

4. Cykl Życia Systemów

*Wszystko co istnieje przejawia się i zanika w cyklach
by dać pokarm następnemu bytowi*

NN

- 4.1 Cykl życia systemów naturalnych
- 4.2 Cykl życia systemów tworzonych przez człowieka
- 4.3 Koszt cyklu życia
- 4.4 Alternatywne sposoby widzenia kosztów
- 4.5 Ekologiczne widzenie cyklu życia - tech metabolizm
- 4.6 Podsumowanie
- 4.7 Problemy

Jedną z naczelných obserwacji i uogólnień Teorii Systemów jest cykliczność przejawiania się wszystkich systemów naturalnych i sztucznych, ożywionych i nieożywionych. Systemy powoływane są do życia w sposób naturalny bądź sztuczny, żyjąc lub pracując zadany odcinek czasu, a potem aktywność ich zamiera i rozplywają się one w otoczeniu. Oczywiście inaczej to wygląda w skali czasu, co jest zależne oczywiście od rodzaju systemu. Wietrzenie skał trwa miliony lat, życie roślin i zwierząt co najwyżej setki lat, a człowieka co najwyżej sto, a w kulturze inżynierskiej kilkaset. Wynikałby stąd przybliżony wniosek, że im wyższa hierarchia samo organizacji systemu tym krótszy czas jego życia, co jest ogólnie prawdziwe ale w szczegółach może być mylące.

4.1 Cykl życia systemów naturalnych

Ostatnie koncepcje ewolucji wszechświata dają coraz więcej cech wspólnych łączących wszystkie systemy naturalne; od wszechświata jako całości począwszy, poprzez ewolucję nukleonidów, aż po ewolucję sfery ożywionej świata [Brockman96]. Co prawda trwają dysputy gdzie postawić granicę między sferą ożywioną i nieożywioną lecz jedno jest jasne, że zależy to od naszej definicji życia jako takiego, gdyż w podejściu szerszym, systemowym - wszystko żyje. Jeśli zaś za immanentną cechę życia weźmiemy samo odnawialność, samo kreatywność i własny metabolizm [Capra03,s30], to na granicy świata ożywionego będziemy mieli bakterie, wirusy niestety nie żyją własnym metabolizmem. Istnieją zaś nawet teorie twierdzące, że wszystko żyje, ma pewien poziom świadomości, że wszystko myśli, poznaje, różniąc się jedynie intensywnością tych procesów i stąd wynika jednocześnie różnica czasu trwania życia danego bytu(systemu).

We wszystkich systemach naturalnych mamy trzy etapy istnienia lub fazy życia. Etap pierwszy to formułowanie systemu zachodzące na skutek działania zarodku systemu i warunków zewnętrznych. Dla systemów nieożywionych będą to np. ciśnienie, temperatura potrzebne do formułowania się skał. Dla systemów ożywionych będzie to realizacja (materializacja) zapisanego kodu genetycznego DNA w zarodku systemu ożywionego. Drugi etap to względnie ustalony czas życia i współdziałania, czasem walki z otoczeniem, prowadzący do trzeciego etapu stopniowego zamierania systemu, jego rozpadu i wtapiania się w otoczenie. To wtapianie się w otoczenie jest wielopoziomowe w myśl zasady że w systemie naturalnym, ekosystemie, nie ma odpadków. Jak to ujmuje Capra [Capra03,s209] i inni mówiąc; **waste equals food**, czyli każde odpadki to pożywienie dla kogoś, lub czegoś. To nazywa się **bio- metabolizm**. Do takiego wielopoziomowego przetwarzania musimy dążyć też w naszej aktywności cywilizacyjnej tworząc **tech- metabolizm**, do czego jeszcze będziemy wracać niejednokrotnie.

Z drugiej strony można z tych obserwacji dalej stwierdzić, że im bardziej złożony jest system tym bardziej wyróżniają się etapy pierwszy i końcowy, który kończy się na ogół

gwałtownie, jak np. u dojrzałego człowieka podczas snu. Jeśli wybierzemy dowolną miarę efektywności działania (istnienia) systemu to możemy to zilustrować tak jak na rysunku 4.1.

Rysunek 4.1: Cykl i fazy życia w skali efektywności działania i względnego czasu dla systemów naturalnych

Generalizując jeszcze raz można powiedzieć, że systemy naturalne to systemy otwarte, z wymianą masy, energii i informacji, żyjące w trzech kolejnych charakterystycznych etapach:

1. wyodrębnienie ze środowiska (otoczenia),
2. życie i współdziałanie z otoczeniem przy pełnej efektywności,
3. stopniowa utrata efektywności i powrót do środowiska.

Zatem w systemach naturalnych mamy wielopoziomowy zamknięty cykl życia typu **‘środowisko – środowisko’**.

4.2 Cykl życia systemów tworzonych przez człowieka

Podobny lecz trój etapowy cykl życia można wyodrębnić dla systemów sztucznych tworzonych przez człowieka dla zaspokojenia swych potrzeb, czyli dla wszelkich systemów technicznych, antropo technicznych i socjo technicznych, a także symbolicznych, (np. język). Cykl ten przebiega również w zamkniętej pętli, jak dla systemów naturalnych, lecz tym razem pętla zaczyna się i kończy na użytkowniku (ang. consumer-consumer cycle), tak jak to pokazuje rysunek 4.2, [Blanchard90].

Rysunek 4.2: Graficzna ilustracja cyklu i faz życia systemów technicznych [Blanchard90].

Początek formułowania systemu odbywa się u użytkownika, lub na podstawie jego wiedzy, przez artykulację jego potrzeb, upodobań, preferencji, zaś koniec życia przypada również u użytkownika w fazie pełnej eksploatacji systemu i jego reużytkowania po fizycznej kasacji. Podczas wczesnej fazy planowania systemu może się okazać iż nie wszystko jest wiadomo i potrzebne są nawet ukierunkowane badania naukowe. Potem następuje faza alokacji najważniejszych właściwości systemu i szczegółowego projektowania, łącznie z projektem technologii. Wytwarzanie systemu jest coraz bardziej zautomatyzowane, a pod koniec tej fazy, a często w trakcie mamy fazę pomiarów i oceny, właściwości geometrycznym, fizycznych i funkcjonalnych. Na ile to jest ważne i musi spełniać różne wymogi, to wystarczy pomyśleć o produkcji **Airbusa**, gdzie drzwi wyprodukowane w Bremie będą montowane w Tuluzie, itp. Po tej ostatniej ewaluacji osiągniętego zintegrowanego systemu przychodzi czas na najważniejszą fazę, do spełnienia której został zaprojektowany, do użytkowania na ogół nie jednorazowego, z całym zapleczem serwisu i innym wsparciem logistycznym. Wreszcie po długim okresie eksploatacji system jest zdjęty z użytkowania, i następuje faza jego reużytkowania, całości, części, materiałów, energii. W projektowaniu systemowym ta faza odgrywa już znacząca rolę i będziemy o niej mówili pod hasłami eko projektowania, bilansowania środowiskowego, lub zero odpadów. Dokładne opisanie treści czynności w każdej z faz istnienia systemu przedstawia kolejny rysunek 4.3, [Blanchard90].

Rysunek 4.3: Specyfikacja najważniejszych czynności (funkcji) w całym cyklu życia systemów technicznych [Blanchard90].

Jest tu oczywiste, że każdy fizyczny system może być inny i stąd inne będzie uszczegółowienie i intensywność czynności zarysowanych na rysunku 4.3. Stąd też po sprecyzowaniu rodzaju systemu i ustaleniu rodzaju potrzeb i preferencji klienta nastąpi sukcesywna modyfikacja i uszczegółowienie czynności opisanych na rysunku 4.3. Jak się okazuje z późniejszych badań A. Sage [Sage95] w ramach każdego kroku cyklu życia dogodnie pod względem metodologicznym jest wyróżnić **fazy** (definicja, rozwój, wdrożenie)

i **kroki** (formułowanie, analiza, interpretacja), tak jak na rysunku 4.4.

Rysunek 4.4: Cykl życia oraz fazy i kroki działaniowe wewnątrz każdej fazy cyklu życia [Sage95].

Z obu przedstawionych rysunków wynika zaś potrzeba istnienia dwu dalszych podsystemów; produkcyjnego (production capability) dla wytworzenia systemu i obsługowego (maintenance) niezbędnego podczas użytkowania systemu. Mają one też swe cykle życia, tym razem niepełne - dwuetapowe, jeśli nie uwzględnimy ich kasacji i recyklingu. Stąd też dla pełności obrazu kolejny rysunek przedstawia cykle życia systemów głównego (prime equipment), produkcyjnego - niezbędnego do jego wytworzenia i podsystemy wsparcia logistyczno - obsługowego dla użytkowania systemu głównego. Bowiern projektując nowy nieznan jeszcze system musimy dużo uwagi i wysiłku poświęcić na powołanie do życia podsystemów produkcji i obsługi, (patrz rysunek 4.5, [Blanchard90]). Warto zaś przy tym pamiętać, że istnieje również cykl życia technologii i wsparcia logistycznego podobny do tego jak to ilustruje rysunek 4.1 . W skali czasu życia jest on co najmniej równoważny lub dłuższy niż czas życia wyrobu bądź systemu z możliwością modernizacji, (patrz również rysunek 4.2).

Rysunek 4.5: Cykle życia systemu głównego, jego zaplecza produkcyjnego i wsparcia logistycznego, oraz cykl życia gałęzi przemysłu, technologii i wsparcia logistycznego systemu [Blanchard90].

W dobie technologii informatycznych coraz ważniejsze i bardziej skomplikowane stają się informatyczne oprogramowanie urządzeń i procesów. Zatem warto zobaczyć jak wygląda cykl życia i fazy systemów oprogramowania. A. Sage [Sage90,s125] przedstawia jako pierwszy spiralny model życia i rozwoju oprogramowania (softwaru) tak jak na rysunku 4.6. Po raz pierwszy pojawia się tu również w kwadrancie 2 nowa kategoria planowania **ryzyko**¹, zarówno w fazie planowania jak i wykonywania kolejnych prototypów. Wykonując lub zarządzając wykonaniem takich systemów symbolicznych warto się temu przyjrzeć.

Rysunek 4.6 Spiralny model cyklu życia systemów softwarowych, wg Sage [Sage90].

Coraz więcej wyrobów typu high tech to produkty **mechatroniczne**² . Jak zwykle wkraczają one do użytkowania po raz pierwszy w przemyśle zbrojeniowym, a potem ucywilniając się towarzyszą nam w pracy i w życiu. Warto się więc przyjrzeć jak wygląda cykl życia takich produktów wg standardów Ministerstwa Obrony USA (DoD), tak jak na rysunku 4.7. Widać tu wyraźnie trzy fazy cyklu życia, wspólna definicja systemu, samodzielne projektowanie i rozwój części hardwarowej i softwarowej, oraz ostatnia faza integracja i testowanie przed oddaniem produktu do użytkowania.

Rysunek 4.7 Cykl życia produktów mechatronicznych wg Departamentu Obrony USA [Sage90].

Wytwory informatyczne czysto softwarowe, bez uwzględniania nośnika, nie mają fazy reużytkowania, co więcej w trakcie użytkowania powstają czasem nowe koncepcje ich ulepszenia. Zatem niektórzy autorzy widzą cykl życia takich systemów informatycznych jako zamknięty i do tego każda faza może teoretycznie mieć połączenie z każdą, jak w heterarchii. Przedstawia to dobrze kolejny rysunek 4.8 zaczerpnięty z monografii Kaposi i Myers [Kaposi 01,s93].

Rys.4.8. Zamknięty cykl życia systemów informatycznych w ciągłym procesie autorskiego nadzoru i ulepszania [Kaposi01,s93].

¹ **Ryzyko** działania = suma prawdopodobnych (F) strat (C), stąd: $RA = \sum F_i x C_i$.

² Mechatronika = synergiczna agregacja umiejętności inżynierii mechanicznej, elektrycznej, elektronicznej i informatycznej.

Kończąc rozważania dotyczące cyklu życia systemów tworzonych przez człowieka warto na zakończenie pokazać ich syntezę zawartą w funkcjonowaniu systemu społecznego. Syntezę taką przedstawił Winiwarter na Międzynarodowej Szkole Letniej Inżynierii Systemów w Poznaniu w 1995r. Jak wynika z rysunku 4.8 przedstawiono tu z jednej strony cykle życia i ich ewolucje dla wytworów człowieka, od elektrowni jądrowej (40 - 60 lat) do informatycznego softwaru i hardware'u (1 -3 lata). Z drugiej zaś strony przedstawiono cykl życia inżyniera jako sprawcę tych systemów (30 lat), generacji inżynierów (60 lat) aż do kultury inżynierskiej, której nowożytny wiek nie przekracza 300 lat. Jest to niezwykle pouczający syntetyczny wykres, z którego można wyciągnąć znacznie więcej wniosków i pytań dla samodoskonalenia.

Rysunek 4.9. Cykle życia i ewolucja różnych podsystemów metasystemu społecznego wraz z przykładami i typowymi pojęciami w ujęciu Winiwartera [NatkeCempel95].

4.3 Koszty cyklu życia

Zarysowane cykle życia systemów tworzonych przez człowieka byłyby niepełne bez naświetlenia ich strony ekonomicznej na każdym istotnym etapie życia systemu. Ważny tu jest zarówno rozkład kosztów każdego etapu w czasie, jak i ogólny wolumen kosztów istnienia systemu. Jest to istotne zwłaszcza przy porównaniu alternatyw projektowych konkretnego systemu powoływanego do życia. Nie mamy tu zamiaru uczyć rachunku kosztów, przejrzymy zatem jedynie najważniejsze elementy kosztu istnienia systemu i zilustrujemy wyniki tego przeglądu, [Blanchard90]. Przykładowe kroki obliczeniowe w ocenie rozkładu kosztów życia systemu mogą tu mieć postać wytycznych jak niżej.

1. Zidentyfikuj wszystkie czynności w cyklu życia systemu, które wytworzą koszt. Włącz w to koszty planowania, badań, rozwoju, testów i oceny systemu, produkcji lub konstrukcji, sprzedaży, użytkowania i wsparcia logistycznego (patrz Rys. 4.3).
2. Przyporządkuj każdą czynność wg p. 1 do odpowiedniej kategorii kosztów (np. badania i rozwój, produkcja, użytkowanie, kasacja). Wszystkie czynności muszą znaleźć swe przyporządkowanie w jednym lub kilku etapach życia systemu.
3. Ustal odpowiednie współczynniki stałego pieniądza dla każdej czynności, gdzie stały pieniądz winien odzwierciedlać stałą siłę nabywczą w czasie podjęcia decyzji projektowej. Pozwoli to na porównanie kosztów różnych czynności odległych w czasie, wprowadzenie poprawek inflacyjnych, różnicy cen nabycia, itd.,. Stały pieniądz pozwala również lepiej porównywać alternatywy różnych czynności i wariantów projektowych.
4. Każdy element kosztu w każdej kategorii kosztu należy następnie usytuować w odnośnym czasie życia obiektu, rok po roku. W wyniku uzyskamy strumień kosztów w stałym pieniądzu dla całego cyklu życia systemu.
5. Dla każdego roku i każdej kategorii kosztów wprowadź poprawki inflacyjne, efekt ekonomiczny uczenia się produkcji powtarzalnej (product learning curve), zmiany poziomu cen, itd.,. Zmodyfikowane wartości tworzą nowy realistyczny strumień kosztów, aktualny w każdym kolejnym roku życia systemu.
6. Podsumuj następnie koszty głównych etapów istnienia systemu w jeden wypadkowy rozkład kosztów z podziałem przyczynków składowych i bez, i przedstaw to graficznie.

Przykładowy rozkład kosztów życia systemu sporządzony wg powyższych wytycznych przedstawia rysunek 4.10, [Blanchard90]. Mając takie rozkłady można łatwo dojść do wniosku gdzie należy poszukiwać głównych źródeł oszczędności z jednej strony, a z drugiej porównywać lepiej różne warianty projektowe systemu. Z pokazanego tu rysunku widać, że

użytkowanie systemu razem z jego kasacją daje porównywalny a czasem większy strumień kosztów niż pierwsze etapy powoływania systemu do życia. Zatem każde pociągnięcie organizacyjne w obsłudze (pn. diagnostyka stanu technicznego systemu), lub wbudowanie czujników diagnostycznych na etapie badań i rozwoju systemu, opłaca się tu wielokrotnie. Wniosek taki potwierdza i rozszerza kolejny rysunek zaczerpnięty z najnowszej książki dotyczącej obliczeń kosztów cyklu życia systemów [Fabrycky92]. Wynika z niego dalej (patrz rysunek), że dla nowo projektowanego systemu opracowanie jego koncepcji to czasami więcej niż połowa kosztów systemu, natomiast z końcem tego etapu kończy się też łatwość wprowadzania zmian do systemu i ich mały koszt. Zatem im lepszy projekt koncepcyjny tym mniejszy całkowity koszt cyklu życia systemu. Taka kalkulacja kosztów jest szczególnie istotna w dużych przedsiębiorstwach, gdyż wtedy pewne rodzaje kosztów poniesione z dala od produkcji i usług mają tendencję do narastania (np. koszt utrzymania centrum komputerowego, koszt szkolenia personelu, itp.), a jednocześnie trudno je wliczyć w cenę wyrobu i usługi. Jak dalece problem ten jest niebagatelny pokazuje rysunek 4.11 zaczerpnięty z najnowszej książki Blanchard'a [Fabrycky92]. Stąd też bierze się cała koncepcja rozrachunków wewnętrznych i samodzielności finansowej działów przedsiębiorstw i w koncernach, a nawet ostatnio w Szkołach Wyższych między ich wydziałami.

Rysunek 4.10. Przykładowy rozkład (strumień) kosztów życia systemu w całym jego cyklu życia [Fabrycky92].

Rysunek 4.11. Koszty cyklu życia systemu poniesione i planowane oraz wiedza o systemie i łatwość jego zmian na tle zaawansowania życia systemu [Fabrycky92].

Rysunek 4.12. Problem widzialności, obliczalności i dedykacji kosztów przedsiębiorstwa – tzw. 'góra lodowa kosztów', [Fabrycky92].

4.4 Alternatywne i holistyczne sposoby widzenia kosztów

Ostatni rysunek przedstawił nam pogładowo problem widzialności kosztu wyrobu czy też usługi w ramach szerszej kategorii kosztów życia przedsiębiorstwa. Jeśli koszty wyrobów i usług nie będą 'widziały' właściwie kosztów przedsiębiorstwa, to przedsiębiorstwo zbankrutuje, zatonię jak dodatkowo obciążona góra lodowa. Podobnie łatwo sobie wyobrazić przedsiębiorstwo jako część gospodarki regionu, makroregionu, a nawet kraju, które to metaorganizmy ponoszą dodatkowe koszty i dostają dodatkowy wpływ z tytułu istnienia przedsiębiorstwa. Nazywa się to **kosztami społecznymi**, ale nie jest to pełna definicja. Jeśli zatem rachunek ekonomiczny przedsiębiorstwa nie będzie uwzględniał kosztów społecznych, to może doprowadzić do katastrofy ekonomicznej regionu, a nawet kraju. Drastyczny przykład reakcji domino; zła gospodarka i zła kalkulacja kosztów w przedsiębiorstwie doprowadziła do jego upadku, zabrakło wpływów podatkowych z przedsiębiorstwa w makroregionie, zabrakło więc pieniędzy na wypłacanie zasiłków dla byłych pracowników w makroregionie i makroregion jest na krawędzi bankructwa. Jeśli podobnie się stało w kilku makroregionach, to kraj jest na krawędzi bankructwa, tak jak Polska w roku 2000. Tak w wielkim uproszczeniu działają koszty społeczne, i każda decyzja samodzielnego i odpowiedzialnego podmiotu gospodarczego musi je uwzględnić.

Ale na tym nie koniec złego, nieodpowiedzialnego sposobu kalkulacji kosztów działalności gospodarczej, bo od niedawna dowiadujemy się boleśnie o wyższej kategorii kosztów, które nie uwzględniamy w naszych kalkulacjach, o **kosztach środowiskowych**. Koszty te ujmują

dotatkowo użytkowanie zasobów nieodnawialnych środowiska, np. ropa, ruda, węgiel, itp., liczonych w jednostkach energetycznych (np. kWh), oraz koszty zagrożenia bezpieczeństwa środowiska, włączając w to ludzi, z tytułu wydalania do środowiska różnego typu zanieczyszczeń, łącznie z termalnym zanieczyszczeniem. Dobry przegląd tych zagadnień daje norma międzynarodowa [ISO], oraz przykładowe procedury projektowania różnych firma np. PreConsultants z Holandii program informatyczny **Life Cycle Assessment (LCA)** - SimaPro5.0, stosujący metodę ekologicznego projektowania Eco-indicator 99. Po przeanalizowaniu projektu młynka do kawy w 5 letnim okresie użytkowania i zdanie sobie sprawy z zagrożeń środowiskowych, może odejść ochota na picie kawy.

Podsumowując dyskusję o kosztach cyklu życia działalności gospodarczej warto spojrzeć na rysunek 4.13 dający jakościowe wyobrażenie sposobu liczenia i rzędu ponoszonych kosztów.

Rys. 4.13. Hierarchiczny i holistyczny sposób widzenia kosztów aktywności gospodarczej.

4.5 Ekologiczny sposób widzenia cyklu życia – tech -metabolizm

Pierwotnie prowadzona gospodarka i sposób myślenia; **'po użyciu wyrzucić'** doprowadziła do wielkiego marnotrawstwa zasobów nieodnawialnych i wielkiego zanieczyszczenia środowiska różnorodnymi odpadami. Od czasu pierwszego raportu Klubu Rzymskiego (1972) zaczyna się zmiana myślenia i działania, łącznie z wprowadzeniem nowego paradygmatu gospodarowania, gdzie po nowemu **gospodarka to część środowiska**, (patrz np. [Cempel03]). Z technicznego punktu widzenia koncepcja ta dotyczy gospodarki materiałami i energią, dwoma najważniejszymi zasobami nieodnawialnymi będącymi na wyczerpaniu. Wśród wielu koncepcji, np. bilansowania środowiskowego (LCA, LCM), o których będziemy mówili przy projektowaniu systemów, tutaj warto zwrócić uwagę na koncepcję ZERI (Zero Emission Research Initiatives) [zeri 04], oraz Kapitalizm Natury oparty o najnowszą książkę P. Hawken'a o tym tytule [Capra03,s209]. Obie koncepcje można podporządkować naczelnemu hasłu ekosystemu; **odpady to pożywienie** (waste equals food), a więc zakładają wielopoziomowe wykorzystanie wszystkich odpadów, co w efekcie daje zero odpadów, zero emisji, jak w ZERI. Koncepcja ta jest wspomagana organizacyjnie przez grupowanie (clustering) przedsiębiorstw produkujących dla siebie 'pożywienie'. Na kanwie tych inicjatyw, a przez analogię do bio -metabolizmu natury ukuto tu termin **tech -metabolizm**. Bardzo obrazowo jest ujęte w **czterech zasadach kapitalizmu natury** [redesignresources00]

- biomimikra – podglądanie łańcuchów pokarmowych natury,
- bionomica (bionomics) czyli w prostym tłumaczeniu bio gospodarka, widzenie nowej gospodarki jako ekosystemu [Bionomics90],
- inwestowanie w kapitał natury przez uzupełnianie zasobów wspierających życie,
- wielopoziomowe użycie zasobów, co wysoką efektywność ich wykorzystania, małe zanieczyszczenie,
- przejście od sprzedaży dóbr do usług, dając dobra w leasing w układzie gospodarki usług i przepływów (service and flow economy)

Ta ostatnia inicjatywa zaczyna już funkcjonować, np. w Japonii gdzie jedna z firm sprzedaje oświetlenie zamiast żarówek, a w Stanach inna daje w leasing dywany i wykładziny. Jak widać braki surowców wymuszają z wolna nie tylko oszczędzanie, ale również zmiany organizacyjne w branżach a nawet zmiany celów gospodarowania.

4.6 Podsumowanie

Przedstawiliśmy sposoby przejawiania się systemów naturalnych i sztucznych w ich cyklu życia. W pierwszym przypadku jest to cykl **środowisko – pełna aktywność – środowisko**, zaś w drugim jest to cykl **konsument – producent – konsument**. Ostatnie zaś koncepcje wymuszane brakiem surowców zmierzają do wielopoziomowych cykli obiegu materiałów, jak w ekosystemie natury. Przedstawiliśmy również koszty cyklu życia systemów powoływanych do życia przez człowieka. Na kanwie góry lodowej nieujawnionych kosztów przedstawiliśmy, alternatywne sposoby konieczności uwzględniania kosztów społecznych i środowiskowych.

4.7 Problemy

1. Co jest wspólnego w cyklu życia wszystkich systemów?
2. Jak wygląda akumulacja kosztów, wiedzy i łatwość zmian w cyklu życia wytworu?
3. Przedstaw i daj przykłady, pozytywne i negatywne, różnych sposobów liczenia kosztów życia systemów.
4. Zaproponuj wielopoziomowy rozływ wybranego wytworu i zaangażowanych materiałów w koncepcji zero odpadu, 'waste equals food'.