

Bezpieczeństwo jądrowe a podejmowanie decyzji

M. Borysiewicz, K. Kowal, S. Potemski
Prezenter: *Anna Wawrzyńczak-Szaban*

Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), Otwock-Świerk
Departament Układów Złożonych,
Zakład Energetyki Jądrowej i Ochrony Środowiska

Symposium NCBJ
Otwock-Świerk, 5 października 2016

Plan prezentacji

1. Postrzeganie oraz ocena ryzyka
2. Deterministyczne i probabilistyczne analizy bezpieczeństwa
3. IRIDM – Integrated Risk Infomed Decision Making
(Zintegrowany proces podejmowania decyzji oparty na ryzyku)
4. Wdrażanie metodologii IRIDM
5. Zastosowanie analiz wartościowania drzew (VTA)

Postrzeganie oraz ocena ryzyka

- Ryzyko istnieje w każdej sferze działalności człowieka
- Akceptowalność ryzyka zależy od możliwości jego kontroli
- Akceptowalność jest odwrotnie proporcjonalna do skutków
- Rozkład skutków w czasie i/lub przestrzeni wpływa na decyzję
- Odwracalność i czas trwania skutków jest istotny

Bezpieczna eksploatacja obiektów jądrowych musi zagwarantować, że prawdopodobieństwo negatywnych konsekwencji dla zdrowia i życia ludzkiego jest znacznie niższe niż to wynikające z codziennej egzystencji

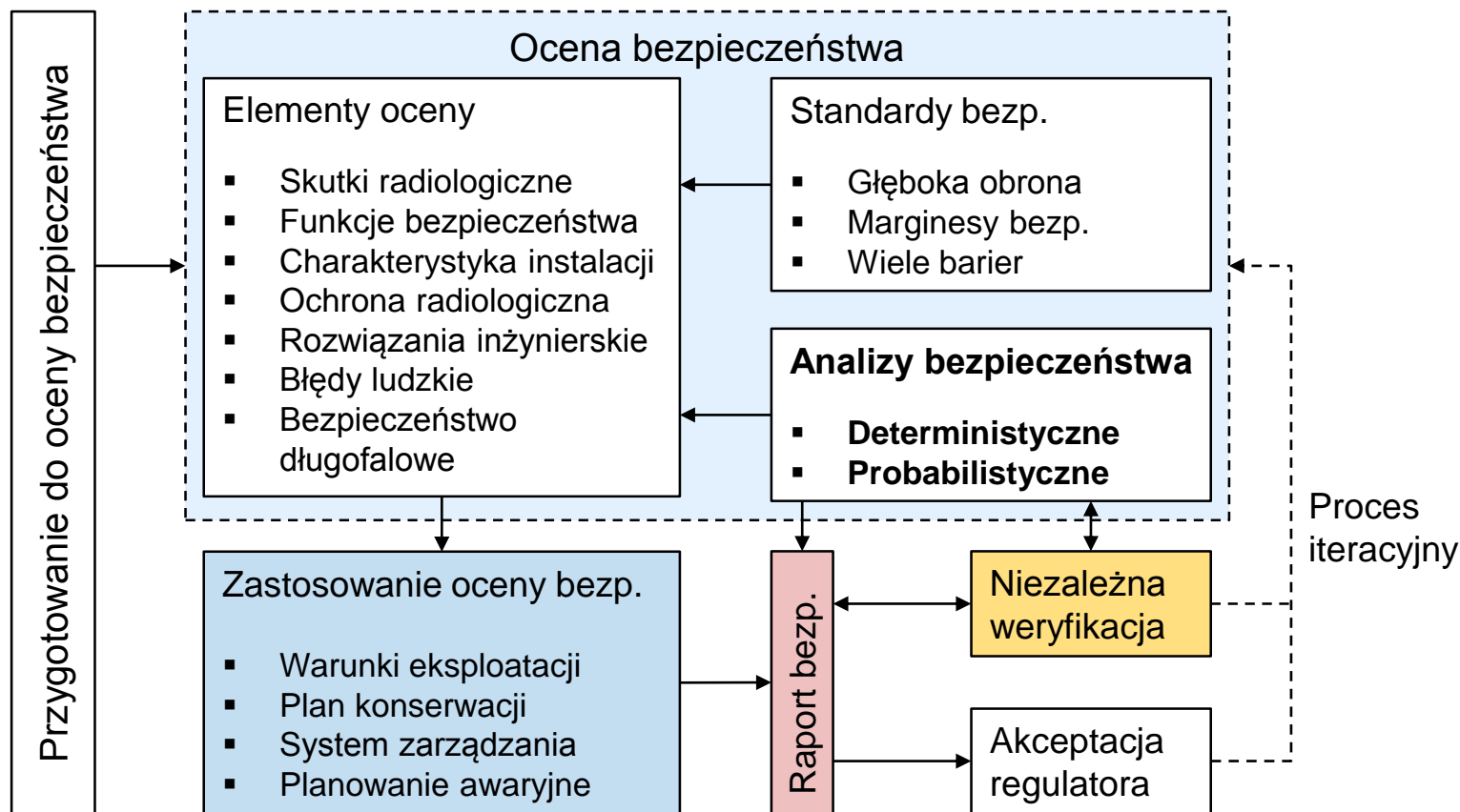
$$R_i = P_i \cdot C_i$$

R_i – ryzyko związane z daną sekwencją zdarzeń i

P_i – prawdop. sekwencji zdarzeń i

C_i – skutki sekwencji zdarzeń i

Ocena bezpieczeństwa obiektów jądrowych



[źródło: *Safety assessment for facilities and activities*, IAEA, Vienna 2009]

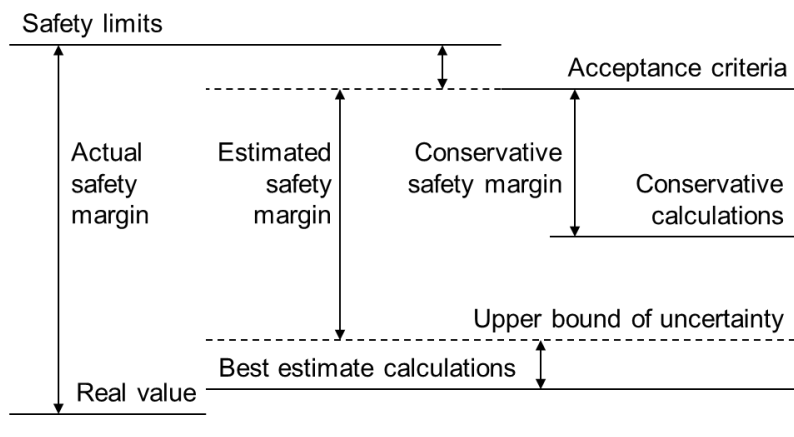
Dwa podejścia do analiz bezpieczeństwa

1. Analizy deterministyczne DSA
 - **Kryteria bezpieczeństwa**
(parametry określające bezpieczną pracę instalacji np. maksymalna akceptowalna temperatura koszulek paliwowych)
 - **Głęboka obrona**
(z wielokrotnione systemy bezpieczeństwa w postaci kolejnych barier chroniących przed uszkodzeniem rdzenia i uwolnieniem substancji radioaktywnych)
 - **Marginesy bezpieczeństwa**
(różnice między granicznymi wartościami parametrów wyznaczających bezpieczną pracę a wartościami faktycznie używanymi)
2. Analizy probabilistyczne PSA
 - **Level-1 PSA**
(oszacowanie niezawodności systemów bezpieczeństwa w celu wyznaczenia częstości uszkodzenia rdzenia)
 - **Level-2 PSA**
(modelowanie zjawisk po wystąpieniu uszkodzenia rdzenia w celu oszacowania częstości występowania uwolnień materiału radioaktywnego na zewnątrz)
 - **Level-3 PSA**
(modelowanie skutków uwolnień materiału radioaktywnego dla ludzi i środowiska)

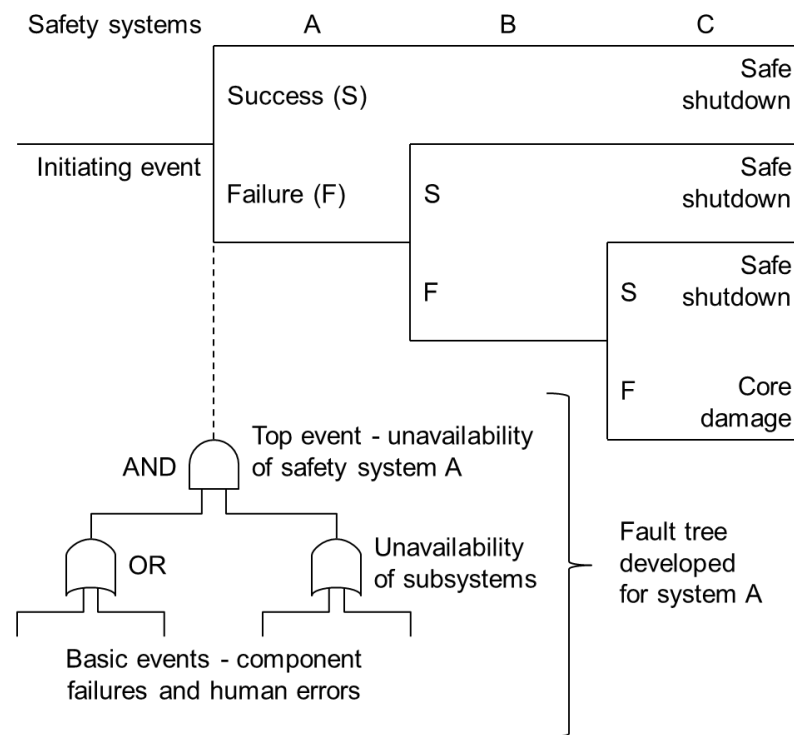
Dwa podejścia do analiz bezpieczeństwa

DSA – model deterministyczny

Wartości graniczne parametrów bezpieczeństwa i operacyjne są wyznaczane przy pomocy symulacji komputerowych



PSA – model probabilistyczny



Źródła niepewności

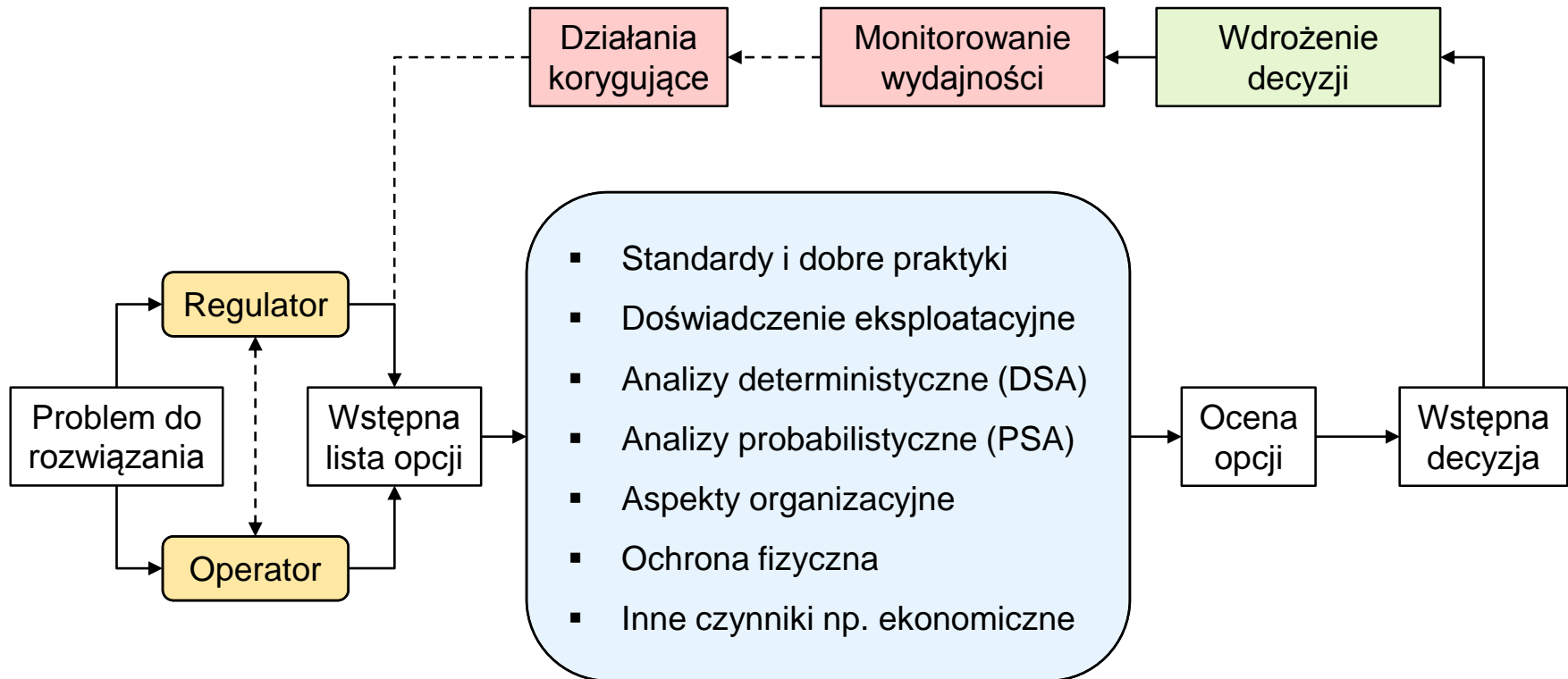
1. Analizy deterministyczne

- Uproszczenia w geometrii modelowanych obiektów
- Dane wejściowe i problemy z pomiarami
- Skończona dokładność obliczeń numerycznych
- Konserwatywne podejście do prowadzonych analiz

2. Analizy probabilistyczne

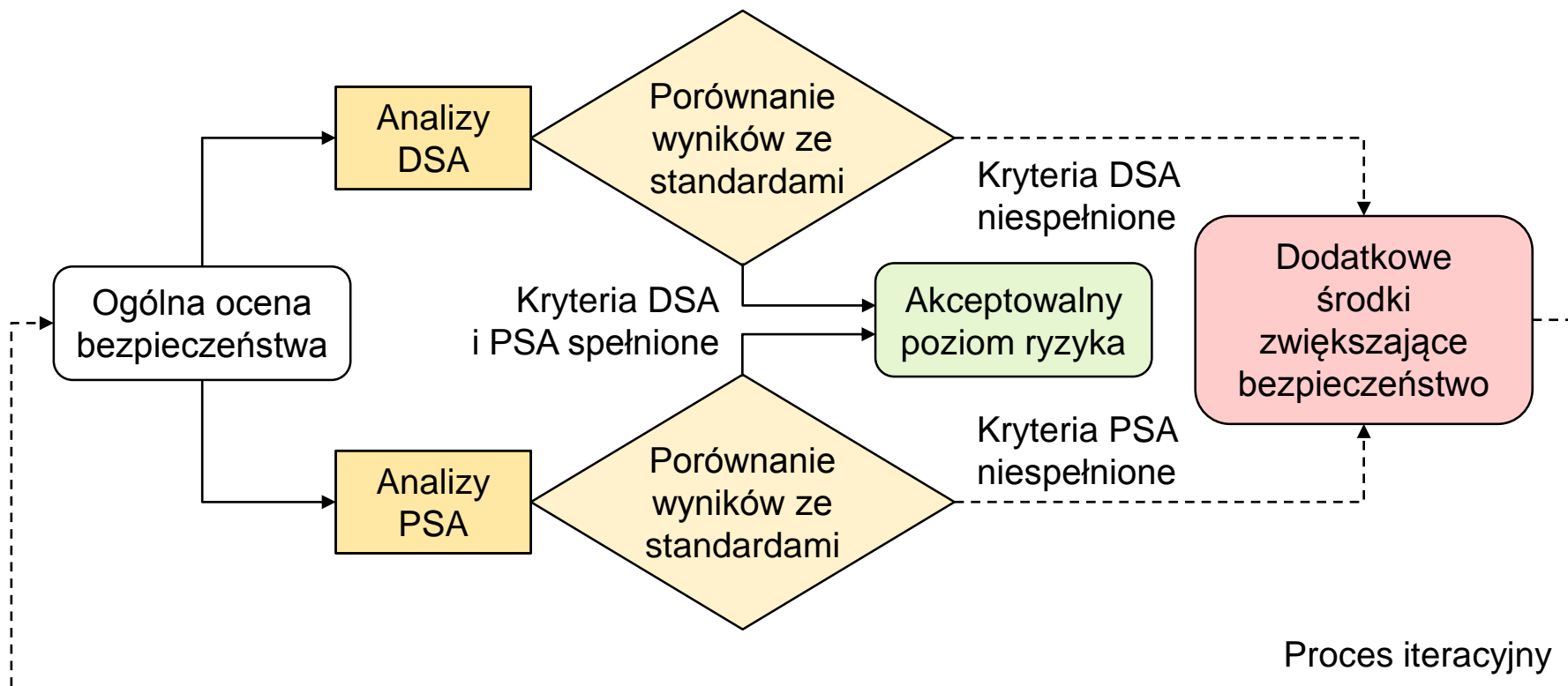
- Losowe/ Przypadkowe (*Losowy charakter zdarzeń inicjujących oraz uszkodzeń komponentów instalacji*)
- Epistemologiczne (*Braku wiedzy jak zachowa się system w różnych warunkach awaryjnych, niedostateczne zrozumienie modelowanych zjawisk, niekompletność stosowanej metodologii*)

IRIDM (Integrated Risk Informed Decision Making) – zintegrowany proces podejmowania decyzji oparty na ryzyku [Propozycja IAEA]



[źródło: *A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process*, IAEA, Vienna 2011]

Integracja DSA i PSA w procesie IRIDM



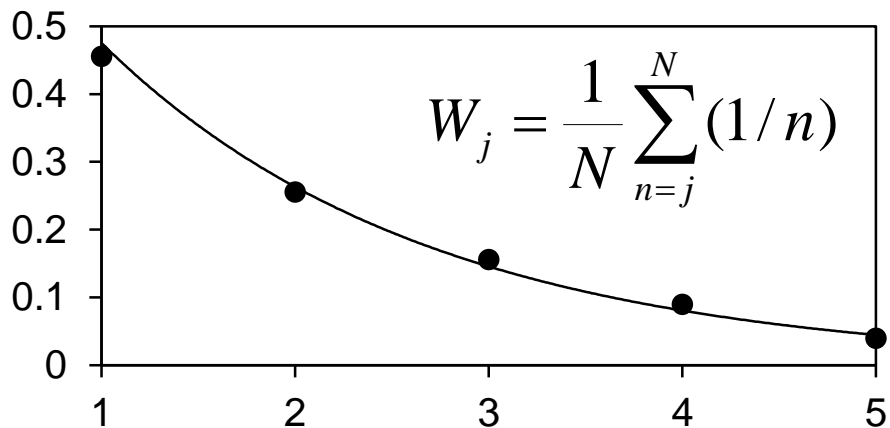
[źródło: *A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process*, IAEA, Vienna 2011]

Zastosowanie techniki Value Tree Analysis (VTA)

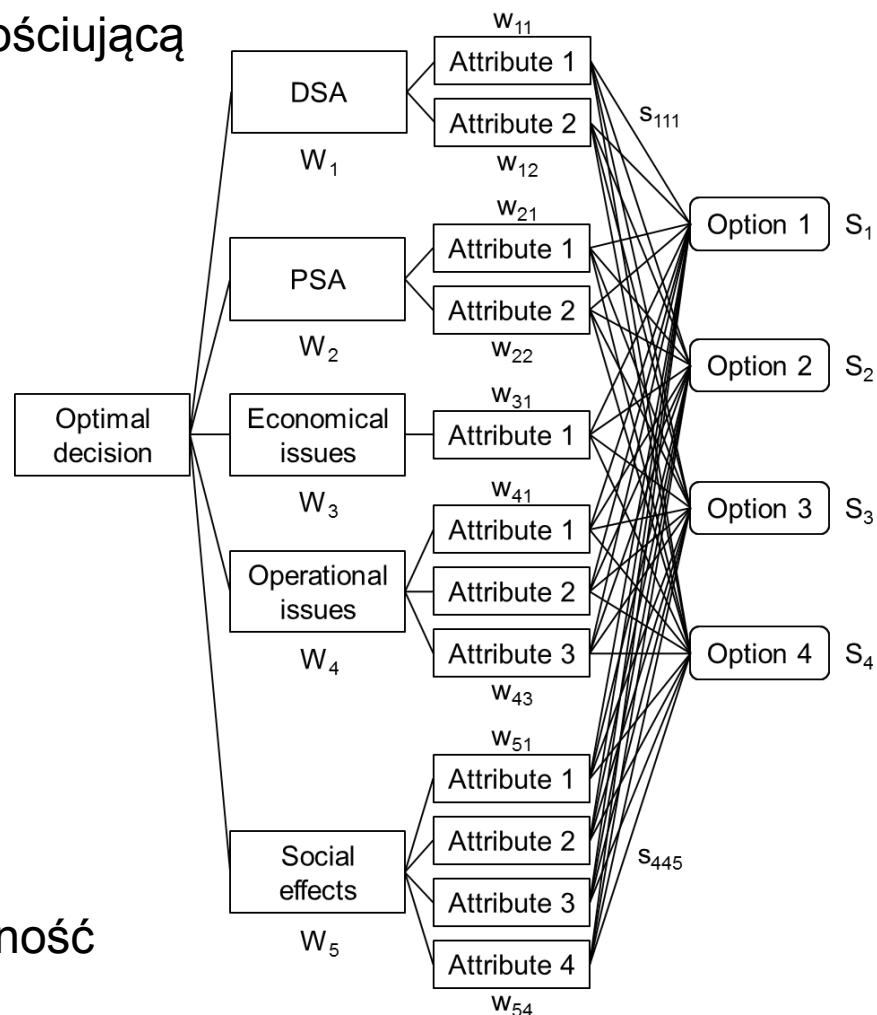
W_j – waga wkładu j dana przez funkcję wartościującą

Funkcja wartościująca *val* (niekoniecznie liniowa) ma następujące własności:

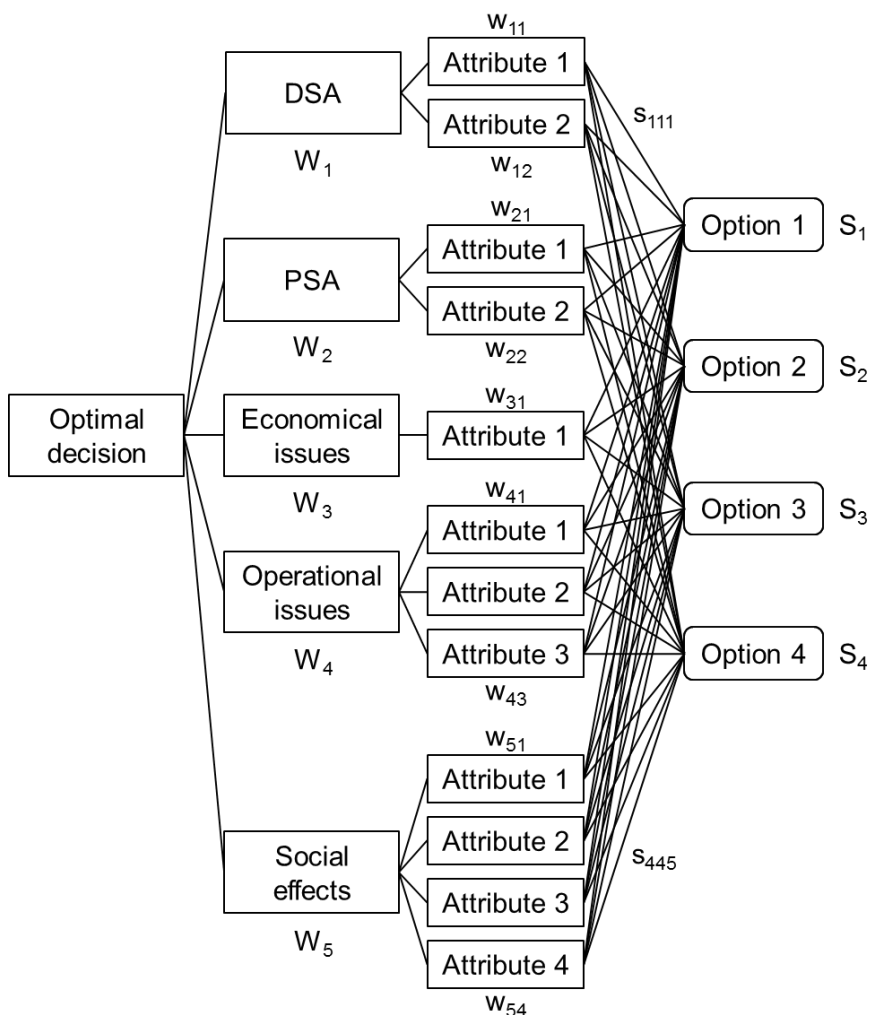
if $x \sim y$ then $val(x) = val(y)$
 if $x < y$ then $val(x) < val(y)$



Przykład: wagi wyznaczone poprzez kolejność



Zastosowanie techniki Value Tree Analysis (VTA)

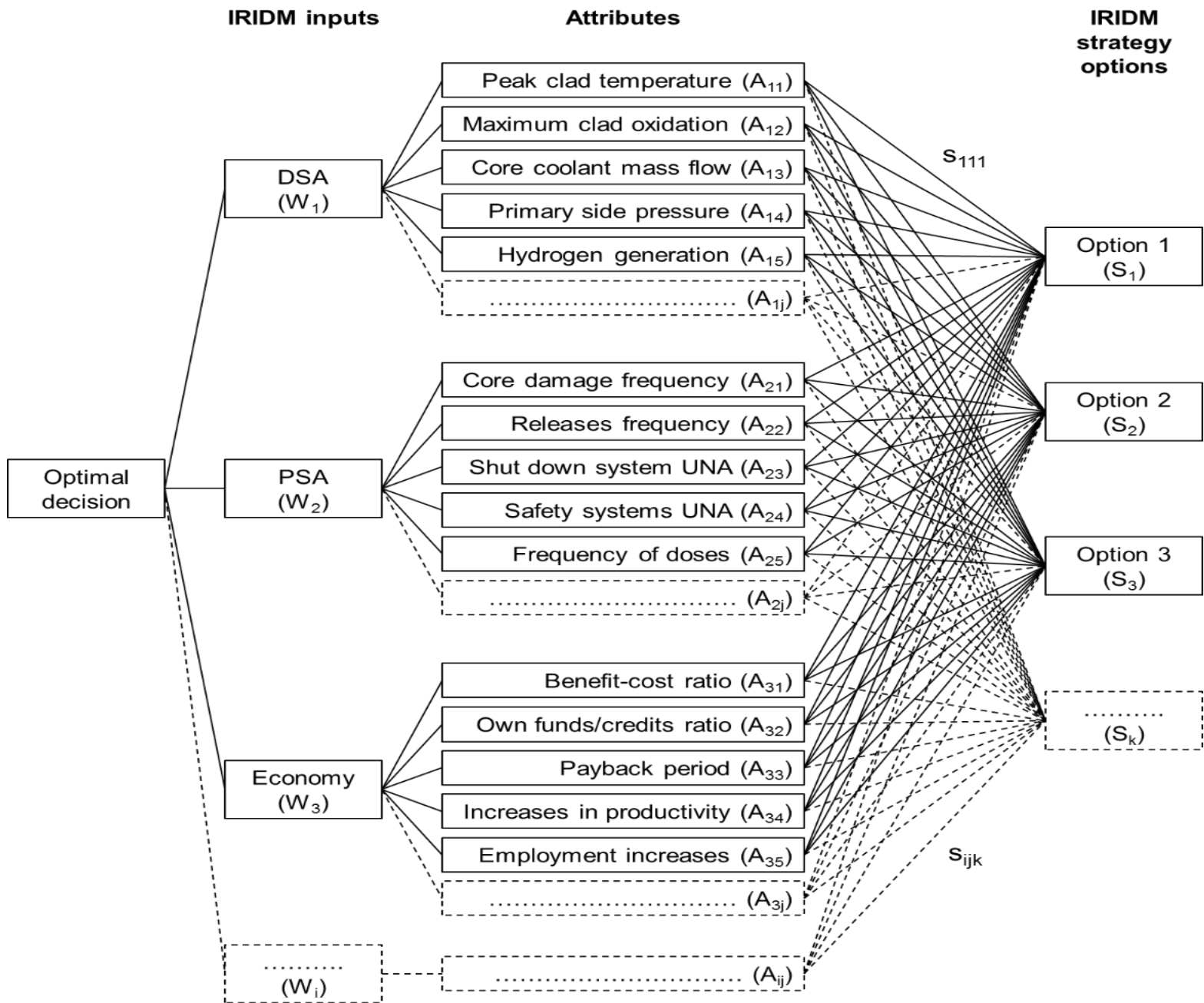


Priorytetyzacja atrybutów odbywa się poprzez przypisanie wag w_{ij} każdemu atrybutowi j wkładu i modelu IRIDM-VTA

$$S_k = \sum_i W_i \sum_j w_{ij} \cdot S_{ijk}$$

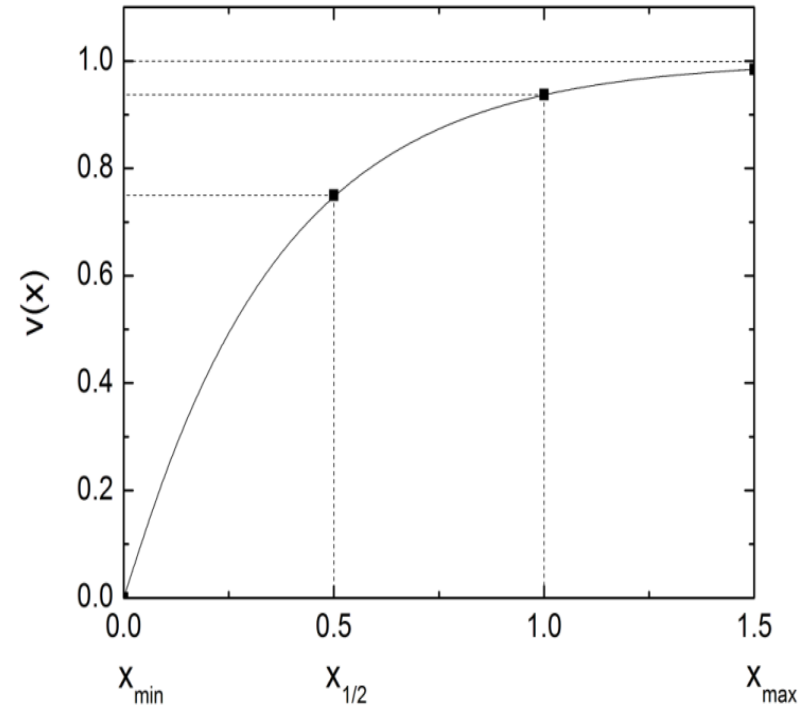
S_{ijk} jest wartością opisującą jak zastosowanie opcji k wpłynie na atrybut j modelu IRIDM-VTA dla i -tego wkładu

Analiza wrażliwości może być wykonana poprzez zmianę wartości atrybutów i wag w celu przeanalizowania jaka jest czułość końcowego wyniku na te zmiany wartości



Funkcje wartościujące

1. Określenie przedziału wartości np.:
 - $x_{min} = 0$ – oznacza redukcję marginesu bezpieczeństwa do minimalnego akceptowalnego poziomu
 - $x_{max} = 1.5$ – istotna poprawa bezpieczeństwa
2. Określenie wartości funkcji $v(x)$ w punktach granicznych
 - $v(x_{min}) = 0$ – granica akceptacji,
 - $v(x_{max}) = 1$ – najlepszy przypadek
3. Określenie kształtu funkcji aby opisać relację pomiędzy wartością x a faktorem s_{ijk} szacowanym przez $v(x)$.
tj. określenie wartości w dowolnym punkcie przedziału, np.
 $v(x_{1/2}) = 0.75$;
 $v(x_1) = 0.9$



Kształt funkcji (wklęsła/wypukła) określa preferencje

[source: *Risk informed regulation of nuclear facilities*, IAEA, Vienna 2005]

Wspomaganie eksperckie

Atrybuty PSA powinny uwzględniać

- Częstotliwość uszkodzenia rdzenia ($\leq 1E-5$ na rok),
- Prawdopodobieństwo uwolnienia radioaktywnego ($\leq 1E-6$ na rok),
- Niemożność wyłączenia systemu ($\leq 1E-6$ na żądanie),
- Niedostępność zaprojektowanych systemów bezpieczeństwa ($\leq 1E-3$ na żądanie),
- Indywidualne ryzyko śmiertelności ($\leq 1E-6$ na rok),
- Częstotliwość dawek (≤ 1 mSv na rok).

Opierając się na kwestionariuszu OECD Nuclear Energy Agency respondenci (19) określili jakie elementy uważają za ważne w PSA:

- Częstotliwość uszkodzenia rdzenia (16 respondentów)
- Częstotliwość uwolnienia(14)
- Częstotliwość dawek (4)
- Indywidualne ryzyko śmiertelności(3)
- Niedostępność systemów bezpieczeństwa(2)

Na tej podstawie można np. określić wagi A_{2j} , jako: 0.41, 0.36, 0.10, 0.08, 0.05

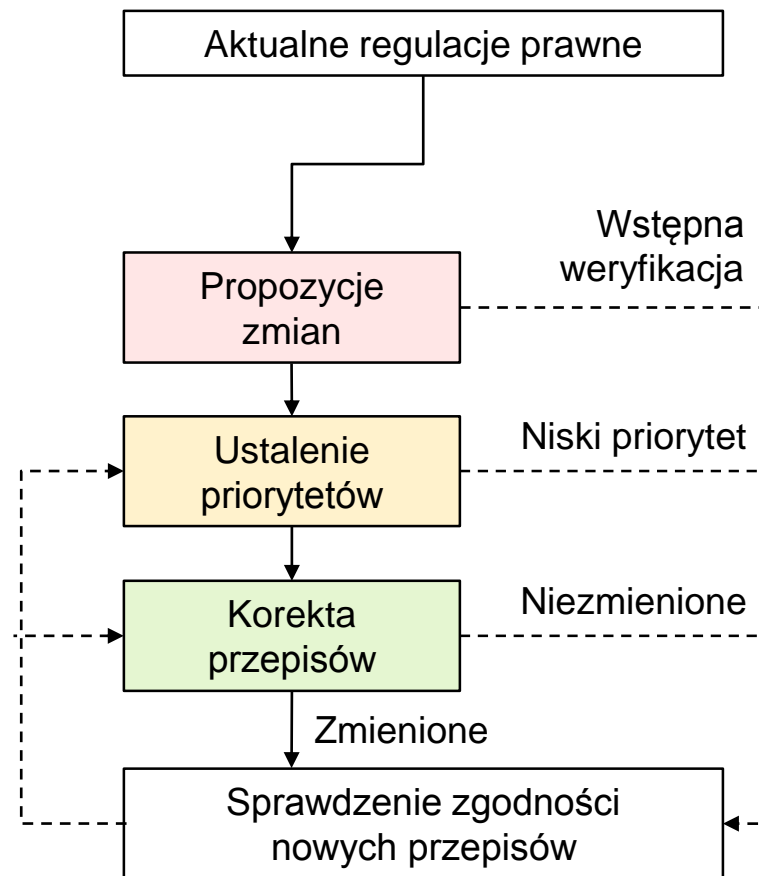
[source: *Risk informed regulation of nuclear facilities*, IAEA, Vienna 2005]

IRIDM w działalności organu regulacyjnego

Metody IRIDM można zastosować w działalności organu regulacyjnego

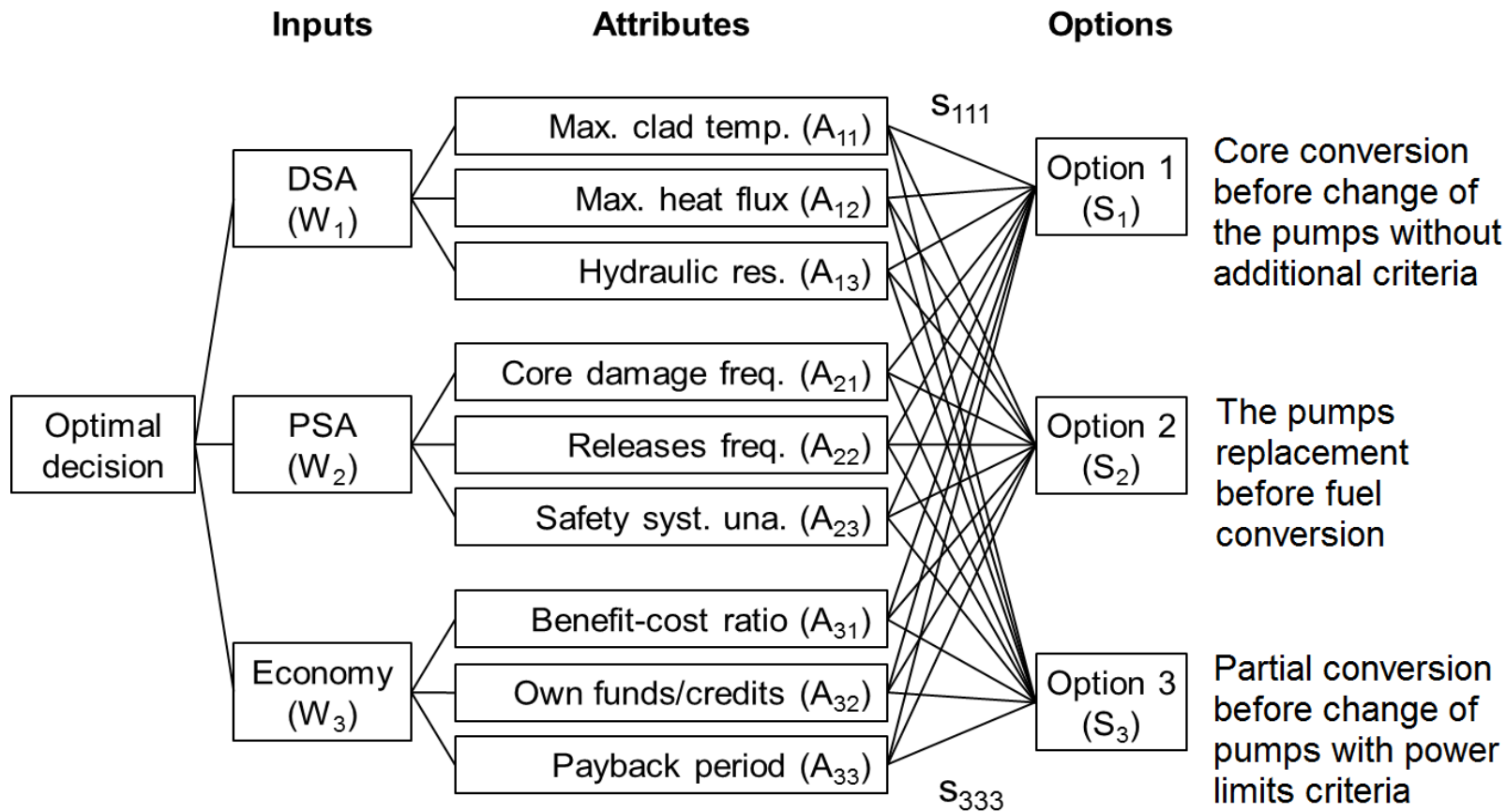
Poprawa przepisów krajowych uwzględniająca ryzyko

- Przepisy są analizowane w kontekście możliwych zmian
- Priorytety wprowadzania zmian ustala się na podst. analizy ryzyka
- Różne propozycje zmiany tych samych regulacji można ze sobą porównać w procesie IRIDM



[source: *Risk informed regulation of nuclear facilities*, IAEA, Vienna 2005]

Przykład: konwersja paliwa w reaktorze MARIA – kiedy wymieniać pompy



Model IRIDM-VTA: opcja 3

Input	Weight	Option1		Option 2		Option 3	
		Score	Weighted score	Score	Weighted score	Score	Weighted score
DSA	10	-6	-60	0	0	-2	-20
PSA	8	-3	-24	0	0	-1	-8
Economic	5	0	0	-10	-50	-2	-10
Organizational	5	0	0	-10	-50	-2	-10
Requirements	3	0	0	0	0	-3	-9
Total	---	---	-84	---	-100	---	-57

Wartości ujemne są spowodowane nieco innym sposobem liczenia na zasadzie określenia jako funkcji celu „najmniejszej straty”.

Podsumowanie

- Skutki wypadków jądrowych mogą być odczuwalne w dużej odległości od lokalizacji elektrowni jądrowych
- Przejrzystość oraz możliwość weryfikacji decyzji dotyczących instalacji jądrowych jest ważna dla opinii publicznej
- Różne rodzaje ryzyka są analizowane różnymi metodami przez różne zespoły specjalistów (personalizacja ryzyka)
- Wdrożenie IRIDM daje szansę uwzględnienia i integracji jakościowo różnych aspektów w procesie podejmowania decyzji
- ... Ale ... **liczby sugerują, ludzie decydują**