

**I Krajowa Konferencja Naukowa**  
**Szybkie prototypowanie**  
**Modelowanie - Wytwarzanie - Pomiary**  
 Rzeszów - Pstrągowa, 16 - 18 września 2015



Organizatorzy:



CENTRUM NAUKOWO TECHNICZNE

KLASTER SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA  
RAPIDROM

## Wspomaganie procesu decyzyjnego w szybkim prototypowaniu

### Assisting decision-making process in rapid prototyping

ARKADIUSZ RZUCIDŁO\*  
 GRZEGORZ BUDZIK  
 ŁUKASZ PRZESZŁOWSKI

DOI:10.17814/mechanik.2015.12.580

Artykuł przedstawia możliwości wspomaganie procesu decyzyjnego w szybkim prototypowaniu. Właściwy dobór parametrów w technologii szybkiego prototypowania wymaga wiedzy eksperckiej jak również informacji na temat stosowanych technik oraz maszyn i materiałów dedykowanych dla projektowanego detalu. Trafna decyzja jest więc syntezą wielu składników. Dzięki systemowi wspomaganie decyzji zawierającemu w swojej bazie danych podstawową wiedzę na temat technologii szybkiego prototypowania a także informacji geometrycznych o prototypie, proces ten staje się szybszy i łatwiejszy. System wspomagający decyzję umożliwi szybką selekcję technologii i urządzeń, na których drukowanie może zostać zrealizowane

**SŁOWA KLUCZOWE:** szybkie prototypowanie, wspomaganie decyzji

*The article presents possibilities for advanced decision support rapid prototyping. The proper selection of parameters in the rapid prototyping technology requires expertise as well as information on the techniques used and dedicated machines and materials for the designed part. Good decision is therefore a synthesis of multiple components. Thanks to the system containing the decision support in its database basic knowledge on rapid prototyping technology as well as geometric information about the prototype process becomes faster and easier. Decision support system allows quick selection of technology and equipment on which printing can be realized.*

**KEYWORDS:** rapid prototyping, decision support

Dynamiczny rozwój technologii szybkiego prototypowania (RP) sprawia, że naturalną kolejną rzeczą są idee systemów wspomaganie decyzji dedykowane tej technologii. Systemy takie dotyczą nie tylko sfery podstawowych parametrów

fizykochemicznych materiałów związanych z samą technologią a ściślej ze sposobem uzyskiwania prototypu ale również ze specyficznymi cechami samych detali. Podstawowe parametry cechujące możliwości maszyny drukującej oraz użytego materiału zwane często parametrami katalogowymi dobiera się arbitralnie bazując na założeniach konkretnego tworzonego projektu. Parametry te to choćby wydłużenie, moduł Younga czy odporność na uderzenia. Wszystkie te cechy można w stosunkowo łatwy sposób dobrać bazując na przyjętych dla projektu założeniach. Można również posłużyć się łatwymi w obsłudze i prostymi w budowie systemami wspomaganie RP jakich przykładem może być *Rapid Prototyping Support System* [1],[2]. Jest on wynikiem prac związanych ze znalezieniem sposobu opisanie wiedzy eksperckiej w sposób, który umożliwiłoby wykorzystanie jej przez mniej doświadczonych operatorów.

Wiele z pomysłów ze znalezionych źródeł literaturowych na systemy wspomaganie decyzji w RP posiłkowało się rozwiązaniami matematycznymi i informatycznymi. Jak dotąd zauważono jedynie, że problem z którym się zmierzono jest na tyle skomplikowany i złożony, że nie może być rozwiązany w prosty sposób, który dawałby 100% pewności co do właściwego doboru technologii. Stosowane dotąd metody to prosta selekcja danych katalogowych, ale także zawiązana technika logiki rozmytej [3].

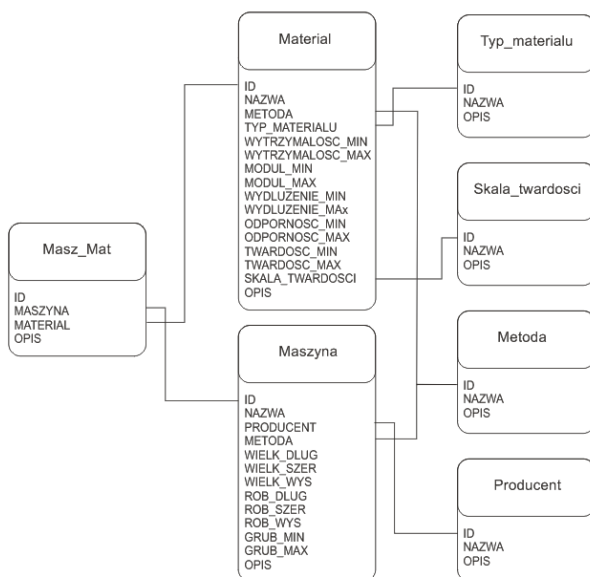
Treść niniejszego opracowania jest kolejnym etapem ewolucji wspomnianego wcześniej systemu wspomaganie decyzji *Rapid Prototyping Support System*. Obecnie, na podstawie wprowadzonych danych katalogowych maszyn i materiałów system sugeruje zastosowanie odpowiedniego zestawu narzędziowego dla osiągnięcia założonego prototypu. Inny, bardziej złożony temat jest zagadnienie właściwego doboru technologii w nawiązaniu do konkretnych cech brył detali bądź całych zespołów maszynowych drukowanych jako prototypy RP. Ujęcie wspomaganie decyzji w tym kontekście w sposób programowy odnajdując konkretny algorytm jest niezwykle trudno. Ekspert mając za sobą godziny pracy z technologiami RP często stoi przed trudnym zadaniem czy aktualna projektowana struktura detalu będzie

\* Dr inż. Arkadiusz Rzucidło (arzucidl@prz.edu.pl), prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik (gbudzik@prz.edu.pl), mgr inż. Łukasz Przeszłowski (lprzeszl@prz.edu.pl)

właściwie odwzorowana w prototypie i czy detal spełni ważne i istotne uwarunkowania techniczne. Intuicja jest tu często jedynym doradcą, jednak jak ująć w prawidła programu intuicję? Odpowiedź na pytanie jest dość prosta, - nie da się. Można natomiast wykorzystać dane empiryczne zgromadzone w bazie danych tworząc model systemu wspomagania decyzji opierającym się na rzeczywistych danych pomiarowych i mechanizmach predykcji i selekcji wyników.

Analizując możliwości wsparcia doboru technologii w budowaniu prototypów i części maszyn wyróżnić można dwa podejścia. Pierwsze, skierowane w stronę klasyfikacji charakterystycznych cech detali (otwory, fazy, łuki, powierzchnie), których np. dokładność wykonania można zmierzyć i oznaczyć a następnie ująć w bazie danych i wykorzystać przy późniejszej selekcji. Drugie, zakładające wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych, dla których cechy budowanych wcześniej detali oceniane są przez ekspertów a następnie ujęte w bazie danych stanowią dane uczące dla sieci neuronowych. Obie wspomniane koncepcje wymagają zbiorów danych stanowiących podstawę dla algorytmów wspomagających decyzję o doborze właściwej technologii RP dla nowych drukowanych detali. Zabieg umieszczenia takich danych empirycznych wymaga zastosowania bazy danych o odpowiedniej strukturze, która dodatkowo będzie wzbogacona o informacje na temat technologii RP oraz właściwości materiałów wykorzystanych do drukowania. Informacje takie zawarte są już we wspomnianym wcześniej systemie *Rapid Prototyping Support System (RPSS)*. Konstrukcja systemu pozwala na jego ewolucję stąd aktualnie używana baza danych może być z powodzeniem rozwijana i stanowić element wyjściowy dla metod opisywanych w treści.

Aktualna konstrukcja bazy danych przedstawia się jak na Rys.1. Podstawowe dane zawarte są w tabelach *Typ\_materialu*, *Skala\_twardosci*, *Metoda* i *Producent*. Są to tzw. dane słownikowe, służące dla tabel *Material* oraz *Maszyna*. Te przechodzą zagregowane informacje adekwatne do ich nazw. Połączeniem informacji o maszynach i materiałach jak również podstawową platformą do przeprowadzania kwerend w systemie jest tabela *Masz\_Mat*. Opisuje ona układ łączący konkretną maszynę z materiałem wskazując jednocześnie na metodą RP.



Rys. 1. Układ tabel w RPSS

Posługiwanie się systemem jest dość proste i polega na wypełnieniu formularza, który poprzez logikę aplikacyjną wyszukuje według określonych kryteriów (gabarytów detalu oraz materiału) właściwą maszynę, na której detal może być wykonany.

Rozszerzeniem funkcjonalności systemu jest zaawansowany formularz, zawierający pola wartości właściwe dla materiału: wytrzymałości, modułu sprężystości, wydłużenia, odporności na uderzenia oraz twardości. Za pomocą tych parametrów można „zaostrzyć” kryterium kwerendy dla systemu i uzyskać bardziej precyzyjną odpowiedź co do technologii RP (maszyny), w której detal może być wykonany. Wsparcie decyzji RP jest tu jednak realizowane na podstawie tzw. danych katalogowych udostępnianych przez producentów zarówno maszyn jak i materiałów. Drukowany detal jest zazwyczaj bryłą złożoną, w wielu przypadkach o dość unikatowej budowie. Właściwości fizykochemiczne modelu są tożsame z zastosowanym materiałem. Zauważyć można jednak, że detale o litej budowie, w których nie ma otworów czy przewężeń, będą miały inne właściwości wytrzymałościowe niż takie, w których wspomnianych cech jest więcej. Jakość wykonania detali w określonych technologiach jest również różna. Dotyczy to zarówno powierzchni płaskich jak i elementów geometrycznych jak otwory, kieszenie, fazy, itp. Wielkość poszczególnych cech geometrycznych determinuje użyty materiał czyli dokładność odwzorowania fragmentów detalu jest zależna krótko mówiąc od technologii. Aby wziąć pod uwagę wszystkie omawiane zagadnienia trzeba posłużyć się danymi empirycznymi. Wykonać detal z wspomnianych cechach, opisać je, zmierzyć a wyniki wraz z charakterystyką ująć w bazie danych. Dane takie mogą wtedy posłużyć do rozszerzenia funkcjonalności dotychczasowego systemu RPSS.

W treści wspomniano o dwóch podejściach do wsparcia decyzji RP: klasyfikacji na bazie zgromadzonych danych o cechach geometrycznych detali oraz wykorzystaniu informacji eksperckich o złożonych obiektach opisanych w bazie danych przez sztuczne sieci neuronowe. Jakkolwiek pierwsza metoda jest stosunkowo prosta w aranżacji zarówno bazy danych jak i algorytmu tak w przypadku sieci neuronowych zarówno organizacja danymi jak i później etap uczenia sztucznych sieci neuronowych i zastosowanie wybranego algorytmu wymaga nieco więcej zabiegów.

Sztuczne sieci neuronowe, są z powodzeniem stosowane w wielu dziedzinach nauki i w zakresie szerokiego spektrum problemów: medycznych, finansowych, z zakresu mechaniki, budowa maszyn i wielu innych. Rzecz najprościej ujmując, tam gdzie pojawia się problem predykcji mechanizm sztucznych sieci neuronowych (SSN) wydaje się być niezwykle użyteczny. Dzięki kilku cechom sieci tak i w tym przypadku postanowiono przeanalizować możliwość wykorzystania SSN dla zastosowań wspomagania decyzji w RP.

Moc sztucznych sieci neuronowych zawiera się w wyrafinowanej technice odwzorowanie trudnych i złożonych funkcji w klasyfikacji. Nieliniowy mechanizm algorytmów daje większe możliwości predykcji wyników na podstawie dostarczonych danych dla sieci. Im większa ilość danych tym i proces wnioskowania jest bardziej wiarygodny. Założenie takie powoduje jednak wielowymiarowość w opisie problemu przewidywania wyniku. SSN pozwala na stosunkowo łatwą kontrolę nad problemem wielowymiarowości. Łatwość użycia SSN objawia się w tym, że przedstawione dane w procesie uczenia wymuszają na utworzonej podstawowej strukturze sieci naukę predykcji przez co tworzy ona sama zaawansowane modele dla użytkownika. Sieć sama decyduje jak będzie wyglądać końcowa struktura jej pamięci. Eksplo-

atacja tak zamodelowane mechanizmu jest korzystaniem z przygotowanej architektury pamięci sieci.

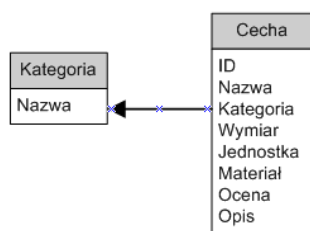
Potencjał jaki dają sztuczne sieci neuronowe pozwala na wykorzystanie ich w przedstawionym problemie wspomaganie decyzji RP. Przedmiotem artykułu będzie charakterystyka wektora wejściowego dla wybranych typów i rodzajów sztucznych sieci neuronowych.

Zbiór danych empirycznych jest niezbędny zarówno w pierwszym jak i w drugim przypadku. Konstrukcja nośników danych zakładając, że dane te posłużą jednej i drugiej metodzie wsparcia decyzji RP, musi być na tyle elastyczna by spełnić wymagania wektora wejściowego dla sztucznej sieci neuronowej jak i mechanizmu selekcji.

Przy selekcji optymalnej metody drukowania detalu system wspierania decyzji musi posłużyć się oceną, która wskaże odpowiednią propozycję druku bazując na informacji o jakości wykonania cech geometrycznych. Przyjęto, że oceną będzie najniższa z uzyskanych ocen jakości wykonania poszczególnych cech geometrycznych składających się na budowany detal. W tym celu określono skalę ekspercką składającą się z 4 stopni i określonych dla nich punktów.

1. poprawnie wykonana - 3 pkt.
2. wymaga lekkiej korekty wykańczającej: szlifowanie, polerowanie - 2 pkt.
3. wymaga zastosowania obróbki ubytkowej - rozwiercanie, frezowanie – 1 pkt.
4. nie spełnia wymagań 0 pkt.

Metoda selekcji danych wymaga informacji o jakości wykonania elementów geometrycznych drukowanych detali. W przypadku zastosowania sztucznych sieci neuronowych koncepcja zakłada rozpatrywanie całego złożonego obiektu, który składa się z elementów geometrycznych w większej lub mniejszej liczbie. Stąd wspólną częścią bazy danych dla obydwu podejść będzie realizacja tabeli przechowującej informacje o jakości wykonania elementów geometrycznych. Będzie ona podstawowym zbiorem danych. Rys. 2. prezentuje układ tabel dla wspierającej część empiryczną systemu wspomaganie decyzji.



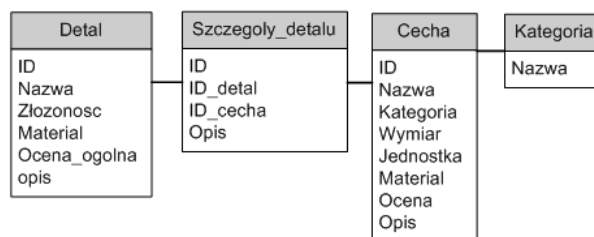
Rys. 2. Tabela cechy geometrycznej

Pola danych przechowują informację kolejno o:

- nazwie cechy identyfikującej ją w systemie,
- kategorii do której cecha należy (np. otwory),
- wymiar zmierzony po wydruku (rzeczywisty uzyskany) danej cechy,
- jednostka pomiaru
- materiał, w którym wykonana była cecha (pole połączone z częścią podstawową systemu - tabelą *Materialy*)
- ocena arbitralna eksperta w ramach ustalonego kryterium.
- opis dodatkowy

Tabela Cechy geometryczne stanowi element słownika, który wykorzystuje tabela *Detal* opisująca drukowany przedmiot. Projekt układu tabel zakłada, że detale zawierają wiele cech stąd konstrukcja bazy danych będzie zawierać tabelę *Szczegoly\_detalu*. Ta z kolei będzie przechowywać zagregowane informacje o przynależności konkretnej cechy

do konkretnego detalu. Układ taki zaprezentowano na Rys.3.



Rys. 3. Tabele części empirycznej systemu

Wszystkie dane tabel części empirycznej systemu są w relacjach, co umożliwi wzajemne odwzorowanie i połączenie w rekord danych. Rekord ten jest elementem wejściowym dla mechanizmu selekcji oraz wstępnym układem dla wektora wejściowego sztucznych sieci neuronowych.

Uzupełnienie danych systemu jest realizowane po badaniach nad cechami geometrycznymi wykonanymi podczas drukowania. Zakłada się wykonanie podstawowych cech jako elementów drukowanych w formacie specjalnie do tego przygotowanej. Będzie to dla przykładu płyta z wykonanymi otworami o określonych wymiarach od średnicy np. 1 [mm] do 10 [mm]. Detal taki jest poddany ocenie oraz pomiarom mającym na celu określenie zgodności wykonania druku z założeniami i nadanie odpowiedniej ocenie technologii. Dane z zabiegu oceny są następnie wprowadzone do bazy danych.

W przypadku drukowania kompletnego detalu jako np. części maszynowej pomiaru cech geometrycznych wykonuje się bezpośrednio na przedmiocie. Uzyskane wyniki jak i ocena eksperta, podobnie jak poprzednio, wędrują do bazy danych. Dzięki temu baza zostaje uzupełniona w dane empiryczne by potem posłużyć weryfikacji.

Proces wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do systemu wspomaganie decyzji za względu na swoją złożoność będzie realizowany i opisany w osobnym artykule. Obecnie uwaga zostanie poświęcona na implementację mechanizmu selekcji technologii RP na podstawie określonej i opisanej wcześniej bazy danych.

Wprowadzanie danych do systemu wykonywane jest przez operatora serwisu i obejmuje mechanizm administracyjny. Na obecnym etapie wstępnym nie zakłada się „otwartego uzupełniania”. Otwartość uzupełniania oznacza, że serwis korzystałby z możliwości dodawania przez zarejestrowanych operatorów swoich danych w celu wzbogacenia zasobów serwisu. Obecnie w fazie testów jest to jednak zbiór uzupełniany tylko przez jednego operatora. Elastyczność systemu zakłada jednak włączenie tej opcji w dogodnym czasie.

Mechanizm weryfikacji metody RP w oparciu o określone kryteria i na bazie zgromadzonych danych w bazie serwisu oparty jest o formularz złożony z kilku charakterystycznych pól. Jak już wspomniano na początku częścią podstawową systemu jest selekcja maszyn RP na podstawie określonego przez operatora materiału (opcja) oraz gabarytów drukowanego detalu. Jest to pierwszy etap selekcji gdzie zakłada się konstrukcję ogólną detalu. Kolejnym etapem jest określenie cech geometrycznych dla konstruowanego detalu. Dla porządku wybiera się je z bazy danych spośród wprowadzonych wcześniej cech przebadanych i opisanych ocenami przez eksperta. Nie można z przyczyn oczywistych przypię-

sać dla detalu cech które jeszcze nie występują w bazie danych serwisu. Gdyby taka możliwość istniała cecha i tak nie mogłaby być zweryfikowana w etapie selekcji. Przy określaniu cech stosuje się zasadę wyboru tych, do których mamy największe podejrzenie, że mogą być wykonane niedokładnie. Ogólnie rzecz ujmując im cecha o mniejszych wymiarach i bardziej skomplikowanym ustawieniu w stosunku do podstawy detalu tym bardziej nadaje się na wzięcie jej pod uwagę w kryterium selekcji. Zakłada się maksymalnie 10 cech do selekcji dla detalu. Określenie większej ich liczby nie jest konieczne. Można ograniczyć liczbę cech w kryterium zaś nie można przekroczyć maksimum. Formularz zawierał będzie tylko 10 pól. Po uzupełnieniu cech następuje uruchomienie mechanizmu serwisu, który bazując na wstępnie wygranych kryteriach gabarytowych detalu oraz wskazanych cechach wybiera z bazy danych rekordy odpowiadające selekcji.

Pełne kryterium wyszukiwania jest iloczynem logicznym wszystkich wskazanych w formularzu wymagań co do cech dla detalu (rodzaj cechy, wymiar, jej usytuowanie). Odpowiedzią systemu jest wskazanie maszyn, które są w stanie wykonać detal o zadanych gabarytach z określonego materiału. Dokładność wykonania poszczególnych cech geometrycznych jest ustalona jako prządek sortowania maszyn. Najbardziej odpowiednie maszyny zajmują pozycję na szczycie listy. Raport selekcji zakłada wyszczególnienie cech odpowiadających kryteriom z uwzględnienie ocen eksperckich z bazy danych serwisu (naniesionych podczas wprowadzania danych empirycznych).

W wyniku działania systemu użytkownik dostaje zestawienie, w którym system wspomaganie decyzji RP sugeruje wykorzystanie odpowiedniej maszyny do realizacji projektu.

## Podsumowanie

Opisany system jest stanowi kolejny etap w badaniach związanych ze wspomaganie decyzji RP jako również szukania sposobu opisanie wiedzy eksperckiej w tej dziedzinie. Mechanizmy selekcji danych są pierwszym z możliwych sposobów wykorzystania układów baz danych i możliwości aplikacyjnych technologii serwisów internetowych do utworzenia globalnego zbioru danych empirycznych. Uzupełnianie i korzystanie ze zbioru już w samej definicji ogólnej dostępności dałoby potencjał do rozwoju techniki wsparcia zarówno samych technologii jaki i narzędzi ich wspierających.

## LITERATURA

1. A. Rzucidło, G. Budzik, Ł. Przeszlowski: „Decision suport system in rapid prototyping technology”, *Transmission on Business and Engineering Intelligent Applications* ITHEA 2014 (29), 111-117
2. A. Rzucidło, G. Budzik, Ł. Przeszlowski: „The problem of correct technology selection in rapid prototyping”, *Transmission on Business and Engineering Intelligent Applications* ITHEA 2014 (29), 117-124
3. H.S. Byun, K.H. Lee: “A decision support system for the selection of a rapid prototyping process using the modified TOPSIS method”. *Int J Adv Manuf Technol* (2005) 26: 1338–1347