

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko: Adam Stawowy.
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Stopień	Data	Instytucja	Tytuł
mgr inż. organizator przemysłu	25.02.1980	AGH, Instytut Organizacji i Zarządzania Produkcją	Optymalizacja systemu kontroli jakości metodą symulacji procesu produkcyjnego
dr nauk ekonomicznych	22.09.1997	AGH, Wydział Zarządzania	Przybliżone algorytmy szeregowania zadań w systemie produkcyjnym typu przepływowego

W latach 1975-80 odbyłem studia magisterskie ze specjalnością „Metale nieżelazne”; praca magisterska dotyczyła symulacyjnej metody poprawy efektywności systemu kontroli jakości na przykładzie przedsiębiorstwa „Hutmen”.

W rozprawie doktorskiej zaproponowano trzy algorytmy heurystyczne do harmonogramowania zadań produkcyjnych; w części praktycznej zweryfikowano ich skuteczność na przykładzie zakładu odlewniczego.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

1980 – 1984	asystent, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Instytut Organizacji i Zarządzania Produkcją
1984 – 1988	starszy asystent, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Instytut Organizacji i Zarządzania Produkcją
1990 – 1994	wykładowca, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Zarządzania
1994 – 1997	starszy wykładowca, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Zarządzania
od 1997	adiunkt, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Zarządzania, Katedra Informatyki Stosowanej

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego (cykl dziewięciu publikacji).

Algorytmy inteligencji obliczeniowej w zarządzaniu produkcją zakładów odlewniczych

b) (autor/autorzy, rok wydania, tytuł/tytuły publikacji, nazwa wydawnictwa),

1. Stawowy A. & Świąchowicz M. (2001). Optymalizacja załadunku kołpakowych pieców rekrytalizacyjnych w hucie stali. [W:] Knosala R. (red.), *Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie* (str. 240-246). Warszawa: WNT.
2. Stawowy A. (2004). Algorytm ewolucyjny do szeregowania zadań na jednej maszynie. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*, 24(3), 145-151.
3. Stawowy A., Wrona R. & Macioł A. (2006). Algorytm ewolucyjny do szacowania kosztów wyrobów odlewniczych. *Archiwum Odlewnictwa*, 6(18), 21-26.
4. Stawowy A. (2006). Evolutionary algorithm for manufacturing cell design. *Omega, International Journal of Management Science*, 34, 1-18.
5. Stawowy A. (2008). Evolutionary based heuristic for bin packing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 55(2), 465-474.
6. Stawowy A. & Duda J. (2008). Evolutionary based system for production scheduling in foundry. *Archives of Foundry Engineering*, 8(3), 99-104.
7. Stawowy A., Macioł A. & Wrona R. (2010). Casting process selection using business rules approach. *Archives of Metallurgy and Materials*, 55(3), 927-934.
8. Stawowy A., Wrona R. & Ronduda M. (2011). Classification of foundry clients using business rules approach. *Archives of Foundry Engineering*, 11(4), 145-148.
9. Stawowy A. & Duda J. (2012). Models and algorithms for production planning and scheduling in foundries – current state and development perspectives. *Archives of Foundry Engineering*, 12(2), 69-74.

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników

Tematyka prac badawczych wnioskodawcy, począwszy od rozprawy doktorskiej, obejmuje rozwój algorytmów heurystycznych ukierunkowanych na zastosowania w zarządzaniu produkcją, ze szczególnym uwzględnieniem problemów wytwarzania przemysłu odlewniczego. Z punktu widzenia badań teoretycznych oraz praktyki gospodarczej problemy te można sklasyfikować następująco (w trzeciej kolumnie podano numery artykułów wchodzących w skład cyklu, odpowiadające tym problemom):

1. problemy teoretyczne:

L.p.	Nazwa	Nr publikacji
1.	Planowanie i harmonogramowanie zadań produkcyjnych	1, 6, 9
2.	Grupowanie obiektów	2, 3, 4, 5, 7, 8

2. praktyka gospodarcza (wg modelu ISA-95):

L.p.	Nazwa	Nr publikacji
1.	Techniczne przygotowanie produkcji	4, 5, 7
2.	Planowanie produkcji	1, 2, 6, 9
3.	Rachunkowość kosztów produkcji	3
4.	Marketing i sprzedaż	8

Wszystkie pozycje mieszczą się w obszarze *Komputerowe wspomaganie produkcji odlewniczej* (terminologia za instrukcją przygotowania artykułu do *Archives of Foundry Engineering*).

Przedstawione prace tworzą jednotematyczny cykl składający się z trzech artykułów opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR i sześciu – w czasopismach spoza tej listy.

Prace nad tworzeniem i badaniem algorytmów dla trudnych problemów optymalizacji kombinatorycznej (do takich należą rozpatrywane zagadnienia) zmierzają w dwóch kierunkach. Pierwszy stawia sobie za cel opracowanie algorytmów rozwiązujących dokładnie problemy o coraz większych rozmiarach. Jednakże idzie za tym coraz większe skomplikowanie algorytmów i związane z tym – coraz większe nakłady obliczeniowe. Praktycy uważają te algorytmy za zbyt trudne, czasochłonne i przyjmujące nierealistyczne założenia. Drugi kierunek zmierza do sformułowania prostych i szybkich heurystyk dających dobre (niekoniecznie optymalne) rozwiązania, o zagwarantowanej jakości; kierunek ten jest, wg wnioskodawcy, bardzo obiecujący i o wciąż niewykorzystanym potencjale.

Planowanie i harmonogramowanie zadań produkcyjnych

Jednym podstawowych problemów logistyki produkcji jest planowanie i harmonogramowanie produkcji, szczególnie w przedsiębiorstwach produkujących częściowo na zamówienie (ang. MTO – make to order), a częściowo na skład (ang. MTS – make to stock) ze złożonym ciągiem technologicznym. Z sytuacją taką mamy do czynienia m.in. w przemyśle odlewniczym. Głównym efektem, jaki daje skuteczne planowanie i kontrola w środowisku często zmieniającego się popytu i dynamiki produkcji, jest poprawa konkurencyjności. Właściwe planowanie i harmonogramowanie pozwala zmniejszyć wrażliwość na wahania popytu i zmiany w jego strukturze, skrócić cykle produkcyjne i zmniejszyć zapasy (surowców, pro-

dukcji w toku, wyrobów gotowych), a jednocześnie utrzymać wysoki poziom obsługi (zachowanie jakości i terminowości dostaw). Złożoność problemów harmonogramowania zadań w systemach produkcyjnych oraz ich wpływ na funkcjonowanie przedsiębiorstw (w obszarze techniki i ekonomiki) powodują konieczność poszukiwania i opracowywania zaawansowanych metod i algorytmów rozwiązywania tych problemów.

Harmonogramowanie produkcji polega na podziale zleceń klientów na partie produkcyjne (zadania) oraz określeniu terminów rozpoczęcia i zakończenia partii produkcyjnych na poszczególnych maszynach. Wynikiem tego jest ustalenie kolejności wykonania partii produkcyjnych na wszystkich maszynach (lub pojedynczej maszynie w przypadku problemu harmonogramowania na jednej maszynie). W związku z rosnącą konkurencją na rynkach międzynarodowych przedsiębiorstwa muszą dostarczać szeroki asortyment zindywidualizowanych wyrobów, podczas gdy klienci oczekują, że zamówione wyroby zostaną dostarczone na czas. Wymagania takie powodują z kolei rozwój nowych zasad organizacji np. Lean Management czy Just in Time, wg których właściwa ilość wyrobów powinna być wyprodukowana i dostarczona w ściśle określonym czasie. Planowane zadania powinny być wykonane punktualnie, gdyż zarówno zbyt wczesne jak i zbyt późne dostarczenie wyrobów jest niepożądane. Zbyt wczesnie zakończone zadania powodują wzrost kosztów utrzymania zapasów produkcji gotowej u producenta, a tym samym niepotrzebne zamrożenie środków obrotowych. Z kolei zakończenie wykonywania zadań po ustalonym terminie powoduje niezadowolone klientów, co w dłuższej perspektywie może skończyć się ich odejściem do innych wytwórców.

Szczególnie złożony jest problem planowania i harmonogramowania produkcji w hutach i odlewniach, gdzie procesy mają charakter ciągle-dyskretny. Ich programy produkcyjne charakteryzują się bardzo dużym zróżnicowaniem wymagań jakościowych co do poszczególnych wyrobów, a jednocześnie dużą liczbą stosunkowo niewielkich zamówień. Z drugiej strony, warunkiem niezbędnym do uzyskania rentowności produkcji w tego rodzaju branżach jest odpowiednio wysoka skala produkcji i dostosowane do niej zdolności produkcyjne agregatów. Uwarunkowania techniczne i organizacyjne pozwalają przyjąć, że jest to kombinacja grupowania zleceń (ang. lot-sizing) dla przepływowego problemu harmonogramowania (ang. flowshop) w systemie realizacji zleceń na czas (ang. JiT policy). Proces produkcyjny składa się z kolejnych niepodzielnych operacji, podczas których produkty są przetwarzane w partiach produkcyjnych o różnych rozmiarach; kolejność wykonywania poszczególnych operacji jest znana i tworzy marszrutę produkcyjną przy znanym zaangażowaniu zasobów.

Badania wnioskodawcy związane z tą problematyką są rozwinięciem metod i algorytmów przedstawionych w dysertacji doktorskiej, która dotyczyła permutacyjnego systemu przepływowego.

W wyniku analizy literatury i badań w przedsiębiorstwach sformułowałem trzy podstawowe spostrzeżenia.

1. W większości przedsiębiorstw produkcyjnych następuje skrócenie horyzontu planowania, stąd tradycyjny trójstopniowy hierarchiczny system planowania obejmujący poziom strategiczny, taktyczny i operacyjny nie jest odpowiedni. Horyzont planowania w większości branż wynosi kilka miesięcy z tygodniowym okresem planistycznym. W niektórych branżach np. przemyśle chemicznym horyzont ten wynosi zaledwie kilka tygodni z jednodniowym cyklem planowania.
2. W efektywnych przedsięwzięciach niezbędna jest integracja planowania i harmonogramowania. Mimo że podejście hierarchiczne, zakładające dekompozycję problemu na

problem planowania i problem szeregowania, jest łatwiejsze do praktycznego zastosowania, optymalne rozwiązania można znaleźć tylko w przypadku jednoczesnego rozwiązywania problemu planowania i harmonogramowania. W podejściu takim problem harmonogramowania jest rozpatrywany w całym horyzoncie planowania, co – ze względu na rozmiar i złożoność problemu – czyni go trudnym do rozwiązania. Konieczne jest stosowanie zaawansowanych heurystyk (np. algorytmów ewolucyjnych).

3. Nie jest możliwe opracowanie uniwersalnego modelu harmonogramowania i planowania obejmującego szeroki wachlarz problemów spotykanych w praktyce. Każde przedsiębiorstwo, pracujące samodzielnie bądź w łańcuchu logistycznym, musi dysponować własnym – dostosowanym do jego specyfiki, uwarunkowań i ograniczeń – modelem.

Stawowy A. (2004). Algorytm ewolucyjny do szeregowania zadań na jednej maszynie. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*. 24(3), 145-151.

Ponieważ tę samą reprezentację rozwiązania problemu oraz postać algorytmu i operatory mutacji można stosować w różnych sytuacjach (na tym m.in. polega elastyczność algorytmów inteligencji obliczeniowej), postanowiono sprawdzić skuteczność algorytmu wnioskodawcy dla problemu szeregowania zadań na jednej maszynie. Wbrew pozorom, problem jednomaszynowy nie jest problemem „niezyciowym”: w praktyce produkcyjnej istnieje wiele układów z jedną maszyną (np. automatyczna linia odlewnicza) lub układów, które mogą być doń sprowadzone (z dominującą maszyną albo tzw. „wąskie gardło”).

Proponowane podejście należy do prostych technik inteligencji obliczeniowej: w tym przypadku jest to strategia ewolucyjna (ES) przeznaczona pierwotnie dla szeregowania zadań w permutacyjnym systemie przepływowym (opisana w dysertacji doktorskiej), przy czym uproszczono podstawowe elementy (mutację i mechanizm destabilizacji). Dopuszczalne rozwiązania są reprezentowane przez listę n zadań, w której element i o wartości j określa i -tą pozycję zadania j w uszeregowaniu ($1 \leq i \leq n$ oraz $1 \leq j \leq n$), przy czym wartość j może wystąpić na liście tylko jeden raz. Taka reprezentacja jest powszechnie stosowana w przypadku problemów permutacyjnych.

Weryfikację możliwości zastosowania opisanego algorytmu szeregowania zadań przeprowadzono na przykładzie zakładu odlewniczego z automatyczną linią odlewniczą. Przeprowadzone badania wykazały, że proponowany algorytm ewolucyjny może być wykorzystany do rozwiązywania praktycznego problemu szeregowania zadań na jednej maszynie. Jego wielką zaletą jest prostota, elastyczność oraz brak potrzeby wnikania w strukturę rozwiązywanego problemu. Istnieje również możliwość wykorzystania algorytmu w systemach, gdzie czynnik czasu ma decydujące znaczenie, gdyż algorytm stosunkowo szybko osiąga dobre wyniki i – w razie konieczności przerwania obliczeń – najlepsze znalezione dotychczas rozwiązanie można uznać za rozwiązanie suboptymalne.

W harmonogramowaniu produkcji dla zmiennych warunków możliwe jest stosowanie tylko technik przybliżonych. Nie dają one rozwiązania optymalnego, ale niewiele odbiegające od metod dokładnych. Korzyści polegają na tym, że techniki heurystyczne pozwalają uzyskać rozwiązanie w krótkim czasie, a więc takim, jaki jest potrzebny w planowaniu operacyjnym.

Stawowy, A. & Duda, J. (2008). Evolutionary based system for production scheduling in foundry. *Archives of Foundry Engineering*, 8(3), 99-104

W pracy przedstawiono problem harmonogramowania zadań produkcyjnych na przykładzie przedsiębiorstwa odlewniczego oraz opisano prototyp systemu do rozwiązywania tegoż problemu, działający w oparciu o zaawansowany algorytm genetyczny. Prototyp systemu powstał w wyniku realizacji grantu KBN *Algorytmy ewolucyjne w harmonogramowaniu produkcji w systemie Capable-to-Promise*, którego kierownikiem był wnioskodawca. Działanie systemu zilustrowano przykładami eksperymentów na podstawie danych z istniejącego przedsiębiorstwa.

Sformułowano dwanaście założeń technologicznych, organizacyjnych i informacyjnych. Przyjęto trzymiesięczny horyzont planowania z okresem planistycznym wynoszącym jedną zmianę: wszystkie zasoby są planowane i wszystkie prace są harmonogramowane na okres najbliższych trzech miesięcy, a obliczenia są powtarzane co jedną roboczą zmianę.

Prototyp systemu zbudowano jako aplikację sieciową w środowisku ASP.NET. Dokumenty w systemie są przesyłane w formacie XML zgodnie ze specyfikacją PPS (standard OASIS Production Planning and Scheduling), natomiast ich przekształcanie do postaci tabelarycznej (niezbędnej do dalszych obliczeń) dokonywane jest automatycznie za pomocą narzędzi wbudowanych w ASP.NET.

Opracowany prototyp testowany był w oparciu o produkcję odlewów z różnego gatunku żeliwa i staliwa, wykonywanej w większości na zamówienie klientów. W zakładzie tym planiści muszą wziąć pod uwagę przede wszystkim dwa kryteria: terminowość realizacji zamówień oraz maksymalizację zdolności produkcyjnych wąskich gardeł (tu: pieców do topienia metalu). Dodatkowo pojawiają się ograniczenia związane z przygotowaniem odpowiedniego gatunku metalu w piecach i koordynacją tego procesu z przygotowaniem form zalewowych. Ostateczny model planowania operacyjnego dla rozważanego zakładu odlewniczego liczył sześć rozbudowanych ograniczeń przy nieliniowej funkcji celu.

Podstawowym elementem systemu jest moduł optymalizacyjny. Proponowany system, projektu wnioskodawcy, jednocześnie rozwiązuje problem planowania i harmonogramowania w oparciu o zaawansowany algorytm ewolucyjny. Po weryfikacji skuteczności działania różnych rodzajów i elementów algorytmów, w ostatecznej wersji systemu zdecydowano się na zastosowanie algorytmu genetycznego z selekcją turniejową, prostą mutacją i algorytmem naprawy rozwiązań niedopuszczalnych, dbającego o koordynację wytopów z formowaniem. Operator krzyżowania, współautorstwa wnioskodawcy, jest dostosowany do specyfiki problemu (krzyżowanie wymieniające zmiany). Operator ten tworzy jednego potomka z dwóch rodziców, poprzez skopiowanie losowo wybranego okresu z pierwszego rodzica, a pozostałych okresów – z rodzica drugiego. Reprezentację stanowi macierz o rozmiarze m zmian * l maszyn, gdzie pojedynczy gen reprezentuje wielkość produkcji danego zamówienia na określonej zmianie i maszynie (lub 0, jeśli zamówienie nie jest wykonywane).

Skuteczność systemu potwierdziły testy na danych literaturowych i danych z jednej z polskich odlewni żeliwa: w stosunku do stanu zastanego osiągnięto lepsze o 15% wykorzystanie wąskich gardeł (w tym wypadku – pieców indukcyjnych), liczba zamówień wykonanych dokładnie w terminie dyrektywnym wzrosła o 40%, a liczba zamówień nieopóźnionych wzrosła o 30%.

Stawowy A. & Duda J. (2012). Models and algorithms for production planning and scheduling in foundries – current state and development perspectives. *Archives of Foundry Engineering*. 12(2), 69-74.

Algorytmy programowania matematycznego, programowania z ograniczeniami, inteligencji obliczeniowej, przedstawiane w literaturze z dziedziny badań operacyjnych i zarządzania produkcją, są na ogół niewystarczające do planowania rzeczywistych procesów produkcyjnych. Algorytmy te dedykowane są bowiem do rozwiązywania jednej dziedziny problemów jak np. harmonogramowanie zadań (ang. *shop floor scheduling, job sequencing*) czy planowanie partii produkcyjnej (ang. *lot-sizing, batching*) lub ich prostych kombinacji jak np. jednoczesne planowanie partii produkcyjnej i harmonogramowanie (ang. *lot-sizing and scheduling, batching and sequencing*). Tymczasem wiele rzeczywistych problemów planowania produkcji wymaga równoczesnego rozwiązania kilku problemów (oprócz szeregowania zadań i określania partii np. problemów rozkroju, harmonogramowania załogi, pakowania pudełek czy zagadnień transportowych), w tym także problemów trudnych do ustrukturyzowania.

W pracy przedstawiono i sklasyfikowano przykłady systemów planowania i harmonogramowania produkcji w przemyśle odlewniczym opisane w literaturze światowej, a także zarysowano możliwe kierunki rozwoju modeli i algorytmów stosowanych w tych systemach.

W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele prac teoretycznych dotyczących zastosowania metod badań operacyjnych i inteligencji obliczeniowej w planowaniu i harmonogramowaniu produkcji, natomiast doniesienia praktyczne są rzadkie i cząstkowe. Znalaziono zaledwie dziewięć publikacji dotyczących przemysłu odlewniczego, przedstawionych w czasopiśmie z listy JCR; wszystkie dotyczą problemów ustalania partii produkcyjnych, czyli zagadnienia:

jaki metal powinien być przygotowywany w piecu(ach) w kolejnych okresach oraz jakie wyroby i ile ma być wytwarzanych na każdej formierce, przy kryterium minimalizacji kosztów magazynowania, produkcji w toku lub zbilansowaniu obciążenia maszyn.

Problem ten jest zwykle zapisywany jako model programowania całkowitoliczbowego, a do jego rozwiązania stosowane są trzy podejścia:

1. symulacja komputerowa,
2. pakiety komercyjne (np. CPLEX Solver) dla problemów o małych rozmiarach,
3. pakiety komercyjne w połączeniu z heurystykami zawężającymi przestrzeń dopuszczalnych rozwiązań (dla problemów o dużych rozmiarach).

Na podstawie analizy literatury oraz praktyki przemysłowej wnioskodawca sformułował następujące założenia:

- jednoczesne planowanie i harmonogramowanie produkcji (PiHP) jest koniecznością,
- nie jest możliwe opracowanie uniwersalnego modelu PiHP,
- proponowane modele są nieczytelne i niezrozumiałe dla praktyków,
- mimo swego skomplikowania, modele te nie odzwierciedlają złożoności rzeczywistych problemów,
- komercyjne solvery nie są dobrym podejściem do rozwiązywania modeli.

W rozwijaniu systemów planowania i harmonogramowania produkcji zaproponowano:

- do zapisu problemu trzy podejścia:
 1. użycie języków modelowania zamiast sformalizowanego zapisu, np. OPL (Optimization Programming Language) będącego połączeniem programowania matematycznego z programowaniem z ograniczeniami,
 2. użycie języków znacznikowych z rodziny XML, np. PSLX (Planning and Scheduling Language) służącego do zapisu problemów PiHP oraz wymiany informacji,
 3. użycie systemu reguł biznesowych, np. LMS (Logistics Management System) służącego do zapisu heurystycznych reguł PiHP.
- jako metodę rozwiązania dwa podejścia:
 1. hybrydowe – łączące dwa lub więcej algorytmów, wykorzystujące efekt synergii,
 2. agentowe – PiHP jest dzielony między wielu agentów, którzy kooperują w celu znalezienia rozwiązania.
- jako sposoby przyspieszenia obliczeń:
 1. obliczenia równoległe (ang. parallel),
 2. rozproszone (ang. distributed),
 3. w chmurze (ang. cloud computing),
 4. przy użyciu procesorów graficznych.

Wkład naukowy wnioskodawcy w obszarze zaawansowanego planowania i harmonogramowania oraz w rozwoju algorytmów ewolucyjnych:

- dowiedziono, że jednoczesne planowanie i harmonogramowanie jest możliwe w warunkach przemysłowych; warunkiem jest zastosowanie szybkich i wydajnych heurystyk oraz odpowiednie zorganizowanie procesu planowania,
- wskazano, że nie jest możliwe opracowanie uniwersalnego modelu harmonogramowania i planowania obejmującego szeroki wachlarz problemów spotykanych w praktyce; każde przedsiębiorstwo, pracujące samodzielnie bądź w łańcuchu logistycznym, musi dysponować własnym – dostosowanym do jego specyfiki, uwarunkowań i ograniczeń – modelem,
- wykazano, że intensywnie rozwijane techniki informatyczne umożliwiają efektywne rozwiązywanie zintegrowanych problemów planowania i harmonogramowania produkcji,
- wskazano, że największym wyzwaniem jest sposób zapisu problemu, uwzględniający wszystkie ograniczenia zasobowe i biznesowe w złożonym systemie produkcyjnym,
- wykazano, że operatory mutacji są zdecydowanie łatwiejsze w implementacji niż operatory krzyżowania, są szybsze obliczeniowo i kierują przeszukiwanie w nowe obszary,
- wskazano, że dla mniej złożonych problemów (np. problem szeregowania na jednej maszynie) celowa jest rezygnacja z operatorów krzyżowania na korzyść optymalizacji lokalnej,
- wykazano, że algorytmy ewolucyjne są elastyczną i skuteczną techniką harmonogramowania produkcji, lepszą niż inne metaheurystyki inspirowane obserwacją natury,
- opracowano prototyp systemu planowania i harmonogramowania produkcji dla typowego zakładu odlewniczego; w prototypie zaproponowano zmodyfikowany operator krzyżowania i algorytm naprawy, uwzględniające specyfikę systemu wytwórczego zakładów odlewniczych.

Grupowanie obiektów – algorytmy ewolucyjne

Problemy grupowania obiektów mają duże znaczenie praktyczne, stąd też są szeroko badane przez teoretyków i praktyków nauk technicznych i ekonomicznych. Grupowanie polega na takim podziale zbioru danych na grupy, by elementy w tej samej grupie były do siebie jak najbardziej podobne, a jednocześnie jak najbardziej odmienne od elementów z pozostałych grup. Grupowanie obejmuje dwie grupy zagadnień: klasyfikowanie (gdy liczba grup, na które należy podzielić obiekty, jest z góry znana) i klastrowanie (gdy liczba grup nie jest z góry ustalona). Obie te klasy problemów były i są przedmiotem badań wnioskodawcy.

Z prac E. Falkenauera – twórcy najlepszego hybrydowego algorytmu genetycznego dla problemów grupowania – wynika, że standardowy schemat i elementy algorytmu genetycznego nie nadają się do problemu grupowania. Jako rozwiązanie Falkenauer zaproponował specjalizowany schemat kodowania i nowe operatory genetyczne dostosowane do problemów grupowania (ang. Grouping Genetic Algorithm - GGA). Zdaniem wnioskodawcy nie ma potrzeby stosowania specjalizowanych operatorów i reprezentacji do tego typu problemów: tradycyjny schemat i znane operatory algorytmów ewolucyjnych są wystarczająco elastyczne dla rozwiązania problemu grupowania obiektów. Badania wnioskodawcy tezę tę potwierdziły.

Wnioskodawca opracował wersję strategii ewolucyjnej ES (ang. Evolutionary Strategy), w której λ potomków jest generowanych z jednego rodzica za pomocą prostych mutacji. Krzyżowanie nie jest stosowane. Najlepszy z potomków zastępuje rodzica w nowej populacji. Ten sposób selekcji (rodzic nie konkuruje z potomkami) powoduje często pogorszenie rozwiązania wejściowego, ale poprawia efektywność algorytmu.

Dopuszczalne rozwiązania są reprezentowane przez listę n elementów i s separatorów grup, przy czym wartość j ($1 \leq j \leq n$) określająca numer elementu może wystąpić na liście tylko jeden raz, podobnie jak wartość i ($n+1 \leq i \leq n+s$) określająca numer separatora. Tak więc dla 7 elementów i 3 separatorów grup, rozwiązanie postaci $R_1 = (1,3,9,8,5,2,7,10,6,4)$ oznacza, że elementy umieszczone są w trzech grupach (1,3), (5,2,7) i (6,4), natomiast rozwiązanie $R_2 = (1,10,3,8,5,2,9,7,6,4)$ oznacza, że elementy mieszczą się w czterech grupach (1), (3), (5,2) i (7,6,4). Za pomocą parametru s można kontrolować liczbę grup w rozwiązaniu.

Autorskim rozwiązaniem jest założenie, że separatory mogą występować obok siebie oraz że zarówno elementy jak i separatory są przedmiotem mutacji (ruchy zmieniające porządek w rozwiązaniu). Autorskim pomysłem jest również zaprojektowanie fazy destabilizacji, która w tym przypadku polega na przyjęciu najgorszego rozwiązania w danym pokoleniu jako rodzica, jeśli podczas ustalonej liczby iteracji nie zaszła poprawa najlepszego znalezionej rozwiązania. W ten sposób przeszukiwanie kierowane jest w nowe rejony przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań. Trzecim autorskim pomysłem jest koncepcja usuwania nadmiarowych separatorów wprowadzona w 2008 roku w artykule opublikowanym w *Computers and Industrial Engineering*.

Stawowy A. & Święchowicz M. (2001). Optymalizacja załadunku kołpakowych pieców rekrystalizacyjnych w hucie stali. [W:] Knosala R. (red.), *Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie* (str. 240-246). Warszawa: WNT.

Analiza problemu załadunku pieców kołpakowych wykazała, że może on być potraktowany jako problem pakowania pudełek, w którym wielkością obiektu jest wysokość kręgu, a wielkością pudełka – wysokość pieca kołpakowego. Jednakże ze względu na to, że obiekty (kręgi) oraz pudełka (piece) nie są obiektami jednorodnymi (kręgi z różnych gatunków stali oraz różne pojemności pieców) wnioskodawca zaproponował następującą procedurę:

1. rozdzielić kręgi na rozłączne partie; partię tworzą kręgi o podobnych parametrach wyżarzania,
2. dla kolejnych partii stosować algorytm rozwiązujący problem pakowania do wolnych pieców rodzaju 1 (rodzaj pieca określony jest przez jego pojemność),
3. jeśli partia kręgów nie mieści się w dostępnej liczbie pieców nr 1, pozostałą część należy zapakować do pieców rodzaju nr 2, itd.
4. jeśli zostaną kręgi bez przydziału, odłożyć je do następnej procedury optymalizacyjnej.

Problemy zawarte w krokach 1, 2 i 4 można rozwiązać stosując odpowiednie procedury organizacyjne, natomiast problem pakowania (krok 2) wymaga zastosowania prostego i szybkiego algorytmu przybliżonego. W tym przypadku zaproponowano autorską, najprostszą wersję algorytmu strategii ewolucyjnej (bez fazy destabilizacji). Algorytm przetestowano na danych empirycznych wziętych z wybranych zmian produkcyjnych Oddziału Pieców Kołpakowych jednej z polskich hut. Stwierdzono, że zastosowanie zaproponowanej metody pozwala zwiększyć wydajność Oddziału o około 15%. Ma to duże znaczenie praktyczne wobec faktu, że jednostka ta stanowi wąskie gardło procesu produkcyjnego.

Stawowy A., Wrona R. & Macioł A. (2006). Algorytm ewolucyjny do szacowania kosztów wyrobów odlewniczych. *Archiwum Odlewnictwa*, 6(18), 21-26.

Na bazie prawidłowo przeprowadzonej klasyfikacji odlewów możliwe jest opracowanie algorytmu szybkiego doboru technologii i szacowania kosztów dla nowych wyrobów (zamówień). W pracy zaprezentowano dokładny opis algorytmu ewolucyjnego przeznaczonego do tego celu. Danymi wejściowymi do algorytmu jest zbiór zawierający parametry technologiczne wszystkich wyrobów produkowanych w zakładzie. Każdy wyrób w zbiorze opisany jest wektorem:

$$W = \{ \text{atrybuty_kształtu}, \text{atrybuty_technologiczne}, \text{koszt_jednostkowy} \}$$

Nowozamawiany wyrób NW opisany jest identycznym wektorem, nie zawierającym atrybutu koszt_jednostkowy .

Zaproponowana przez wnioskodawcę procedura realizowana jest w czterech krokach:

1. normalizacja atrybutów wyrobów W oraz wyrobu NW , w celu doprowadzenia do ich porównywalności,
2. podział zbioru wyrobów W na s rozłącznych grup,
3. znalezienie grupy wyrobów najbardziej podobnych do wyrobu NW ,
4. średni koszt jednostkowy w znalezionej grupie wyznacza wartość atrybutu dla wyrobu NW .

Najważniejszy krok tj. podział zbioru na rozłączne grupy realizowany jest przez strategię ewolucyjną opracowaną przez wnioskodawcę.

W kolejnych dwóch artykułach, mających charakter teoretyczny, sformułowano skuteczny algorytm grupujący i udowodniono, że może być on stosowany w różnych zagadnieniach zarządzania systemami produkcyjnymi. Przede wszystkim opracowano dwa podstawowe elementy algorytmu tj. fazę destabilizacji oraz koncepcję usuwania separatorów. Oba, tak rozwiązane elementy, są nowatorskie w literaturze przedmiotu.

Stawowy A. (2006). Evolutionary algorithm for manufacturing cell design. *Omega, International Journal of Management Science*. 34, 1-18.

Technologia grupowa (ang. GT - Group Technology) jest metodą zarządzania produkcją, która zakłada podział systemu wytwarzania na autonomiczne podsystemy (grupy). Celem jest zebranie podobnych wyrobów (części) w grupy i niepodobnych urządzeń (maszyn) w komórki tak, by pracochłonność międzykomórkowego transportu części była zminimalizowana. W procesie projektowania elastycznych struktur produkcyjnych najbardziej znaną metodą jest grupowanie wyrobów na podstawie analizy przepływu produkcji PFA (ang. Production Flow Analysis). Analiza istniejących marszrut technologicznych służy do skonstruowania macierzy incydencji M . Wartość 1 elementu M_{ij} oznacza, że maszyna i jest używana do wykonania wyrobu j , a wartość 0 – sytuację przeciwną. Tak więc kolumna M_j macierzy opisuje marszrutę technologiczną dla j -tego produktu. Celem jest przetransformowanie macierzy M w klastry poprzez odpowiednie przestawianie wierszy i kolumn: otrzymane bloki formują komórki maszyn.

Do algorytmu ES wprowadzono fazę destabilizacji jako mechanizm ochrony przed przedwczesną zbieżnością do optimum lokalnego. Jeśli wartość funkcji dopasowania najlepszego potomka jest mniejsza niż wartość funkcji najlepszego znalezionego do tej pory rozwiązania, zmienna *counter* (licznik) zliczająca takie zdarzenia jest zwiększana o jeden, w przeciwnym razie jest zerowana. Jeżeli licznik przekroczy, określoną empirycznie, zadaną wartość $\text{ROUND}(5000/\lambda)$, następuje faza destabilizacji, podczas której jest zerowany licznik i nowym rodzicem staje się najgorsze rozwiązanie z aktualnego pokolenia. W ten sposób przeszukiwanie zostaje skierowane w nowe obszary przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań. Ta technika destabilizacji jest możliwa do stosowania tylko w tym wypadku, gdy generowane genotypy opisują dozwolone rozwiązania, co w przypadku tak przedstawionego problemu grupowania jest zawsze prawdziwe. Należy zaznaczyć, że wartości λ i $\text{ROUND}(5000/\lambda)$ stanowią o proporcji eksploatacja/eksploracja, która jest jednym z ważniejszych parametrów decydującym o skutecznym działaniu algorytmów ewolucyjnych.

Należy również podkreślić, że – podczas obliczania funkcji przystosowania – algorytm jednoznacznie przyporządkowuje maszyny i wyroby do komórek, więc określenie maszyny będącej "wąskim gardłem" nie przedstawia trudności.

W celu sprawdzenia działania proponowanego algorytmu, ES był testowany przy użyciu 34 ogólnie znanych przykładów o różnych rozmiarach. W 29 przypadkach algorytm ES znalazł rozwiązania z tą samą liczbą grup i tą samą wartością wskaźnika efektywności grupowania, jak osiągnięte przez znane z literatury algorytmy, natomiast w 5 przypadkach – lepsze niż znalezione do tej pory. Należy przy tym zauważyć, że ES operuje na mniejszej populacji niż konkurencyjne algorytmy, a operatory są mniej skomplikowane, stąd można wnosić, iż algorytm ES działa dużo szybciej niż konkurencyjne heurystyki.

Stawowy A. (2008). Evolutionary based heuristic for bin packing problem. *Computers and Industrial Engineering*. 55(2), 465-474.

Problem pakowania pudełek (ang. Bin Packing Problem - BPP) należy do dużej rodziny zagadnień grupowania elementów, które polegają na podziale zbioru elementów na rozdzielne podzbiory. BPP formułujemy następująco:

mamy n niepodzielnych obiektów, każdy o wadze (wartości) w_i , ($1 \leq i \leq n$) oraz n pudełek (ang. bins) każde o pojemności C ($w_i < C$); należy tak rozmieścić obiekty w pudełkach, by liczba użytych pudełek była minimalna, przy założeniu, że pojemność pudełek nie będzie przekroczona.

Do opisanego wyżej algorytmu ES wprowadzono usuwanie nadmiarowych separatorów jako mechanizm ograniczający rozmiar przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań, a tym samym przyspieszający obliczenia. Okazało się, że jest to dużo lepszy sposób niż proponowane w literaturze blokowanie prawie pełnych lub dominujących pudełek. Wiele nadmiarowych (leżących obok siebie) separatorów jest obecnych w poszczególnych rozwiązaniach. Sytuacja taka jest korzystna na początku działania algorytmu, kiedy należy znaleźć dobre grupy, jednakże w dalszych iteracjach losowe mutacje próbują wykonać nieproduktywne ruchy. Z tego względu zdecydowano na końcu każdej iteracji znaleźć i usunąć z rozwiązania pierwszy powtarzający się separator; w kolejnym kroku rozwiązywany jest problem o rozmiarze o jeden mniejszy.

Ponadto w algorytmie wprowadzono blokowanie:

- ruchów wewnątrz grup,
- zamian separatorów,
- zamian obiektów o tej samej wielkości,
- ruchów prowadzących do przepelnienia grupy.

W celu sprawdzenia działania proponowanego algorytmu, ES był testowany przy użyciu 1370 ogólnie znanych przykładów o różnych rozmiarach. Eksperymenty numeryczne wykazały, że proponowany algorytm działa równie skutecznie jak specjalizowane i hybrydowane heurystyki.

Przeprowadzone badania eksperymentalne wykazały dużą przydatność strategii ewolucyjnej w wersji wnioskodawcy dla problemu grupowania wyrobów i maszyn oraz problemu pakowania pudełek. Dzięki zastosowanej reprezentacji, sposobowi mutacji, którym podlegają zarówno separatory jak i elementy, mechanizmowi destabilizacji i usuwania nadmiarowych separatorów, zaproponowany algorytm działa równie skutecznie i dużo szybciej niż bardziej skomplikowane, specjalizowane algorytmy. Okazuje się, iż algorytmy ewolucyjne są na tyle elastyczną techniką, że wystarcza modyfikacja standardowego schematu, by osiągnąć zadowalające rezultaty dla różnorodnych problemów optymalizacji kombinatorycznej. Wyniki eksperymentów jeszcze raz potwierdziły siłę algorytmów ewolucyjnych, która polega na zdolności do generowania bardzo dobrych rozwiązań bez wnikania w strukturę problemu.

Grupowanie obiektów – systemy regułowe

Jedną z najnowszych koncepcji zarządzania jest idea zarządzania regułami biznesowymi (BRM - Business Rules Management), w której kluczowe jest założenie, że reguły rządzące procesami w organizacjach winny być traktowane niezależnie od samych procesów. Przyjmuje się, że systemy takie muszą pozwalać użytkownikowi-menedżerowi, który nie jest programistą, formułować, aktualizować, weryfikować i symulować reguły w sposób zbliżony do języka naturalnego.

Aczkolwiek BRM jest ukierunkowane na poprawę procesów biznesowych, z powodzeniem można stosować tę koncepcję w zarządzaniu technologią. Prace badawcze wnioskodawcy dotyczące zastosowań BRM związane są ze realizacją projektu „Prototyp systemu zarządzania regułami biznesowymi i technologicznymi”, projekt nr UDA-POIG.01.03.01-12-163/08-00, w ramach Priorytetu 1., Działanie 1.3. PO IG, Poddziałanie 1.3.1. Zadaniem wnioskodawcy było wskazanie obszarów logistyki i zarządzania produkcją, w których może być zastosowany system BRM o nazwie REBIT, opracowany w ramach projektu. Spośród wielu takich obszarów, w niniejszym autoreferacie przedstawiono dwa dotyczące grupowania obiektów. Są to pierwsze doniesienia w literaturze przedmiotu, dotyczące zastosowania BRM w przemyśle odlewniczym.

Stawowy A., Macioł A. & Wrona R. (2010). Casting process selection using business rules approach. *Archives of Metallurgy and Materials*. 55(3), 927-934.

Wybór technologii wykonania odlewu jest uzależniony od jego pożądaných cech oraz od uwarunkowań i ograniczeń technicznych. Prawidłowy dobór sposobu wykonania odlewu ma istotny wpływ na efektywność procesu wytwarzania, a także poziom spełnienia wymagań klienta. W pracy przedstawiono sposób rozwiązywania tego problemu przy użyciu systemu regułowego, który rozwiązuje problem klasyfikowania obiektów na podstawie określonych przesłanek. Przedstawiony został model problemu decyzyjnego oraz przykład rozwiązywania konkretnych zadań z zastosowaniem prototypu systemu regułowego.

Możliwe technologie opisane są przy pomocy zbioru informacji wskazujących, czy i/lub w jakim stopniu możliwe jest osiągnięcie odpowiedniej wartości danej cechy wyrobu gotowego. Istnieje także zbiór informacji opisujących poziom wypełnienia różnego rodzaju kryteriów przez poszczególne technologie, niezależnie bądź zależnie od cech wykonywanego odlewu.

Problem polega na porównaniu wymagań odnośnie odlewu z możliwościami, jakie dostarczają poszczególne technologie i wyborze spośród dopuszczalnych takiej, która w największym stopniu spełnia zadane kryteria technologiczne i efektywnościowe. Ten proces decyzyjny musi uwzględniać zarówno wymagania i ograniczenia techniczne jak i ekonomiczność produkcji uzależnioną od wielkości i powtarzalności partii produkcyjnych, konkurencyjności produktu, pożądanę jakości wyrobu oraz niezawodności procesu produkcyjnego. Dane charakteryzujące proces i wyrób można podzielić na 4 kategorie:

1. atrybuty wyrobu (materiał, waga, cienkościenność, kształt),
2. atrybuty produkcyjne (wielkość i produktywność),
3. atrybuty wykonania (jakość powierzchni, dokładność wymiarów),
4. atrybuty handlowe (koszty, wielkość partii).

Budowa użytecznego narzędzia do eksploracji wiedzy wymaga sformułowania jej w postaci zrozumiałej dla konkretnego mechanizmu wnioskującego. Do rozwiązania problemu doboru technologii zastosowano prototyp systemu REBIT. Całość wiedzy wnioskodawca zapisał w

tablicach decyzyjnych, które są automatycznie konwertowane do zbioru reguł *IF przesłanka THEN konkluzja*. Silnik wnioskujący przeprowadza proces wnioskowania w przód.

Do zapisu rozważanego problemu użyto 14 zmiennych i 26 rozbudowanych reguł sformułowanych na podstawie charakterystyki procesów. Przeprowadzono testy dla 5 różnych kombinacji wartości atrybutów – we wszystkich przypadkach system regułowy podał prawidłową technologię.

Zalety takiego podejścia są oczywiste:

- spójna i uporządkowana wiedza,
- brak redundantnych reguł,
- ograniczenie źródła błędów popełnianych przez człowieka,
- ujednolicona i lepsza metoda wyszukiwania informacji.

Stawowy A., Wrona R. & Ronduda M. (2011). Classification of foundry clients using business rules approach. *Archives of Foundry Engineering*. 11(4), 145-148.

W pracy przedstawiono sposób rozwiązywania problemu oceny klientów zakładu odlewniczego przy użyciu koncepcji reguł biznesowych. Przedstawiony został model problemu decyzyjnego oceny klientów, zestaw tablic decyzyjnych służących do jego rozwiązania oraz przykłady rozwiązania konkretnych zadań.

Problem polega na przypisaniu klienta do jednej z czterech, stosowanych w analizowanym zakładzie, klas.:

- A. bardzo dobry,
- B. dobry,
- C. przeciętny,
- D. zły.

Klasyfikacja jest dokonywana ze względu na cechy zawarte w trzech kategoriach:

1. atrybuty ekonomiczne (wartość obrotów, rentowność sprzedaży),
2. atrybuty handlowe (warunki reklamacji – czas rozliczania odlewów brakowych, termin płatności),
3. atrybuty produkcyjne (dopuszczalne przez odbiorcę tolerancje wymiarowe, konieczność użycia opakowań specjalnych, stosowanie obróbki obcej, poziom współpracy technicznej odzwierciedlający skalę problemów przy produkcji dla klienta).

System wspomagający klasyfikację odbiorców umożliwia obiektywną i powtarzalną ocenę klientów, pozwala przy tym uwzględniać zarówno wymagania techniczne jak i logistyczne oraz ekonomiczne. Decyzje takie podejmowane są przez służby marketingowe, których zadaniem jest prowadzenie okresowej lub ad hoc oceny klientów.

Do zapisu problemu użyto czterech tablic decyzyjnych, na podstawie których system wygenerował 132 reguły zawierające od 2 do 4 przesłanek połączonych operatorem **AND**. W trzech przypadkach testowych system reguł prawidłowo zaklasyfikował klientów do określonych grup.

Wkład naukowy wnioskodawcy w obszarze grupowania obiektów:

- określono obszary systemu produkcyjnego, w których ważne są problemy grupowania obiektów,
- dowiedziono, że nie ma potrzeby stosowania specjalizowanych operatorów i reprezentacji dla problemów grupowania: tradycyjny schemat i znane operatory algorytmów ewolucyjnych są wystarczająco elastyczne,
- opracowano skuteczny algorytm grupowania, w ramach którego:
 - a) zaproponowano reprezentację z ruchomymi separatorami,
 - b) opracowano fazę destabilizacji jako mechanizm ochrony przed przedwczesną zbieżnością algorytmu,
 - c) zaproponowano usuwanie separatorów jako mechanizm redukcji przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań,
- wykazano, że algorytm ewolucyjny w wersji wnioskodawcy jest elastyczną i skuteczną techniką grupowania, porównywalną z innymi metaheurystykami inspirowanymi obserwacją natury,
- uzasadniono korzyści wynikające ze stosowania grupowania obiektów w zarządzaniu produkcją zakładu odlewniczego,
 - wykazano, że koncepcja reguł biznesowych w połączeniu z nowoczesnymi systemami informatycznymi jest dobrym narzędziem wspomagania decyzji technologicznych i biznesowych, w tym projektowania technologii wykonania odlewu,
 - dowiedziono możliwości zapisu wiedzy i wsparcia zarządzania zakładem odlewniczym z wykorzystaniem nowoczesnej koncepcji zarządzania regułami biznesowymi.

Obecne prace naukowe wnioskodawcy ukierunkowane są na integrację problemów harmonogramowania i grupowania. W fazie końcowych testów jest publikacja „Bi-criteria single machine batch scheduling with bounded batch and job families”, w której rozpatrywany jest równocześnie problem pakowania z szeregowaniem zadań na jednej maszynie. Sytuacja taka ma miejsce m.in. w przemyśle odlewniczym, gdzie ilość topionego metalu nie może przekroczyć pojemności pieca, przygotowywany jest metal określonego gatunku, z którego wykonywane są wyroby na automatycznej linii odlewania. Należy tak dobrać kolejność topionych gatunków metalu, by nie dopuścić do opóźnień dostarczenia wyrobów dla klientów. Przedstawione w niniejszym autoreferacie reprezentacja z separatorami oraz algorytm grupowania i szeregowania bardzo dobrze nadają się do tego celu.

Podsumowanie

Opracowane przez wnioskodawcę metody i algorytmy, przedstawione w pracach 1-9 oraz innych publikacjach zebranych w załączonej do autoreferatu liście, są istotnym wkładem do rozwoju zaawansowanych metod inteligencji obliczeniowej w dyscyplinie metalurgia. Autorskie wersje algorytmów szeregowania zadań i grupowania obiektów pozwalają na rozwiązywanie problemów produkcyjnych, dla których uzyskanie wyników było trudne lub wręcz niemożliwe.

Wkład prezentowanych badań w rozwój nauk technicznych to wzbogacenie literatury przedmiotu w następujących obszarach:

- interdyscyplinarnym: podjęto próbę zintegrowania wiedzy technicznej i ekonomicznej z różnych dyscyplin badawczych (metalurgia, zarządzanie produkcją, badania operacyjne, inteligencja obliczeniowa),
- empirycznym: zaproponowano metody inteligencji obliczeniowej do rozwiązywania specyficznych problemów zakładów odlewniczych; badania wykazały, że metody te są skuteczne w rozważanych dziedzinach (klasyfikacja wyrobów, dobór technologii wykonania, ocena klientów, planowanie i harmonogramowanie produkcji),
- narzędziowym: przedstawiono nowoczesne, a przy tym – proste, algorytmy heurystyczne odpowiednie dla różnych problemów harmonogramowania zadań oraz problemów grupowania obiektów,
- metodycznym: przedstawione rozważania teoretyczne i badania empiryczne przyczyniają się do rozwoju metod analizy i syntezy systemów produkcyjnych, niezbędnych w projektowaniu nowych i rekonstrukcji istniejących zakładów odlewniczych,
- edukacyjnym: proponowane podejście może być użyteczne dla menadżerów oraz inżynierów zajmujących się procesem produkcyjnym w zakładach odlewniczych, jak i dla studentów kierunków technicznych i ekonomicznych.

5) Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

Poniżej podano pozostałe, najważniejsze osiągnięcia wnioskodawcy; szczegóły zawarto w załącznikach „Wykaz opublikowanych prac naukowych” oraz „Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki”.

Współautorstwo i redakcja dwóch monografii

1. Wrona R., Stawowy A. & Macioł A. (2006). *Podstawy inżynierii projektowania odlewni*. Kraków: Pandit.
2. Banet E., Baster B., Duda J., Gawel B., Jankowski R., Jędrusik S., Macioł A., Macioł P., Madej L., Nowak J., Paliński A., Paradowska W., Pilch A., Puka R., Rębiasz B., Stawowy A., Śliwa Z. & Wrona R. (2011). Macioł A. & Stawowy A. (red.), *Zarządzanie regulami biznesowymi: perspektywy zastosowania w zarządzaniu technologią*. Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica.

Współautorstwo i autorstwo artykułów naukowych

Pięćdziesiąt trzy pozycje, dwadzieścia dwie z nich – w języku angielskim, w tym jedna – w czasopiśmie z listy Journal Citation Reports.

Udział w realizacji projektów naukowo-badawczych

1. *Opracowanie i uruchomienie systemu sterowania procesem produkcyjnym walcowni blach karoseryjnych Huty im. T. Sendzimira*. (2000-2001). Projekt celowy nr 10T08 017 2000 C/5228, wykonawca.
2. *Wdrożenie systemu zarządzania produkcją i sprzedażą w odlewni*. (2001-2002). Projekt celowy nr 6T08 118 2001 C/5560, wykonawca.
3. *Monitorowanie przebiegu procesu restrukturyzacji hutnictwa żelaza i stali w Polsce, w tym bieżącego stanu sektora i rynku wyrobów hutniczych*. (2003-2007). Praca na zlecenie Ministerstwa Gospodarki, realizowana przez konsorcjum IMŻ, AGH i CIBEH, wykonawca.
4. *Metodyka projektowania zakładów odlewniczych*. (2004-2006). Grant KBN nr 4 T08B 010 25, wykonawca.
5. *Algorytmy ewolucyjne w harmonogramowaniu produkcji w systemie Capable-to-Promise*. (2005-2007). Grant KBN nr 1 H02D 086 29, kierownik i wykonawca.
6. *Opracowanie założeń i budowa systemu wymiany informacji o odlewach i metodach ich wytwarzania*. (2006-2009). Grant KBN nr 4 T08B 011 32, wykonawca.
7. *Prototyp systemu zarządzania regulami biznesowymi i technologicznymi*. (2009-2011). Projekt nr UDA-POIG.01.03.01-12-163/08-00 realizowany w ramach Priorytetu 1., Działanie 1.3. PO IG, Poddziałanie 1.3.1., wykonawca.

Osiągnięcia w zastosowaniu wyników prac naukowo-badawczych w praktyce

1. Udział w kilkudziesięciu projektach z zakresu zarządzania, kontroli kosztów i systemów informacyjnych dla m.in.: Odlewnie Polskie S.A., Odlewnie Ostrowieckie sp. z o.o., Odlewnia Precyzyjna „Mielec” sp. z o.o., Zakład Odlewni ECOO sp. z o.o., KRAKODLEW S.A., Huta Buczek S.A., Zakłady Urządzeń Hutniczych ZAM Kęty S.A., Huta Katowice S.A., Huta Ostrowiec S.A., Huta Łabędy S.A., Huta Jedność S.A., Huta Zabrze S.A., Walcowania Rur Andrzej S.A., PWR RUREXPOL Sp. z o.o.

2. Współautorstwo systemu informatycznego zarządzania produkcją walcowni, wdrożonego w Hucie im T. Sendzimira.

Coroczne uczestnictwo w międzynarodowych konferencjach o problematyce odlewniczej

1. *Optymalizacja systemów produkcyjnych w odlewniach*, organizowana przez Katedrę Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji Politechniki Łódzkiej oraz Komisję Odlewnictwa PAN – Oddział Katowice, Łódź.
2. *Krzepnięcie i krystalizacja metali*, organizowana przez Katedrę Odlewnictwa Politechniki Śląskiej, Kielce-Cedzyna.

Udział w wielu międzynarodowych konferencjach m.in.

1. *53rd International Atlantic Economic Conference*. Paryż 2002.
2. VI międzynarodowa konferencja *Zapewnienie jakości w odlewnictwie*. Szklarska Poręba 2004.
3. III międzynarodowa konferencja *Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych*. Szyce 2004.
4. COMMENT, *Worldwide Congress on Materials and Manufacturing Engineering and Technology*. Gliwice-Wisła 2005.
5. *7th International Scientific Conference Quality Assurance in Foundry*. Podbańskie 2006.
6. IMC24, *24th International Manufacturing Conference*. Waterford 2007.
7. IV międzynarodowa konferencja *Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych*. Szyce 2007.
8. V międzynarodowa konferencja *Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych*. Inwałd 2010.
9. KomPlasTech, XVIII Conference *Computer Methods in Materials Technology*. Zakopane 2011.

Recenzowanie publikacji dla *European Journal of Operation Research* i *Computers and Industrial Engineering*.



.....
podpis Wnioskodawcy