



# Zintegrowana analiza cyklu życia w mostownictwie

**Tomasz SIWOWSKI**

Zakład Dróg i Mostów  
Politechnika Rzeszowska



## Filozofia zrównoważonego rozwoju

- **efektywność ekonomiczna** - zysk dla zbiorowości, uwzględniający koszty społeczne i środowiskowe;
- **troska o środowisko** - ochrona naturalnych nieodnawialnych zasobów, zminimalizowanie negatywnego oddziaływania na otoczenie;
- **równowaga społeczna** - tworzenie nowych miejsc pracy i aktywne działania w celu podnoszenia jakości życia;



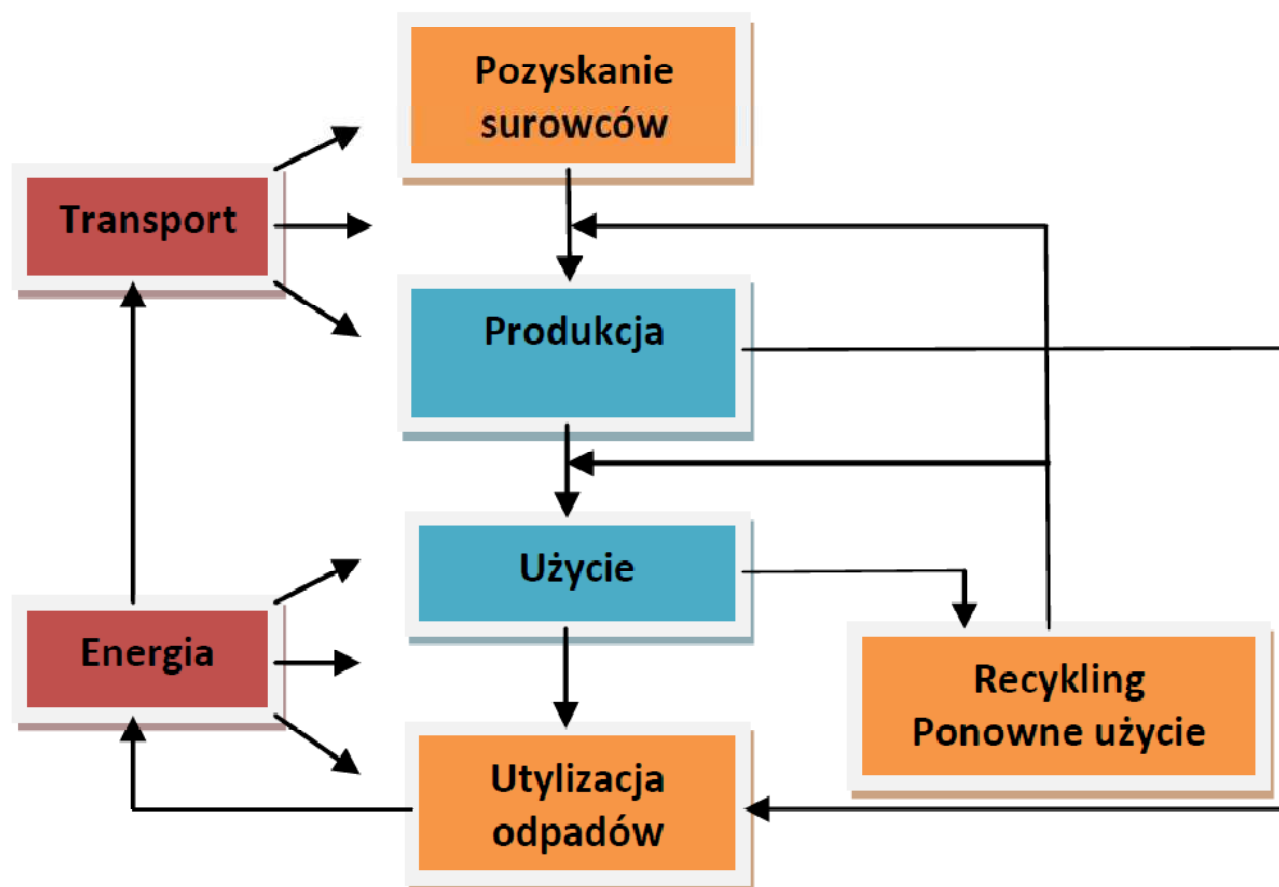
# Podstawowe filary i zależności zrównoważonego rozwoju



Ocena stosowania filozofii zrównoważonego rozwoju **w praktyce** opiera się na wiedzy, jakiej dostarcza **zintegrowana analiza cyklu życia** produktu/technologii/procesu, biorąca pod uwagę aspekty środowiskowe, ekonomiczne i społeczne.



# Główne fazy cyklu życia





## Zintegrowana analiza cyklu życia

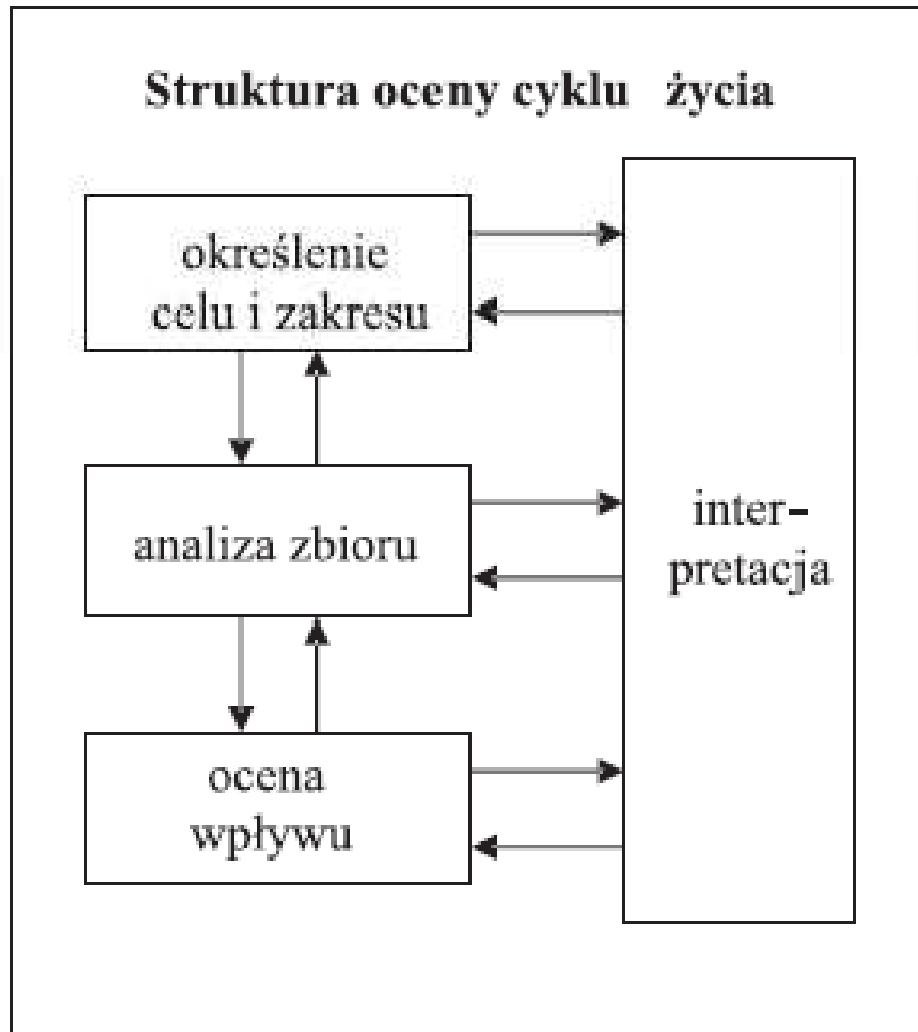
- **ekonomiczna** ocena cyklu życia (**LCCA**, ang. *Life Cycle Cost Analysis*);
- **środowiskowa** ocena cyklu życia (**LCA**, ang. *Life Cycle Assessment*);
- **społeczna** ocena cyklu życia (**LCSA**, ang. *Life Cycle Social Analysis*).

**Zintegrowane** wyniki wszystkich trzech analiz służą do **oceny stopnia wdrożenia** zasad zrównoważonego rozwoju przez **porównywane warianty** materiałowe, konstrukcyjne lub technologiczne.



# Metodyka analizy LCA

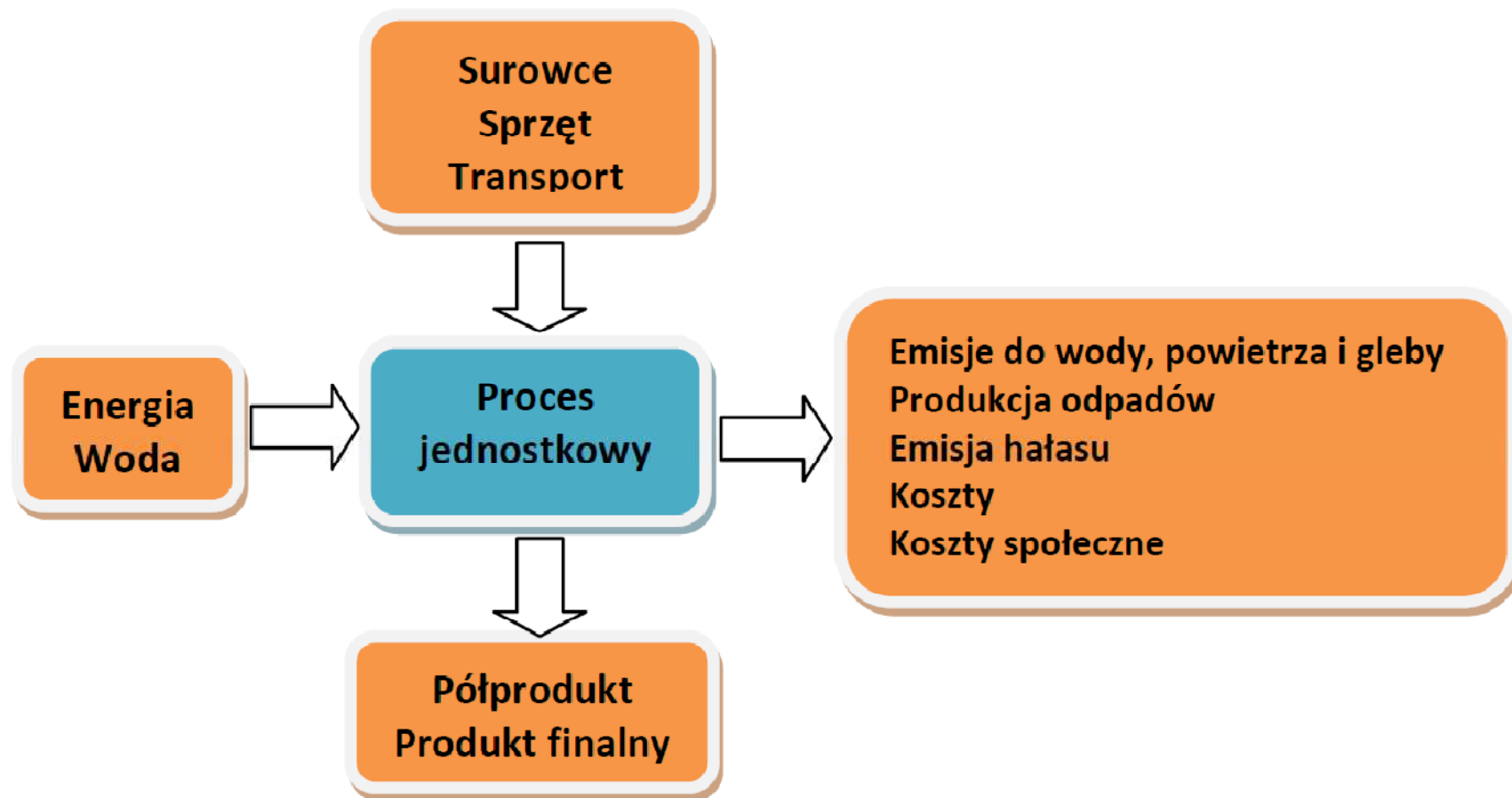
(wg serii norm **PN-EN ISO 14040** Zarządzanie środowiskowe)



1. Określenie **celu i zakresu** analizy.
2. Analiza **zbioru** wejść i wyjść (*LCI*).
3. Ocena **wpływu** cyklu życia (*LCIA*).
4. Interpretacja **wyników** analizy.



# Schemat procesu jednostkowego w analizie **LCA**







## Przykłady kategorii wpływu w analizie **LCA**

Kategoria wpływu	Odpowiednie dane LCI (klasyfikacja)	Wskaźnik kategorii	Opis wskaźnika kategorii
<b>Globalne ocieplenie</b>	dwutlenek węgla (CO <sub>2</sub> ) dwutlenek azotu (NO <sub>2</sub> ) metan (CH <sub>4</sub> ) freony (CFC, HCFC) bromek metylu (CH <sub>3</sub> Br)	potencjał globalnego ocieplenia	ekwiwalent dwutlenku węgla (CO <sub>2</sub> )
<b>Zubożenie warstwy ozonowej</b>	freony (CFC, HCFC) halony bromek metylu (CH <sub>3</sub> Br)	potencjał zubożenia warstwy ozonowej	ekwiwalent tróhchlorofluorometanu (CFC-11)
<b>Zakwaszenie</b>	tlenki siarki (SO <sub>x</sub> ) tlenki azotu (NO <sub>x</sub> ) kwas solny (HCl) fluorowodur (HF) amoniak (NH <sub>4</sub> )	potencjał zakwaszenia	ekwiwalent jonów wodorowych H <sup>+</sup>
<b>Zubożenie zasobów naturalnych</b>	ilość zużytych minerałów, ilość zużytych paliw kopalnych,	potencjał zubożenia zasobów naturalnych	stosunek ilości zużytych zasobów do ilości zasobów pozostawionych
<b>Zużycie powierzchni terenu</b>	ilość deponowanych odpadów na składowisku	odpady	przeliczenie masy odpadów na objętość przy użyciu oszacowanej gęstości odpadów



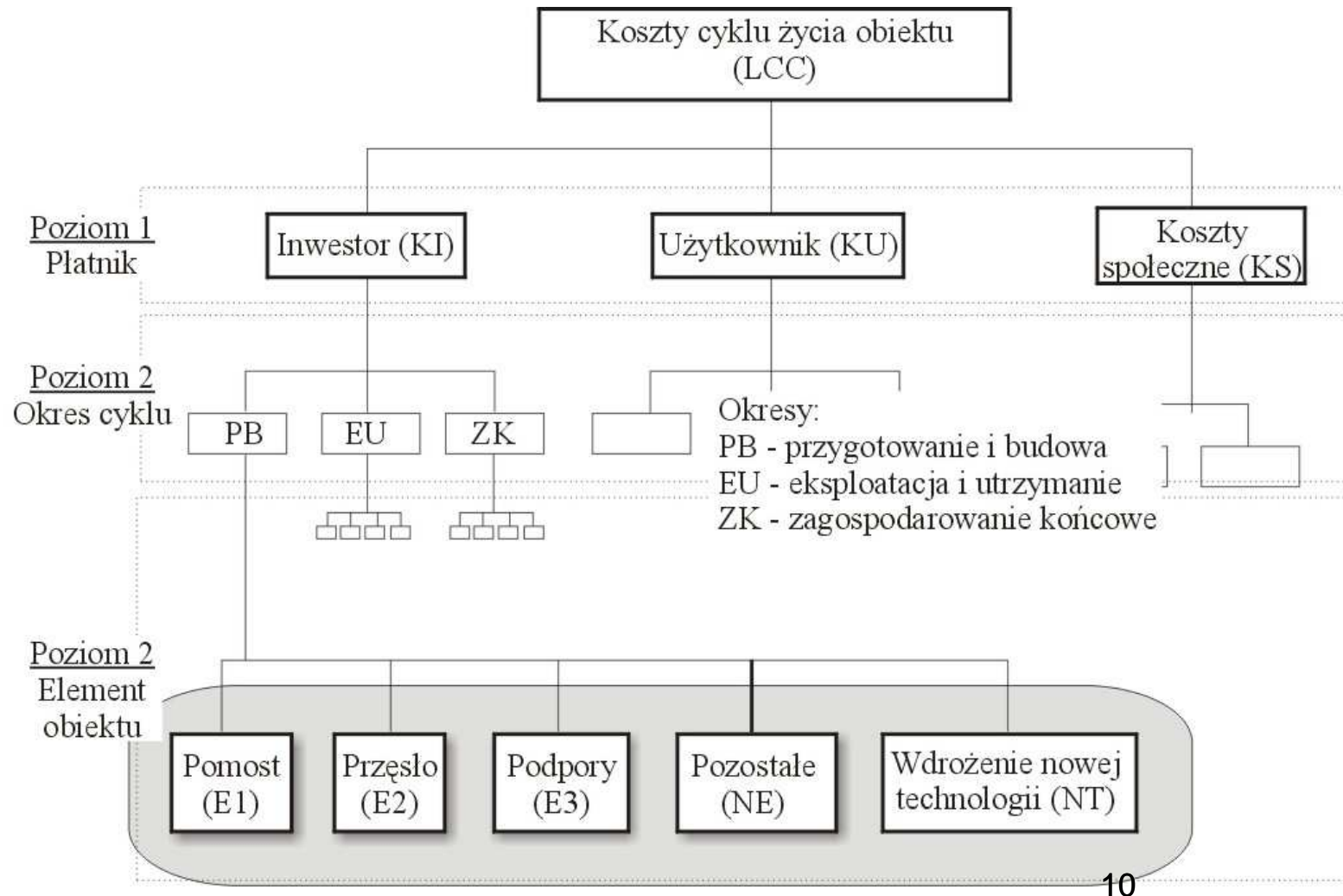


# Typowa analiza **LCCA** projektów infrastrukturalnych

- zdefiniowanie różnych **wariantów** technicznych;
- zdefiniowanie głównych **parametrów ekonomicznych**: okresu analizy (cyklu życia), stopy dyskontowej, wskaźnika inflacji;
- ustalenie terminów głównych działań w cyklu życia (tzw. **strategia utrzymaniowa**);
- **oszacowanie kosztów** generowanych przez poszczególne działania w cyklu życia;
- obliczenie **kosztów całkowitych** w cyklu życia;
- wybór **rodzaju analizy LCCA**: deterministycznej lub probabilistycznej;
- **analiza wrażliwości** dla uzyskanego wyniku;
- analiza wyników końcowych i **wnioski**.



# Podział kosztów cyklu życia w analizie **LCCA**





## Koszty inwestora

- Budowa
- Bieżące utrzymanie
- Remonty częściowe
- Naprawa, wymiana, modernizacja, przebudowa
- Przeglądy
- Rozbiórka
- Produkcja, składowanie, utylizacja odpadów
- Recykling
- Administracja i zarządzanie



## **Koszty użytkownika**

- Eksploatacja pojazdów
- Czas pracy kierowców
- Czas pasażerów
- Czas pracy w transporcie (opóźnienia)
- Wypadki drogowe

## **Koszty społeczne**

- Emisja toksycznych składników spalin
- Hałas drogowy



## Aspekty społeczne uwzględniane w analizach **LCSA**

Wpływ na użytkowników ( <i>users</i> )	Wpływ na „stronę trzecią”, tj. społeczeństwo ( <i>third party</i> )
Opóźnienia w podróży Dodatkowe zużycie paliwa Dodatkowe koszty utrzymania pojazdów Koszty wypadków drogowych Wpływy dynamiczne Bezpieczeństwo użytkowników Komfort użytkowników	Koszty wypadków drogowych Hałas drogowy Zanieczyszczenie powietrza Zmiany klimatyczne Zaangażowanie społeczne Różnorodność biologiczna ludzi Integracja ze społecznością Efekt bariery (izolacji) Wpływ wizualny (estetyka) Poszanowanie lokalnych zwyczajów Stworzenie miejsc pracy Wartość historyczna Udogodnienia w życiu codziennym Aspekty zdrowotne



## Zintegrowana (holistyczna) analiza cyklu życia

$$Score_j = \left[ \left( EnvW_t * \frac{EnvS_j}{\sum_j^n EnvS_j} \right) + \left( EconW_t * \frac{LCC_j}{\sum_j^n LCC_j} \right) \right] * 100$$

- $Score_j$  - ogólny wynik dla alternatywy  $j$ ;
- $EnvW_t$ ,  $EconW_t$  – wagi ważności odpowiednio dla względów środowiska i ekonomii;
- $EnvS_j$  – wynik analizy  $LCA$  dla alternatywy  $j$ ;
- $LCC_j$  – wynik analizy  $LCCA$  dla alternatywy  $j$ .



## Obszary zastosowań analiz cyklu życia w obszarze **budownictwa mostowego**

- Wybór **wariantu budowy** (przebudowy, modernizacji) nowego obiektu.
- Wybór najkorzystniejszej **strategii utrzymaniowej**.
- Ocena nowych (**innowacyjnych**) materiałów, technologii i rozwiązań konstrukcyjnych.





## Przykład zintegrowanej analizy cyklu życia: **modernizacja mostu kratowego przez Wisłę**



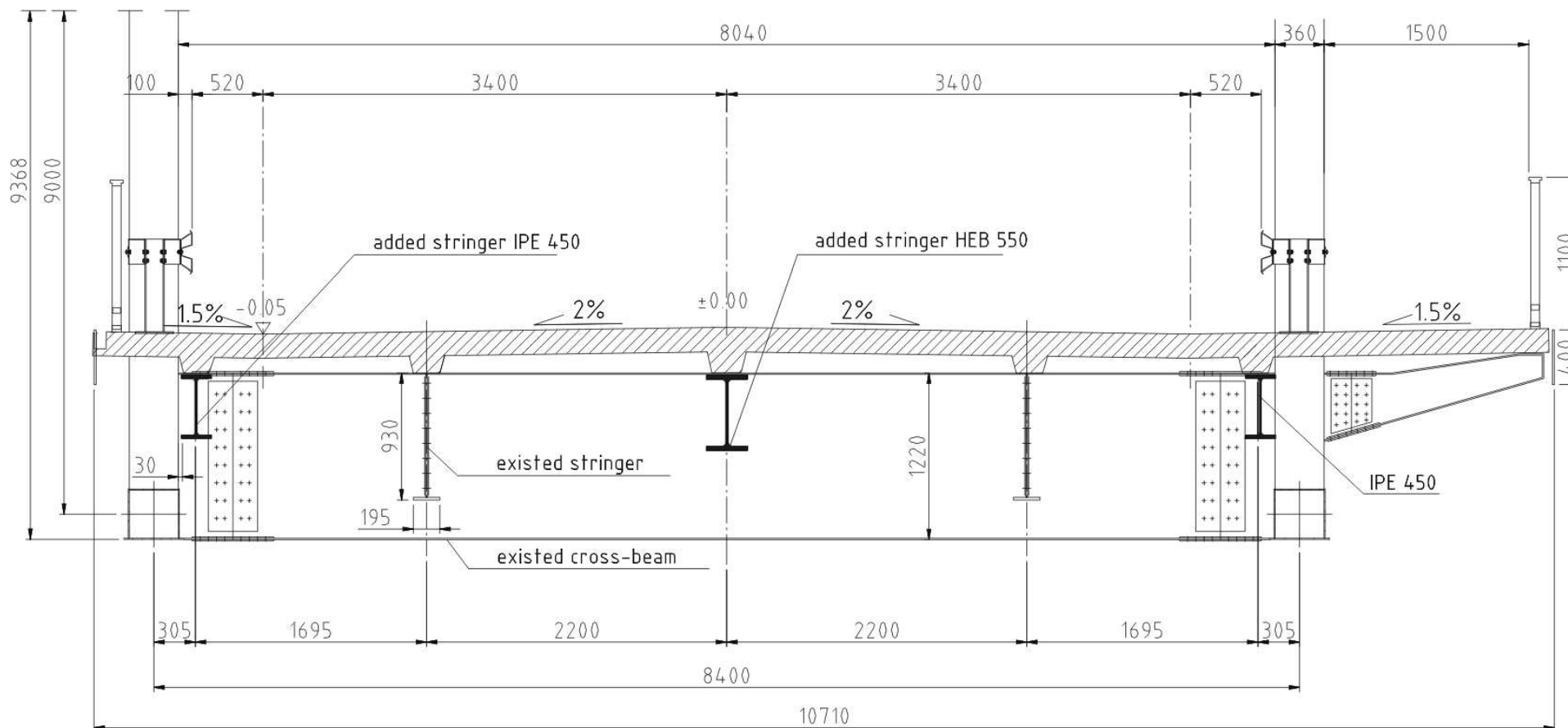


## Podstawowy element modernizacji: wymiana żelbetowej płyty pomostu





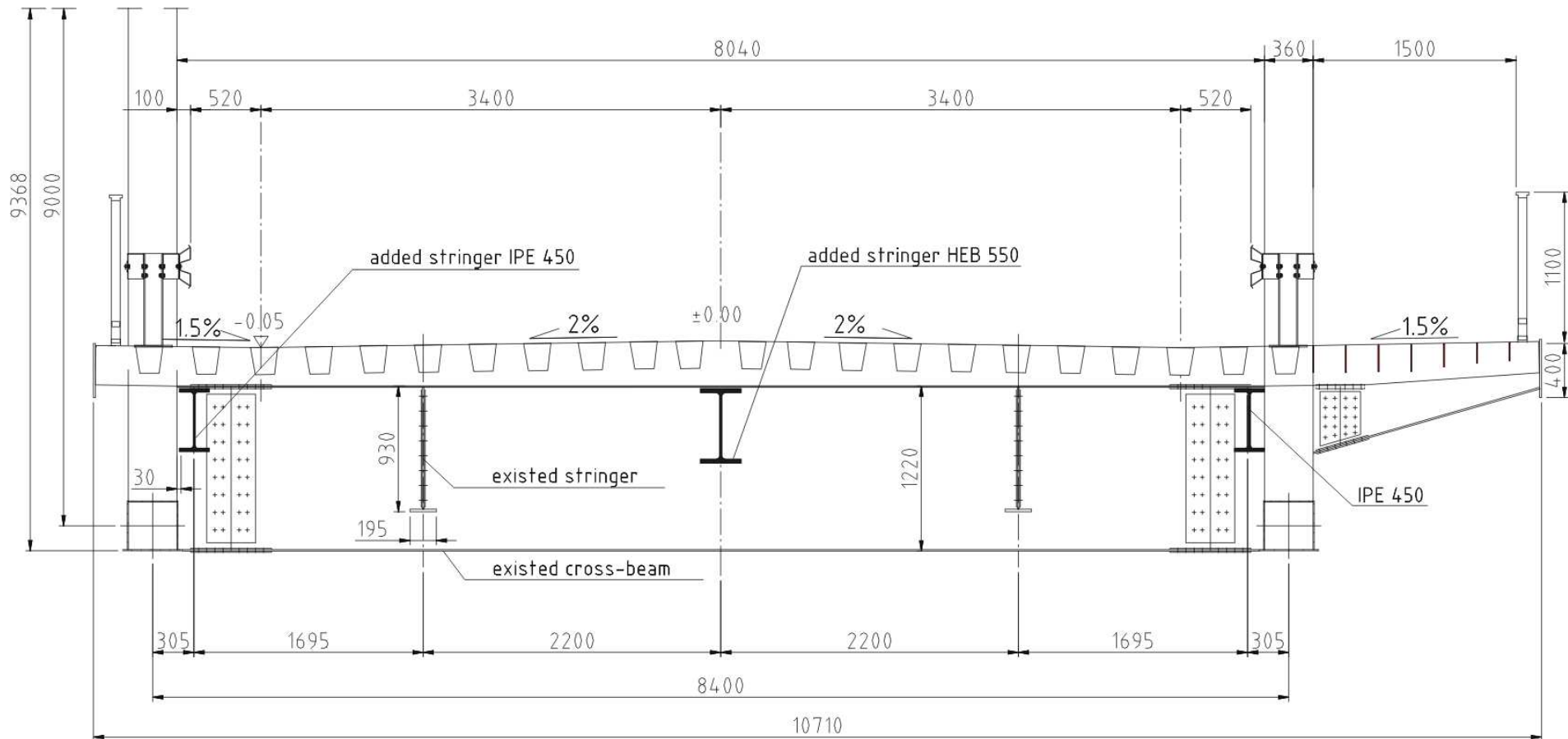
## Wariant nr 1: płyta żelbetowa





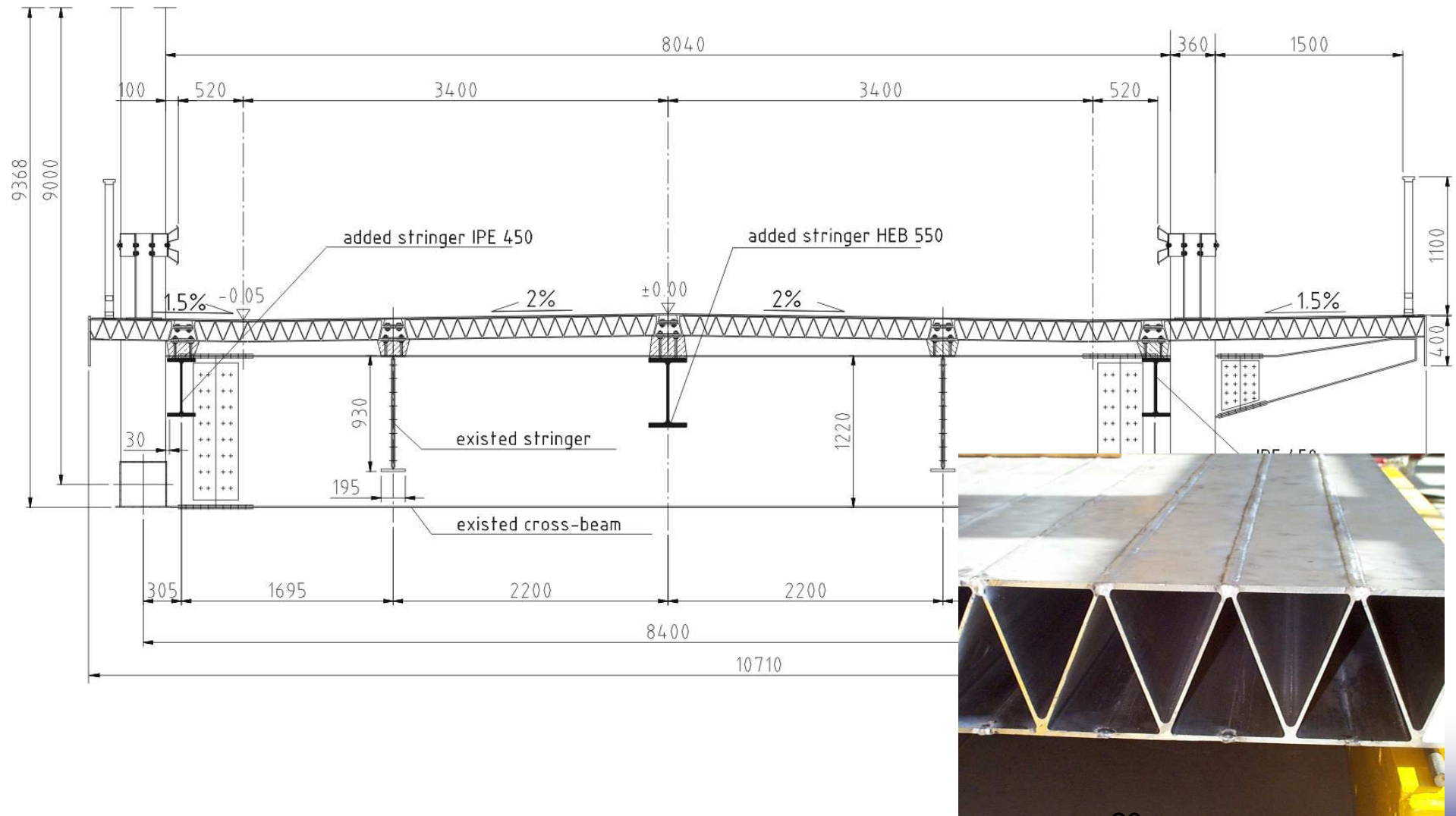


## Wariant nr 2: **pomost stalowy**





## Wariant nr 3: **pomost aluminiowy**





# Charakterystyka **wariantów** modernizacji pomostu

Charakterystyka plyty pomostu	Wariant modernizacji		
	1	2	3
Rodzaj	Płyta żelbetowa, monolityczna	Płyta stalowa, panele ortotropowe	Płyta aluminiowa, panele z profili
Material	Beton zwykły B-40	Stal konstrukcyjna S420	Stop aluminium 6005A
Masa [kg/m <sup>2</sup> ]	525	151	83
Grubość [mm]	210	12	167
Wyposażenie	Odwodnienie standardowe, izolacja typu SBS, nawierzchnia BA, 90 mm	Odwodnienie indywidualne, izolacja natryskowa, nawierzchnia BA, 90 mm	Odwodnienie indywidualne, nawierzchnio – izolacja żywiczna o grubości 10 mm
Zabezpieczenie antykorozyjne	Standardowa powłoka PCC	Metalizacja, standardowy zestaw farb	Nie wymagane
Trwałość [lat]	30	60	60



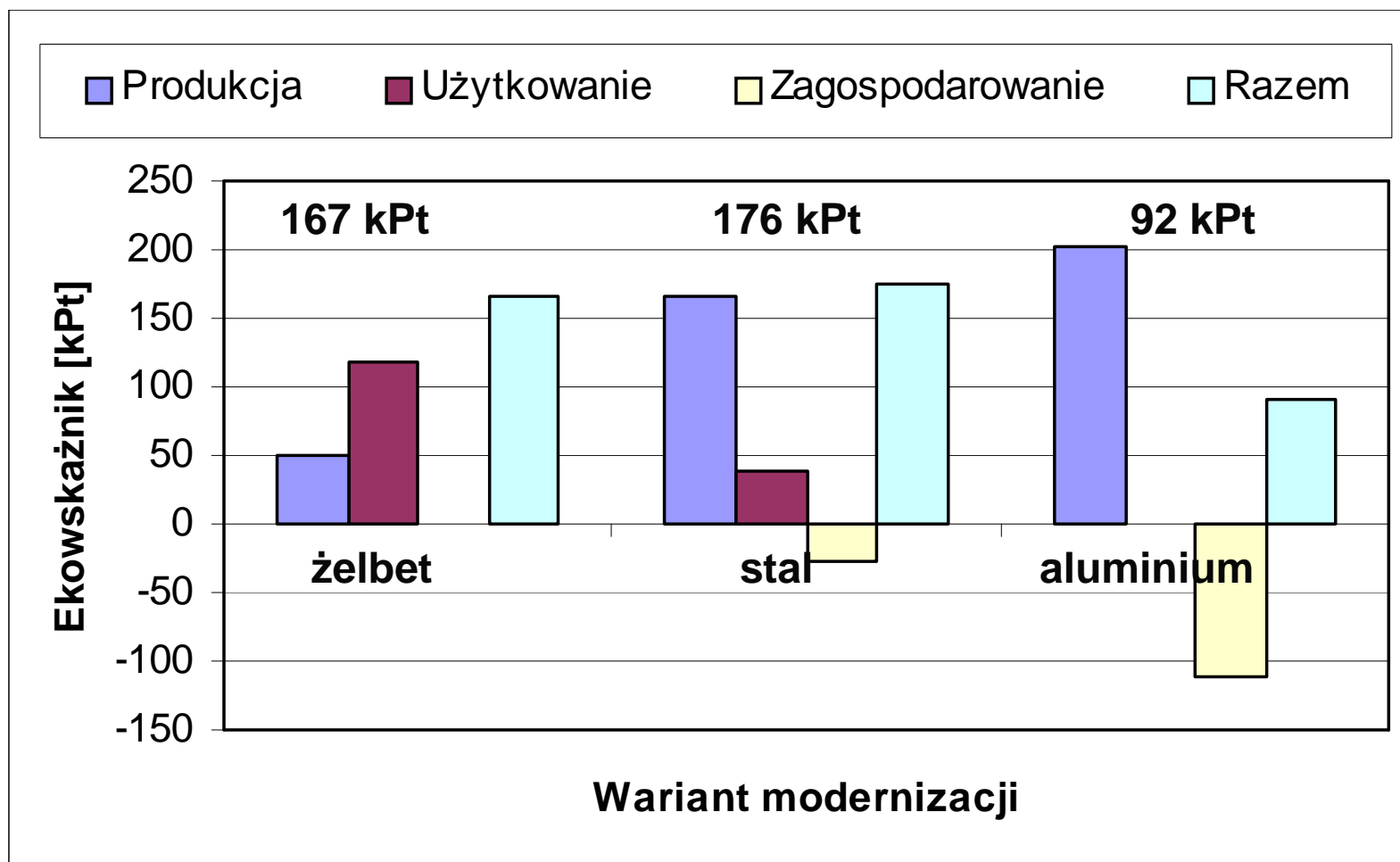
## Narzędzia do analiz LCA i LCCA







## Wynik końcowy analizy LCA



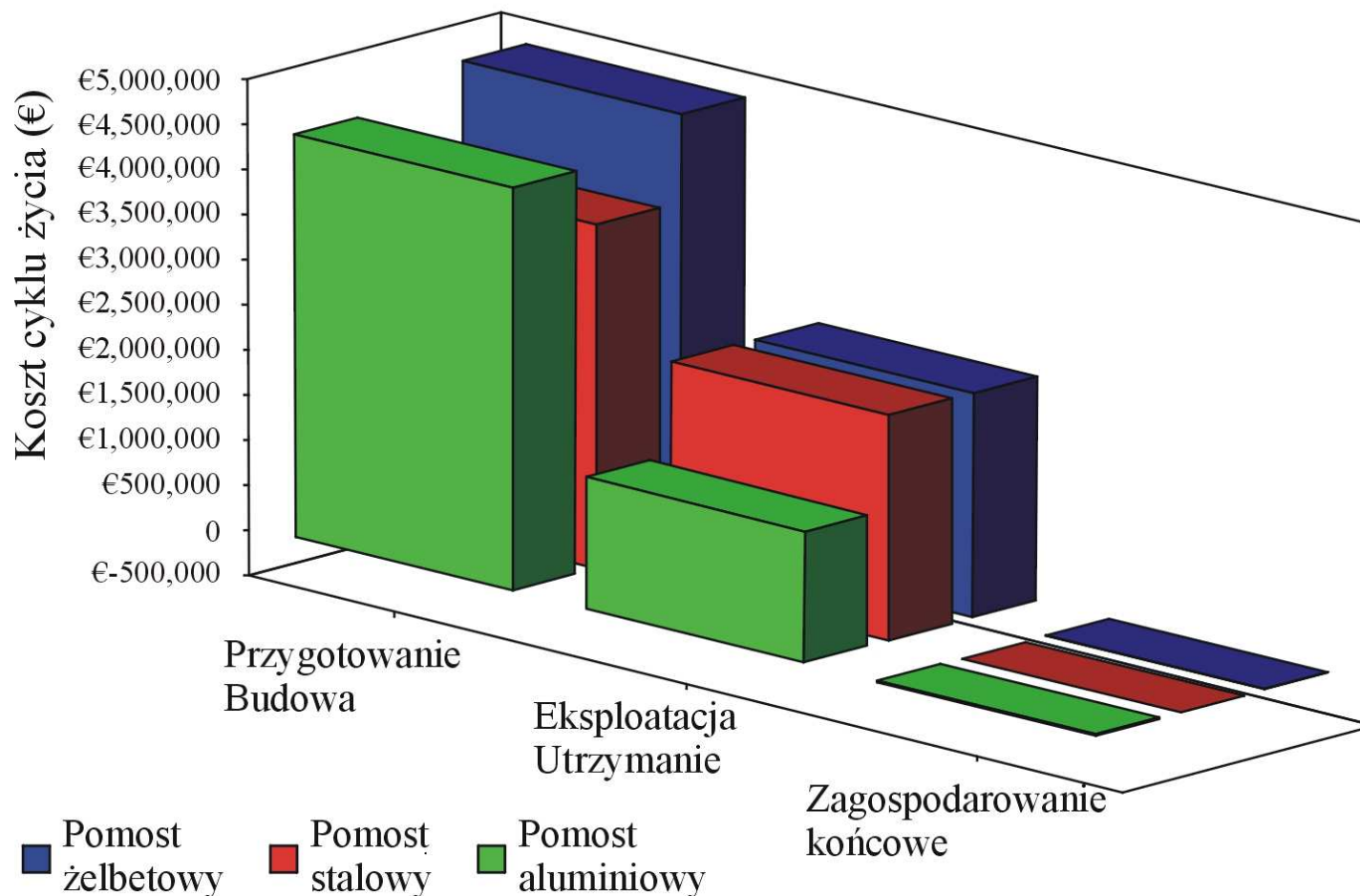


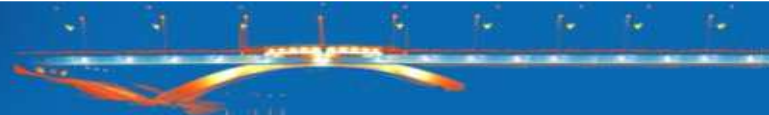
## Wynik końcowy analizy **LCCA**

Kryterium podziału kosztów	Nazwa kategorii kosztów	Wariant modernizacji mostu		
		Pomost żelbetowy	Pomost stalowy	Pomost aluminiowy
Koszty całkowite w cyklu życia (LCC)		7 283 286	6 301 168	5 917 030
Płatnik	Inwestor	3 664 501	3 672 168	3 948 490
	Użytkownik	3 616 260	2 626 887	1 967 129
	Środowisko	2 526	2 113	1 411
Okres cyklu życia	Przygotowanie i budowa	4 785 434	3 799 900	4 468 107
	Eksploatacja i utrzymanie	2 486 906	2 497 838	1 458 130
	Zagospodarowanie końcowe	10 946	3 430	-9 207
Składnik kosztów	Elementy obiektu (E)	7 238 774	6 256 655	5 760 017
	Koszty pozaobiektywne	44 513	44 513	44 513
	Wdrożenie nowej technologii	0	0	112 500

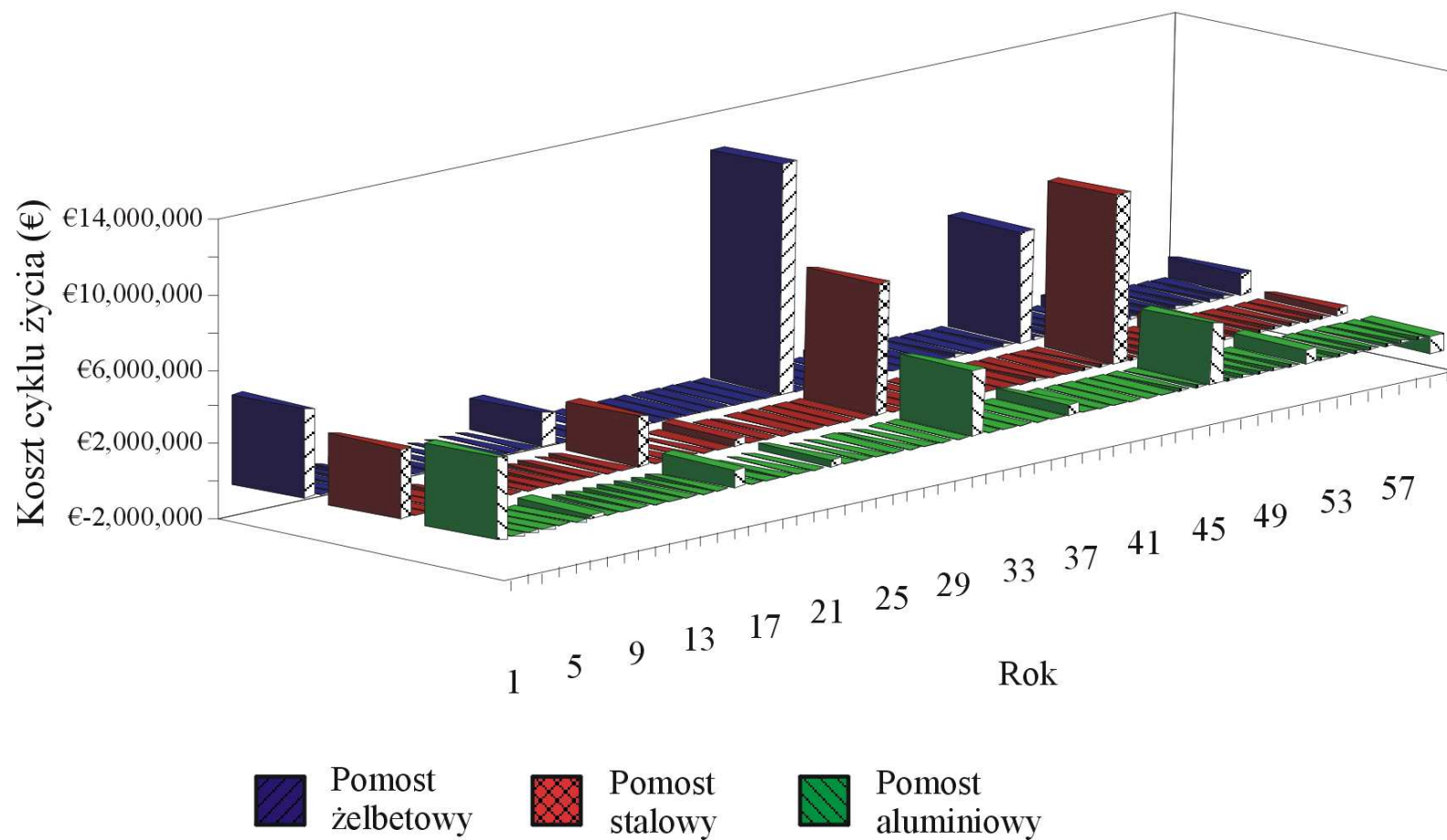


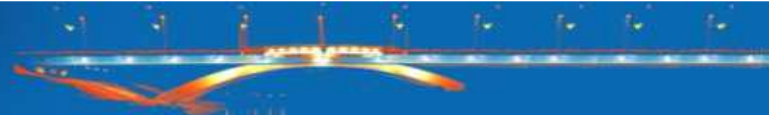
## Podział kosztów **LCCA** na okresy cyklu życia





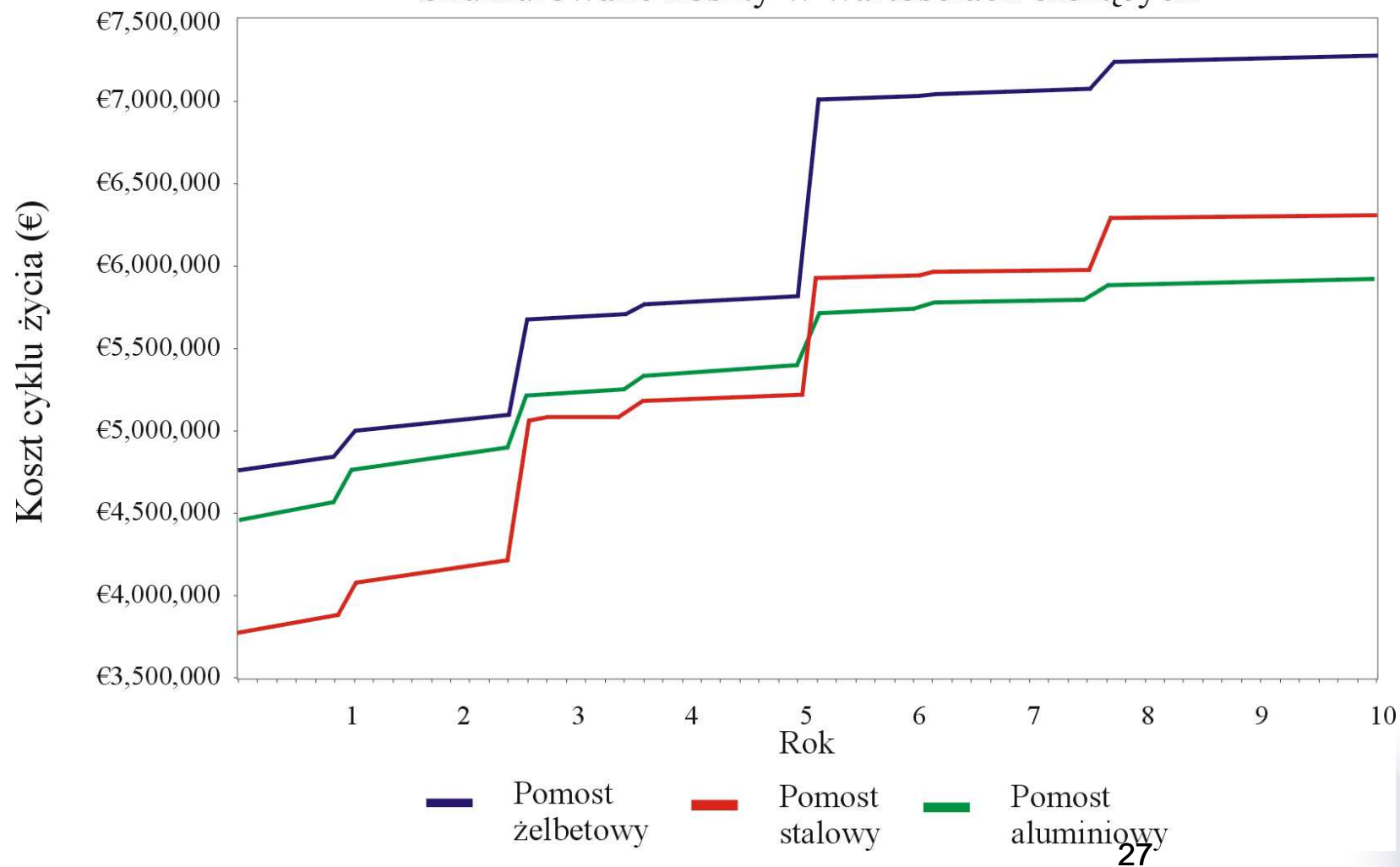
# Roczne koszty w wartościach danego roku

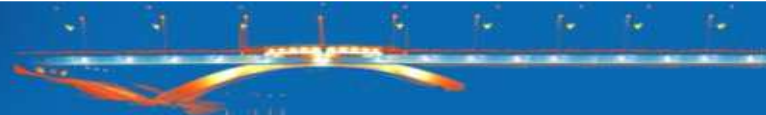




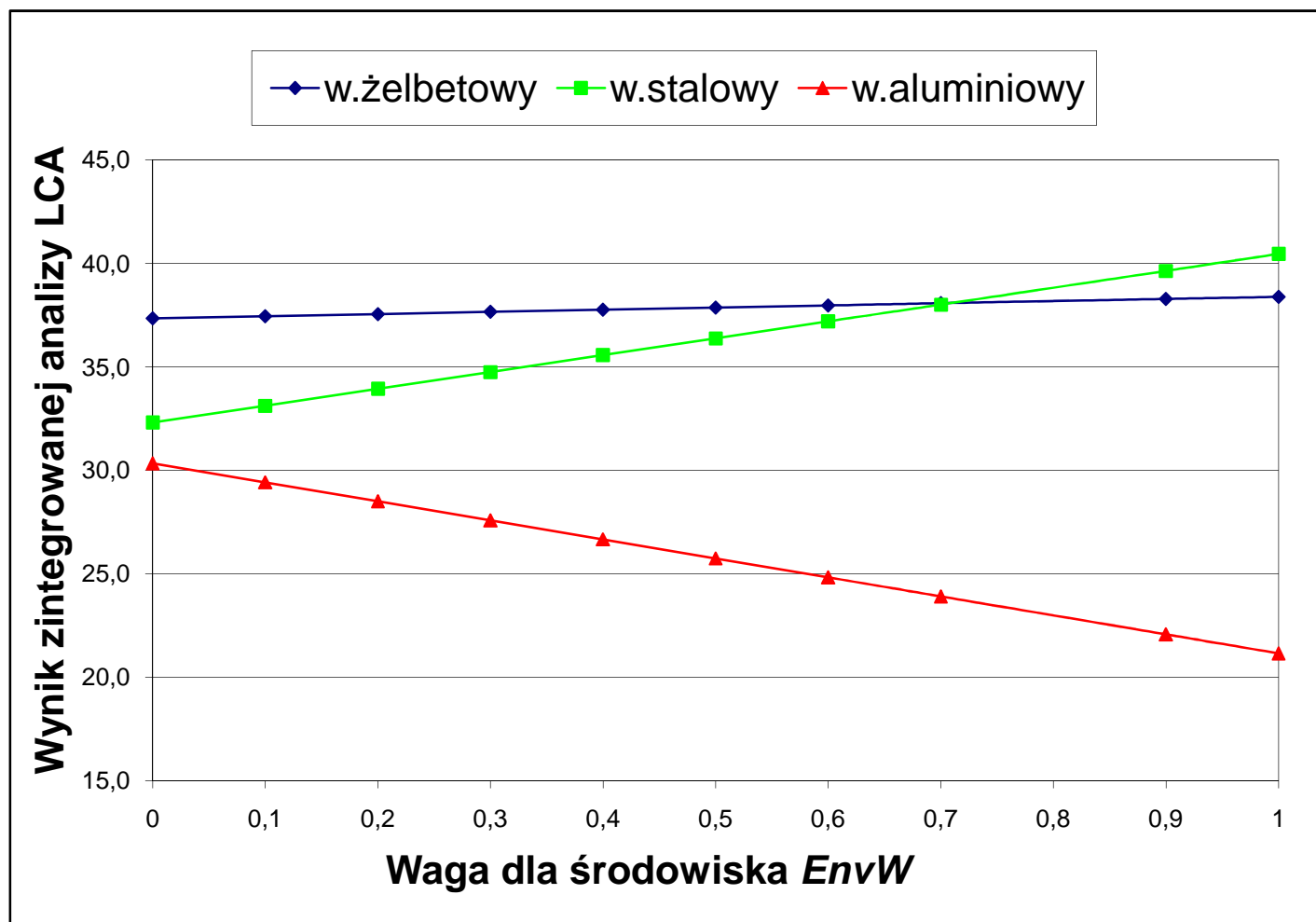
# Koszty skumulowane – *break even point*

Skumulowane koszty w wartościach bieżących





## Zintegrowana analiza cyklu życia







# Podsumowanie

- Zintegrowana analiza cyklu życia jest podstawowym narzędziem do oceny wdrażania filozofii zrównoważonego rozwoju, także w mostownictwie.
- Już wkrótce wyniki analiz *LCA-LCCA-LCSA* będą decydować o wyborze wariantu materiału/ produktu / technologii w inwestycjach infrastrukturalnych.
- Proste narzędzia do analiz LCA, LCCA i LCSA powinny być znane, dostępne i stosowane przez projektantów mostów.
- Wiarygodne uzasadnienie wdrożenia nowych, innowacyjnych materiałów i technologii jest możliwe jedynie przy wykorzystaniu zintegrowanej analizy cyklu życia.





**Dziękuję  
za uwagę**