilon = F_{pf} / F_{pw}. \quad (7)$$

Wartość ε dla inwestycji **HPC** wynosi 1.54.

W przypadku kontraktu różnicowego dla Polski parametrami nieznanymi są SP i T_{KR} . O taki kontrakt musi wystąpić do rządu polskiego PGE SA, biorąc pod uwagę wartość **672.72 + 120** [PLN/MWh] z Tabeli 6. Średnia cena energii elektrycznej na towarowym rynku energii elektrycznej w Polsce wynosi obecnie około 200 [PLN/MWh]. Obliczenia postulowane przez Stowarzyszenie „Lubiatowska Wydma” dla polskiej elektrowni jądrowej prezentuje Tabela 6.

Tab. 6

Całkowite nakłady inwestycyjne			91.94 [mld PLN]
Lubiatowska Wydma (model losowy)			Splata całkowitych nakładów inwestycyjnych po 20 latach losowe oprocentowanie
Polska	ALWR-EPR	2*1600	$x=672.72$ [PLN/MWh]
			K_{LCOE}
(wzór 1)			344.24 [PLN/MWh]

Przyjmując, że $SP = 580$ [PLN/MWh], $T_{KR} = 30$ lat, $T_C = 20$ lat z (5) otrzymujemy, że $\gamma \leq 0.08$ i wówczas $492.14 < CK_{POL} \leq 502.83$ [mld PLN]. Przyjmując dla rynku polskiego $F_{pw} = 280$ [PLN/MWh] z (6) otrzymujemy: $F_{pf} \geq 300 + K_{f+O\&M} \geq 420$ [PLN/MWh]. Do tej wartości należy doliczyć koszt likwidacji elektrowni jądrowej i koszt budowy docelowego składowiska odpadów radioaktywnych wraz z odpowiednią infrastrukturą drogową i kolejową. Ostatecznie $F_{pf} \geq 420 + 58.76 + 176.27$ [PLN/MWh] ≥ 655.03 [PLN/MWh]. Współczynnik ε dla inwestycji w Polsce (2*EPR) wynosi 2.34.

Następująca tabela pokazuje różne oszacowania całkowitego kosztu inwestycji 2* EPR w Polsce.

Tab. 7

Model (autor)	Całkowite nakłady inwestycyjne [mld PLN]	K_{LCOE} [PLN/MWh] [USD/MWh] [GBP/MWh]	Czas trwania budowy\ okres kredytowania zadłużenia [lata\lata]	Uśredniony cena energii elektrycznej w okresie kontraktu różnicowego [PLN/MWh] okres $[0, T_{KR}]$	Uśredniony cena energii elektrycznej na towarowym rynku energii [PLN/MWh] okres $[T_{KR}, T_L]$	Uśredniony cena energii elektrycznej na towarowym rynku energii [GBP/MWh] okres $[T_{KR}, T_L]$
Prof. Strupczewski (2015) Polska EJ	82.72	315.05 81.83 52.95	7\18	Brak oszacowania	Brak oszacowania	Brak oszacowania
Lubiatowska Wydma (2015) Polska EJ	91.94	\leq 469.23 121.88 78.86	6\20	580/30	\geq 655.03/30	\geq 110.09/30
Hinkley Point C (EDF) & Lubiatowska Wydma (2015) UK NPP	108	380.83 98.92 64.01	6\20	550/35	491.11 / 25	82.54/25

Uwaga 6: Uśredniona cena energii elektrycznej na towarowym rynku energii w Polsce (bez dystrybucji i podatków itp.) będzie wyższa niż w UK, ponieważ polska elektrownia jądrowa 2*EPR musi również pokryć koszty ostatecznego składowiska odpadów radioaktywnych wraz ze stosowną infrastrukturą. Celem uzupełnienia Tabeli 7 dokonano odnośnych obliczeń dla propozycji Strupczewskiego; $x = 797.61$ [PLN/MWh], $SP = 570$ [PLN/MWh], $\gamma \leq 0.09$ i $T_{KR} = 30$ lat. Zmniejszenie okresu kredytowania przez Strupczewskiego do $T_C = 18$ lat daje podobne oszacowania jak dla kontraktu różnicowego postulowanego przez „Lubiatowską Wydme”. Należy również dodać, że koszty likwidacji bloków 1600 MW zostały przez Strupczewskiego niedoszacowane. O kosztach ostatecznego składowania odpadów radioaktywnych w cytowanej pracy nie wspomniano, zgodnie z tradycją obserwowaną w gronie lobbystów atomowych.

3. Podsumowanie

- Przyjmując inwestycję *HPC* jako poziom odniesienia prof. Strupczewski postuluje, że elektrownia jądrowa w Polsce (2*EPR) będzie o 23.4% tańsza od takiej samej elektrowni w UK (takie same standardy techniczne i technologiczne).
- Zgodnie z oficjalnymi danymi NCBJ podanymi podczas VII Forum Energetycznego w Sopocie (29.11 - 1.12.2012) przewidywany koszt pierwszej polskiej elektrowni jądrowej, to **55-60 mld zł**. Wielkość ta jest o 27.5 % niższa w stosunku do obecnego oszacowania proponowanego przez prof. Strupczewskiego (2015) (patrz: Tabela 7).
- Nawet dla znacznie zaniżonych - przez prof. Strupczewskiego - całkowitych nakładów inwestycyjnych na elektrownię jądrową w Polsce, nie można jej sfinansować bez kontraktu różnicowego. Jest rzeczą znamioną, że w swoim opracowaniu, liczącym ponad 100 stron, nigdy nie wspomniał on o tym fakcie.
- Opracowanie prof. Strupczewskiego, pod względem formalnym, jest daleko oddalone od opracowania naukowego, z którego można wyciągnąć praktyczne wnioski odnośnie rzeczywistych relacji ilościowych (wystarczy rzut oka na Tabelę 7; „brak oszacowania”).
- Ze względu na wręcz astronomiczne koszty elektrowni jądrowej w Polsce (2*EPR) jej budowa i integracja w KSE, ze względów ekonomicznych, nie jest możliwa.
- Argument, że energia elektryczna z EJ jest tania nie oznacza, że inwestycja jest ekonomicznie sensowna.
- Nazywanie katastrofy w Fukushima awarią jest **niedopuszczalne** i o tym powinien prof. Strupczewski pamiętać (patrz: str. 2-54 w jego opracowaniu).