



Proekologiczne projektowanie wyrobów z zastosowaniem sztucznej inteligencji

dr hab. inż. **Ewa DOSTATNI**, prof. PP
Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Technologii Materiałów
Zakład Inżynierii Produkcji



■ PROEKOLOGICZNE PROJEKTOWANIE

- ▶ **proekologiczne projektowanie** polega na identyfikacji aspektów środowiskowych mających związek z wyrobem i włączaniu ich do procesu projektowania w początkowych etapach rozwoju produktu
- ▶ **projektowanie proekologiczne** najczęściej oznacza wprowadzenie aspektów ekologicznych w obszar tradycyjnego projektowania wyrobów w celu poprawy ich aspektów środowiskowych, jednakże bez zasadniczej zmiany koncepcji wyrobu



■ Przesłanki do podjęcia tematu



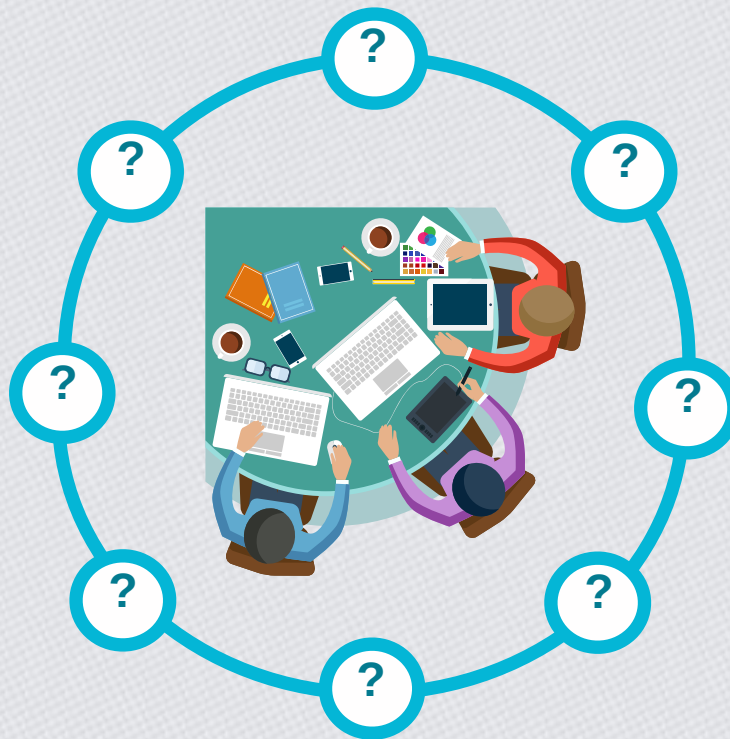
■ Problemy projektantów uwzględniających ekoprojektowanie w praktyce zawodowej

ZŁOŻONOŚĆ EKOPROJEKTÓW

BRAK WIEDZY FACHOWEJ

DUŻA CZASOCHŁONNOŚĆ

**KONIECZNOŚĆ STOSOWANIA
SPECJALNYCH NARZĘDZI –
BRAK INTEGRACJI Z CAD**



KONIECZNOŚĆ PRZENOSZENIA DANYCH

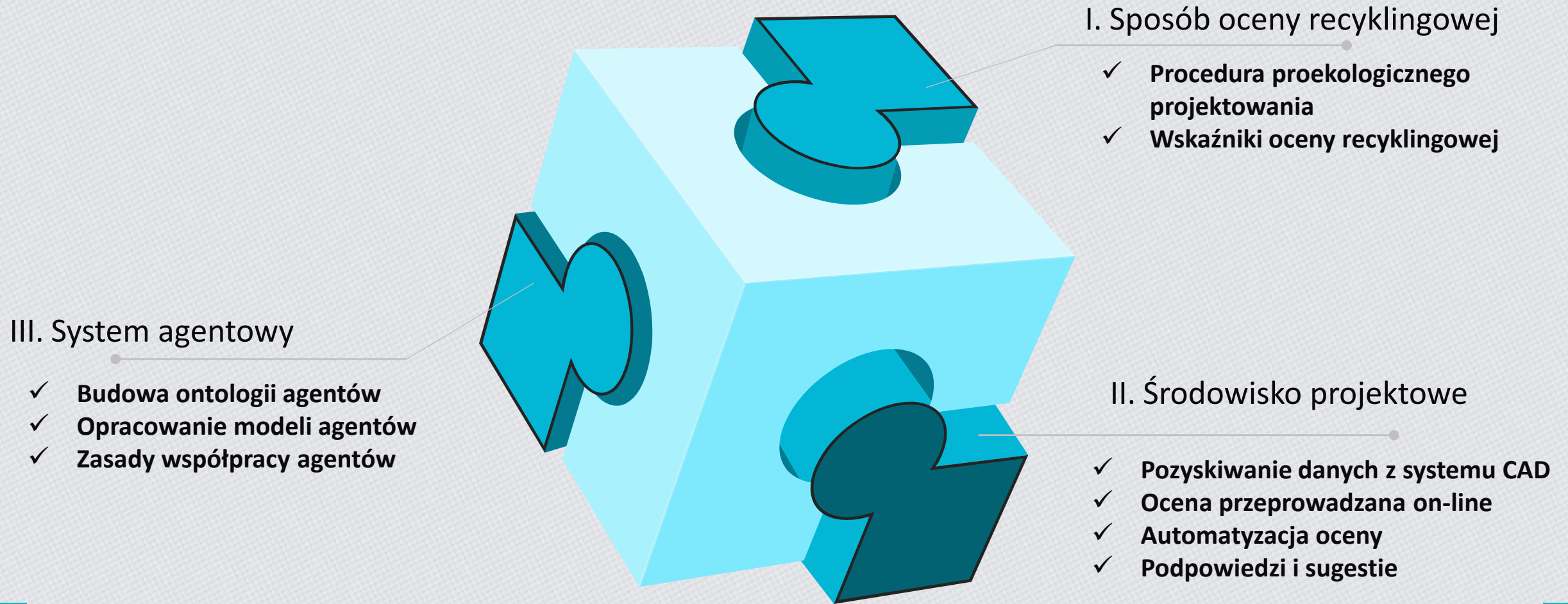
BRAK AUTOMATYZACJI OCENY

UWZGLĘDNIANIE WIELU KRYTERIÓW

**REALIZACJA PROJEKTÓW
W ROZPROSZONYCH STRUKTURACH
ORGANIZACYJNYCH**



■ Założenia



■ OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW



projektowanie uwzględniające możliwość ponownego wykorzystania wyrobu



projektowanie uwzględniające recykling materiałowy



projektowanie uwzględniające podatność na demontaż wyrobu



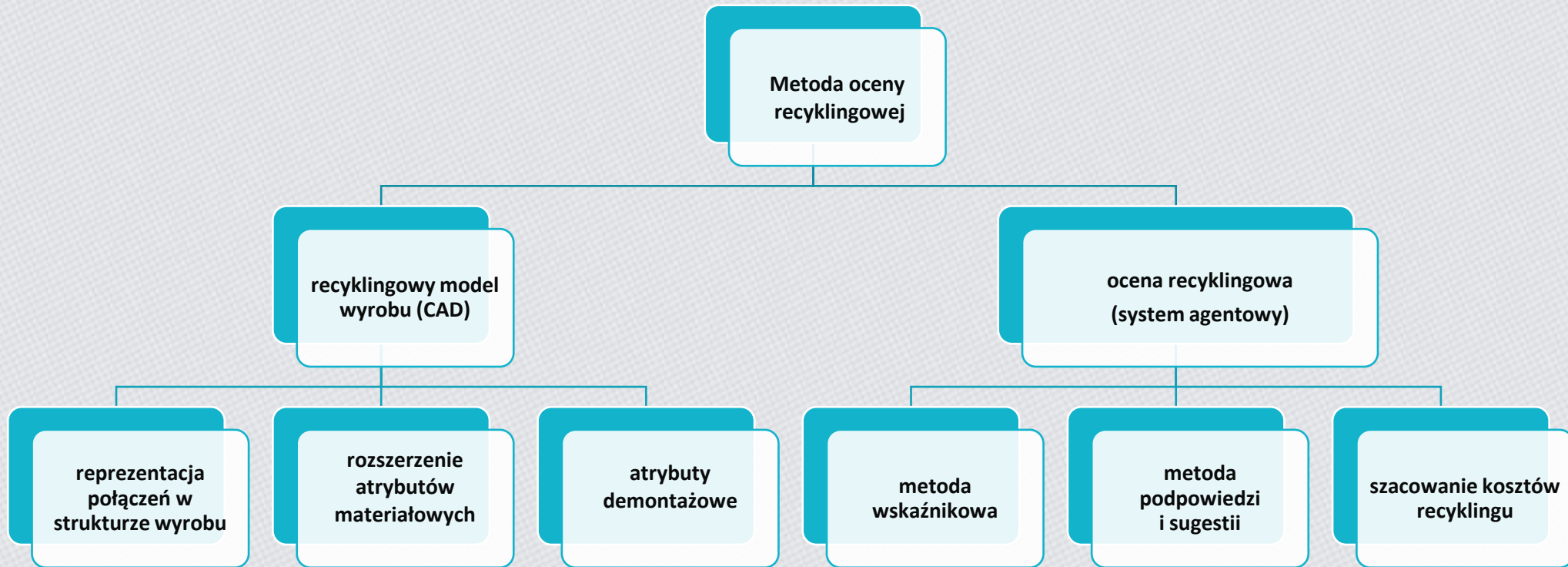
eliminacja materiałów szkodliwych (niebezpiecznych)



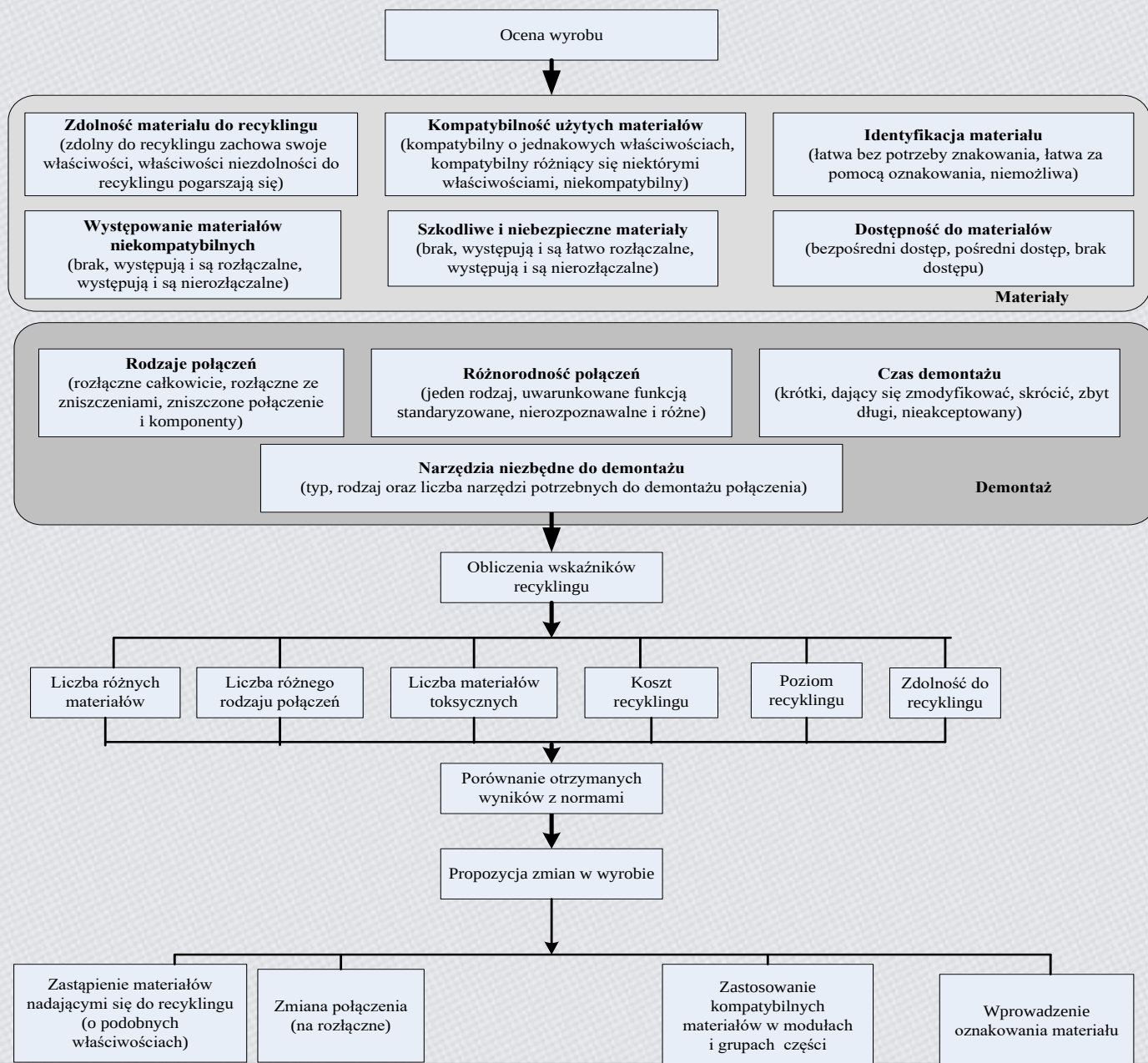
projektowanie uwzględniające aktualne normy środowiskowe



■ OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW



OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW



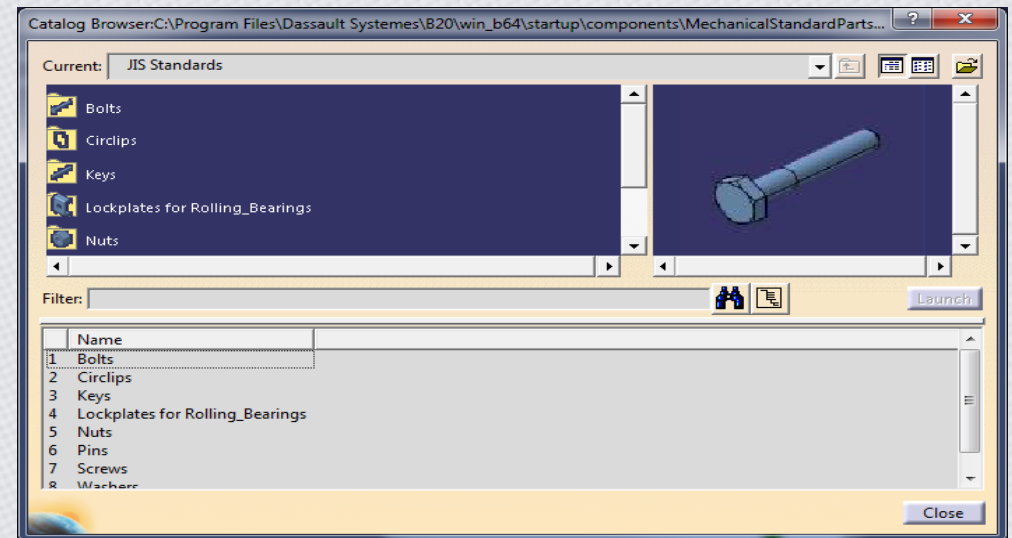
■ Dane niezbędne do przeprowadzenia analizy recyklingowej

- ▶ dane o połączeniach
- ▶ szkodliwość materiału
- ▶ koszt materiału
- ▶ masa elementu
- ▶ oznaczenia materiałów dotyczących szkodliwości
- ▶ kompatybilność poszczególnych materiałów pod względem recyklingu
- ▶ rozłączenie danego połączenia w trakcie demontażu
- ▶ narzędzia użyte w trakcie operacji rozłączenia
- ▶ czas rozłączenia połączenia
- ▶ kategoryzację wyrobu zgodnie z normami

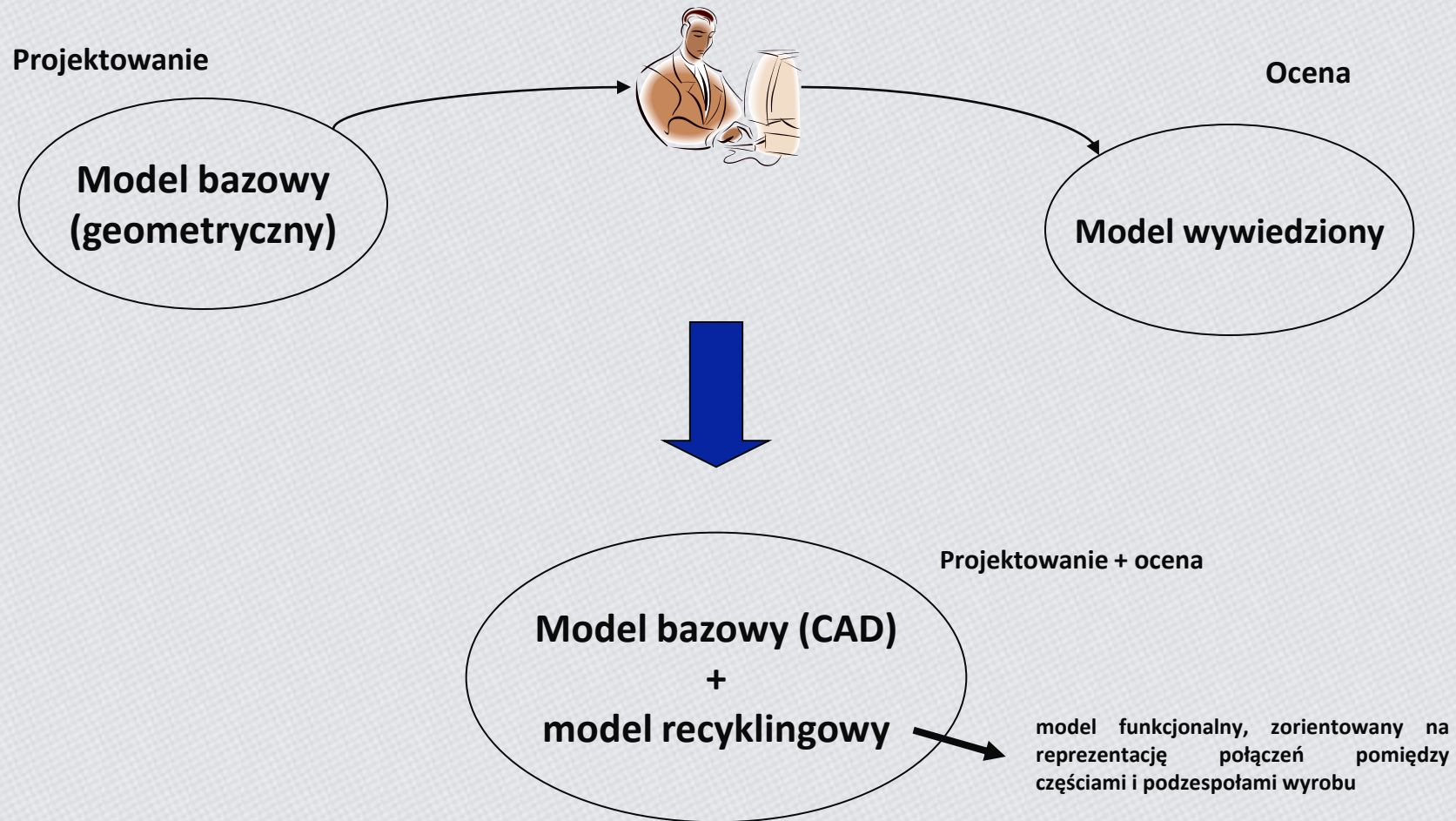


■ RECYKLINGOWY MODEL WYROBU (RmW)

- ▶ standardowy model geometryczny 3D
- ▶ rozszerzoną strukturę wyrobu
- ▶ rozszerzone atrybuty materiałowe
- ▶ atrybuty demontażowe (dane o procesie demontażu)
- ▶ kategoryzację wyrobu



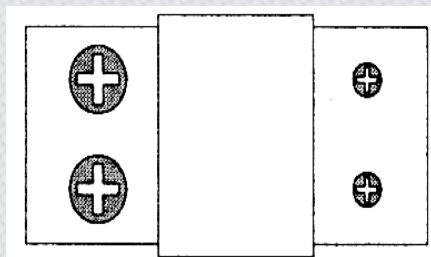
■ RECYKLINGOWY MODEL WYROBU (RmW)



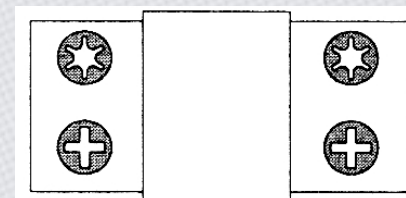
■ OCENA KONSTRUKCJI WYROBU

Rozwiązania mniej korzystne

Liczba połączeń: 4
Liczba narzędzi: 2

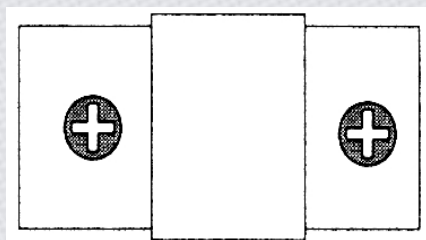


Liczba połączeń: 4
Liczba narzędzi: 2

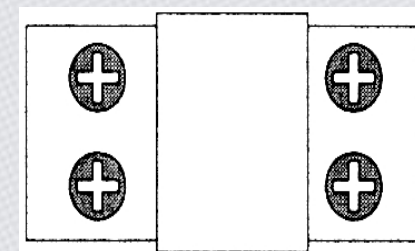


Rozwiązania bardziej korzystne

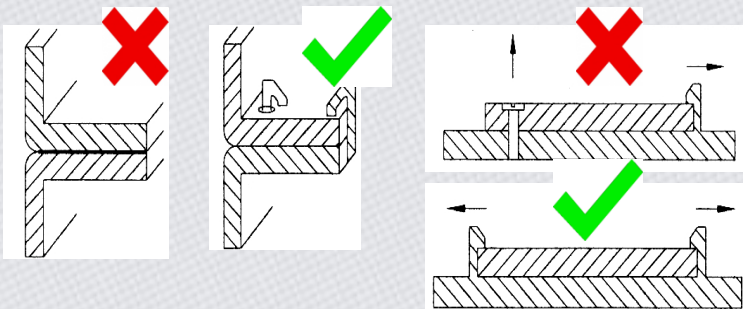
Liczba połączeń: 2
Liczba narzędzi: 1



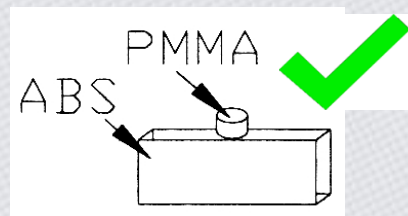
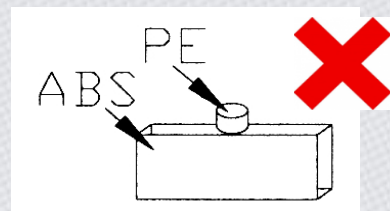
Liczba połączeń: 4
Liczba narzędzi: 1



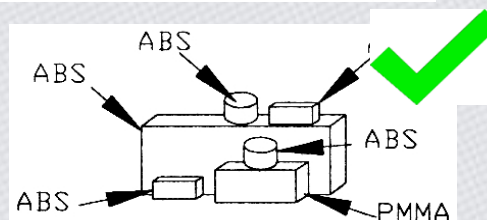
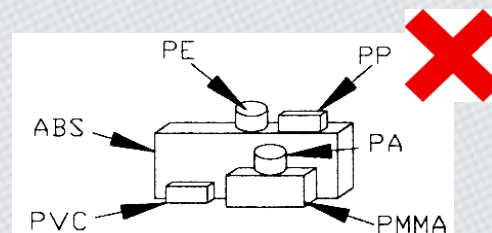
OCENA KONSTRUKCJI WYROBU



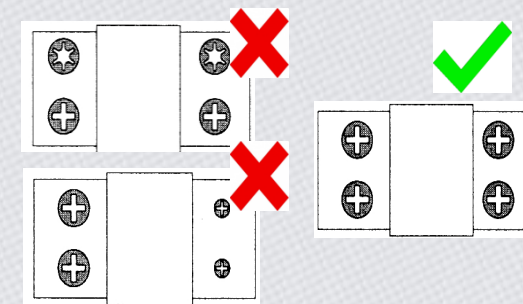
Stosowanie połączeń nierozłącznych



Stosowanie materiałów kompatybilnych



Stosowanie minimalnej liczby różnych materiałów



Stosowanie różnych rodzajów połączeń pomiędzy częściami

■ **MODELOWANIE FUNKCJONALNE WYROBU**

**sposób reprezentacji struktury wyrobu, w którym definiuje się funkcje,
jakie pełnią poszczególne części i podzespoły w jego strukturze**

- 1. Podział części i podzespołów na trzy kategorie:**
 - elementy łączące,
 - elementy łączone,
 - elementy łącząco-łączone.

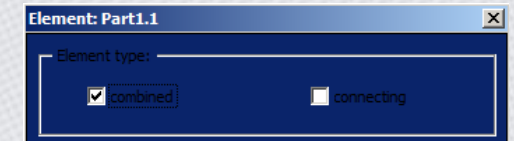
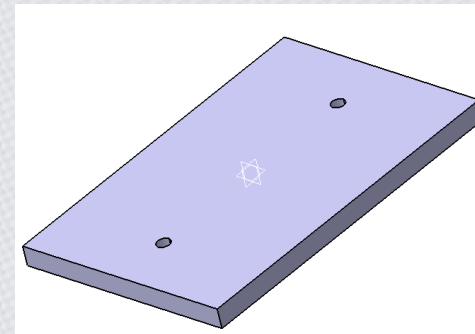
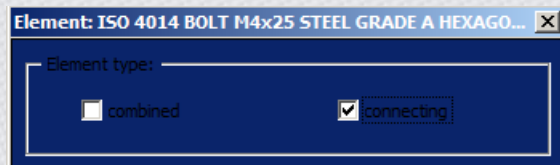
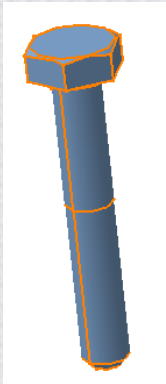
- 2. Zdefiniowanie połączeń w trakcie procesu konstruowania wyrobu jako zależności funkcjonalnych pomiędzy elementami złożenia.**



■ NADAWANIE WIĘZÓW FUNKCYJONALNYCH W SYSTEMIE CAD 3D

Krok 1

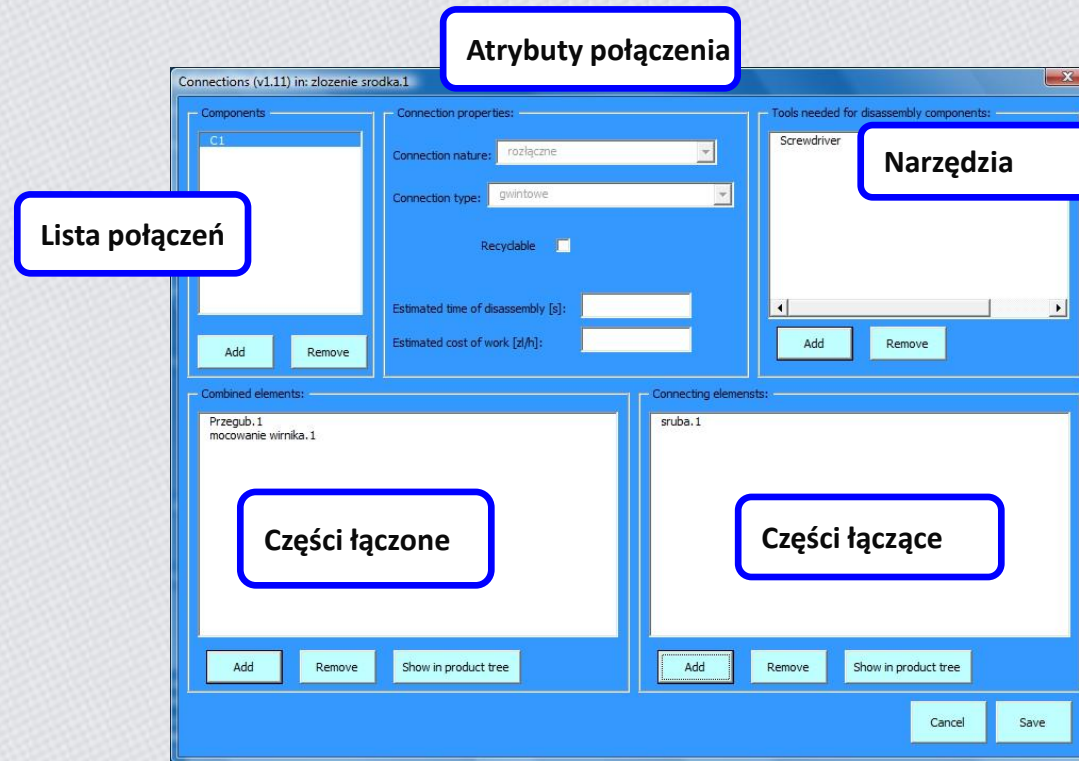
- określenie funkcji elementów modelu (części oraz podłoży)
- z punktu widzenia ich roli



■ NADAWANIE WIĘZÓW FUNKCJONALNYCH W SYSTEMIE CAD 3D

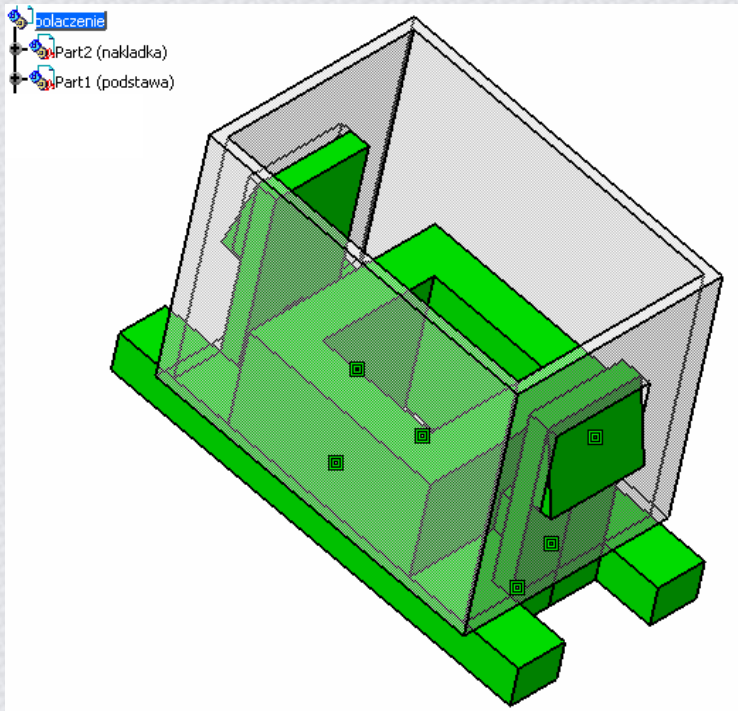
Krok 2

- tworzenie właściwych więzów funkcjonalnych (definiowanie poszczególnych połączeń)



■ NADAWANIE WIĘZÓW FUNKCJONALNYCH W SYSTEMIE CAD 3D

Atrybuty zdefiniowanego połączenia



Connections (v1.11) in: połączenie

Components	Connection properties:	Tools needed for disassembly components:
ci1 Add Remove	Connection nature: rozłączne Connection type: wciskowe Recyclable ☐ Estimated time of disassembly [s]: Estimated cost of work [zł/h]:	Add Remove
Combined elements: podstawa nakładka Części łączone (w ramach danego połączenia) Add Remove Show in product tree		Connecting elements: Add Remove Show in product tree

Cancel Save

Rozbudowa baz danych materiałów o atrybuty istotne z punktu widzenia oceny recyklingowej

Materials and tools base editor

File Help

Materials Materials groups Materials compatibility Tools

	Id	Name	Density	Tensile stress	Yield point elongation	Processing temperature	Dielectric constant	Electric strength	M el
▶	1	ABS	34	34	3	343	434	34	34
	5	Karaka	4564	467	33	3453	4342	2345	23
	8	Rar	34564	54647	4356	45764	6786	3432	34

Rozszerzone atrybuty materiałów

Name: Material group: Hamfulness ☒

Modulus of elasticity: % Processing temperature: °C Density: g/cm³

Water absorptivity: % Dielectric constant: Tensile stress: MPa

Yield point elongation: MPa Electric strength: kV/mm Recycling cost: zł/kg

Add Delete Save

Materials and tools base editor

File Help

Materials Materials groups Materials compatibility Tools

	Stale stopowe	Stale niestopowe	Elastomery	Materiały koherentne
▶ Stale stopowe	☒	☒	☒	☐
Stale niestopowe	☒	☒	☒	☒
Elastomery	☒	☒	☒	☒
Materiały koherentne	☐	☒	☒	☒

Kompatybilność pomiędzy grupami materiałów

■ OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW

- ▶ **Ilościowa ocena konstrukcji** wyrobu z punktu widzenia zastosowanych połączeń odbywa się na drodze analizy drzewa wyrobu z uwzględnieniem połączeń zdefiniowanych przez konstruktora wyrobu.
- ▶ Proponowane rozwiązanie zostało oprogramowane w systemie **CAD 3D Catia**, jednak sposób jego implementacji jest uniwersalny dla systemów modelowania 3D (umożliwia to stosunkowo łatwe przeniesienie do narzędzi innych producentów).
- ▶ Przedstawione rozwiązanie może być traktowane jako **nowa funkcjonalność** systemów CAD 3D.



■ OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW

- ▶ Ocena opiera się na unikatowym **wskaźniku recyklingu CWR** (całkowity wskaźnik recyklingu).
- ▶ Jest on sumą trzech **wskaźników cząstkowych**:
 - ▶ różnorodności zastosowanych materiałów – wskaźnik **WRM**
 - ▶ różnorodności rodzaju połączeń – wskaźnik **WRP**
 - ▶ poziomu recyklingu – wskaźnik **WPR**.
- ▶ Wskaźniki cząstkowe są minimantami – im mniejsza ich wartość, tym łatwiejszy recykling:
$$CWR = WRM + WRP + WPR$$
- ▶ Szacowanie kosztów recyklingu



■ OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW

Wskaźnik różnorodności użytych materiałów (WRM)

Procentowy wskaźnik różnorodności użytych materiałów oblicza się na podstawie wzoru:

$$W_{RM} = 1 - \frac{M_1}{M_w}$$

M_1 - liczba wystąpień najczęściej używanego materiału w wyrobie

M_w - liczba wystąpień pozostałych materiałów w wyrobie

W_{RM} [%]	≤10	≤20	≤30	≤40	≤50	≤60	≤70	≤80	≤90	≤100
WRM	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0



■ OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW

Wskaźnik różnorodności połączeń (WRP)

Procentowy wskaźnik różnorodności połączeń oblicza się na podstawie wzoru:

$$W_{RP} = 1 - \frac{P_1}{P_w}$$

P_1 - liczba wystąpień najczęstszego typu połączeń w wyrobie

P_w - liczba pozostałych połączeń w wyrobie

W_{RP} [%]	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 60	≤ 70	≤ 80	≤ 90	≤ 100
WRP	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0



■ OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW

Wskaźnik poziomu recyklingu WPR

procentowy wskaźnik poziomu recyklingu W_{PR}

$$W_{PR} = \frac{M_R}{M_W}$$

M_R – łączna masa elementów poddanych recyklingowi

M_W - masa całego wyrobu

Przykładowo – jeśli wyrób waży 5kg, z czego 4kg są poddane recyklingowi, poziom recyklingu $[4/5] = 80\%$.

Poziom recyklingu [%]	WPR
<0 – 75)	15
<75-80)	5
<80-85)	4
<85-90)	3
<90-95)	2
<95-100)	1
100	0,5

Grupa 1 -
wielkogabarytowe
urządzenia
gospodarstwa
domowego



■ KOSZTY RECYKLINGU

- rozmontowany i sprzedany jako jednorodne części
- zdemontowany i sprzedany jako mieszanka materiałów (kompatybilnych)
- zdemontowany i zutylizowany jako odpad
- zdemontowany i zutylizowany jako odpad szkodliwy.

Uwzględniono dwa podstawowe czynniki:

- koszt demontażu
- koszt utylizacji i recyklingu materiałów

$$\text{KOSZTY RECYKLINGU} = \sum_{i=1}^n \text{ZYSKÓW} - \sum_{i=1}^n \text{KOSZTÓW}$$



■ KOSZTY RECYKLINGU

$$K_{RW} = \sum_{i=1}^n K_{MD} - \left(\sum_{i=1}^n K_{UMN} + \sum_{i=1}^n K_{Odpad} + \sum_{i=1}^n K_{Dem} \right)$$

K_{RW} - **koszt recyklingu wyrobu**

K_{MD} – **zysk ze sprzedaży dobrych materiałów** (nadających się do ponownego przetworzenia i wykorzystania) - masa x cena

K_{UMN} - **koszt unieszkodliwiania materiałów niebezpiecznych**

K_{Odpad} - **koszt odpadu** - masa x cena

K_{Dem} - **koszt demontażu wyrobu** – czas demontażu x koszt jednostkowy

n – liczba materiałów w danym wyrobie

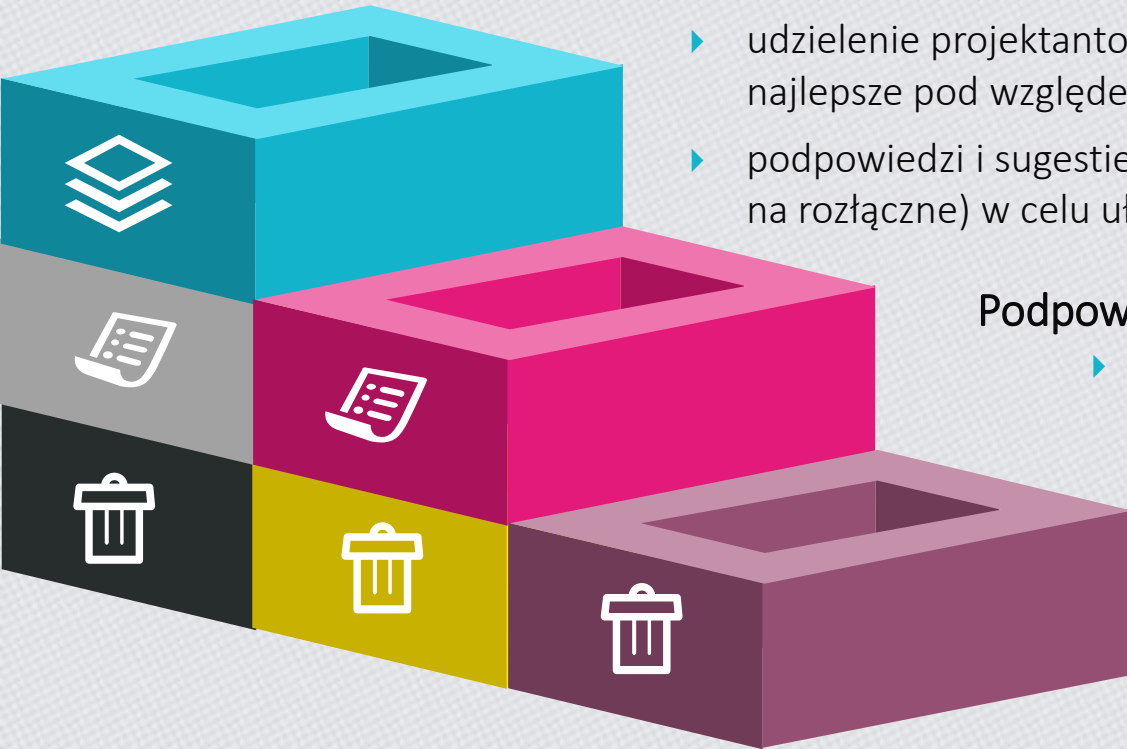
K_{RW} „+” to zysk jeżeli
 „-” to strata



■ PODPOWIEDZI I SUGESTIE

▶ Podpowiedzi i sugestie

- ▶ udzielenie projektantowi podpowiedzi, które rozwiązanie w projektowanym wyrobie będzie najlepsze pod względem recyklingu
- ▶ podpowiedzi i sugestie dotyczą zmiany materiału lub zmiany typu połączenia (np. nierozłącznego na rozłączne) w celu ułatwienia demontażu



Podpowiedzi

- ▶ na podstawie CWR oraz klasyfikacji elementów, wytypowane zostają elementy do zmiany (których nie można zdemontować i są niekompatybilne materiałowo z połączonymi elementami)

Sugestie

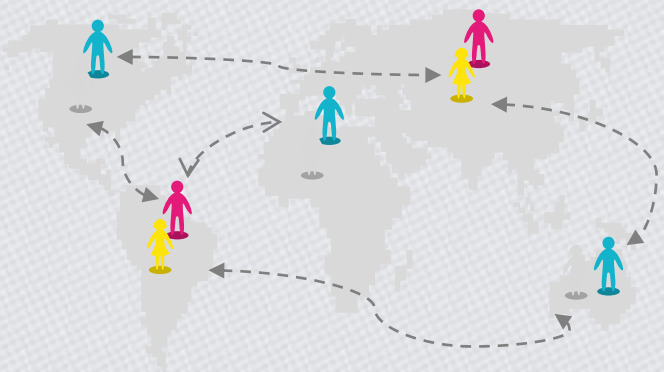
- ▶ połączenie podpowiedzi (wynikającej z analizy projektu) oraz zebranych danych behawioralnych

■ PODPOWIEDZI I SUGESTIE

- **Podpowieć** - zmiana materiału elementu E wyrobu, z materiału M , na jeden z kompatybilnych materiałów X , Y , Z .
- Na podstawie danych historycznych wiadomo, że projektanci wykonywali zmianę $M-X$ 10 razy, $M-Y$ 5 razy, a zmiana $M-Z$ jeszcze nie została zarejestrowana.
- **Sugestią** priorytetową będzie zmiana elementu E z materiału M na X . **Sugestią** drugorzędną będzie zmiana na materiał Y , a zmiana na materiał Z pozostanie jedynie **podpowiedzią**.



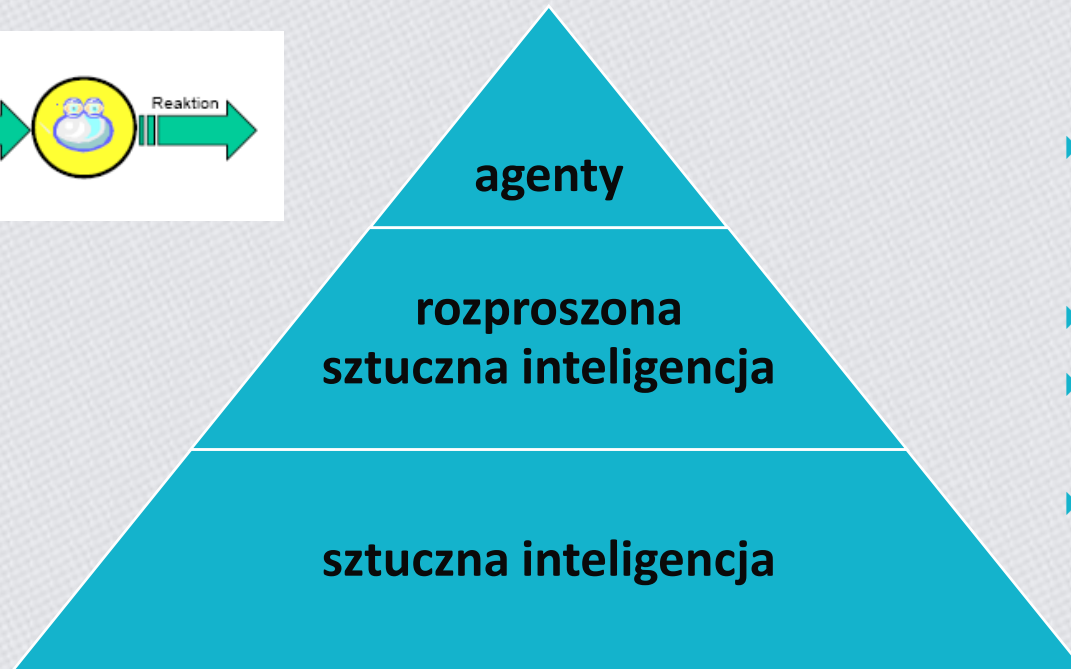
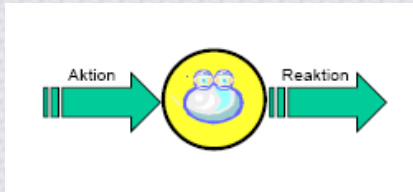
■ ŚRODOWISKO PROJEKTOWE



- ▶ Środowisko projektowe charakteryzuje się strukturą rozproszoną
 - ▶ projektanci pracują w różnych miejscach, korzystają z różnych systemów CAD
 - ▶ podczas projektowania konstrukcja wyrobu ulega częstej modyfikacji, dlatego też niezbędne jest monitorowanie na bieżąco (on-line) proekologicznych właściwości wyrobu

■ SYSTEM AGENTOWY

Agenty są „programowymi bytami”, które wykonują pewien zbiór operacji w imieniu użytkownika lub innego programu, w pewnym stopniu niezależnie lub autonomicznie, przy czym do tej działalności używają pewnej wiedzy reprezentującej cele lub zamierzenia [Wooldridge/Jennings].



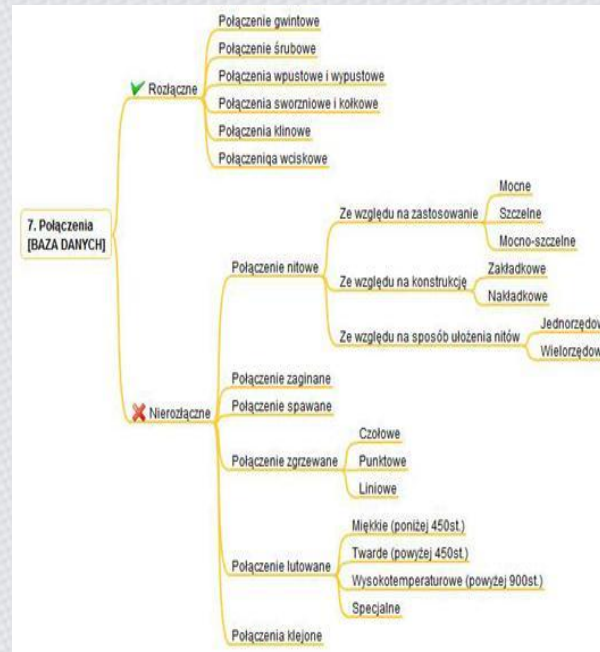
Cechy agentów:

- ▶ **obserwacja** - agent rejestruje dynamicznie zmieniające się warunki środowiska, podejmuje działania w celu zmiany tych warunków i realizuje własne zamierzenia
- ▶ **autonomia** - agenty przebywają w złożonym, dynamicznym środowisku, postrzegają je i działają w nim autonomicznie, wykonują zadania, do których zostały zaprojektowane
- ▶ **mobilność** - może przemieszczać się w sieci
- ▶ **komunikacja** - agent komunikuje się z użytkownikiem lub z innymi agentami
- ▶ **inteligencja** - agent interpretuje zdarzenia, na podstawie których podejmuje decyzje

SYSTEM AGENTOWY

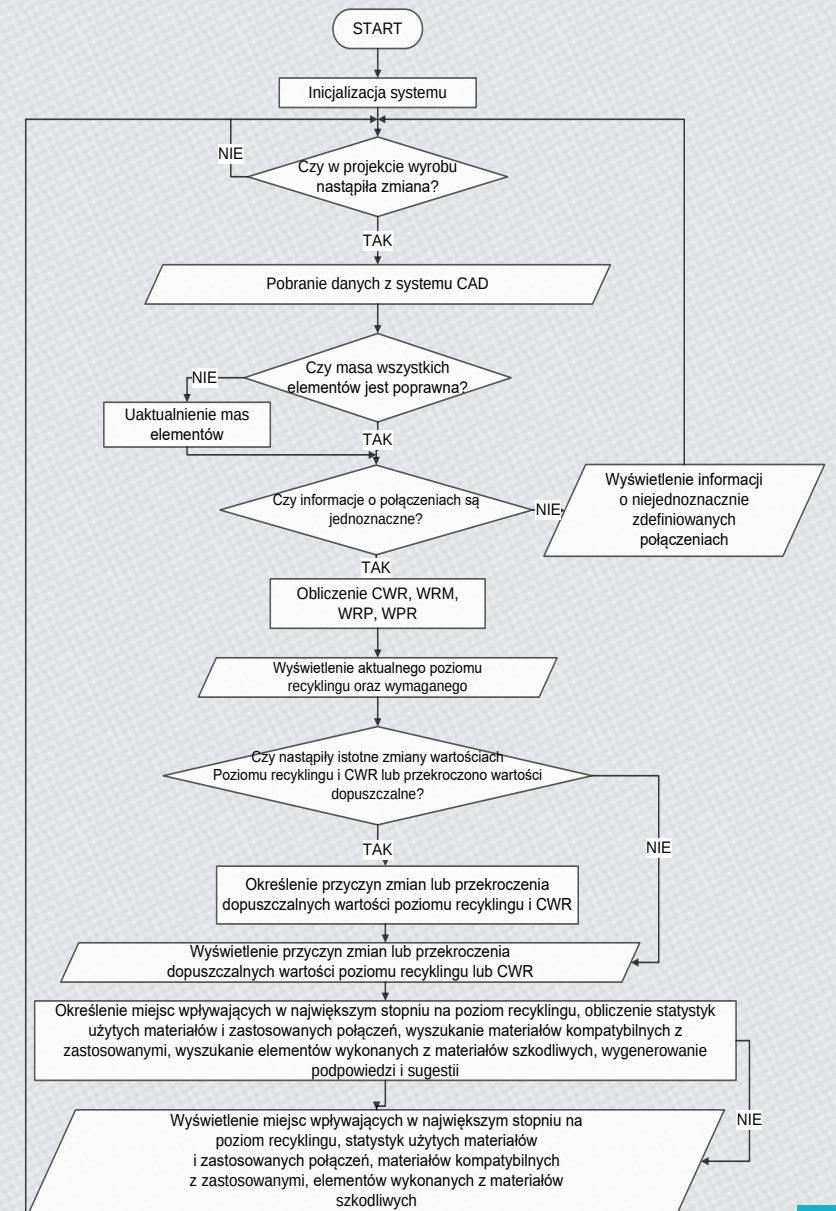
Budowa ontologii:

- identyfikacja pojęć (definicja klas)
- budowa struktury pojęć (ułożenie klas w hierarchiczne struktury)
- modelowanie relacji jako atrybutów klas (zdefiniowanie własności i zbiorów wartości dla poszczególnych klas)
- wytyczne dla systemu agentowego



Projekt systemu:

- wymagania funkcjonalne
- algorytm działania systemu
- projekty agentów
- zasady współpracy



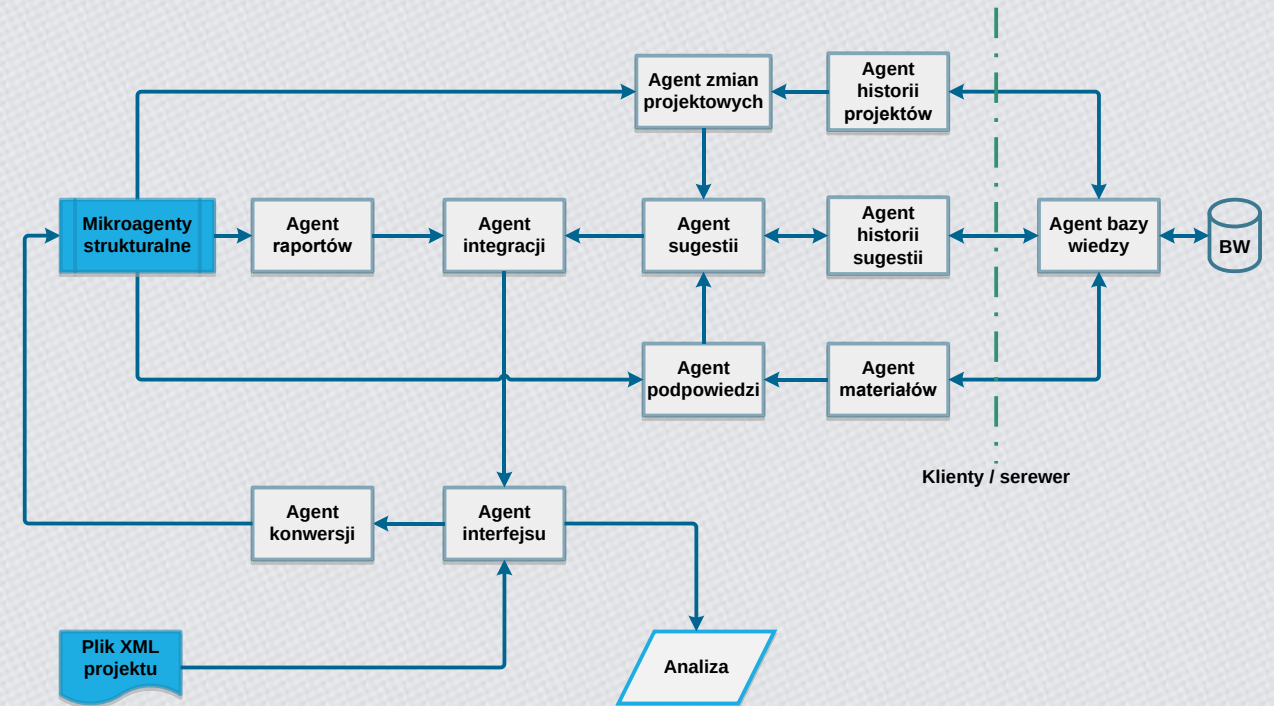
SYSTEM AGENTOWY

System agentowy:

- ▶ oprogramowano 16 typów agentów
- ▶ każdy agent pełni ściśle określoną rolę
- ▶ agenty komunikują się między sobą i realizują zaplanowane zadania
- ▶ zaimplementowano bazę wiedzy (podpowiedzi i sugestie)
- ▶ wersja językowa polska i angielska

The screenshot shows the 'Agent - Projektant' application window. It has several tabs: 'Raporty', 'Narzędzia', and 'Język'. The 'Narzędzia' tab is active, showing a 'Wskaznik recyklingu' section with a dropdown menu set to 'Domyślny' and a table of values. Below this is an 'Analiza' section with a table of data. The table has columns: 'Nazwa', 'Waga', 'P.Recyklingu', 'R.Materiałów', 'R.Polączni', 'Demontowany?', 'Jako jeden?', and 'Kompatybilny?'. The table contains several rows of data, including materials like 'Al+Sn', 'Al+Cu', 'Al+Mg', 'Hg+Sn', 'Hg+Cu', 'Hg+Mg', 'Al+Sn-Buk', 'Al+Cu-Buk', and 'Al+Sn-Buk-1'. The bottom of the window shows a 'Wskaznik recyklingu' section with a table of data.

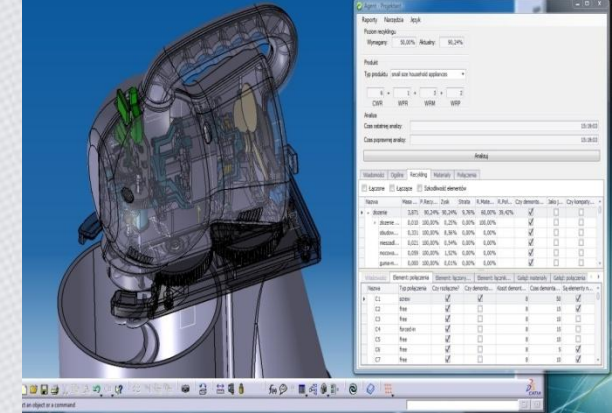
Nazwa	Waga	P.Recyklingu	R.Materiałów	R.Polączni	Demontowany?	Jako jeden?	Kompatybilny?
Al+Sn	100 280,000	0,553	0,722	0,692	✓	✓	✓
Al+Cu	10 030,000	1,000	0,500	1,000	✓	✓	✓
Al+Mg	11 640,000	1,000	0,500	1,000	✓	✓	✓
Al+Sn-Buk	14 200,000	1,000	1,000	1,000	✓	✓	✓
Al+Cu-Buk	14 360,000	0,000	1,000	1,000	✓	✓	✓
Al+Mg-Buk	14 360,000	0,000	1,000	1,000	✓	✓	✓
Al+Sn-Buk-1	10 740,000	0,500	0,667	0,667	✓	✓	✓
Al+Cu-Buk-1	10 740,000	1,000	0,667	1,000	✓	✓	✓
Al+Sn-Buk-2	10 740,000	0,500	0,667	1,000	✓	✓	✓



■ SYSTEM AGENTOWY

Wybrane funkcje agentów:

- ▶ **Agent interfejsu** odpowiada za monitorowanie pracy projektanta. Wykrywa zmiany w projekcie CAD 3D.
- ▶ **Agent konwersji** konwertuje dane z systemu CAD 3D do systemu agentowego.
- ▶ **Agenty strukturalne** (mikroagenty) stanowią zespół agentów, które przemieszczają się po drzewie projektowanego wyrobu obliczają parametry recyklingowe m.in.: poziom recyklingu, różnorodności połączeń, różnorodności materiałów.
- ▶ **Agent zmian** projektowych porównuje obecną i poprzednią wersję projektu i tworzy listę dokonanych zmian.
- ▶ **Agent podpowiedzi** dokonuje algorytmicznej analizy projektu i tworzy listę możliwych korzystnych zmian.
- ▶ **Agent sugestii** kwalifikuje podpowiedzi jako sugestie na podstawie historii zaakceptowanych podpowiedzi oraz wykrywa podpowiedzi wykorzystane przez projektanta w nowej wersji projektu.
- ▶ **Agent historii sugestii** przechowuje informacje o podpowiedziach wykorzystanych we wszystkich projektach.
- ▶ **Agent materiałów** przechowuje bazy materiałów do każdego projektu i udziela informacji o ich kompatybilności.
- ▶ **Agent raportów** tworzy raporty na podstawie wyników analizy.
- ▶ **Agent integracji** zbiera wyniki pracy poszczególnych agentów i przesyła je do agenta interfejsu.
- ▶ **Agent bazy wiedzy** zapisuje wszystkie zasoby wiedzy niezbędne do wysunięcia sugestii i podpowiedzi.



■ SYSTEM AGENTOWY

Edycja typów wyrobów

Plik

Typ wyrobu

Domyślny

Nowy

Usuń

Progi

Domyślny

Sprawdź poprawność

Wymagany poziom recyklingu 0,00%

Poziom recyklingu	Różnorodność materiałów	Różnorodność połączeń
Min	Max	Podgląd
0,00%	25,00%	<0,00% - 25,00%
25,00%	50,00%	<25,00% - 50,00%
50,00%	75,00%	<50,00% - 75,00%
75,00%	100,00%	<75,00% - 100,00%

Zapisz

Anuluj

Agent - Projektant

Raporty Narzędzia Język

Poziom recyklingu

Wymagany: 50,00% Aktualny: 90,24%

Produkt

Typ produktu small size household appliances

6 = 1 + 3 + 2

CWR WPR WRM WRP

Analiza

Czas ostatniej analizy: 15:19:03

Czas poprawnej analizy: 15:19:03

Analizuj

Wiadomości Ogólne Recykling Materiały

Podpowiedź

Typ: Edycja materiału.

Opis: stal ogólnego przeznaczenia -> POM

Nazwa: stojan.1

Zysk: 6,119%

Podpowiedź

Typ: Edycja materiału.

Opis: stal ogólnego przeznaczenia -> SAN

Nazwa: stojan.1

Zysk: 6,119%

Agent - Projektant

Raporty Narzędzia Język

Poziom recyklingu

Wymagany: 50,00% Aktualny: 90,24%

Produkt

Typ produktu small size household appliances

6 = 1 + 3 + 2

CWR WPR WRM WRP

Analiza

Czas ostatniej analizy: 15:19:03

Czas poprawnej analizy: 15:19:03

Analizuj

Wiadomości Ogólne Recykling Materiały Połączenia

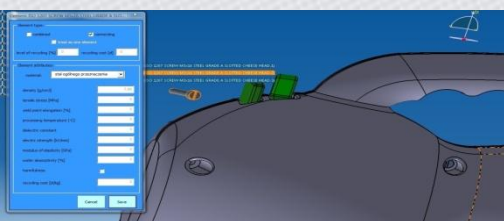
Łączone Łączące Skodliwość elementów

Nazwa	Masa ...	P.Recyc...	Zysk	Strata	R.Mate...	R.Pol...	Czy demonto...	Jako J...	Czy kompaty...
złożenie	3,871	90,24%	90,24%	9,76%	60,00%	39,42%	✓	□	□
złożenie ...	0,010	100,00%	0,25%	0,00%	100,00%		✓	□	□
obudow...	0,331	100,00%	8,56%	0,00%	0,00%		✓	□	□
mieszadl...	0,021	100,00%	0,54%	0,00%	0,00%		✓	□	□
mocowa...	0,059	100,00%	1,52%	0,00%	0,00%		✓	□	□
guma-m...	0,000	100,00%	0,01%	0,00%	0,00%		✓	□	□

Właściwości Element: połączenia Element: łączony... Element: łącznik... Gałąź: materiały Gałąź: połączenia

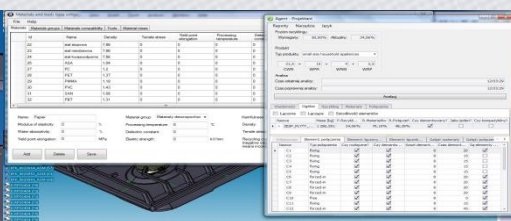
Nazwa	Typ połączenia	Czy rozłączne?	Czy demonto...	Koszt demont...	Czas demonta...	Są elementy n...
C1	screw	✓	✓	8	50	✓
C2	free	✓	□	8	15	✓
C3	free	✓	□	8	10	□
C4	forced-in	✓	□	8	15	□
C5	free	✓	□	8	10	□
C6	free	✓	□	8	5	✓
C7	free	✓	□	8	10	✓

■ ZASTOSOWANIE SYSTEMU



RECYKLINGOWY MODEL WYROBU

- ▶ standardowy model geometryczny 3D
- ▶ rozszerzona struktura wyrobu
- ▶ rozszerzone atrybuty materiałowe
- ▶ atrybuty demontażowe (dane o procesie demontażu)



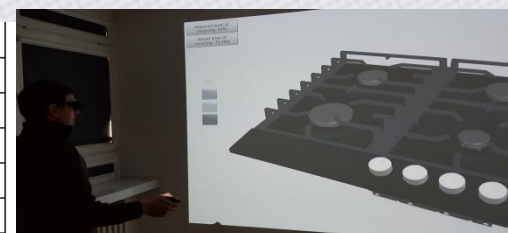
WYKONANIE ANALIZ WE WSPÓŁPRACY Z PRZEDSIĘBIORCAMI

- ▶ przeprowadzono analizy dla wyrobów produkowanych przez przedsiębiorstwo z branży AGD
- ▶ łącznie poddano analizie 10 różnych wyrobów

	A.1b	A.2a	A.2b	A.2c	A.2d	A.3a	A.3b	A.4a	A.4b	A.4c	A.4d
CWR	7,5	21	7	21,5	7,5	7	7,5	21	7	21,5	7,5
WPR	1	15	1	15	1	1	1	15	1	15	1
WRP	3,5	3	3	3,5	3,5	3	3,5	3	3	3,5	3,5
WRP	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
TD [g]	46	38	40	43	46	40	46	30	40	36	46
LM	4	4	4	5	4	4	4	6	5	6	5
LP	4	3	3	4	4	3	4	2	3	3	4
K _{com}	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
K _{up}	1,05	0,09	1,17	-0,31	1,20	1,15	1,17	0,90	1,25	0,88	1,23
K _{aw}	1,00	0,04	1,11	-0,37	1,14	1,09	1,11	0,85	1,19	0,84	1,17
WPR%	100	41	100	40	100	100	100	72	100	72	100

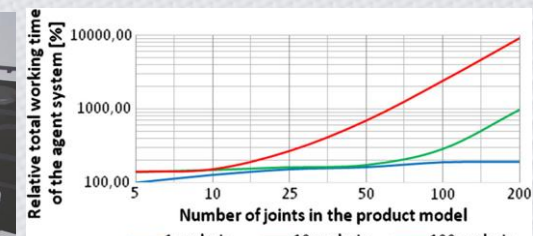
OCENA RECYKLINGOWA DLA RÓŻNYCH WARIATÓW TEGO SAMEGO WYROBU

- ▶ zamodelowano 16 wariantów tego samego wyrobu
- ▶ zastosowano różne materiały i typy połączeń dla każdego wariantu
- ▶ system obliczył: wskaźniki, czas i koszt demontażu



ZASTOSOWANIE SYSTEMU DO OCENY RECYKLINGOWEJ WYROBU W ŚRODOWISKU VR

bazując na interaktywnym modelu wyrobu 3D zaimplementowanym w środowisku wirtualnym system agentowy wykonał obliczenia i wygenerował podpowiedzi dotyczące polepszenia właściwości recyklingowych wyrobu



ANALIZA WYDAJNOŚCI SYSTEMU

sprawdzono wydajność systemu w zależności od liczby połączeń zastosowanych w wyrobie i liczby jednocześnie przeprowadzanych analiz; czas oceny recyklingowej, nawet przy dużej złożoności wyrobu, jest akceptowalny przez użytkownika



■ PODSUMOWANIE

METODYKA	autorska, nowatorska metodyka proekologicznego projektowania wyrobów ukierunkowana na recykling rozszerzająca możliwości przeprowadzania oceny recyklingowej w praktyce
OCENA RECYKLINGOWA	oryginalny zestaw wskaźników recyklingu, służących do oceny recyklingowej wyrobu, które umożliwiły porównanie różnych wariantów wyrobu
SYSTEM AGENTOWY	zastosowanie rozproszonej sztucznej inteligencji zapewniło pełną automatyzację obliczeń i ich aktualizacji (bez udziału użytkownika), ocena w trybie on-line, zapewnienie możliwości działania w rozproszonym środowisku projektowym
UNIWERSALNOŚĆ	ocena bazuje na strukturze wyrobu, możliwość współpracy z różnymi systemami CAD
PRAKTYCZNOŚĆ	proste narzędzie, niewymagające wiedzy nt. ekoprojektowania od projektanta, wskazywanie miejsc w wyrobie mających największy wpływ na złe parametry recyklingowe, porównywanie różnych wariantów wyrobu i wskazywanie tych potencjalnie najlepszych z punktu widzenia recyklingu, PODPOWIEDZI I SUGESTIE
AUTOMATYZACJA PROCESU EKOPROJEKTOWANIA	system agentowy do oceny recyklingowej i system ekspertowy wspomagający dobór materiałów i połączeń wpisują się w założenia Przemysłu 4.0, gdzie ważną rolę odgrywa pozyskanie i przetwarzanie dużej ilości danych oraz automatyzacja procesów.



Dziękuję za uwagę.

Prace zostały wykonane w ramach projektów finansowanych przez NCN i MEiN.

Skład zespołu projektowego:

Dr hab. inż. Ewa Dostatni, prof. PP – kierownik

Dr inż. Jacek Diakun

Dr inż. Damian Grajewski

Dr inż. Anna Karwasz

Dr inż. Radosław Wichniarek

dr hab. inż. **Ewa DOSTATNI**, prof. PP

Politechnika Poznańska

Wydział Inżynierii Mechanicznej

Instytut Technologii Materiałów

Zakład Inżynierii Produkcji

ewa.dostatni@put.poznan.pl