

# ANALIZA I OCENA PROTOTYPOWEGO PROJEKTU AUTOMATYCZNEGO STANOWISKA DO ODMUCHIWANIA ELEMENTÓW ALUMINIOWYCH PO OBRÓBCE SKRAWANIEM W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE

Roman KIELEC

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono rzeczywisty przykład przemysłowy wybranego przedsiębiorstwa w aspekcie przeprowadzenia wnikliwej analizy i oceny realizacji nowatorskiego projektu automatycznego stanowiska do oczyszczania strumieniem powietrza elementów aluminiowych po obróbce ubytkowej. Ocenę projektu przeprowadzono etapowo. W pierwszej części pracy przedstawiono analizę problemu oraz sporządzono listę wymagań produktu. Część druga poświęcona jest wybranej analizie metodologicznej. Pracę zakończono przedstawieniem modelu 3D urządzenia oraz jego prototyp.

**Słowa kluczowe:** innowacja, metodologia oceny, prototypowanie.

## 1. Wstęp

Problem projektowania prototypowego powinien wynikać z dokładnej analizy i identyfikacji potrzeby. Należy go ujmować jako poszukiwanie sposobu wykonania procesu technicznego, który zaspokaja określoną potrzebę. Projektowanie ma na celu zaplanowanie środków technicznych realizujących dany proces. W etapie tym poszukujemy środków technicznych. Należy w sposób szczegółowy sprecyzować wymagania techniczne i ekonomiczne, kryteria oceny, informacje na temat stanu techniki i dokładny opis warunków pracy projektowanego urządzenia [1]. Wymienionym celom służy etap analizy problemu projektowego – po przejściu tego etapu dysponujemy wystarczającą ilością informacji do rozpoczęcia pracy nad rozwiązaniem. W przypadku, gdy zadanie zostanie uznane za wykonalne, należy przystąpić do poszukiwań koncepcji rozwiązań, jeżeli niewykonalne inaczej sformułować problem lub całkowicie zaniechać prac.

Przedmiotem pracy jest przeprowadzenie analizy metodologicznej prototypu automatycznego urządzenia do odmuśniania detali z pozostałości obróbkowych, tj. wiórów i emulsji chłodzącej. Do czasu podjęcia decyzji przez zarząd firmy czynność ta wykonywana była w przedsiębiorstwie ręcznie, przez operatora obsługującego obrabiarkę.

## 2. Analiza problemu

Na tym etapie celowe jest wyodrębnienie fazy intensywnego poszukiwania koncepcji rozwiązań. Wybór metody zależy od stopnia innowacji i złożoności zadania projektowego. Metodę poszukiwania koncepcji wybiera się na podstawie doświadczenia i intuicji, ponieważ dysponujemy niewystarczającą ilością informacji o skuteczności innych metod [2]. Ogólnie zaleca się przeszukiwanie przestrzeni rozwiązań, która prowadzi do

wyłonienia dużej liczby ich wariantów, wobec czego proces weryfikacji i oceny powinien być odpowiednio sprawny.

Utrudnienie stanowi ograniczony dostęp do informacji przydatnych do oceniania. Koncepcje są oceniane według kryteriów sformułowanych podczas analizy problemu. Powoduje to często potrzebę bardziej szczegółowego opracowania koncepcji, gdyż w postaci podstawowej nie można ich ocenić. W rezultacie powinno zostać kilka koncepcji dających realną szansę realizacji założonych celów technicznych i ekonomicznych. Kwalifikacja wariantów stanowi kolejną ważną decyzję, gdyż może zapobiegać marnotrawieniu czasu i nakładów związanych z projektowaniem i wytwarzaniem błędnych koncepcji. W przypadku nie uzyskania pozytywnej oceny przez żaden z wymienionych wariantów należy wykonać sprzężenie zwrotne do początku, czyli analizę problemu.

## 2.1. Zebranie informacji

Pomocą w tych działaniach, a jednocześnie podstawą późniejszych poprawnych decyzji, jest lista wymagań. Lista taka jest niezbędna szczególnie przy zadaniach nowatorskich, jak i przy analizie zadań cząstkowych.

Sformułowanie zadania poza działem konstrukcyjnym w wielu przypadkach nie zawiera wszystkich informacji potrzebnych do scharakteryzowania rozwiązywanego problemu. Dlatego też wyjaśnić należy następujące kwestie:

Jaki dokładnie problem ma być rozwiązany?

- oczyszczenie elementów aluminiowych po obróbce skrawaniem,
- zwiększenie wydajności produkcyjnej,
- bezpieczeństwo i higiena pracy.

Jakie istnieją – często niewypowiedziane – życzenia i oczekiwania?

- prostota obsługi,
- niezawodność,
- bezpieczeństwo,
- możliwość łatwego przemieszczania,
- stosunkowo małe rozmiary.

Czy podane w sformułowaniu zadania, warunki można zrealizować?

*Wejście: Zanieczyszczony detal*

### **Zmienne wejściowe:**

Ilość wsadu  
Ciężar wsadu  
Rodzaj materiału  
Ilość zanieczyszczeń  
Rodzaj zanieczyszczeń

### **Założenia wejściowe:**

nie większa niż 1 szt.  
nie większy niż 2 kg  
dowolny  
dowolna  
dowolny

*Wyjście: Czysty detal*

### **Zmienne wyjściowe:**

Ilość brudu  
Zmiana chropowatości pow.

### **Założenia wyjściowe**

nie większa niż 1% początkowej  
niedopuszczalna

**Zmienne rozwiązania:** wymiary, kształt, metoda uwalniania zanieczyszczeń, metoda oddzielania zanieczyszczeń od detalu, źródło energii, materiały konstrukcyjne.

**Ograniczenia:** wymiary nie większe niż 100cm x 170cm x 65cm, źródło zasilania energią 220÷230V prądu przemiennego, wymagane zatwierdzenie przez służbę BHP, koszt własny do 7000 PLN, pewność działania przy nieumiejętnej obsłudze.

**Kryteria oceny:** estetyczny wygląd, koszt wytwarzania, łatwość obsługi, bezpieczeństwo dla użytkownika, niezawodność, łatwość konserwacji i naprawy, skuteczność czyszczenia, ciężar, hałaśliwość, mobilność.

**Wykorzystanie:** Przeciętnie 1.500.000 cykli (ok. 5,5 lat).

## 2.2. Założenia i zmienne stanu wejściowego i stanu wyjściowego

Przedwczesne sugestie rozwiązań lub konkretne dane dotyczące realizacji zamieszczone w sformułowaniu zadania uniemożliwiają często osiągnięcie optymalnego wyniku. Ustalone powinny być jedynie wymagane funkcje wraz z odpowiadającymi im wielkościami wejściowymi i wyjściowymi oraz warunkami specyficznymi dla zadania. W tym kontekście dobrze jest uzyskać odpowiedź na następujące pytania:

### **Jaki cel musi spełniać zamierzone rozwiązanie techniczne?**

- nadrzędnym celem tego rozwiązania technicznego jest przede wszystkim wyłączenie pracownika z konieczności ręcznego czyszczenia detali po obróbce, a w konsekwencji możliwość wykonania przez pracownika – w tym samym czasie – pomiarów kontrolnych i wprowadzenie korekcyjnych wymiarów w komputerze maszyny.

### **Jakie musi mieć ono właściwości?**

- możliwość przystosowania dla różnego rodzaju detali obrabianych (wielkość, kształt),
- prostota obsługi i konserwacji,
- możliwość szybkiego montażu i demontażu np.: w razie awarii, konieczności wymiany lub naprawy poszczególnych części,
- lekka i zwarta konstrukcja,
- jak najmniejsza powierzchnia zajmowana przez urządzenie,
- mobilność,
- niski poziom hałasu.

### **Jakie właściwości rozwiązania technicznego są niepożądane?**

- skomplikowana obsługa,
- wysokie koszty wytworzenia i eksploatacji,
- zbyt duża masa,
- zbyt duża powierzchnia zajmowana przez urządzenie,
- duża awaryjność,
- wysoki poziom hałasu,
- brak możliwości wymiany lub naprawy poszczególnych części w razie awarii.

## 2.3. Określenie zmiennych rozwiązania

Przed sporządzeniem listy wymagań technicznych należy jasno wyznaczyć cele i założenia opracowywanego rozwiązania. Podstawą tego są kolejne wymagania przedstawiane następnie w postaci żądań i życzeń.

Żądania, które należy spełnić bez względu na okoliczności, tzn. bez realizacji których, rozwiązanie nie może być w żadnym razie zaakceptowane:

- pierwszym i najważniejszym żądaniem jest bardzo dobra praca urządzenia polegająca na dokładnym oczyszczeniu elementów z pozostałości obróbkowych. Nie można pozwolić na to, by pracownik musiał dodatkowo ręcznie odmuśliwać

detale, ponieważ mija się to z celem i sprawia, że nasze działania podjęte w kierunku udoskonalenia procesu stają się bezzasadne,

- bardzo dobre odprowadzanie oparów z komory odmuchiwarki oraz ich skroplenie w celu ponownego użycia,
- niski poziom hałasu podczas pracy urządzenia,
- możliwość przystosowania odmuchiwarki do innych elementów obrabianych,
- zabezpieczenia uniemożliwiające obsługę w niewłaściwy sposób np.: podwójne przyciski uruchamiające odmuchiwanie (konieczność jednoczesnego naciśnięcia obu przycisków), czujniki zbliżeniowe i fotokomórka w celu uniknięcia obrażeń przez pracownika.

Życzenia, które powinny być uwzględniane przy jednoczesnym zaakceptowaniu ustępstw dotyczących podwyższonego nakładu:

- możliwość programowania czasu trwania procesu, siły strumienia powietrza itp.,
- oświetlenie wewnątrz komory odmuchiwarki,
- połączenie zbiornika urządzenia, w którym gromadzi się emulsja chłodząca z zbiornikiem emulsji maszyny,
- mocowanie dysz za pomocą szybkozłączy pozwalających na szybką wymianę.

Odróżnienie żądań od życzeń jest wymagane również ze względu na późniejszą ocenę. W chwili dokonywania wyboru, zadawanie pytań dotyczących możliwości spełnienia żądań oraz udzielanie odpowiedzi podczas jego wartościowania, umożliwia podjęcie decyzji systemowych lub blokowych spełniających stawiane wymagania.

Lista wymagań będzie zatem zapisem wszystkich żądań i życzeń wyrażonych w języku działów, które przystępują do realizacji konstrukcji. W ten sposób lista wymagań zawiera również wszystkie wymagania wyjściowe, a ponieważ jest stale uzupełniana najnowszymi danymi, stanowi aktualną dokumentację roboczą. Jednocześnie jest ona dokumentem dla kierownictwa zakładu i działu sprzedaży, a partnerów przekazującym zlecenia do realizacji zmusza do jednoznacznego stanowiska w przypadku kwestionowania przez nich ustaleń zapisanych w liście wymagań.

### **3. Poszukiwanie rozwiązań**

W projektowaniu określa się podstawowe cechy konstrukcyjne i opracowuje modele matematyczne oraz fizyczne dla sprawdzenia własności statycznych, dynamicznych oraz niezawodności. Badanie modeli powinno być połączone z optymalizacją i dążeniem do osiągnięcia jak najlepszych wskaźników rozwiązania. Jeżeli w etapie tym spełni się założenia zawarte w etapie analizy to możemy przystąpić do projektowania szczegółowego. W przeciwnym razie należy zmodyfikować rozwiązanie poprzez zmianę struktury bądź zmianę konstrukcji wybranych elementów. Niepowodzenie zmusza do iteracji i ponownego przeanalizowania problemu projektowego. W toku wykonywania rysunków wykonawczych może okazać się celowe uściślenie modeli sporządzonych w fazie projektowania wstępnego i ponowna ich analiza. Może wystąpić potrzeba wykonywania modyfikacji. W tym czasie należy podjąć decyzję o realizacji projektu bądź jego zaniechaniu.

#### **3.1. Wybór metody poszukiwania rozwiązania.**

Do znanych współczesnemu projektantowi metod, które pozwolą w sposób optymalny skupić się na cechach najbardziej korzystnych z jego punktu widzenia, a najbardziej przydatnych i najwygodniejszych z punktu widzenia użytkownika należą:

- decyzje wymuszone,
- macierz wyboru,
- drzewo błędów,
- tabela decyzji wymuszonych,
- waga kryteriów,
- metoda morfologiczna.

Spośród wymienionych metod, do zaprojektowania urządzenia, wybrano metodę podejmowania decyzji umożliwiającą analizę złożonych, dynamicznych systemów. W metodzie tej – F. Zwicky’ego – należy w sposób precyzyjny określić problem. Jej podstawowym założeniem jest teza, że każdy system można określić zbiorem charakterystycznych cech (parametrów) a każdą cechę – zbiorem środków (stanów parametrycznych) jej spełnienia. Każdą taką cechę autor tej metody nazywa zmienną niezależną. Wyodrębniając takie zmienne można określić wszystkie możliwe składowe każdej funkcji czy każdej formy i poddać je analizie. Cechy i warianty ich spełnienia składają się na tzw. tablicę morfologiczną. Stanowi ona zbiór kombinacji łączących ze sobą różne składowe, a więc różnych koncepcji rozwiązania problemu. Z rozwiązań tych należy wybrać te, które mogą być użyteczne z punktu widzenia osiągnięcia zamierzonych celów.

Metoda ta obejmuje 4 etapy: sformułowanie zadania (postawienie problemu), identyfikację i analizę zbioru charakterystycznych cech rozpatrywanego problemu i podział tego problemu na elementy składowe (dekompozycja problemu), syntezę, tj. budowę macierzy morfologicznej (zbioru koncepcji rozwiązania problemu), sformułowanie kryteriów oceny rozwiązań i dokonanie wyboru rozwiązania optymalnego, opracowanie wyników.

W metodzie tej ważne jest łączenie ze sobą różnych cech, czyli tworzenie kombinacji, niejednorodnych modeli teoretycznych, a następnie redukcja liczby tych modeli (kombinacji) tak aby ich selekcja nie była przypadkowa.

Tak naprawdę to trudno zdefiniować jest pojęcie „twórcze myślenie” czy też "twórcze rozwiązywanie problemów" jednak bezspornym jest fakt, iż właśnie te cechy charakteryzują każdego dobrego przywódcę. Twórczy przywódca potrafią rozpoznać problem wówczas, gdy inni jeszcze go nie dostrzegają, mają niezwykłą umiejętność roztaczania wizji i "zarażania" nią innych. Istnieją dowody, które świadczą o bezpośrednim związku między myśleniem twórczym, a skutecznością organizacji.

Proces twórczego myślenia obejmuje sześć etapów [3]: poszukiwanie celu, ustalenie faktów, znalezienie problemu, ustalenie koncepcji, znalezienie rozwiązania, znalezienie akceptacji.

Ustalenie koncepcji jako etap czwarty może zostać osiągnięty różnymi metodami. Cztery z obecnie znanych uznawane są jako dominujące tj.:

- burza mózgów,
- analiza morfologiczna,
- myślenie lateralne,
- synektyka.

Twórcą analizy morfologicznej jest Zwicky. Podejście tej metody opiera się na [3]: stworzeniu pełnej listy różnych punktów widzenia danego problemu, sporządzenie listy cech charakteryzujących określone wcześniej kategorie oraz przeanalizowanie możliwie największej liczby kombinacji cech z różnych kategorii, wybór najbardziej obiecujących i niezwykłych koncepcji, ustalenie czy wybrane koncepcje są odpowiednie.

Poza metodą analizy morfologicznej istnieją techniki pokrewne, oparte na identyfikacji problemu. Są to między innymi: tworzenie listy, listy kontrolne, frazesy, przysłowia, maksymy, listy atrybutów, metoda szabli, technika uszczegółowiania, heurystyczna metoda tworzenia idei, technika morfologiczna Allena i inne.

Zastosowanie tej techniki jest bardzo szerokie, obejmuje projektowanie produktu, zmiany technologiczne, badanie rynku oraz analizowanie problemów społecznych. Na początku należy sporządzić listę wszystkich możliwych aspektów, które mogą określać analizowany problem [5].

Analiza morfologiczna to technika, która najlepiej nadaje się do tworzenia koncepcji o charakterze badawczym oraz do takich, które analizują możliwości. Metoda ta znajduje najlepsze zastosowanie w procesie tworzenia koncepcji w zakresie: nowych produktów i usług, zastosowania nowych materiałów, nowych segmentów rynkowych i aplikacji, nowych sposobów rozwoju przewagi konkurencyjnej, tworzenia nowatorskich technik promocji produktów, identyfikacji możliwości poszerzenia rynku o nowe lokalizacje.

Natomiast nie jest zalecana do stosowania w sytuacjach gdzie istnieje tylko jedno rozwiązanie, gdzie chodzi o bardzo małą stawkę lub tam gdzie wiadomo, że problem ma tylko jeden aspekt.

### 3.2. Istota metody

Mając dany problem ( lub zadanie) P, dzieli się go na skończony i zupełny zbiór N podproblemów (pod zadań)  $P \rightarrow \{P_n : n = 1, \dots, N\}$

Każdemu podzadaniu  $P_n$  przypisuje się następnie pewien dyskretny zbiór jego podrozwiązań  $A_n$ , zwanych rozwiązaniami częściowymi  $P_n$ :  $P \rightarrow A_n = \{a_n^j : j = 1, \dots, J_n\}$

Następnie tworzy się metodą kombinatoryczną, iloczyn kartezjański zbiorów  $A_n$ , otrzymując zbiór rozwiązań A:  $A = A_1 \times \dots \times A_n \times \dots \times A_N$

o mocy V równej iloczynowi mocy zbiorów rozwiązań częściowych  $V = \prod_{n=1}^N J_n$

Zwykle używa się zapisu macierzowego, tworząc odpowiednią tablicę morfologiczną.

Tab. 1. Tablica morfologiczna

P	$a_n^j$
$A_1$	$a_1^1, \dots, a_1^2, \dots, a_1^j, \dots, a_1^{J_1}$
$A_2$	$a_2^1, \dots, a_2^2, \dots, a_2^j, \dots, a_2^{J_2}$
$\vdots$	
$A_n$	$a_n^1, \dots, a_n^2, \dots, a_n^j, \dots, a_n^{J_n}$
$\vdots$	
$A_N$	$a_N^1, \dots, a_N^2, \dots, a_N^j, \dots, a_N^{J_N}$

Możliwość podziału zadania na podzadania jest zaletą ale jednocześnie i wadą metody morfologicznej. Zaletą jest dlatego, że złożony, wielowymiarowy problem można zmienić na wiele prostszych problemów, przy czym ten podział może być hierarchicznie kontynuowany tak długo, aż dojdzie się do tak niskiego poziomu ogólności zadań, że znalezienie dla nich rozwiązań nie będzie trudne. Wadą zaś tego systemu jest to, że dane jedno zadanie można dzielić różnie, zależnie od kryterium, a każdy podział jest przydatny, przy czym brak jest jasnych reguł podziału. Żąda się tylko, aby podzadania wzajemnie nie implikowały (tzn. żadne z podzadań nie powinny być zależne od siebie). Jednocześnie podzadania powinny być wzajemnie powiązane. Drugą, często istotniejszą niedogodnością

metody jest to, że twórca musi wyobrazić sobie rozwiązanie już w momencie startu po to, aby mógł je podzielić, albo przynajmniej wyobrazić sobie jakiś pogląd, choćby na strukturę zadania i strukturę rozwiązania. Dlatego metoda morfologiczna przydatna jest tam, gdzie istnieją już pewne rozwiązania całościowe, choćby niezadowalające, lub gdy można wyobrazić sobie ich strukturę, przy czym nie musi to być struktura konstrukcyjna [3].

#### 4. Koncypowanie-sformułowanie zadania

Podstawą fazy koncypowania jest prawidłowe zdefiniowanie zadania Z na podstawie danego sformułowania problemu P. Służy do rewizji poprawności sformułowania problemu i przetransformowania go do nowej postaci tak, jak go rozumiemy i jak uważamy za słuszne ze względu na potrzebę. Nowe sformułowanie powinno być pełne oraz adekwatne do rzeczywistej potrzeby.

##### 4.1. Wybór dziedziny i granic rozwiązań

Istniejące w każdym indywidualnym przypadku ograniczenia powodują, że arbitralnie określamy dziedzinę poszukiwań, a także wyznaczamy zakres wartości poszczególnych zbiorów An. Dla ww. zadania można określić następujące morfologie:

###### **P<sub>I</sub> – rozwiązanie konstrukcji nośnej (rama);**

- P<sub>1</sub> – materiał
  - A<sub>1</sub> = {stal, stop aluminium, tworzywo sztuczne, drewno, inne}
- P<sub>2</sub> – przekrój poprzeczny
  - A<sub>2</sub> = {ceownik, teownik, dwuteownik, kątownik, pręt okrągły, kwadratowy itd.}
- P<sub>3</sub> – technologia wykonania
  - A<sub>3</sub> = {nitowanie, spawanie, zgrzewanie, klejenie, połączenia śrubowe, inne}

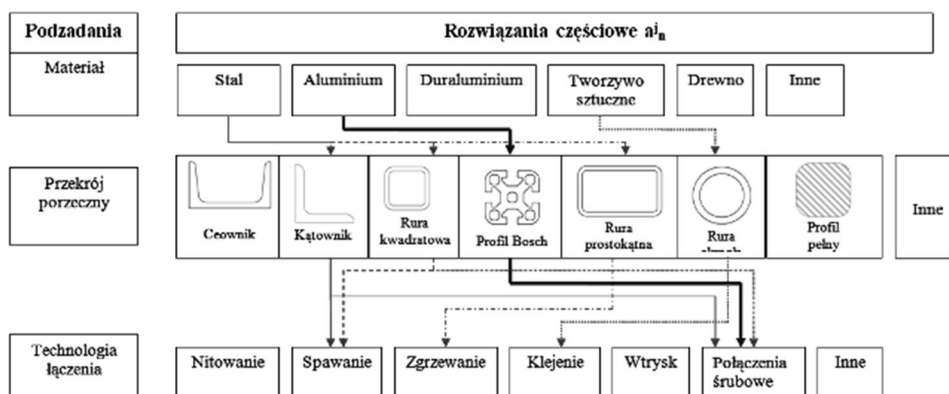
###### **P<sub>II</sub> – rozwiązanie konstrukcji mechanizmu (zasady działania);**

- P<sub>1</sub> – Źródła energii
  - A<sub>1</sub> = {człowiek, element galwaniczny, sieć elektryczna, powietrze, grawitacja}
- P<sub>2</sub> – Napęd
  - A<sub>2</sub> = {pneumatyczny, hydrauliczny, elektryczny, bez napędu, mechaniczny}
- P<sub>3</sub> – Sterowanie
  - A<sub>3</sub> = {ręczne, mechaniczne, elektroniczne, inne}
- P<sub>4</sub> – Regulator czasu pracy (cyklu)
  - A<sub>4</sub> = {zegarowy (mechaniczny), zegarowy (elektroniczny), człowiek, brak, inne}
- P<sub>5</sub> – Sposób przekazania napędu
  - A<sub>5</sub> = {zębaty, łańcuchowy, ślimakowy, elektromagnetyczny, brak, inne}
- P<sub>6</sub> – Przekazanie napędu na...
  - A<sub>6</sub> = {element czyszczący (szczoteczki), dysze, detal po obróbce, inne}
- P<sub>7</sub> – Rodzaj napędu
  - A<sub>7</sub> = {obrotowy, wzdłużny}
- P<sub>8</sub> – Środek, element czyszczący
  - A<sub>8</sub> = {szczoteczki, sprężone powietrze, ciecz (np woda), inne}

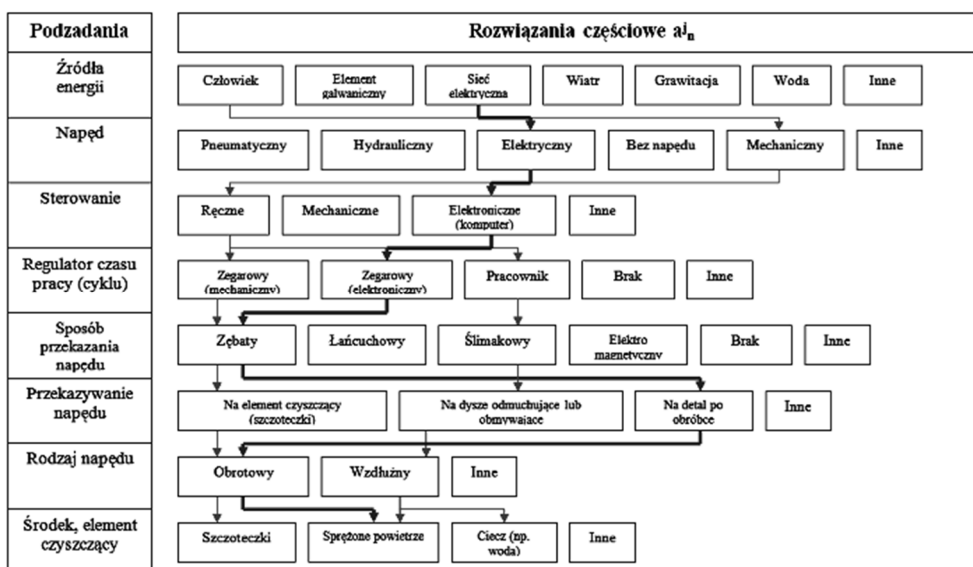
Do rozwiązania istniejącego problemu zastosowano dwie morfologie ponieważ żadna z właściwości A<sub>1</sub>÷A<sub>3</sub> problemu P<sub>I</sub> nie zmienia żadnej właściwości elementu A<sub>1</sub>÷A<sub>8</sub> problemu P<sub>II</sub>. Są to odrębne problemy i nie powinny należeć do tej samej morfologii. Tablice morfologiczne z możliwymi przebiegami rozwiązań przedstawiono na rys. 1, 2.

## 4.2. Określenie morfologii rozwiązań

Jest to zdecydowanie najtrudniejsze zadanie w metodzie morfologicznej i od jego jakości zależy jakość rezultatów metody. Jest działaniem heurystycznym i nie może być sformalizowane. Należy tu podzielić całe zadanie na istotne i niezależne podzadania.



Rys. 1. Tablica morfologiczna dla konstrukcji nośnej Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Tablica morfologiczna dla rozwiązania konstrukcyjnego mechanizmu (zasady działania) Źródło: Opracowanie własne

## 4.3. Wybór optymalnego wariantu

Metodę wyboru charakteryzują dwie czynności – eliminowanie i preferowanie. W pierwszej kolejności eliminuje się wszystko to, co uznano za absolutnie nieprzydatne. Jeżeli nadal pozostaje zbyt dużo rozwiązań, to należy faworyzować rozwiązania znacząco lepsze.



Tylko te, które uznano za lepsze od pozostałych, poddawane są wartościowaniu pod koniec fazy przygotowania projektu koncepcyjnego.

W przypadku bardzo licznych propozycji rozwiązań celowe jest sporządzenie arkusza wyboru. Po każdym kroku roboczym, a więc już po ułożeniu struktur funkcji składowych należy przyjąć zasadę, że prace kontynuowane są tylko nad tym, co: jest zgodne z zadaniem i zgodne w stosunku do innych uwzględnianych elementów (kryterium A), realizuje żądania listy wymagań (kryterium B), pozwala zorientować się w możliwościach realizacji poziomu oddziaływania, wielkości, wymaganego planowania itd. (kryterium C), pozwala spodziewać się nie przekroczenia dopuszczalnych nakładów (kryterium D).

Eliminowanie rozwiązań nieprzydatnych przebiega zgodnie z kolejnością wymienionych kryteriów. Kryteria A i B są przydatne w ocenie „tak – nie” i mogą być stosowane w dosyć prosty sposób. Dla uwzględnienia kryteriów C i D konieczne jest wykonanie badań, w których będzie przeważał czynnik ilościowy. Możliwość taka zaistnieje dopiero wówczas, gdy odpowiedź na kryteria A i B będzie pozytywna. Ocena według kryteriów C i D uzależniona jest w znacznym stopniu od uznania osoby oceniającej. Niezależnie od eliminowania motywowanego, np. niskim poziomem oddziaływania lub zbyt dużymi kosztami, preferować można ze względu np. na szczególnie wysoki poziom oddziaływania jakiejś wielkości, małą objętość lub spodziewane małe koszty wytworu. Preferowanie jest więc uzasadnione tylko wówczas, gdy wśród wielu możliwych rozwiązań znajdują się takie rozwiązania, które: bezpośrednio wprowadzają technikę bezpieczeństwa lub korzystne warunki ergonomiczne (kryterium E) lub w obrębie własnej dziedziny wiedzy przy znanym know-how, znanych materiałach, znanych metodach pracy oraz przy czystości patentowej wydają się łatwe do zrealizowania (kryterium F).

Należy podkreślić, że wybór na podstawie kryteriów preferencji jest celowy tylko wtedy, gdy liczba wariantów jest tak duża, że ocena wszystkich wariantów jest bardzo pracochłonna. Rozpatrując struktury funkcji składowych i zasady rozwiązań, można ograniczyć się tylko do kryteriów A i B. Dopiero po wykonaniu kombinacji zasad rozwiązań przeważnie trzeba uwzględnić kryteria C i D. Gdy jest to konieczne, dokonujemy następnego wyboru na podstawie kryteriów E i F.

Jeżeli któreś z kryteriów uwzględnione w zaproponowanej kolejności prowadzi do eliminowania rozwiązania, to tego rozwiązania nie ocenia się już ze względu na pozostałe kryteria. Dalszym obserwacjom są poddawane tylko te warianty rozwiązań, które spełniają wszystkie kryteria. Czasem, ze względu na niepełną informację, nie jest możliwa realizacja powyższego. Warianty, które spełniają kryteria A i B i roszą pewne nadzieje na przyszłość, warte są jednak ponownej oceny, aby nie pominąć któregoś z udanych rozwiązań. Podaną kolejność kryteriów przyjęto ze względu na łatwość uwzględnienia ich w takiej kolejności; nie chodziło natomiast o ustalenie ważności kryteriów, która wynika ze specyfiki zadania. Opisany proces wyboru może być, jak to potwierdziło doświadczenie, zrealizowany bardzo szybko i wybór jest dobrze umotywowany. Sporządzenie arkusza wyboru pozostawia ślad w postaci wartościowego dokumentu. Jeżeli liczba proponowanych rozwiązań jest niewielka, to bez zastrzeżeń eliminację można wykonywać według tych samych kryteriów.

#### **4.4. Agregacja rozwiązań i wstępna redukcja**

Łącząc kolejne wartości poszczególnych zbiorów rozwiązań częściowych, po jednym z każdego np.:  $\langle a_{11}, a_{12}, a_{23}, a_{14} \rangle$  lub  $\langle a_{11}^2, a_{12}, a_{23}, a_{14} \rangle$  itd. (korzystając z metod

kombinatorycznych), otrzymujemy pełne rozwiązania zadania (zwane *połączeniami* w teorii mnogości). Są to iloczyny kartezjańskie poszczególnych ciągów, zwane też *iloczynami morfologicznymi*. Jest ich bardzo wiele np. dla 5 trójwartościowych ciągów otrzymujemy  $N = 3^5 = 243$  rozwiązania problemu. Ogólnie: liczba rozwiązań równa się iloczynowi licznosci poszczególnych ciągów. Nie jest możliwa celowa analiza wszystkich rozwiązań, dlatego dokonujemy ich wstępnej selekcji, odrzucając te, które są absurdalne lub jawnie nie korzystne.

Rysunek nr 1 przedstawia morfologię dla rozwiązania konstrukcji nośnej urządzenia, w której uwzględniono trzy najważniejsze podzadania takie jak: materiał konstrukcji, przekrój poprzeczny elementów konstrukcyjnych, technologia łączenia elementów konstrukcji.

W określeniu rozwiązań częściowych, czy to rodzaju materiału, przekroju poprzecznego czy technologii łączenia wykorzystano dostępne na polskim rynku materiały konstrukcyjne, przekroje elementów oraz sposób ich łączenia. Mając na uwadze założenia takie jak: prostota obsługi i konserwacji, możliwość szybkiego montażu i demontażu (w razie awarii), lekka i zwarta konstrukcja, wytrzymałość, mała powierzchnia zajmowana przez urządzenie, mobilność, koszty wytwarzania i naprawy, przedstawiono kilka możliwych rozwiązań konstrukcji nośnej, z których za optymalną zbliżoną do w/w listy wymagań jest droga rozwiązań szczegółowych zaznaczona linią pogrubioną.

Rozwiązanie takie spełnia następujące wymagania:

**materiał – aluminium:** konserwacja – nie jest konieczne zabezpieczenie elementów konstrukcji przed korozją, ciężar – niewielki w porównaniu z innymi materiałami konstrukcyjnymi np. stali, wytrzymałość,

**przekrój poprzeczny – profil BOSCH [8]:** koszty – związane są tylko z zakupem elementów, które nie wymagają dodatkowej obróbki np. wiercenia otworów dla śrub; mobilność – możliwość opcjonalnego montażu kół transportowych dla wybranych elementów konstrukcji; lekka i zwarta konstrukcja,

**technologia łączenia – połączenia śrubowe:** możliwość szybkiego montażu i demontażu np. w razie awarii lub konieczności wymiany uszkodzonego elementu – dzięki rozbudowanemu systemowi łączenia profili firmy BOSCH.

Rysunek nr 2 natomiast, przedstawia morfologię dla rozwiązania konstrukcyjnego mechanizmu (zasady działania), w której uwzględniono osiem najważniejszych podzadań.

Podobnie jak w przypadku doboru rodzaju konstrukcji nośnej głównymi czynnikami mającymi wpływ na końcowy wynik projektu mają założenia takie jak: całkowite wyręczenie pracownika z konieczności ręcznego oczyszczania elementów obrabianych, mała powierzchnia zajmowana przez urządzenie prostota obsługi, łatwa naprawa i konserwacja podzespołów, niski poziom hałasu.

Ponadto określone zmienne rozwiązania: bardzo dobre odprowadzenie oparów z komory odmuchiwarki oraz ich skroplenie w celu ewentualnego powtórnego użycia, możliwość przystosowania urządzenia do innych elementów obrabianych, możliwość programowania np.: czasu trwania procesu, oświetlenie wewnątrz komory odmuchiwarki, zabezpieczenia uniemożliwiające obsługę w niewłaściwy sposób,

Morfologia (rys. 2) posiada 241920 możliwych rozwiązań tego układu. Jednak biorąc pod uwagę w/w założenia i zmienne, liczba ta zostaje ograniczona do zaledwie kilkudziesięciu przypadków, z których wybrane zostało tylko jedno rozwiązanie zaznaczone linią grubą. Dla przykładu zaznaczono linią cienką rozwiązanie, które nie spełnia podstawowego założenia tj. „całkowite wyręczenie pracownika z konieczności

ręcznego oczyszczania elementów obrobionych”. Prawidłowe rozwiązanie spełnia wymagania:

**źródło energii – sieć elektryczna: niezależne zasilanie, oświetlenie wewnątrz kabiny, napęd – elektryczny:** wykorzystanie silnika elektrycznego do napędu części ruchomych urządzenia,

**sterowanie – elektroniczne (komputer):** możliwość programowania, możliwość zastosowania oprogramowania uniemożliwiającego obsługę w niewłaściwy sposób, prostota obsługi,

**regulator czasu pracy (cyklu) – zegarowy (elektroniczny):** wykorzystujący zegar systemowy komputera lub inny sprzężony z urządzeniem,

**sposób przekazania napędu – zębaty:** cicha praca mechanizmu przy niewielkich prędkościach obrotowych (wymagane < 15 obr./min), łatwa konserwacja mechanizmu oraz niska awaryjność przy niewielkich obciążeniach przekładni,

**przekazywanie napędu na - detal po obróbce:** przekazanie napędu na detal po obróbce wyeliminuje konieczność dodatkowego uszczelnienia układu pneumatycznego w przypadku gdyby napęd przekazywany był na dysze,

**rodzaj napędu – obrotowy:** niewielka powierzchnia zajmowana przez to rozwiązanie w porównaniu z napędem wzdłużnym,

**środek, element czyszczący – sprężone powietrze:** zastosowanie tego rozwiązania umożliwia dokładne oczyszczenie detali obrabianych, oraz wyeliminowanie konieczności częstej wymiany elementów czyszczących np. szczoteczek, które to poprzez bezpośredni kontakt z powierzchnią detalu ulegają stopniowemu zużyciu.

## 5. Projektowanie wstępne

### 5.1. Obliczenia szczegółowe głównych części oraz ich szkice

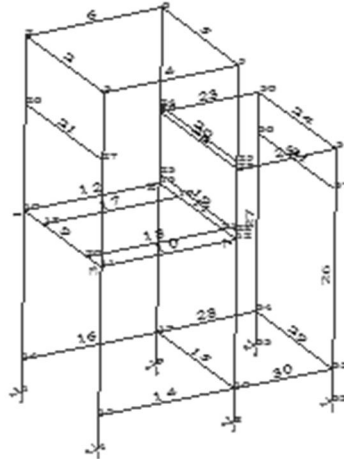
Na przedstawionym niżej szkicu zaprezentowano konstrukcję nośną urządzenia z oznaczonymi numerami prętów od 1 ÷ 31. Na rysunku tym zaznaczono również numery węzłów od 1 ÷ 37, które to mają odzwierciedlenie w obliczeniach przedstawionych w pracy [7]. Wszystkie obliczenia i wykresy zostały wykonane za pomocą programu do obliczeń konstrukcji stalowych Robot 12 i opublikowane w pracy [4, 7].

### 5.2. Analiza wyników obliczeń

W pracy [7] zawarto wyniki przeprowadzonych szczegółowych obliczeń konstrukcji nośnej urządzenia (począwszy od reakcji jakie występują w podporach, a skończywszy na analizie naprężeń). Wyniki te przedstawiono w tabelach tak aby możliwe było szybkie porównanie wartości otrzymanych z wartościami podanymi przez producenta profili (BOSCH) [8].

Z wyników przeprowadzonych analiz wynika, że obciążona konstrukcja będzie stabilna czyli pozostanie w równowadze ponieważ,

$$\begin{array}{lll} \sum Fix = 0 & \sum Rix = 0 & \sum Mix = 0 \\ \sum Fiy = 0 & \sum Riy = 0 & \sum Miy = 0 \\ \sum Fiz = 0 & \sum Riz = 0 & \sum Miz = 0 \end{array}$$

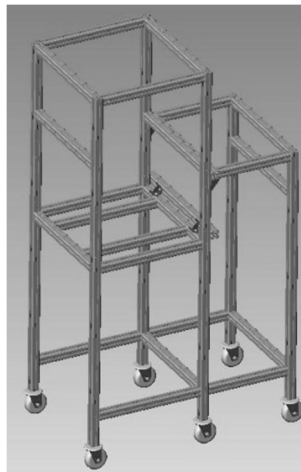


Rys. 3. Szkic konstrukcji nośnej urządzenia Źródło: Opracowanie własne

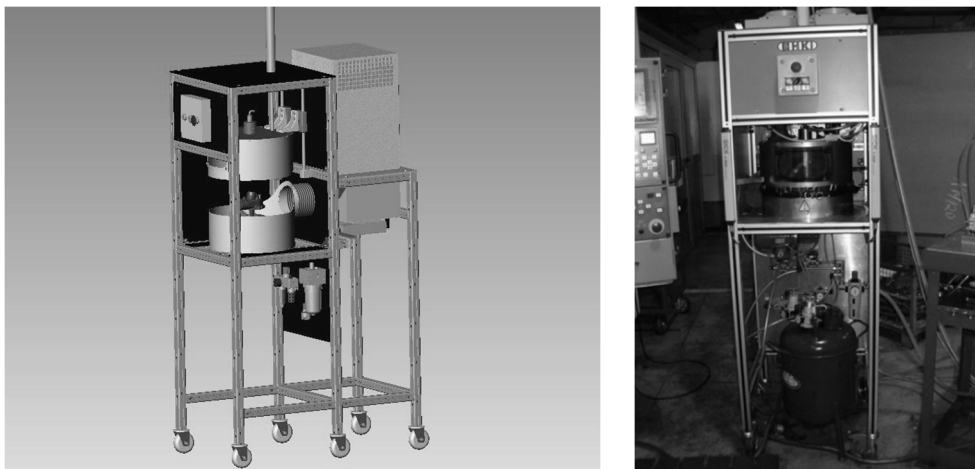
Szczegółowe obliczenia sił występujących w poszczególnych prętach oraz węzłach, wartości odkształceń konstrukcji pod wpływem obciążeń oraz masy własnej oraz wykresy (obciążeń, deformacji, naprężeń zginających  $M_y \max$  i  $M_z \max$ , maksymalne naprężenia normalne  $S \max$ ) przedstawiono w pracy [7].

### 5.3. Projekt prototypu

Prototyp wykonuje się w celu doświadczalnego sprawdzenia wszystkich istotnych właściwości projektowanej maszyny, najczęściej wykonuje się go w skali 1:1 aby ułatwić pomiary istotnych dla nas parametrów. Działania te mają na celu identyfikację różnic pomiędzy dokumentacją prototypu a produkcją seryjną. Badania prototypu stanowią ostateczną weryfikację poprawności projektu. Stanowi podstawową informację przed przystąpieniem do produkcji [6].



Rys. 4 Model 3D konstrukcji nośnej odmuchiarki  
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5. Model 3D urządzenia oraz jego prototyp  
Źródło: Opracowanie własne

Na rys. 4 i 5 przedstawiono modele 3D wykonane za pomocą programu do projektowania przestrzennego SolidWorks®. Na podstawie tych modeli przeprowadzona została analiza wytrzymałościowa wykonana za pomocą programu Robot 12®, oraz rysunki złożeniowe i wykonawcze poszczególnych elementów [7].

## 6. Wnioski:

W postępowaniu metodycznym pożądane jest rozpatrywanie szerokiego pola rozwiązań. Uwzględniając możliwe do przyjęcia kryteria i wyróżniki porządkujące, otrzymuje się często dużą liczbę propozycji rozwiązań. W tej obfitości rozwiązań tkwi jednocześnie siła i słabość metod systematycznych. Wielka liczba teoretycznie możliwych rozwiązań, których praktycznie nie zdoła się rozpatrzeć, a które często nie roją nadziei na przyszłość, musi być możliwie jak najwcześniej ograniczana.

Należy jednak zwracać uwagę na to, aby nie przeoczyć zasad rozwiązań przydatnych – a przecież dopiero w kombinacji z innymi rozwiązaniami ujawnia się korzystne rozwiązanie całościowe. Absolutnie pewnej metody wykluczającej błędne decyzje nie ma, choć pomoc, jaką stanowi uporządkowana i kontrolowana metoda wyboru, pozwala na sprawniejsze uporanie się z wielką liczbą proponowanych rozwiązań i dokonanie spośród nich wyboru trafnego.

Podsumowując, stwierdzono, że projekt automatycznego stanowiska do oczyszczania elementów aluminiowych po obróbce skrawaniem został wykonany i oceniony pozytywnie pod względem przydatności i funkcjonalności. Spełnia on wszystkie wymagania postawione w pierwszej fazie konstruowania, oraz cieszy się dużym uznaniem wśród pracowników obsługujących.

Obecnie prototyp przeszedł już fazę testów, a usterki jakie się pojawiły wykorzystano do racjonalizacji konstrukcji. Uruchomiono montaż kolejnych urządzeń tego typu, które znacznie ułatwią pracę i zwiększą wydajność na poszczególnych stanowiskach.

## Literatura

1. Steward D.: An overview of the five pillars of the concurrent engineering body of knowledge, Socce News, The Society of Concurrent Engineering, Los Angeles, Spring 2000
  2. Łazicki A., Samsel D., Krużycka L., Brzeziński A., i inni: Systemy zarządzania przedsiębiorstwem – techniki Lean Management i Kaizen, WWP Warszawa 2014
  3. Tarnowski W.: Wspomaganie komputerowe CAD – CAM- podstawy projektowania technicznego. WNT 1997
  4. Niezgodziński M, Niezgodziński T.: Wzory, wykresy i tablice wytrzymałościowe PWN 1977.
  5. Altszuller G.: Algorytm wynalazku. Warszawa, Wiedza Powszechna 1972
  6. Gacparski W., Domosiński W., Strzałeczki A., Targowska M.: Metodologia projektowania inżynierskiego. Warszawa PWN 1973.
  7. Szymański N.: Projekt automatycznego stanowiska do odmuchiwania elementów aluminiowych po operacji obróbki skrawaniem. Praca dyplomowa, Zielona Góra 2014
- 1) Katalog profili BOSCH

Dr inż. Roman KIELEC  
Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją  
Uniwersytet Zielonogórski  
65-417 Zielona Góra, ul. Licelana 9  
tel./fax.: 504070243  
e-mail: r.kielec@iizp.uz.zgora.pl