

**Wojciech Kapeliński**

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

---

## SYSTEMY ZAAWANSOWANEGO PLANOWANIA I HARMONOGRAMOWANIA PRODUKCJI JAKO UZUPEŁNIENIE FUNKCJONALNOŚCI SYSTEMÓW ERP

---

**Streszczenie:** Celem artykułu jest przedstawienie systemów zaawansowanego planowania i harmonogramowania produkcji jako uzupełnienie funkcjonalności systemów klasy MRPII/ERP. Omówione zostały ograniczenia modułu do planowania zdolności produkcyjnych, będącego modułem systemów klasy MRPII/ERP, oraz możliwości uzupełnienia tej funkcjonalności przez systemy do zaawansowanego planowania i harmonogramowania produkcji. W ostatniej części zaprezentowane zostało przykładowe wdrożenie takiego systemu.

**Słowa kluczowe:** ERP, APS, planowanie i harmonogramowanie produkcji, system zintegrowany.

### 1. Wstęp

We współczesnej dynamicznej gospodarce nastawionej na klienta od przedsiębiorstw wymagane jest dostarczanie produktów spełniających ich zindywidualizowane wymagania. Prowadzi to do coraz krótszego cyklu życia produktów, dlatego coraz większego znaczenia nabiera produkcja jednostkowa i małoseryjna. Produkcję tę charakteryzuje szeroki, a zarazem mało stabilny asortyment wyrobów. Dodatkową trudność sprawia brak możliwości przewidzenia wielkości potencjalnych zamówień oraz ich prawdopodobnego rozłożenia w czasie. Każdy realizowany produkt wymaga użycia tylko niektórych zasobów, dlatego poziom produkcji w toku jest bardzo wysoki. Komplikuje to znacznie gospodarkę magazynową i angażuje kapitał obrotowy przedsiębiorstwa. Przeciętne wykorzystanie zasobów jest małe, ale mimo to na wybranych stanowiskach bardzo często zdarzają się blokady i przestoje [Knosala 2007]. W takich warunkach istotne staje się planowanie na poziomie operacyjnym, w krótkim horyzoncie czasowym, umożliwiającym optymalne wykorzystanie dostępnych środków produkcyjnych. Pozwalające uniknąć powstawania między innymi „wąskich gardeł”. Istotne usprawnienie procesu planowania z uwzględnieniem większej liczby czynników nastąpiło w systemie MRP II, jednakże wymagają one w dalszym ciągu podejmowania przez odbiorców tych planów (np. planistów, brygadzystów) decyzji na poziomie operacyjnym [Knosala 2007].

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości wykorzystania funkcjonalności systemów zaawansowanego planowania i harmonogramowania produkcji do usprawnienia planowania i sterowania procesami produkcyjnymi poprzez rozwinięcie funkcjonalności oferowanej przez systemy klasy MRPII/ERP.

## 2. Pojęcie systemów klasy ERP i MRP II

**System ERP** (ang. Enterprise Resource Planning) – Planowanie Zasobów Przedsiębiorstwa to zestaw narzędzi informatycznych, który umożliwi sterowanie procesami biznesowymi oraz monitorowanie i analizowanie funkcjonowania organizacji gospodarczej [Wrycza 2010]. Systemy te należą do klasy systemów służących do wspomagania zarządzaniem przedsiębiorstwem na wszystkich szczeblach zarządzania.

Podstawą systemów ERP jest standard MRP II opracowany przez stowarzyszenie APICS. System MRP II (ang. Manufacturing Resource Planning) pozwala na planowanie zasobów produkcyjnych, obejmuje sterowanie zasobami i produktami przedsiębiorstwa oraz zarządzanie działalnością firmy także w aspekcie finansowym [System...]. System ten uwzględnia aspekty zarządzania przedsiębiorstwem związane z przygotowaniem, planowaniem oraz kontrolą jakości produkcji. Dodatkowo uwzględniają sprzedaż oraz dystrybucję produktów oferowanych przez przedsiębiorstwo.

## 3. CRP i APS w planowaniu produkcji

Do Zarządzania Łańcuchem Dostaw według standardów APICS, wykorzystywanym w systemach ERP, można zliczyć kolejne poziomy planowania, takie jak prognozowanie popytu, planowanie sprzedaży i operacji (SOP), główny harmonogram produkcyjny (MPS), planowanie zapotrzebowania materiałowego (MRP) oraz planowanie zdolności produkcyjnych (CRP) oraz sterowanie produkcją.

**Planowanie zdolności produkcyjnych** (ang. Capacity Requirements Planning) jest to moduł lub funkcjonalność systemów MRP II i ERP odpowiedzialny za planowanie zdolności produkcyjnych. Zwykle jest to realizowane jako bilans zestawiający ze sobą plan obciążenia maszyn i urządzeń produkcyjnych (wynikający ze szczegółowego planu produkcji – rozwinięcia algorytmu MRP) oraz dostępnych mocy produkcyjnych (wynikających z kalendarzy prac stanowisk) [*Planowanie...*].

Do podstawowych założeń CRP można zliczyć operowanie na nieskończonej pojemności zasobów produkcyjnych, układanie harmonogramu wstecz (od terminu realizacji) oraz operowanie na zdefiniowanych przedziałach czasowych (najczęściej dni lub tygodni). Podejście takie umożliwi wygenerowanie harmonogramu przekraczającego dopuszczalne zdolności produkcyjne. W takim wypadku planista musi interweniować, zakładając na przykład nadgodziny lub operując terminem realizacji zlecenia produkcyjnego, co może powodować dodatkowe koszty lub niedotrzymanie terminów wyznaczonych przez klienta.

Aby uzupełnić braki CRP, firmy oferujące systemy ERP tworzą nowe moduły lub funkcjonalności dostarczające więcej możliwości systemom klasy APS. Jako przykład można podać firmę SAP oferującą narzędzie SAP APO (Advanced Planner & Optimizer) zawierające komponent „Planowanie produkcji i harmonogramowanie szczegółowe” [SAP]. Alternatywę dla tego typu działań stanowią niezależne systemy APS umożliwiające integrację z systemami klasy ERP. Do systemów tych należy produkt firmy Preactor [www.preactor.com].

**System APS** (ang. Advanced Planning and Scheduling) – zaawansowane planowanie i harmonogramowanie. Klasa zaawansowanych systemów informatycznych umożliwia tworzenie szczegółowych harmonogramów produkcyjnych, stanowiących rozwinięcie systemów MRP II i ERP, a pozwalających wykonywać złożone operacje planistyczne i symulacyjne wraz z optymalizacją [Advanced...]. System ten rozdziela na zasoby zlecenia robocze pochodzące z kalkulacji MRP z uwzględnieniem dostępnych **rzeczywistych zdolności produkcyjnych**, wszystkich zdefiniowanych ograniczeń (takich jak liczba dostępnych pracowników) oraz celów biznesowych. Wynikiem harmonogramowania obciążenia zasobów planowanymi zleceniami jest określenie konkretnych terminów rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych operacji na przypisane im stanowiska pracy, tak aby były dotrzymane priorytety MRP [Zarządzanie...].

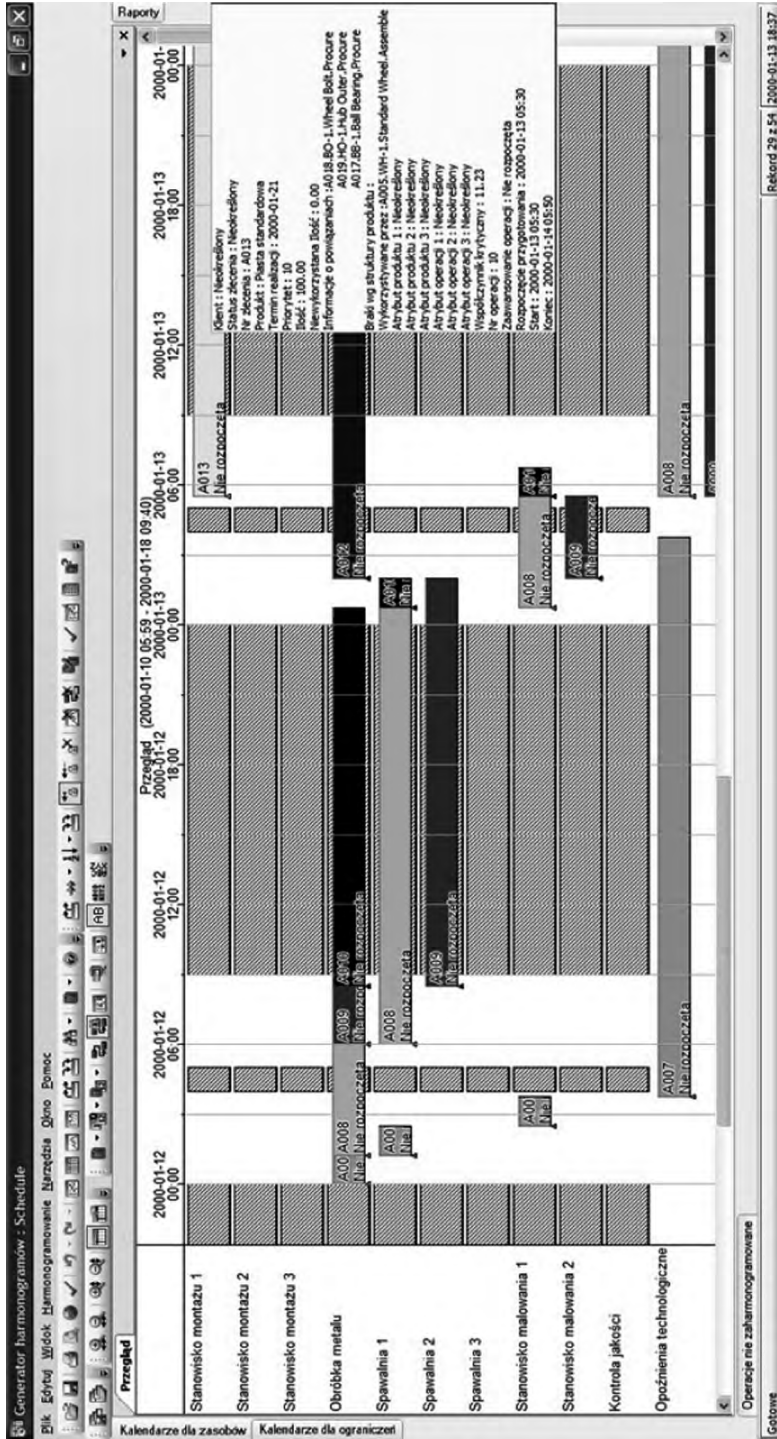
APS umożliwia realizację zmiennych w czasie celów biznesowych, np. wytwarzanie produktu po najniższym koszcie lub wytwarzanie w pierwszej kolejności produktu dla danego klienta, który przynosi firmie największe dochody. Systemy APS są związane z łańcuchami dostaw i rozwinęły się na bazie systemów planowania potrzeb dystrybucyjnych [Wrycza 2010].

#### 4. Zakres funkcji APS

Systemy klasy APS są narzędziami elastycznymi i w porównaniu z systemami ERP, posiadającymi szerokie możliwości modyfikacji, dzięki czemu możliwe staje się odwzorowanie nawet złożonych procesów produkcyjnych. Dzięki szybkości działania możliwe jest wygenerowanie planu produkcyjnego w kilka minut, a nawet sekund. Możliwe jest także przeprowadzanie licznych symulacji i generowanie kolejnych wersji harmonogramu (*what if*”).

Systemy te posiadają interaktywne wykresy Gantta umożliwiające ręczną modyfikację harmonogramu (przeciągnij i upuść), wykres taki został przedstawiony na rys. 1, oraz tworzenie zapytań ofertowych (Capable to Promise) umożliwiających dodawanie do harmonogramu dodatkowych zleceń bez konieczności tworzenia ich w systemie ERP.

W odróżnieniu od systemu MRPII/ERP, operującego przedziałami czasowymi i uśrednionymi czasami przebrojenia i oczekiwania, systemy te umożliwiają dokładne ustalenie czasu rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych zleceń i kolejki zadań na poszczególne maszyny/gniazda. Umożliwiają również grupowanie ze sobą zleceń, tak aby np. minimalizować wymagany czas przebrojenia.



Rys. 1. Interaktywny wykres Gantta systemu Preactor APS.

Źródło: www.preactor.com (28.08.2010).

Kalkulacja MRP tworzy zlecenia produkcyjne na wszystkie elementy składowe zgodnie ze strukturą BOM. Jednakże nie umożliwia połączenia ze sobą tych zleceń. Przy tych założeniach, aby móc poprawnie planować zlecenia, należy ustawić termin zakończenia zleceń będących składnikami na tę samą datę co termin rozpoczęcia zlecenia z nich korzystającego. System klasy APS umożliwia połączenie ze sobą zleceń produkcyjnych poszczególnych poziomów oraz wykorzystywanych materiałów. Dzięki temu możliwe jest śledzenie wpływu poszczególnych zleceń na siebie.

Sam proces generowania harmonogramu produkcyjnego jest procesem złożonym. W przypadku wykorzystywania systemu typu Job-shop (system gniazdowy), w którym dla każdego zadania mamy dane przyporządkowanie maszyn operacjom oraz wymaganą kolejność operacji w zadaniu. W systemie tym istnieje  $(n!)^m$  różnych możliwych obłożeń maszyn, gdzie  $n$  oznacza liczbę zleceń, a  $m$  liczbę maszyn. Tak więc w przypadku występowania tylko 5 zleceń wykonywanych na 2 maszynach istnieje 14 400 możliwych kombinacji. Problem komplikuje się, jeżeli chcemy na przykład uwzględnić dodatkowe ograniczenia albo bieżące obciążenie poszczególnych stanowisk. W takim wypadku często staje się niemożliwe znalezienie „optymalnego” harmonogramu w rozsądnym czasie. Dlatego w praktyce zastosowanie mają rozwiązania oparte na procedurach heurystycznych. Do najczęściej wykorzystywanych metod heurystycznych w systemach klasy APS należy:

- Reguła FIFO (ang. First in First out) – pierwsze przyszło – pierwsze wyszło, w metodzie tej zlecenia umieszczane są w harmonogramie w kolejności, w jakiej napływają do działu planowania.
- Reguła STO (ang. Shortest Time Operation) – według najkrótszego czasu trwania operacji.
- Reguła priorytetu – przydziela poszczególnym zleceniom określone wagi, w pierwszej kolejności harmonogramowane są operacje posiadające wyższy stopień priorytetu.
- Kolejność według terminu realizacji – zlecenia harmonogramowane są zgodnie z ich terminem realizacji.

Dla każdej z powyższych metod harmonogramowanie może odbywać się w następujący sposób [Pająk 2006]:

- Harmonogramowanie w przód – znając datę rozpoczęcia pierwszej operacji i czasy trwania operacji, można wyznaczyć datę zakończenia wszystkich operacji, w więc termin wykonania zlecenia.
- Harmonogramowanie wstecz – znając wymagany termin zakończenia zlecenia i czas operacji, można wyznaczyć najpóźniejszy termin rozpoczęcia pierwszej operacji.
- Harmonogramowanie dwukierunkowe – ta metoda jest użyteczna, jeśli użytkownik dysponuje wolnym przedziałem czasowym dla kluczowego, intensywnie wykorzystywanego zasobu („wąskiego gardła”) i planowane jest przydzielenie operacji temu zasobowi, a następnie załadowanie operacji poprzedzających oraz następujących po wybranej czynności.



Ponadto systemy zaawansowanego planowania i harmonogramowania zawierają wiele dedykowanych metod przeznaczonych do realizacji określonych założeń biznesowych. Przy czym należy zwrócić uwagę na to, że cele te są często sprzeczne. Jako przykład można podać niemożliwość pogodzenia chęci minimalizacji występujących podczas produkcji przebrojeń między produktami z minimalizacją zapasów. Chęć minimalizacji przebrojeń wiąże się z koniecznością wykonywania zleceń na poszczególne produkty w dużych seriach, tak aby konieczne było jak najrzadsze przezbieranie maszyn, co może pociągać za sobą wzrost stanów magazynowych.

Do zaawansowanych reguł harmonogramowania dostępnych w systemach APS można zaliczyć między innymi reguły: minimalizujące czasy przygotowawczo-zakończeniowe, minimalizujące czas przetwarzania zlecenia, najniższej wartości współczynnika krytycznego, według najwcześniejszego terminu wykonania, optymalizacji wykorzystania wąskich gardeł oraz regułą preferowanej kolejności. Na przykład reguła preferowanej kolejności pozwala na ustalenie kolejki zleceń umieszczonych w harmonogramie na podstawie porównywanych ze sobą wybranych cech (atrybutów) poszczególnych zleceń. Ponadto systemy APS często umożliwiają tworzenie własnych reguł harmonogramowania w językach programowania, takich jak Visual Basic.

Do innych funkcji systemów klasy APS można zaliczyć [Klonowski 2004]:

- generowanie reguł zależnych od typów zamówień, produktu i zasobów,
- indywidualne ręczne, interaktywne wprowadzanie: operacji nowych i alternatywnych, awarii, prac konserwacyjnych itp.,
- wyliczanie cyklu produkcyjnego dla indywidualnego produktu i zlecenia, śledzenie realizacji zamówień,
- wykres czasu oczekiwania na dostępność zasobu,
- wybór zasobu i definiowanie czasu przeterminowania,
- aktualizacja i obliczenia na podstawie aktualnego zaawansowania (dane z systemu MES),
- identyfikowanie zasobów krytycznych („wąskich gardeł”) i dynamiczne redukcje wpływu takich ograniczeń,
- możliwość tworzenia wykresów, analiz, statystyk, raportów,
- integracja z innymi aplikacjami, w tym systemami typu MRPII/ERP.

Korzyści z zastosowania systemów klasy APS w poszczególnych przedsiębiorstwach mogą się różnić. Jednak do podstawowych korzyści z zastosowania tych systemów można zaliczyć: wzrost wydajności poprzez lepsze wykorzystanie dostępnych środków produkcyjnych, zmniejszenie stanów magazynowych wynikające z możliwości tworzenia powiązań pomiędzy zleceniami z poszczególnych poziomów BOM, redukcję produkcji w toku, poprawę terminowości dostaw do klientów oraz redukcję pracochłonności przygotowania harmonogramów produkcyjnych. Za wadę systemu możemy uznać, ze względu na konieczność uwzględnienia wielu zależności, długi czas wdrażania systemów klasy APS, wynoszący od 3 do 6 miesięcy.

## 5. Przykład zastosowania systemu klasy APS

Na przełomie roku 2009 i 2010 przeprowadzone zostało wdrożenie systemu Preactor w przedsiębiorstwie zajmującym się konfekcjonowaniem wyrobów. Celem wdrożenia było zastąpienie harmonogramu produkcyjnego tworzonego przez planistów za pomocą arkusza kalkulacyjnego zautomatyzowanym systemem układającym harmonogram za pomocą dedykowanych reguł harmonogramowania. Podczas wdrożenia zintegrowano system Preactor z systemem ERP firmy QAD (QAD Enterprise Application). Do systemu Preactor trafiały nie tylko informacje o zleceniach produkcyjnych wygenerowanych poprzez kalkulację MRP, ale również informacje o zleceniach produkcyjnych utworzonych na podstawie kart KANBAN, zleceniach zakupu, harmonogramie dostawców pochodzących z portalu dostawców, stanach magazynowych oraz informacjach o planowanych konserwacjach pochodzących z działu utrzymania ruchu.

Do najważniejszych zagadnień poruszanych w trakcie wdrożenia można zaliczyć:

- analizę procesu produkcyjnego i planistycznego,
- definiowanie funkcji i przepływu informacji w procesie harmonogramowania,
- definiowanie maszyn, ich parametrów oraz grupowania,
- definiowanie ograniczeń,
- definiowanie danych wejściowych, takich jak zlecenia produkcyjne, zlecenia zakupu, stany magazynowe, struktury BOM, technologie itp.,
- definiowanie algorytmów tworzenia harmonogramów oraz jego aktualizacji,
- definiowanie raportów i analiz,
- definiowanie Interface między systemami Preactor a QAD Enterprise Application.

W celu obsłużenia zleceń produkcyjnych została utworzona dedykowana reguła harmonogramowania, spełniająca przyjęte założenia biznesowe polegające na minimalizacji występujących czasów przezbrojeń. System APS umożliwił stworzenie reguł łączących ze sobą poszczególne zlecenia produkcyjne zgodnie ze zdefiniowaną strukturą produktów przy założeniu możliwości pochodzenia wymaganych komponentów z różnych źródeł podaży, takich jak np. zlecenia zakupu, stany magazynowe lub bieżąca produkcja. Dzięki temu możliwe stało się uwzględnienie zależności występujących pomiędzy zleceniami układanymi w harmonogramie.

Po wdrożeniu systemu klasy APS przedsiębiorstwo uzyskało możliwość sprawnego generowania harmonogramu w sposób szybki i w pełni powtarzalny. Znacząco zmniejszyła się pracochłonność tworzenia harmonogramu produkcyjnego. Przed wdrożeniem systemu pracę tę wykonywał zespół planistów. Harmonogram układano raz na miesiąc, a zlecenia z dokładnością co do tygodnia. Obecnie pracę tę wykonuje jedna osoba. Wyznaczany jest dokładny czas rozpoczęcia i zakończenia każdego zlecenia produkcyjnego, a dla każdej maszyny przygotowywana jest lista zadań do wykonania zgodnie z ułożonym harmonogramem. Harmonogram aktualizowany

jest o realizację zleceń płynącą z produkcji co dwie godziny, a na zakończenie każdej zmiany roboczej następuje jego ponowna kalkulacja. Dodatkowo system umożliwia przeprowadzanie czynności wcześniej niedostępnych, takich jak automatyczna aktualizacja harmonogramu o dane napływające bezpośrednio z produkcji oraz udostępnienie harmonogramu, wraz z dedykowanymi raportami, poprzez sieć lokalną wielu odbiorcom. Ponieważ przedsiębiorstwo nie zatrudnia własnych pracowników produkcyjnych, tylko korzysta z usług firmy pośredniczącej w zatrudnianiu pracowników system Preactor został wykorzystany do obliczania zapotrzebowania na pracowników, tymczasowych. Zapotrzebowanie na pracowników obliczane jest na podstawie planów obciążenia maszyn z dokładnością co do zmiany. Dzięki uzyskanym korzyściom w ciągu kilku miesięcy nastąpił zwrot inwestycji.

## 6. Podsumowanie

Obecnie można zauważyć wzrost zainteresowania systemami klasy APS. Mimo panującego w ostatnich latach kryzysu gospodarczego sprzedaż systemów do zaawansowanego planowania produkcji nie spadła, ale wręcz wzrosła. Firma Preactor, oferująca rozwiązania klasy APS, informuje o wzroście sprzedaży w wysokości 13% między rokiem 2008 a 2009 oraz wzrostem sprzedaży o 39% między pierwszym kwartałem roku 2009 a pierwszym kwartałem roku 2010. Obecnie system ten wdrożony jest w ponad 3000 przedsiębiorstwach na całym świecie, działających nie tylko w różnych dziedzinach przemysłu, takich jak motoryzacja, elektronika, przemysł metalowy, maszynowy, tworzyw sztucznych, spożywczy i farmacja, ale również w logistyce.

Tendencję tę można tłumaczyć dążeniem firm do eliminowania zbędnych kosztów i poprawienia swojej konkurencyjności na rynku, na którym posiadanie przez przedsiębiorstwo systemu ERP stało się już standardem. W takich warunkach firmy szukają nowych możliwości wzrostu ich konkurencyjności na rynku i jednym ze sposobów osiągnięcia tego jest wykorzystywanie systemu do zaawansowanego planowania i harmonogramowania produkcji dającego im przewagę nad konkurencją dzięki lepszemu zarządzaniu środkami, jakimi dysponują.

## Literatura

- Advanced Planning System, [http://pl.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Planning\\_System](http://pl.wikipedia.org/wiki/Advanced_Planning_System) (28.08.2010).
- Grudziwski W.M., Hejduk I.K., *Metody projektowania systemów zarządzania*, Difin, Warszawa 2004.
- Integracja z systemami ERP, <http://www.preactor.com/Products/Enabling-ERP.aspx> (28.08.2010).
- Klonowski Z., *Systemy informatyczne zarządzania przedsiębiorstwem. Modele rozwoju i właściwości funkcjonalne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
- Knosala R., *Komputerowe wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem; nowe metody i systemy*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2007.



- Lenart A., *Zintegrowane systemy informatyczne klasy ERP. Teoria i praktyka na przykładzie BAAN IV*, Informatyka Ekonomiczna, nr 8, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2005.
- Liddell M., *The Little Blue Book on Scheduling*, <http://www.littlebluebookonscheduling.com/>.
- Muhlemann A., Oakland J., Lockyer K., *Zarządzanie produkcją i usługami*, red. naukowy przekładu J. Sołtys, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- Pająk E., *Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- Planowanie zdolności produkcyjnych*, [http://pl.wikipedia.org/wiki/CRP\\_%28zarz%C4%85dzanie%29](http://pl.wikipedia.org/wiki/CRP_%28zarz%C4%85dzanie%29) (28.08.2010).
- SAP Advanced Planner and Optimizer, [http://help.sap.com/saphelp\\_apo/helpdata/en/7e/63fc37004d0a1ee10000009b38f8cf/frameset.htm](http://help.sap.com/saphelp_apo/helpdata/en/7e/63fc37004d0a1ee10000009b38f8cf/frameset.htm) (28.08.2010).
- System MRP II, [http://mfiles.pl/pl/index.php/System\\_MRP\\_II](http://mfiles.pl/pl/index.php/System_MRP_II) (28.08.2010).
- Wrycza S., *Informatyka ekonomiczna*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010.
- Zarządzanie Łańcuchem Dostaw – Fundamenty, wg standardu APICS, MPM prodAction Sp. z o.o.

### Źródło internetowe

<http://www.preactor.com>.

## ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING SYSTEMS AS COMPLEMENT FUNCTIONALITY OF ERP SYSTEMS

**Summary:** The aim of the article is to present advanced planning and scheduling systems as a complement to the functionality of MRPII/ERP systems. The article shows the constrains of CRP (Capacity Requirements Planning) module of MRPII/ERP system and the possibility to complement this functionality by advanced planning and scheduling systems. The final part of the article is an example of the implementation of this system.