

Pro środowiskowa, inżynierska ocena efektywności elektrowni wiatrowych w cyklu życia

prof. dr hab. inż. Andrzej Tomporowski

i Zespół: dr inż. Robert Kasner; dr hab. inż. Izabela Piasecka; dr inż. Patrycja Bałdowska-Witos;

Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich, Wydział Inżynierii Mechanicznej

1. Wprowadzenie
2. Cel i zakres pracy
3. Obiekty badań
4. Zintegrowany wskaźnik efektywności z poniesionych nakładów
5. Wskaźniki oceny efektywności modernizacji
6. Wyniki badań i ich omówienie
7. Zarys metodyki wieloaspektowej oceny efektywności modernizacji wielkogabarytowych obiektów technicznych
8. Podsumowanie



Długi czas eksploatacji



Znaczny wkład materiałowy



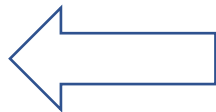
Energochłonny proces wytwórczy



Modernizować czy utylizować???



Metoda kompleksowej oceny efektywności???

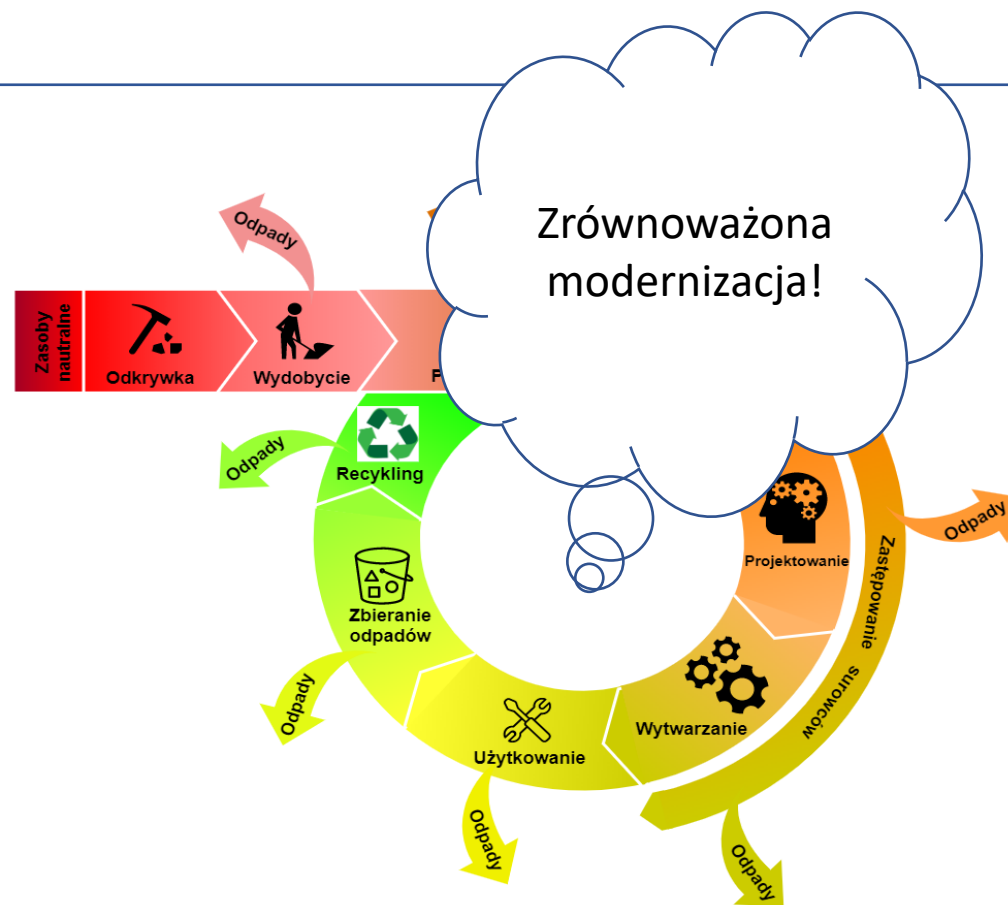
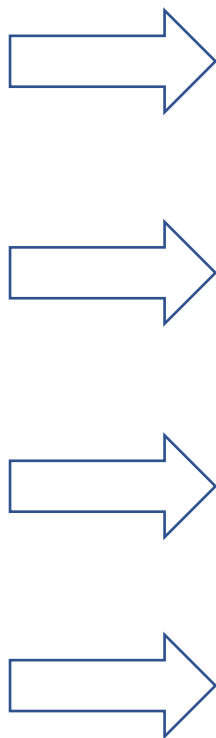


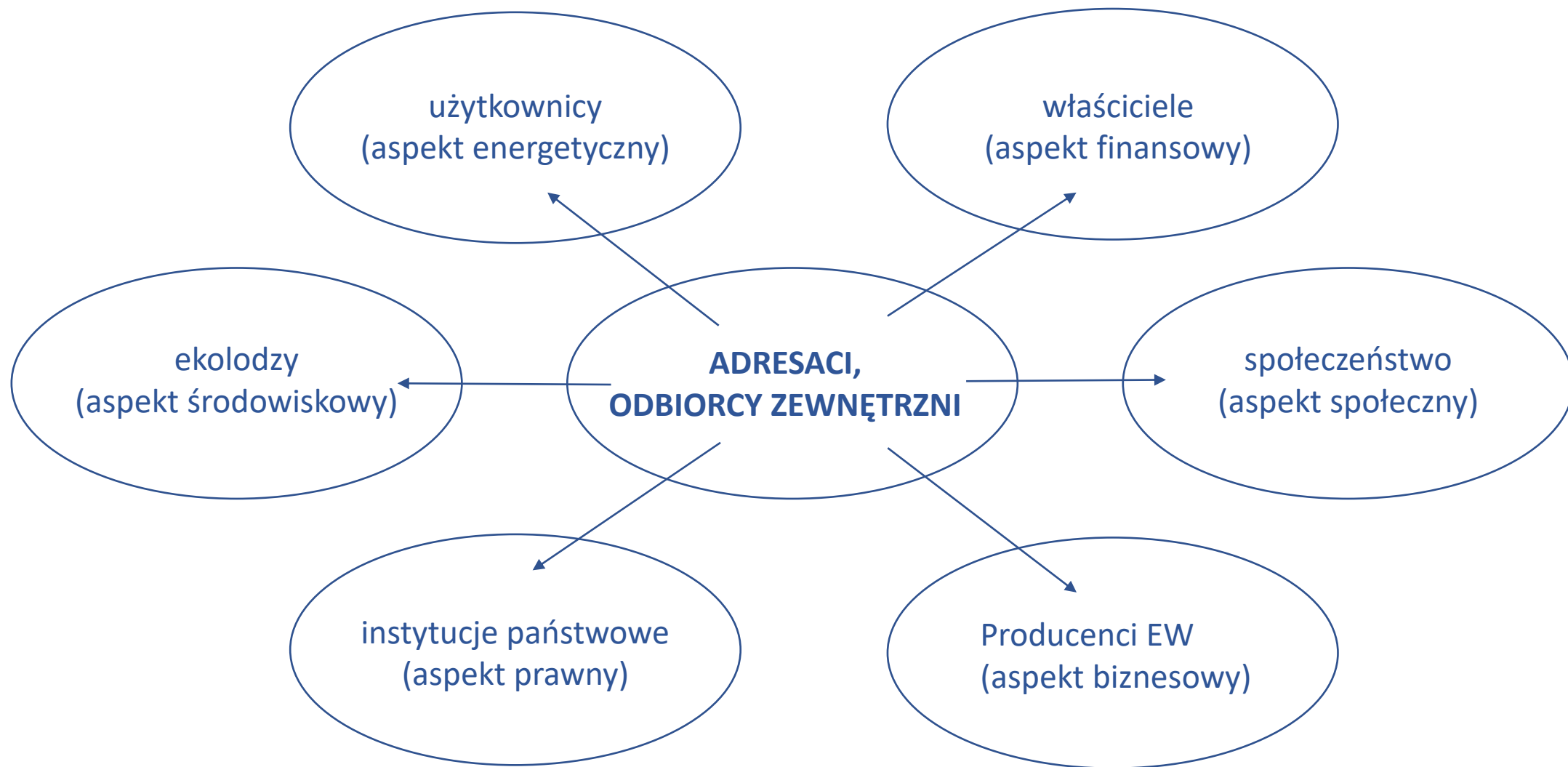
✓ Opracowanie metody wieloaspektowej oceny efektywności w zakresie nakładów:

- energetycznych,
- środowiskowych,
- finansowych
- społecznych

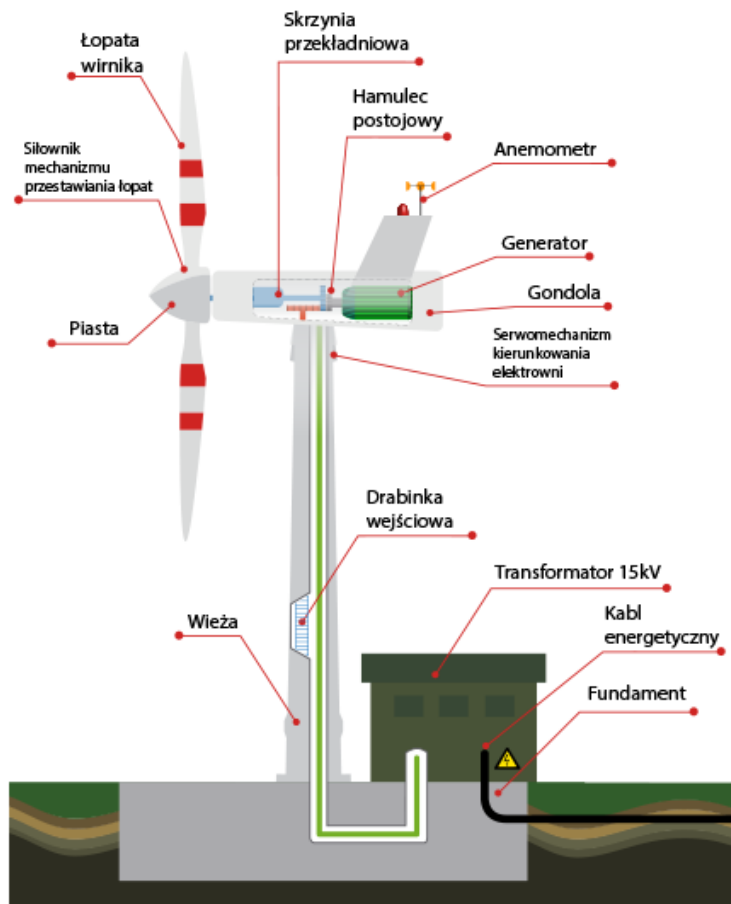
ponoszonych cyklu istnienia EW.

✓ Weryfikacja opracowanej metody na konkretnych, rzeczywistych przykładach





3. Obiekt badań



Wybrane dane techniczne		
Element, zespół	Vestas V90	Vestas V100
Średnica wirnika	90 m	100 m
Powierzchnia robocza wirnika	6362 m ²	7850 m ²
Zakres prędkości obrotowej wirnika	9,6 – 17,0 obr/min	9,6 – 16,6 obr/min
Długość łopat	44 m	49 m
Materiał łopat	Żywica epoksydowa wzmacn. włókn. szklanym i węglowym	Żywica epoksydowa wzmacn. włókn. szklanym i węglowym
Przełożenie skrzyni przekł.	1:1,1128 nominalnie	1:1,113 nominalnie
Rodzaj wieży	Stożkowa rurowa	Stożkowa rurowa
Wysokość wieży	105 m	120 m
Typ generatora	Asynchroniczny z wirnikiem uzwojonym, pierścieniami ślizgowymi o mocy 2MW	Asynchroniczny z wirnikiem uzwojonym, pierścieniami ślizgowymi o mocy 2MW
Typ transformatora	Suchy , żywiczny w technologii próżniowej	Suchy , żywiczny w technologii próżniowej

4. Metoda wieloaspektowej oceny efektywności

Zakres metodyki zintegrowanej oceny efektywności EW

A. Określenie zasadniczych ramowych elementów metodyki

- 1) Zdefiniowanie przedmiotu metodyki – klasy/kategorii wielkogabarytowych obiektów technicznych (WOT) objętych modernizacją
- 2) Ustalenie celu oceny efektywności modernizacji danej klasy/kategorii WOT
- 3) Określenie adresata/adresatów rezultatów danej oceny efektywności modernizacji WOT

B. Wybór, adaptacja lub opracowanie narzędzia (metody) do oceny

- 1) Przyjęcie kryteriów akceptacji metody i wskaźników
- 2) Analiza dostępnych narzędzi, wybór istniejącego narzędzia lub decyzja o opracowaniu nowego narzędzia
- 3) Przyjęcie listy składowych cyklu życia (faz cyklu życia) danej klasy/kategorii WOT, przewidzianych do analizy
- 4) Sporządzenie scenariusza/scenariuszy fazy modernizacji, z wyszczególnieniem koniecznych procesów danej klasy/kategorii WOT
- 5) Opracowanie szczegółowego opisu oddziaływań środowiskowych występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT

C. Realizacja procesu ocenowego

- 1) Zebranie danych dotyczących oddziaływań występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT
- 2) Wykonanie obliczeń wymaganych wskaźników
- 3) Ocena otrzymanych wyników

D. Analiza końcowa

- 1) Wyprowadzenie wniosków z analizy z uwzględnieniem zwłaszcza potrzeb adresata/adresatów wykonywanej oceny
- 2) Analiza kierunków ewentualnej korekty przyjętych do realizacji procesów z punktu widzenia możliwości poprawy efektów procesów

Zakres metodyki zintegrowanej oceny efektywności EW

GOZ!

A. Określenie zasadniczych ramowych elementów metodyki

- 1) Zdefiniowanie przedmiotu metodyki – klasy/kategorii wielkogabarytowych obiektów technicznych (WOT) objętych modernizacją
- 2) Ustalenie celu oceny efektywności modernizacji danej klasy/kategorii WOT
- 3) Określenie adresata/adresatów rezultatów danej oceny efektywności modernizacji WOT

3) Przyjęcie listy składowych cyklu życia (raz cyklu życia) danej klasy/kategorii WOT, przewidzianych do analizy

- 4) Sporządzenie scenariusza/scenariuszy fazy modernizacji, z wyszczególnieniem koniecznych procesów danej klasy/kategorii WOT
- 5) Opracowanie szczegółowego opisu oddziaływań środowiskowych występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT

C. Realizacja procesu ocenowego

- 1) Zebranie danych dotyczących oddziaływań występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT
- 2) Wykonanie obliczeń wymaganych wskaźników
- 3) Ocena otrzymanych wyników

D. Analiza końcowa

- 1) Wyprowadzenie wniosków z analizy z uwzględnieniem zwłaszcza potrzeb adresata/adresatów wykonywanej oceny
- 2) Analiza kierunków ewentualnej korekty przyjętych do realizacji procesów z punktu widzenia możliwości poprawy efektów procesów

Zakres metodyki zintegrowanej oceny efektywności EW

A. Określenie zasadniczych ramowych elementów metodyki

- 1) Zdefiniowanie przedmiotu metodyki – klasy/kategorii wielkogabarytowych obiektów technicznych (WOT) objętych modernizacją
- 2) Ustalenie celu oceny efektywności modernizacji danej klasy/kategorii WOT
- 3) Określenie adresata/adresatów rezultatów danej oceny efektywności modernizacji WOT

B. Wybór, adaptacja lub opracowanie narzędzia (metody) do oceny

- 1) Przyjęcie kryteriów akceptacji metody i wskaźników
- 2) Analiza dostępnych narzędzi, wybór istniejącego narzędzia lub decyzja o opracowaniu nowego narzędzia
- 3) Przyjęcie listy składowych cyklu życia (faz cyklu życia) danej klasy/kategorii WOT, przewidzianych do analizy
- 4) Sporządzenie scenariusza/scenariuszy fazy modernizacji, z wyszczególnieniem koniecznych procesów danej klasy/kategorii WOT
- 5) Opracowanie szczegółowego opisu oddziaływań środowiskowych występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT

D. Analiza końcowa

- 1) Wyprowadzenie wniosków z analizy z uwzględnieniem zwłaszcza potrzeb adresata/adresatów wykonywanej oceny
- 2) Analiza kierunków ewentualnej korekty przyjętych do realizacji procesów z punktu widzenia możliwości poprawy efektów procesów

4. Metoda wieloaspektowej oceny efektywności

Zakres metodyki zintegrowanej oceny efektywności EW

A. Określenie zasadniczych ramowych elementów metodyki

- 1) Zdefiniowanie przedmiotu metodyki – klasy/kategorii wielkogabarytowych obiektów technicznych (WOT) objętych modernizacją
- 2) Ustalenie celu oceny efektywności modernizacji danej klasy/kategorii WOT
- 3) Określenie adresata/adresatów rezultatów danej oceny efektywności modernizacji WOT

B. Wybór, adaptacja lub opracowanie narzędzia (metody) do oceny

- 1) Przyjęcie kryteriów akceptacji metody i wskaźników
- 2) Analiza dostępnych narzędzi, wybór istniejącego narzędzia lub decyzja o opracowaniu nowego narzędzia
- 3) Przyjęcie listy składowych cyklu życia (faz cyklu życia) danej klasy/kategorii WOT, przewidzianych do analizy
- 4) Sporządzenie scenariusza/scenariuszy fazy modernizacji, z wyszczególnieniem koniecznych procesów danej klasy/kategorii WOT
- 5) Opracowanie szczegółowego opisu oddziaływań środowiskowych występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT

C. Realizacja procesu ocenowego

- 1) Zebranie danych dotyczących oddziaływań występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT
- 2) Wykonanie obliczeń wymaganych wskaźników
- 3) Ocena otrzymanych wyników

4. Metoda wieloaspektowej oceny efektywności

Zakres metodyki zintegrowanej oceny efektywności EW

A. Określenie zasadniczych ramowych elementów metodyki

- 1) Zdefiniowanie przedmiotu metodyki – klasy/kategorii wielkogabarytowych obiektów technicznych (WOT) objętych modernizacją
- 2) Ustalenie celu oceny efektywności modernizacji danej klasy/kategorii WOT
- 3) Określenie adresata/adresatów rezultatów danej oceny efektywności modernizacji WOT

B. Wybór, adaptacja lub opracowanie narzędzia (metody) do oceny

- 1) Przyjęcie kryteriów akceptacji metody i wskaźników
- 2) Analiza dostępnych narzędzi, wybór istniejącego narzędzia lub decyzja o opracowaniu nowego narzędzia
- 3) Przyjęcie listy składowych cyklu życia (faz cyklu życia) danej klasy/kategorii WOT, przewidzianych do analizy
- 4) Sporządzenie scenariusza/scenariuszy fazy modernizacji, z wyszczególnieniem koniecznych procesów danej klasy/kategorii WOT
- 5) Opracowanie szczegółowego opisu oddziaływań środowiskowych występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT

C. Realizacja procesu ocenowego

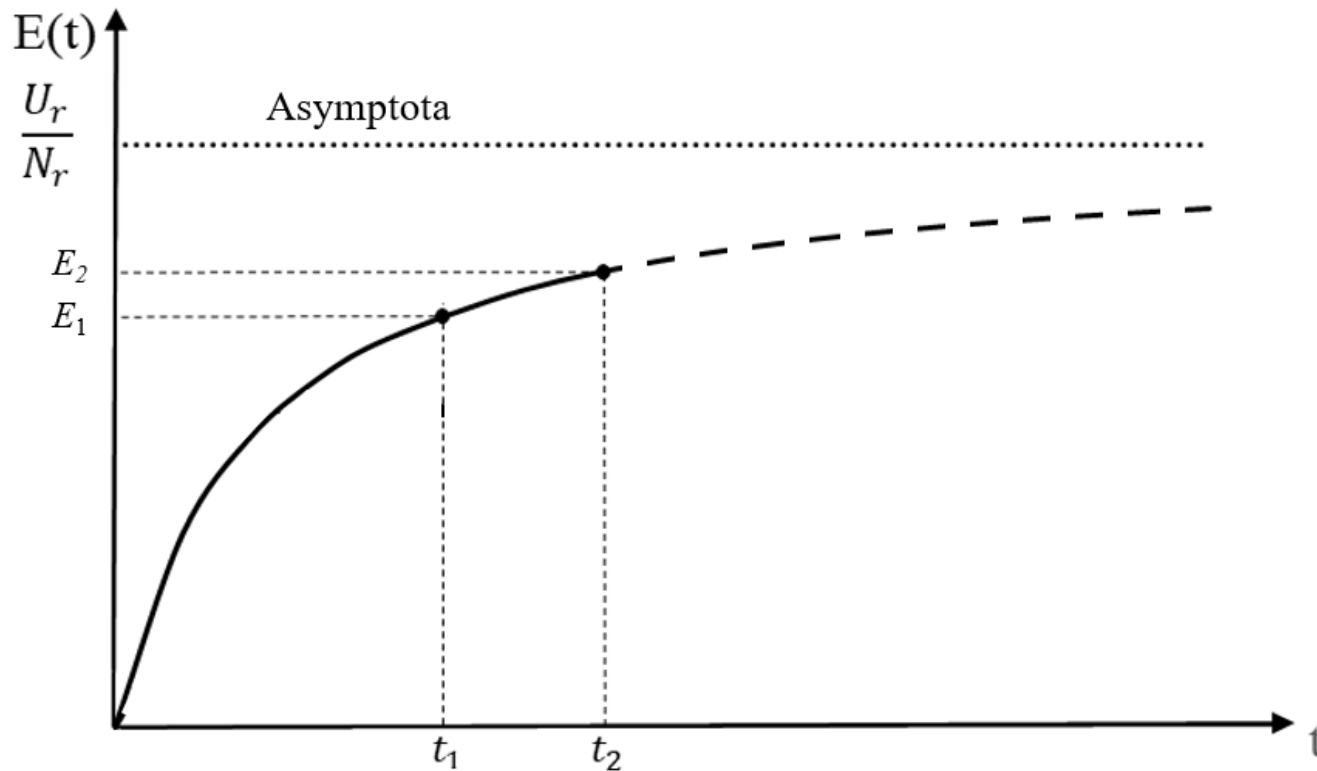
- 1) Zebranie danych dotyczących oddziaływań występujących w analizowanym cyklu życia danej klasy/kategorii WOT
- 2) Wykonanie obliczeń wymaganych wskaźników

GOZ!

D. Analiza końcowa

- 1) Wyprowadzenie wniosków z analizy z uwzględnieniem zwłaszcza potrzeb adresata/adresatów wykonywanej oceny
- 2) Analiza kierunków ewentualnej korekty przyjętych do realizacji procesów z punktu widzenia możliwości poprawy efektów procesów

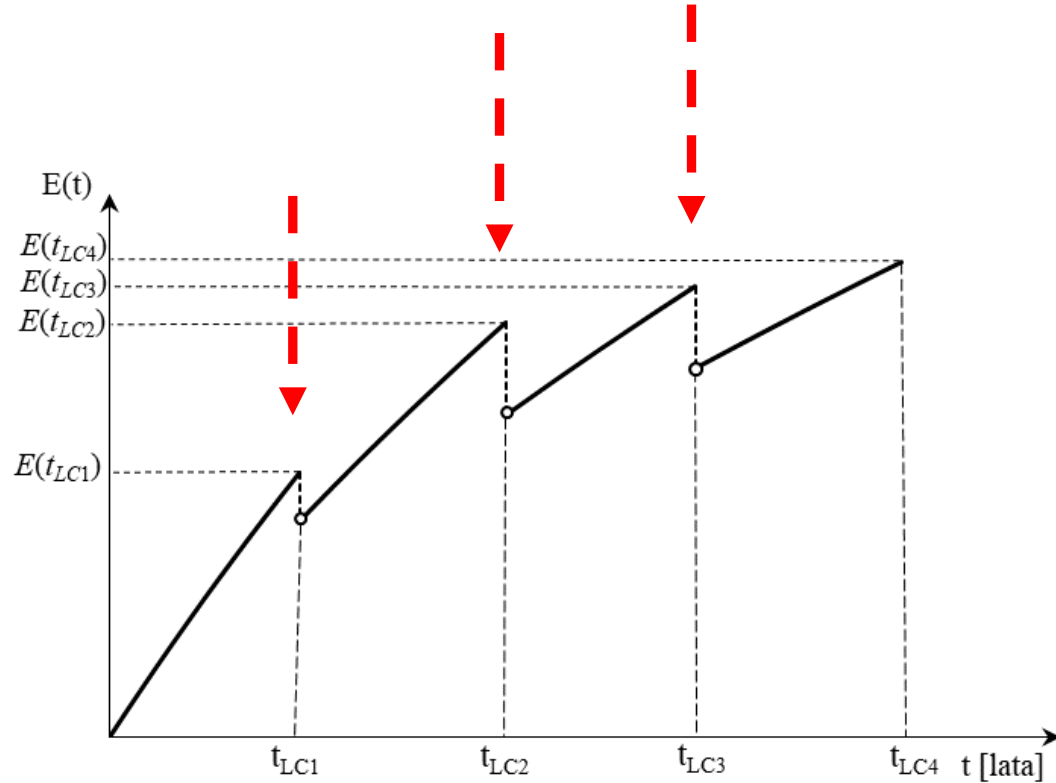
$$E(t) = \frac{U(t)}{N(t)} = \frac{U_r \cdot t}{N_w + N_r \cdot t + N_z}$$



$U(t)$ – korzyści w cyklu życia elektrowni wiatrowej,
 $N(t)$ – nakłady w cyklu życia elektrowni wiatrowej,
 t – czas użytkowania elektrowni wiatrowej,
 U_r – średnioroczne korzyści,
 N_w – nakłady na etapie wytwarzania,
 N_r – średnioroczne nakłady,
 N_z – nakłady na etapie zagospodarowania poużytkowego.

Zintegrowany wskaźnik efektywności w funkcji czasu użytkowania

5. Wskaźniki efektywności



$$E(t) = \begin{cases} \frac{U_r \cdot t}{N_W^1 + N_r \cdot t + N_Z^1} & \text{dla } 0 \leq t \leq t_{LC1} \\ \frac{U_r \cdot t}{(N_W^1 + N_W^2) + N_r \cdot t + (N_Z^1 + N_Z^2)} & \text{dla } t_{LC1} < t \leq t_{LC2} \\ \frac{U_r \cdot t}{(N_W^1 + N_W^2 + N_W^3) + N_r \cdot t + (N_Z^1 + N_Z^2 + N_Z^3)} & \text{dla } t_{LC2} < t \leq t_{LC3} \\ \vdots & \\ \frac{U_r \cdot t}{\sum_{i=1}^{n+1} (N_W^i + N_Z^i) + N_r \cdot t} & \text{dla } t_{LC(n)} < t \leq t_{LC(n+1)} \end{cases}$$

Zintegrowany wskaźnik efektywności w cyklu życia z modernizacjami

1. Czas zwrotu nakładów na modernizację

→ czas T_{Mn} , po którym powraca się do efektywności wykorzystania nakładów sprzed modernizacji:

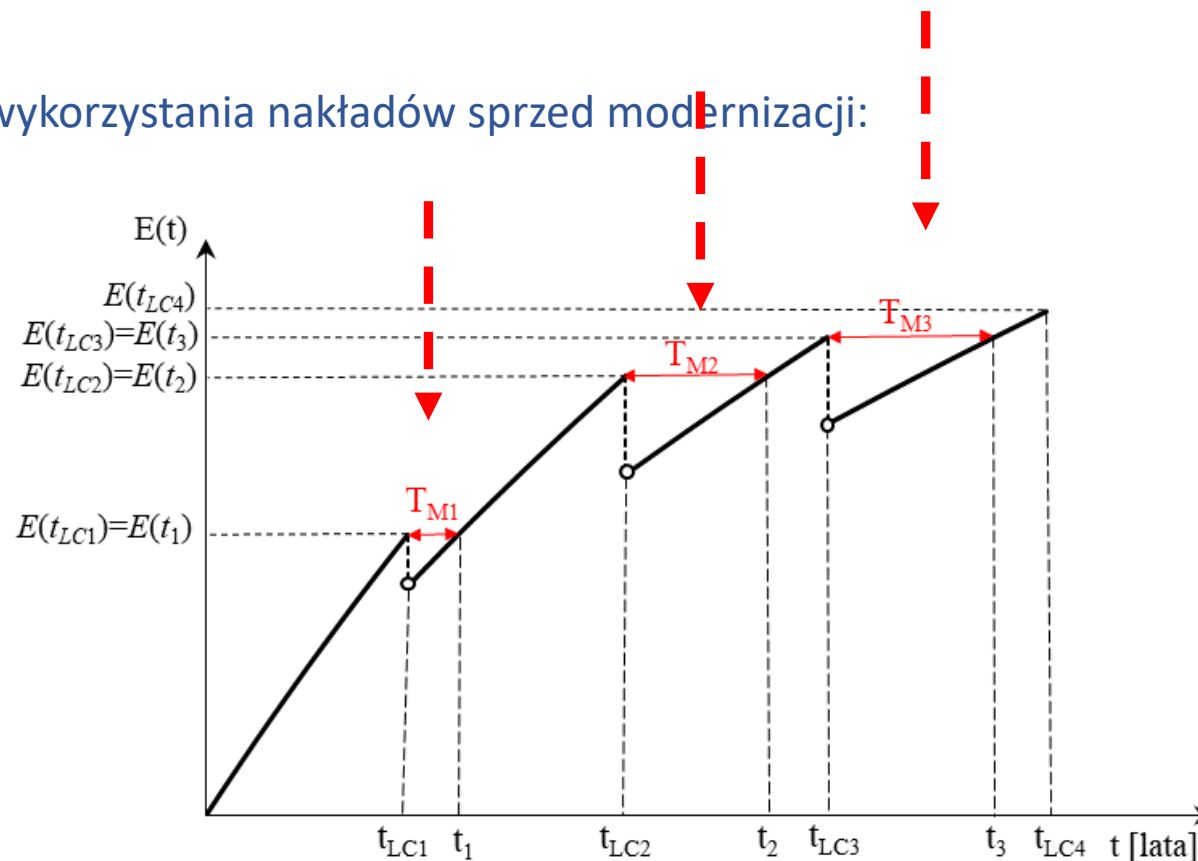
$$T_{Mn} = t_n - t_{LCn}$$

gdzie:

t_n – czas, po którym efektywność po modernizacji
jest równa efektywności z przed modernizacji,
liczony od początku użytkowania,

t_{LCn} – koniec kolejnego etapu procesu użytkowania

$$T_{Mn} = \frac{t_{LCn} (N_W^{n+1} + N_Z^{n+1})}{\sum_{i=1}^n (N_W^i + N_Z^i)}$$



Interpretacja graficzna zintegrowanego wskaźnika efektywności w cyklu życia z zaznaczeniem czasu zwrotu nakładów na modernizację

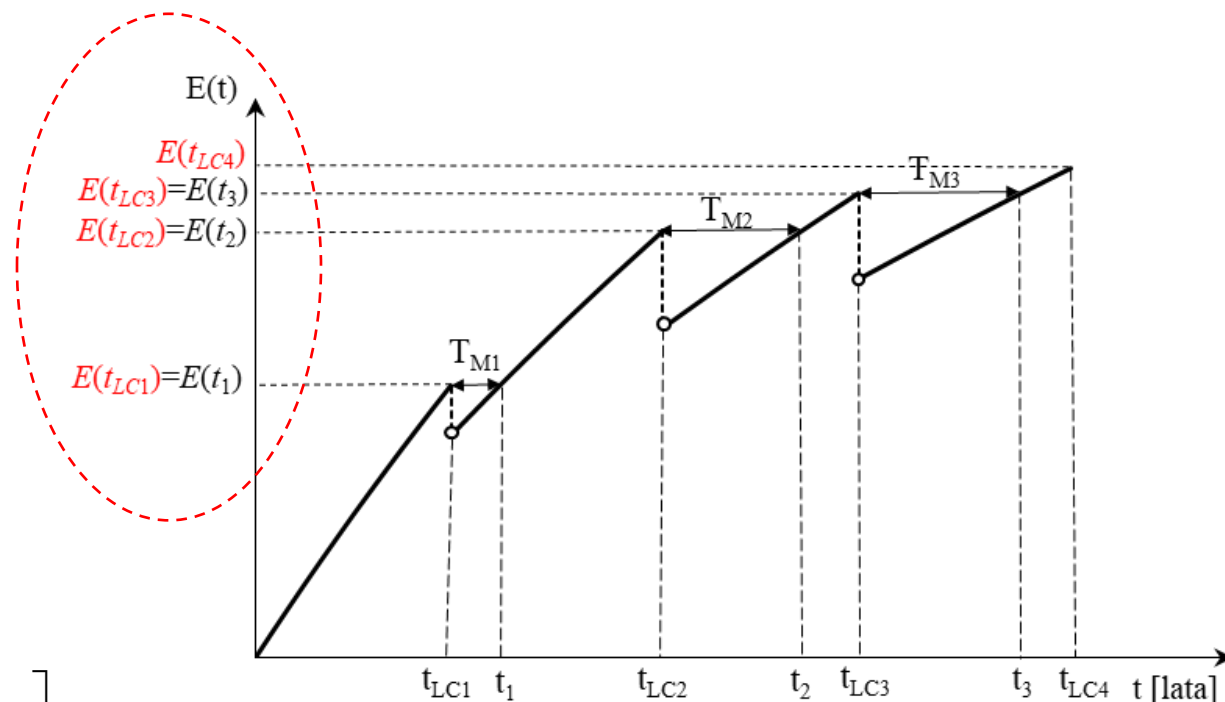
2. Wskaźnik efektywności modernizacji

→ wskaźnik E_M , który wyraża stosunek zintegrowanego wskaźnika efektywności po zakończeniu etapu użytkowania po wykonanej modernizacji $E(t_{LC(n+1)})$ do zintegrowanego wskaźnika efektywności przed rozpoczęciem modernizacji $E(t_{LCn})$:

$$E_{Mn} = \frac{E(t_{LC(n+1)})}{E(t_{LCn})}$$

$$E_{Mn} = \frac{\frac{t_{LC(n+1)} \cdot U_r}{\sum_{i=1}^{n+1} N_W^i + \sum_{i=1}^{n+1} N_Z^i + t_{LC(n+1)} \cdot N_r}}{\frac{t_{LCn} \cdot U_r}{\sum_{i=1}^n N_W^i + \sum_{i=1}^n N_Z^i + t_{LCn} \cdot N_r}} = \frac{t_{LC(n+1)} \left[\sum_{i=1}^n (N_W^i + N_Z^i) - t_{LCn} \cdot N_r \right]}{t_{LCn} \left[\sum_{i=1}^{n+1} (N_W^i + N_Z^i) - t_{LC(n+1)} \cdot N_r \right]}$$

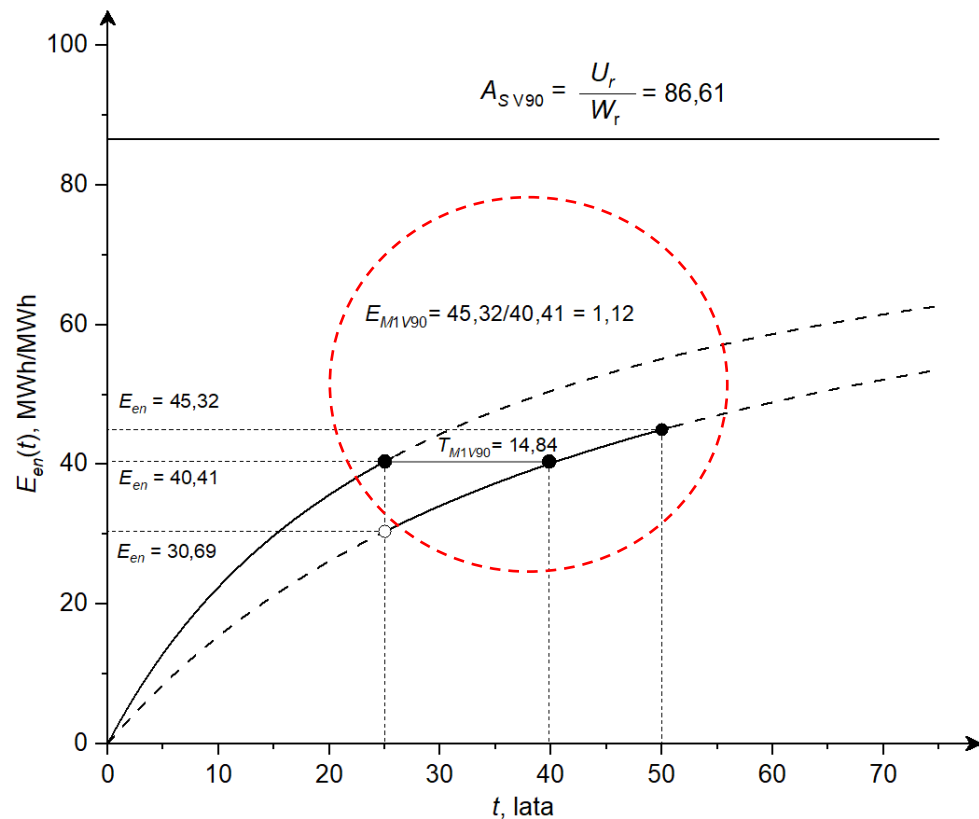
E_{Mn} – efektywność n-tej modernizacji



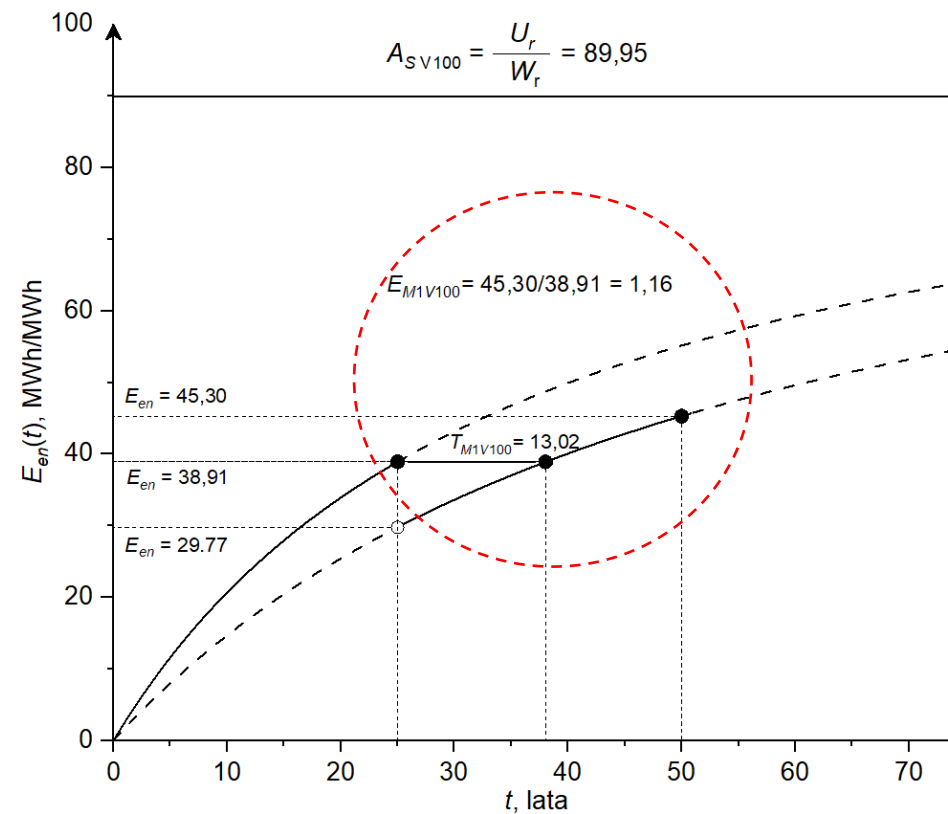
Interpretacja graficzna zintegrowanego wskaźnika efektywności w cyklu życia z zaznaczeniem wielkości do wyznaczenia wskaźnika efektywności zrównoważonej modernizacji

Efektywność energetyczna EW

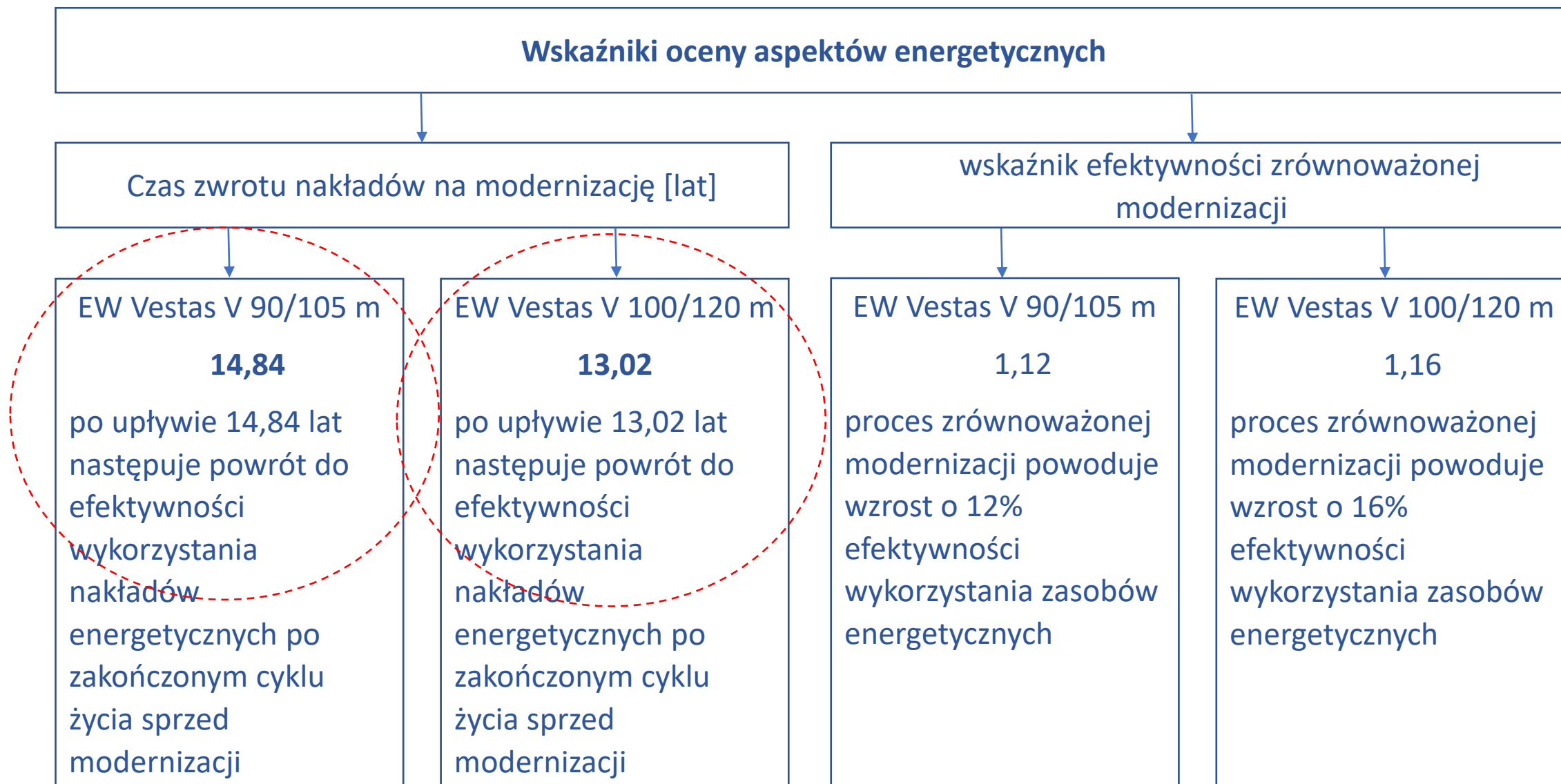
a)

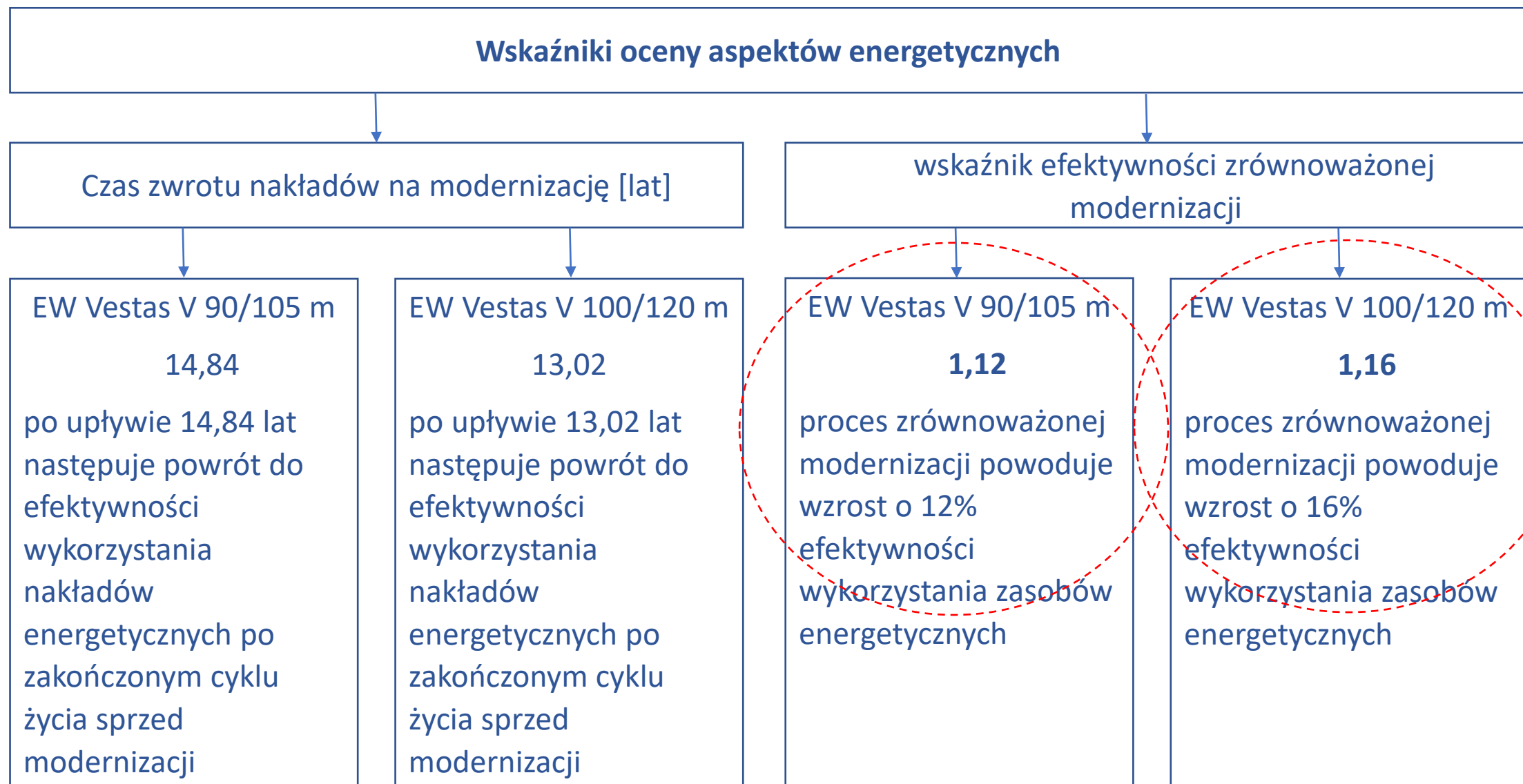


b)



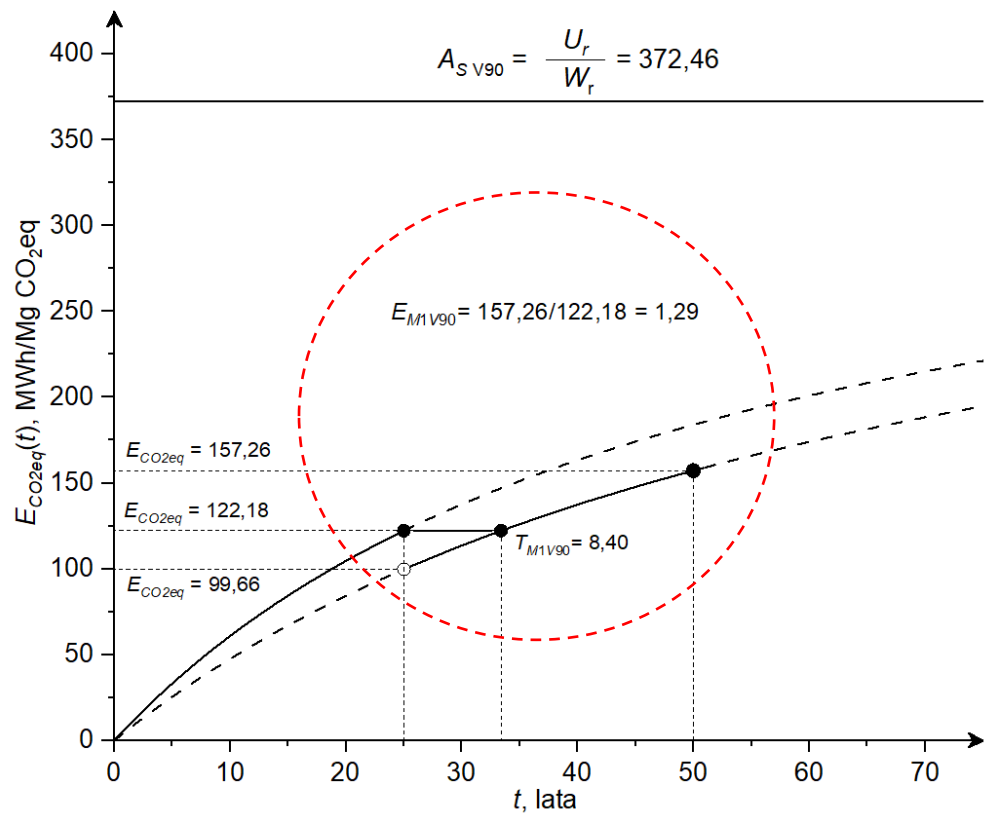
Rys. Interpretacja graficzna zintegrowanego wskaźnika efektywności z nakładów energetycznych z uwzględnieniem wskaźnika efektywności modernizacji oraz czasu zwrotu nakładów na modernizację: a) Vestas v 90, b) Vestas V100.



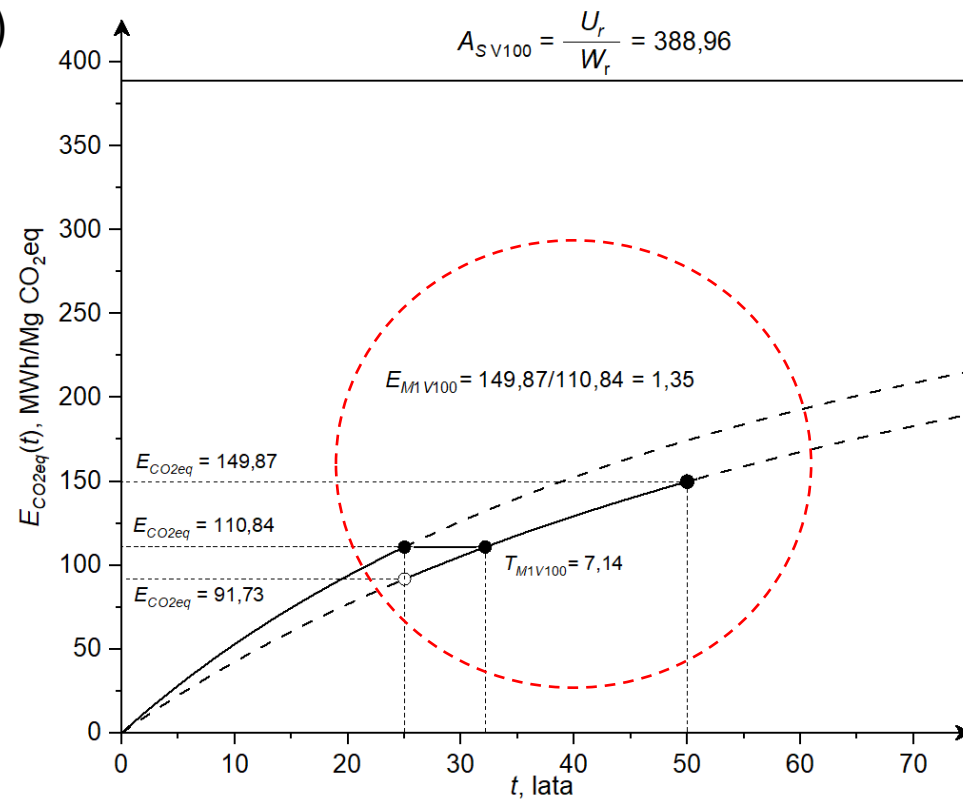


Efektywność z emisji gazów cieplarnianych EW

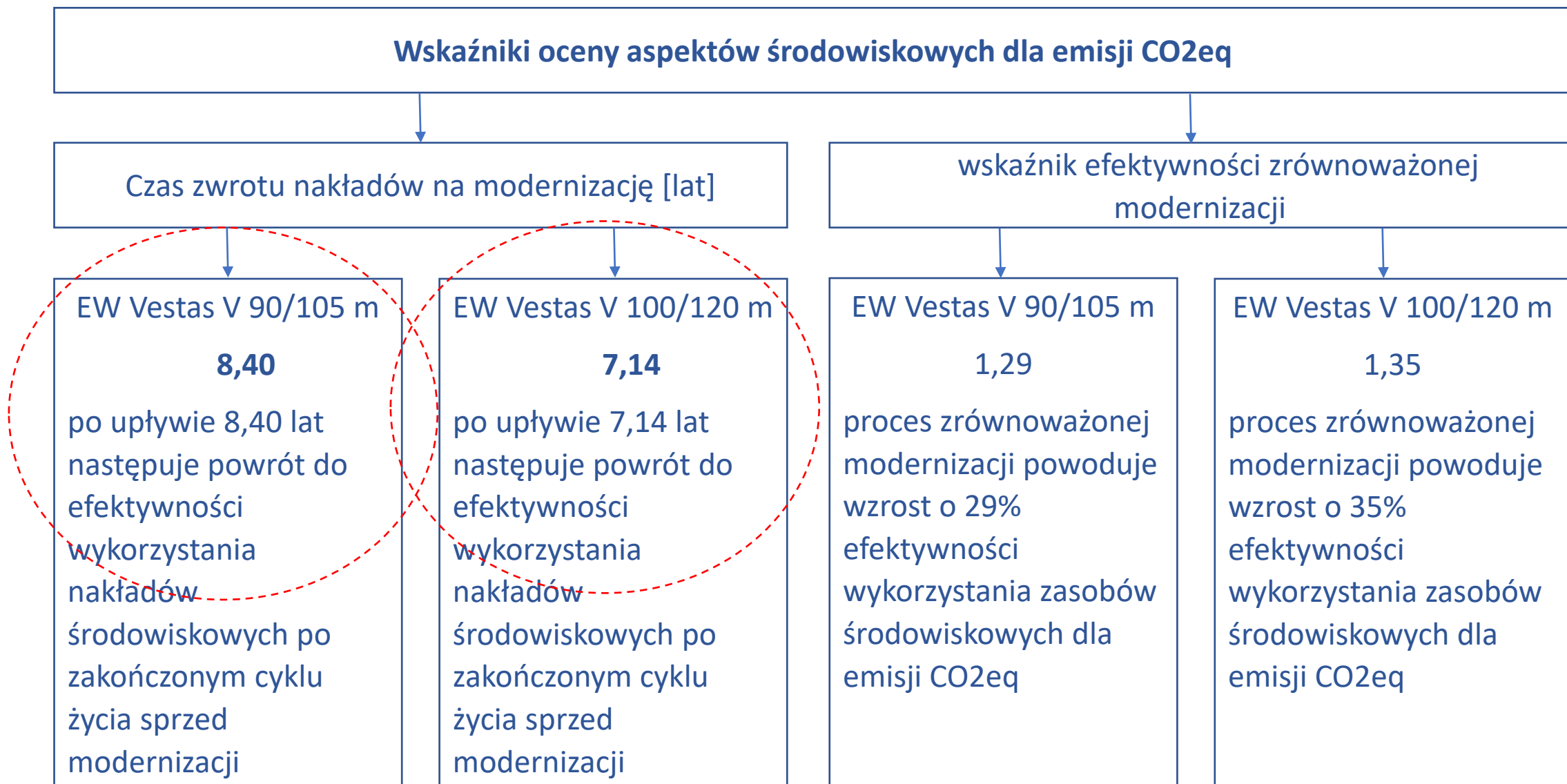
a)

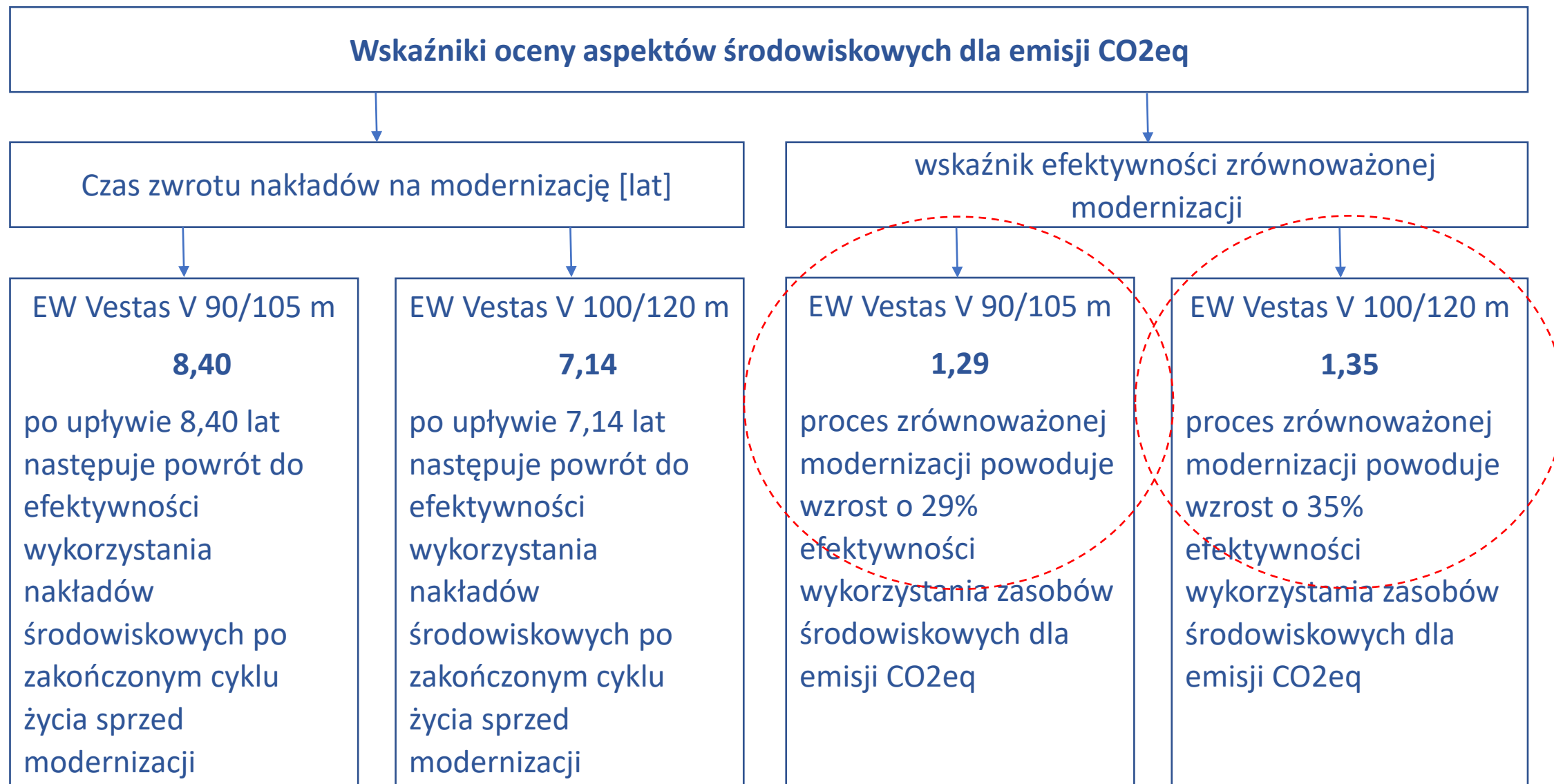


b)

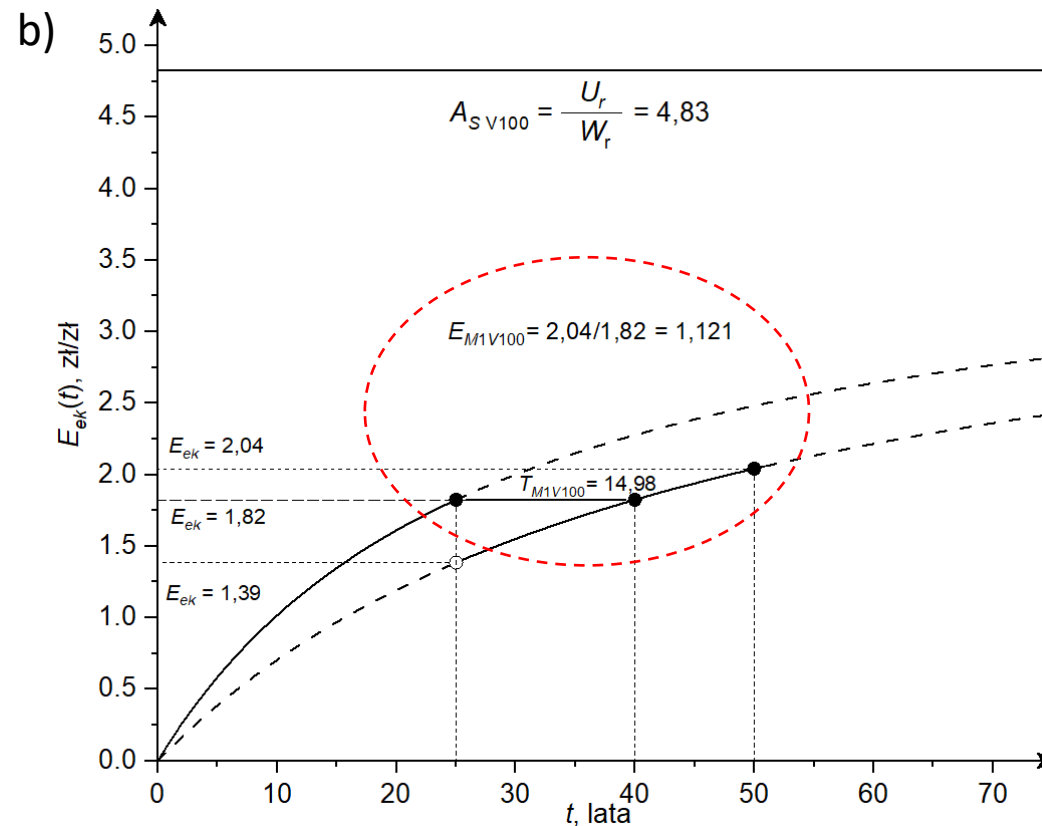
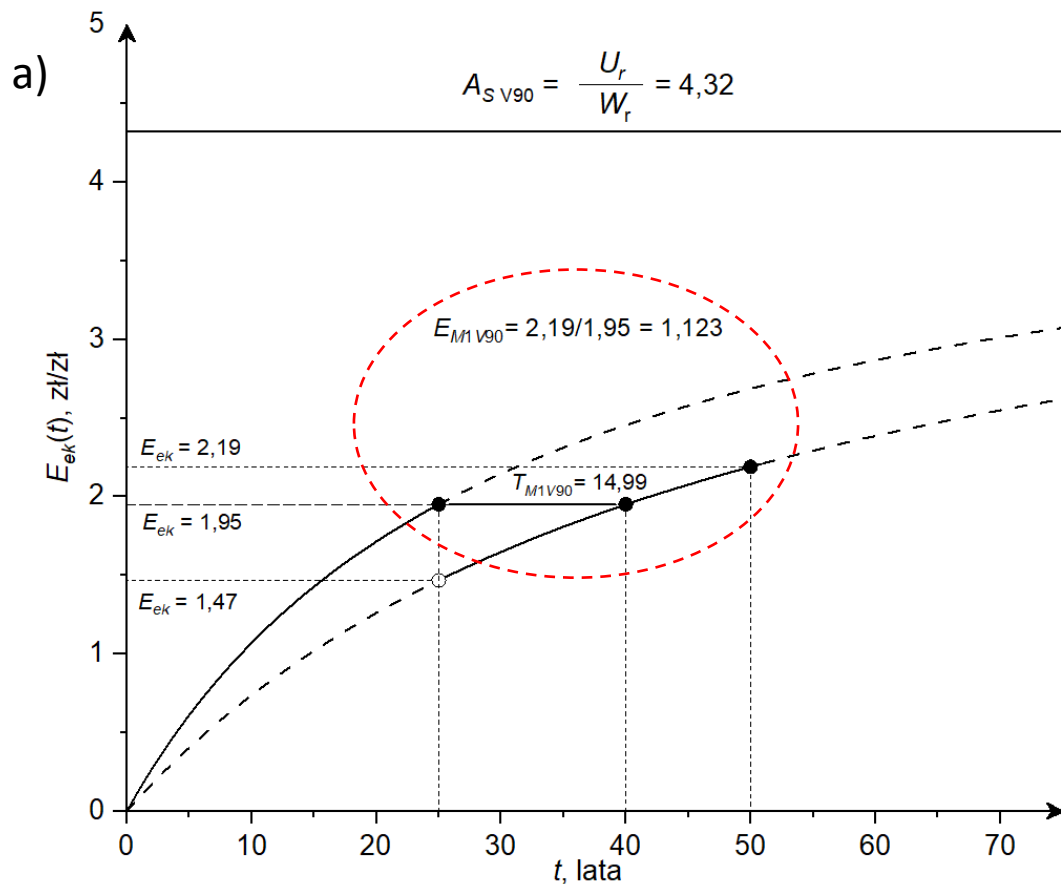


Rys. Interpretacja graficzna zintegrowanego wskaźnika efektywności z emisji gazów cieplarnianych (CO_{2eq}) z uwzględnieniem wskaźnika zrównoważonej modernizacji oraz czasu zwrotu nakładów na modernizację: a) Vestas V90, b) Vestas V 100.

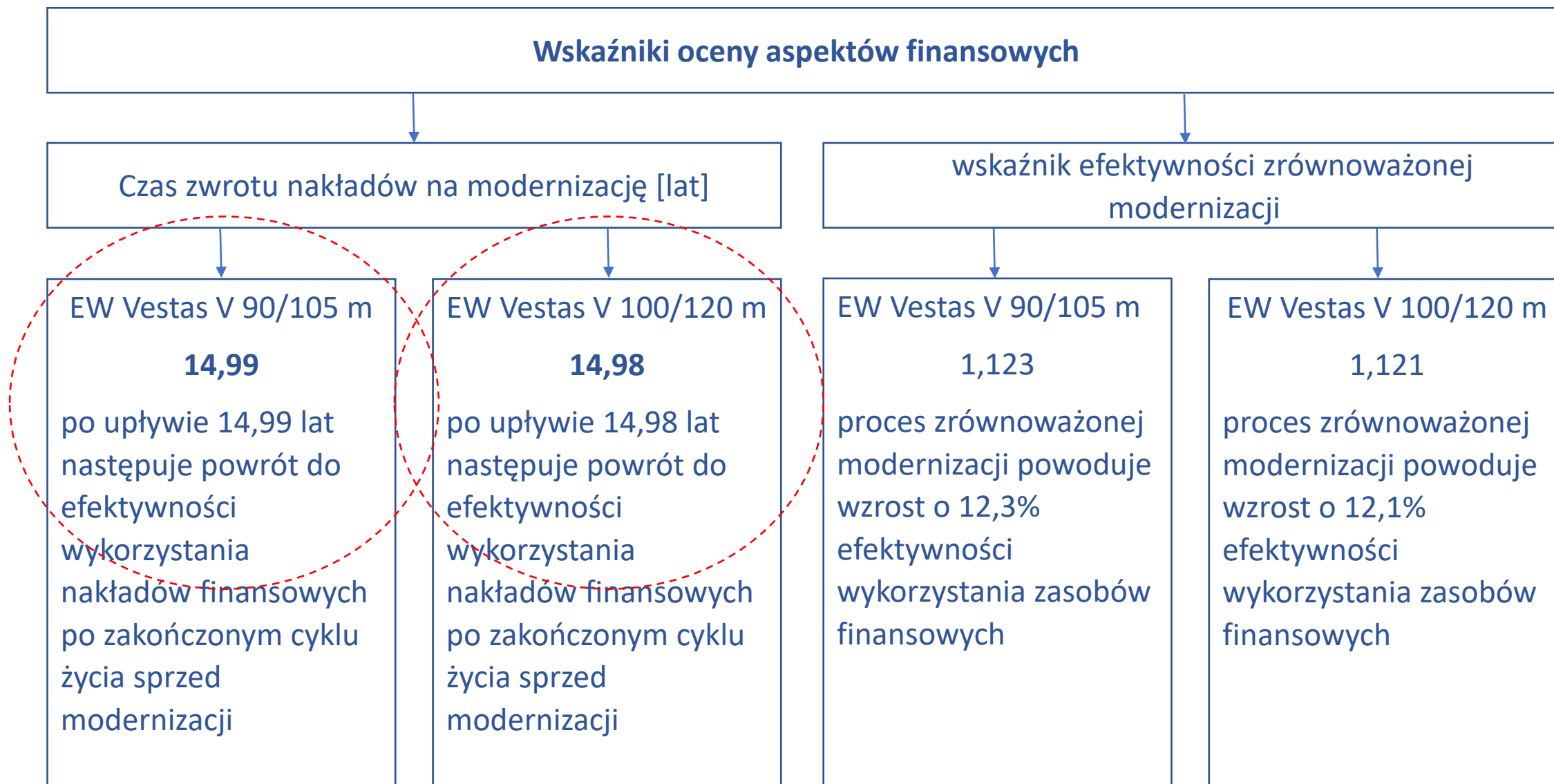


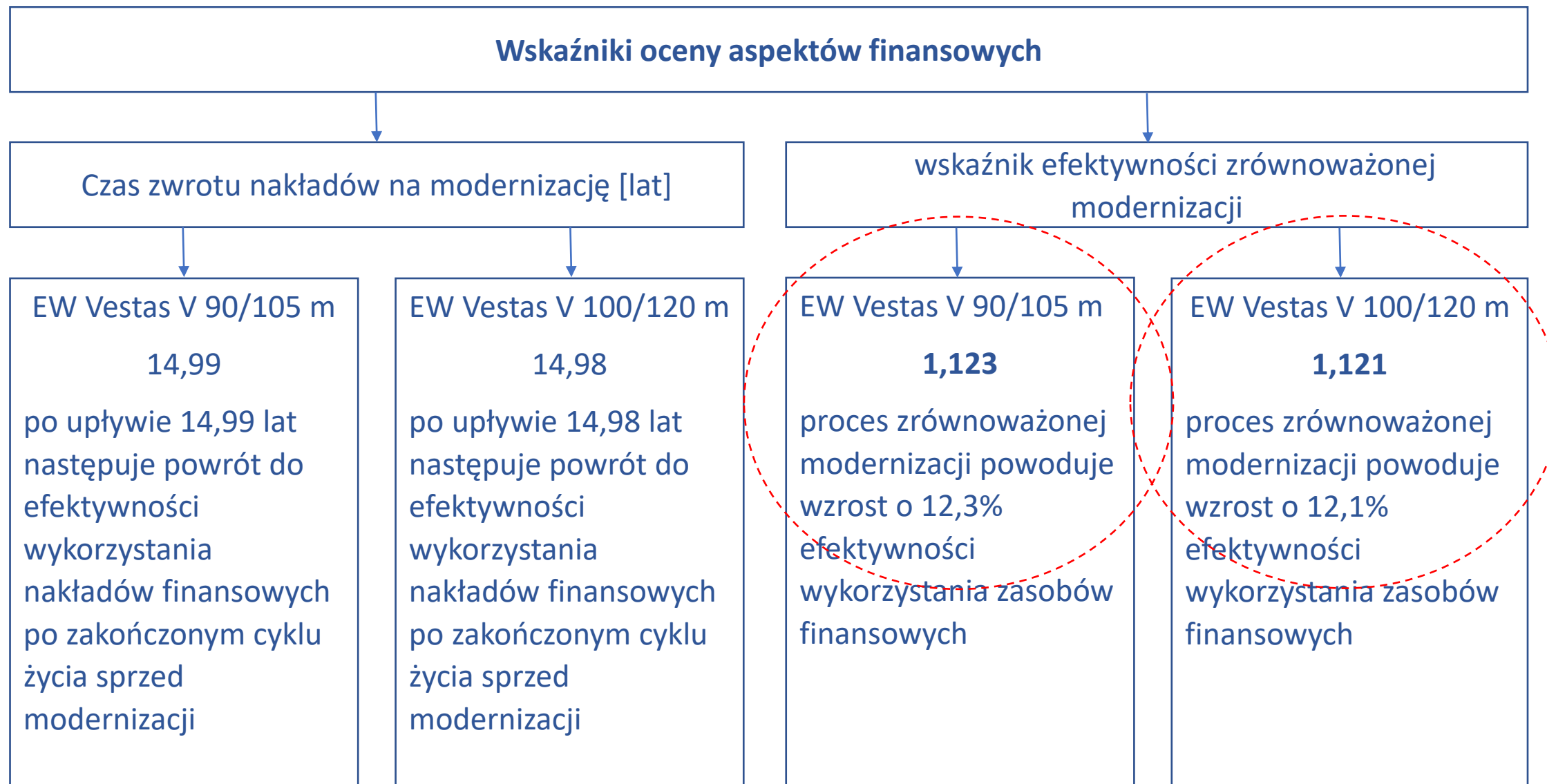


Efektywność z nakładów finansowych EW



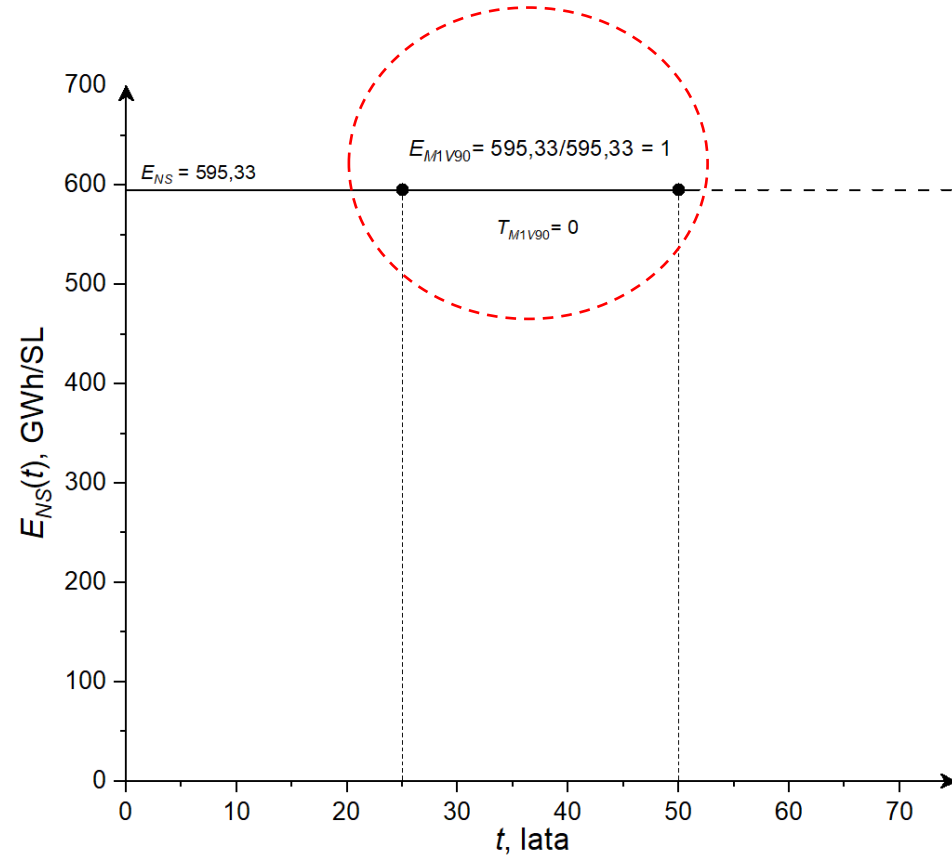
Rys. Interpretacja graficzna zintegrowanego wskaźnika efektywności z nakładów finansowych modernizacji
a) Vestas V90, b) Vestas V100



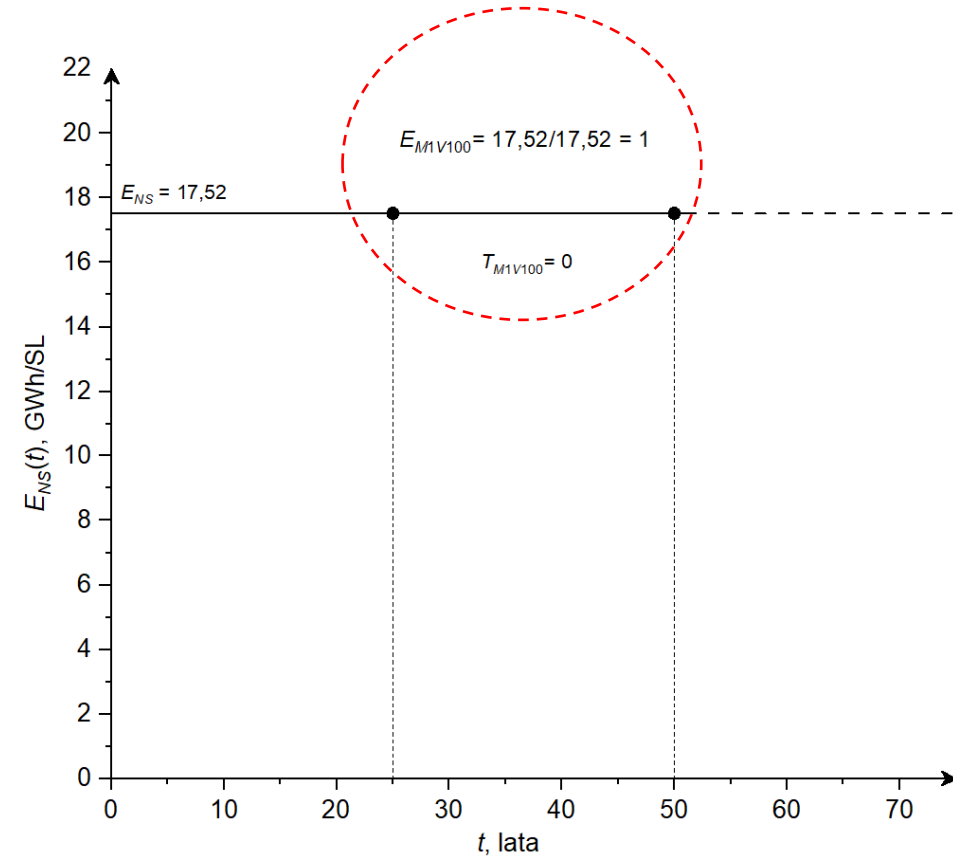


Efektywność z nakładów społecznych EW

a)



b)



Rys. Interpretacja graficzna zintegrowanego wskaźnika efektywności z nakładów społecznych modernizacji:
a) Vestas V90, b) vesrtas V 100

Wskaźniki oceny aspektów społecznych

Czas zwrotu nakładów na modernizację [lat]

wskaźnik efektywności zrównoważonej
modernizacji

EW Vestas V 90/105 m

0

brak zmian
efektywności
wykorzystania
nakładów społecznych

EW Vestas V 100/120 m

0

brak zmian
efektywności
wykorzystania
nakładów społecznych

EW Vestas V 90/105 m

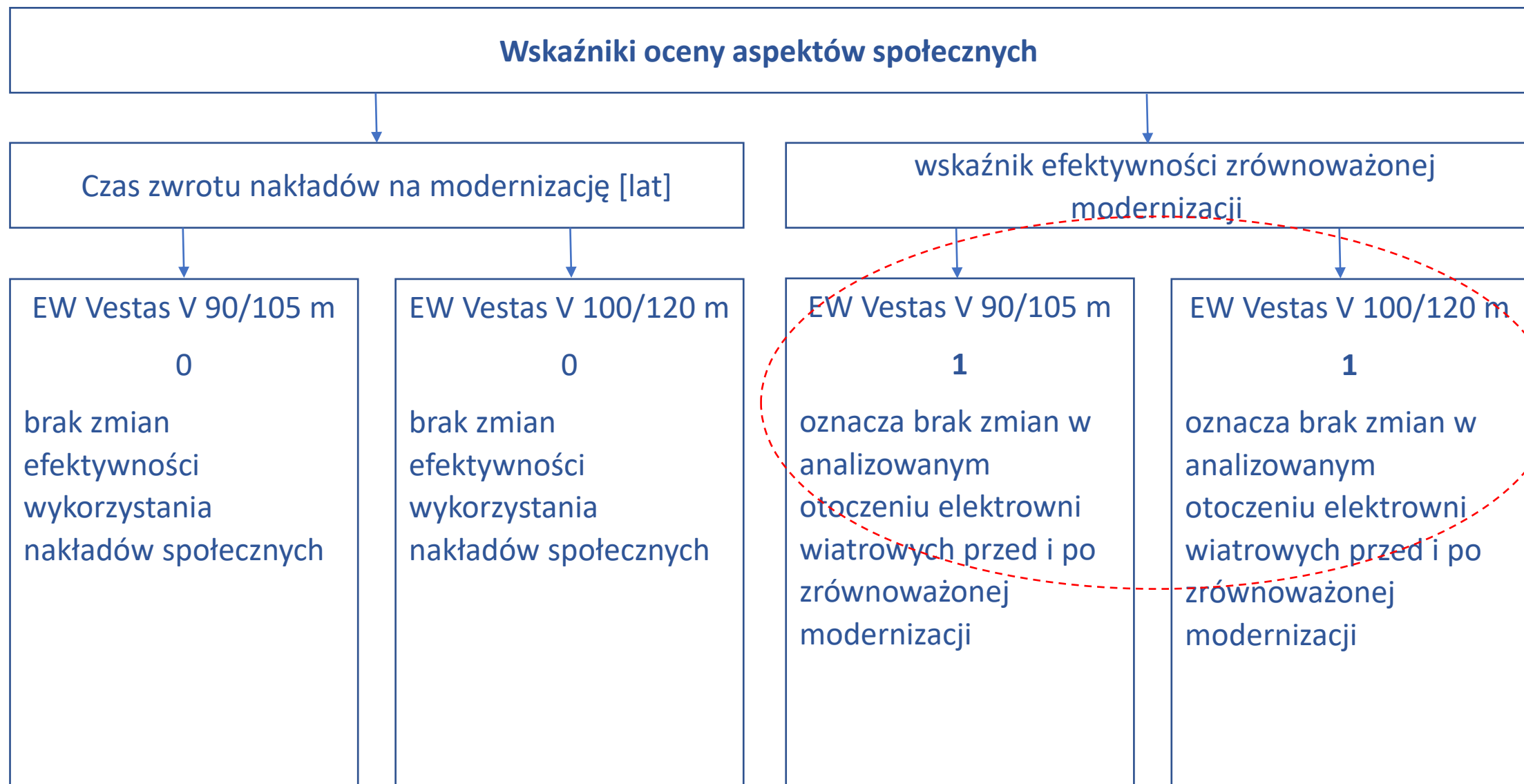
1

oznacza brak zmian w
analizowanym
otoczeniu elektrowni
wiatrowych przed i po
zrównoważonej
modernizacji

EW Vestas V 100/120 m

1

oznacza brak zmian w
analizowanym
otoczeniu elektrowni
wiatrowych przed i po
zrównoważonej
modernizacji



Uogólnienie końcowe:

Zrealizowano:

- opracowano i zweryfikowano metodę zintegrowanej oceny efektywności EW
 - ✓ w procesach cyklu istnienia elektrowni wiatrowych
 - ✓ w standardowym okresie ich użytkowania i poddanych modernizacji

Dokonano:

- stworzono podstawy zintegrowanej oceny efektywności EW,
- osiągnięcie ma charakter naukowy i przemysłowy
- uniwersalny charakter opracowanej metodyki dla wielkogabarytowych złożonych obiektów technicznych