

## MÔ HÌNH TOÁN CHO BÀI TOÁN ĐIỀU ĐỘ SẢN XUẤT DÙNG CHO HỆ THỐNG ĐẨY/KÉO VÀ HỖN HỢP

Ngày nhận bài: 08/09/2015

Ngày nhận lại: 28/09/2015

Ngày duyệt đăng: 26/02/2016

Nguyễn Ngọc Bình Phương<sup>1</sup>  
Phan Trí Tuấn Anh<sup>2</sup>  
Đường Võ Hùng<sup>3</sup>

### TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, chúng tôi mở rộng và phát triển mô hình điều độ được xây dựng bởi Herer và Masin (1997), chúng tôi đã hiệu chỉnh mô hình để áp dụng cho trường hợp đẩy và kéo để giải quyết bài toán điều độ sản xuất cho sản phẩm điện tử. Mô hình này nhằm khắc phục những nhược điểm cũng như phát huy được những lợi thế của hệ thống vận hành truyền thống như đẩy kéo thuần túy (pure pull/push) của hệ thống Just-In-Time và hệ thống hoạch định nhu cầu nguyên vật liệu (MRP). Mô hình được hiệu chỉnh này có thể giúp các nhà sản xuất của Việt nam khắc phục được việc lập kế hoạch sản xuất kém hiệu quả, một nhược điểm lớn của hầu hết các công ty sản xuất của Việt nam. Với việc xác định lời giải nhanh chóng cho bài toán điều độ và lập kế hoạch sản xuất, kết quả của mô hình giúp cho những nhà quản lý có thể hiệu chỉnh kịp thời những kế hoạch đang thực hiện, cũng như ra quyết định hiệu quả cho việc lập kế hoạch mới, ngay cả khi tập đơn hàng điều độ có sự thay đổi, rất phù hợp với điều kiện Việt Nam. Đây là mô hình toán phức tạp, và cấu trúc phi tuyến nên đòi hỏi giải thuật phức tạp cũng như mất nhiều thời gian để tìm lời giải. Do vậy, giải thuật Tabu đã được ứng dụng để tìm lời giải trong nghiên cứu này.

**Từ khóa:** Điều độ và lập kế hoạch; hệ thống kéo; hệ thống đẩy; hỗn hợp; giải thuật tabu.

### ABSTRACT

In this research, we revised and extended the mathematical model that was developed by Herer and Masin (1997), the modified model can be applied for push and pull systems into integrating scheduling and sequencing problems. This model tried to inherit the benefits of both pure push (MRP systems) and pure pull (JIT systems). As the model is modified for Vietnamese companies, this research will support the production managers for their efficient production planning. By providing good solutions quickly, this model is very useful for production managers to adjust their scheduling and sequencing. However, this model is very complex, and takes time to solve. Therefore, Tabu search algorithm was employed for finding solutions.

**Keywords:** Scheduling and sequencing; pull system; push system; hybrid system; tabu search algorithm.

### 1. Giới thiệu

Chúng ta biết rằng trong khoảng hơn một thập niên trở lại đây, các ngành sản xuất công nghiệp ở Việt nam đã có những bước phát triển mạnh mẽ và bắt đầu hội nhập vào thị trường khu vực và quốc tế (Huỳnh và cộng sự,

2013). Những chính sách của Nhà nước cũng góp phần thúc đẩy sự phát triển khu vực sản xuất công nghiệp. Nhiều khu công nghiệp được hình thành, nhiều nhà máy được đầu tư mới cũng như mở rộng sản xuất, đã tạo đà phát triển kinh tế đất nước theo hướng công

<sup>1</sup> ThS, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc Gia TP.HCM. Email: nnbphuong@hcmut.edu.vn

<sup>2</sup> ThS, Cựu Tổng giám đốc công ty lọc hóa dầu Nam Việt. Email: Mr.henryphan@gmail.com

<sup>3</sup> ThS, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc Gia TP.HCM. Email: dvhung@hcmut.edu.vn

nghiệp hóa. Đây cũng là cơ hội cũng như thách thức cho những nhà đầu tư và quản lý tại Việt nam.

Theo quan điểm hệ thống, các công ty sản xuất là những hạt nhân tham gia tích cực vào hoạt động vận hành của các chuỗi cung ứng, và tất nhiên sẽ đóng góp phần lớn vào chi phí vận hành chung của hệ thống. Theo Simchi-Levi và cộng sự (2000), Matinrad và cộng sự (2013) thì những nhà quản lý và đầu tư đã quan tâm nhiều đến vận hành của hệ thống cung ứng của công ty mình, đặc biệt là các công tác liên quan đến sản xuất và tồn kho, những công tác này chiếm phần lớn chi phí vận hành chung của doanh nghiệp. Trong môi trường cạnh tranh khó khăn hiện nay, các doanh nghiệp phải đối mặt với nhiều áp lực từ việc sản xuất đa dạng chủng loại sản phẩm, cải thiện và nâng cao chất lượng, tiết giảm chi phí sản xuất và tồn kho,... Đây thực sự là những trở ngại lớn của những nhà quản lý tại các công ty sản xuất công nghiệp của Việt Nam. Chúng ta biết rằng, những khó khăn trên có thể được giải quyết nếu những nhà quản lý có kế hoạch sản xuất phù hợp, các nguồn lực được hoạch định và sử dụng hợp lý, có sự chuẩn bị chu đáo cho tất cả các kế hoạch vận hành,... Thực tế cho thấy rằng, bài toán điều độ rất quan trọng và được ứng dụng rộng rãi ở nhiều lĩnh vực khác nhau trong sản xuất và dịch vụ như Magatão và cộng sự (2011) nghiên cứu về điều độ kế hoạch cung cấp chất lỏng (khí, gas, hóa chất), Savsar và cộng sự (2013) tính toán đường đi và kế hoạch vận hành của hệ thống xe buýt công ở Kuwait, hay Leaven và Qu (2011) thì cải thiện chất lượng lịch hẹn đối với khách hàng khám bệnh bằng cách tối ưu hóa nguồn lực của hệ thống. Bên cạnh đó, việc sắp xếp và phân bổ nguồn nhân lực cũng rất quan trọng của bài toán điều độ thể hiện qua nghiên cứu của Pastor và Corominas (2010). Trong nghiên cứu của mình, các tác giả đã xây dựng 2 mô hình quy hoạch nguyên hỗn hợp và phân tích thứ bậc để phân công nguồn nhân lực, một đặc trưng trong quản lý dịch vụ. Chung và cộng sự (2011) nghiên cứu về bài toán điều phối

nguồn lực trong dịch vụ cho thuê phim của Blockbuster, mô hình đó xem xét thời gian thực hiện dịch vụ, giảm lực lượng lao động, giảm chi phí vận chuyển và tận dụng tối đa công suất sử dụng, đây là nghiên cứu rất thực tế cho loại hình dịch vụ. Trong khi đó, Gelogullari và Logendran (2010) thì giải quyết bài toán điều độ cho sản phẩm bo mạch của ngành sản xuất điện tử,... Do đó, chúng ta thấy rằng bài toán điều độ rất cần thiết trong sản xuất lẫn dịch vụ, đặc biệt trong điều kiện sản xuất tại Việt Nam đang rất cần những công cụ hỗ trợ trong việc lập kế hoạch và triển khai các đơn hàng theo đúng tiến độ. Gần đây nhất, Marichelvam và Prabakaran (2015) khẳng định những bài toán điều độ cho những tình huống cụ thể trong sản xuất công nghiệp là thật sự cần thiết giúp cho những nhà quản lý ra quyết định kịp thời. Hơn nữa, kế hoạch sản xuất rõ ràng cụ thể và dễ dàng thực hiện, cũng như cập nhật nhanh chóng là thực sự cần thiết cho các doanh nghiệp sản xuất tại Việt Nam, đây là vấn đề giải quyết của nghiên cứu này, kết quả nghiên cứu là thực sự cần thiết trong bối cảnh của Việt Nam.

Chúng ta biết rằng, với xu hướng hội nhập quốc tế và khu vực đã và đang thực hiện tại Việt Nam, ngày càng nhiều các khu công nghiệp cùng những công ty sản xuất công nghiệp đã được đầu tư và mở rộng sản xuất tại Việt Nam. Quá trình hội nhập này đã gia tăng áp lực cạnh tranh của các doanh nghiệp sản xuất hàng hóa tại Việt Nam, đặc biệt đối với những công ty chuyên sản xuất gia công, việc đảm bảo tiến độ cũng như chi phí gia công là nhiệm vụ quan trọng của những nhà quản lý và đầu tư. Để đảm bảo điều này, công tác điều độ và lập kế hoạch sản xuất cần thiết phải có chuẩn bị và được hỗ trợ kịp thời. Liên quan đến bài toán điều độ, chúng ta có nhiều cách tiếp cận tùy thuộc vào hệ thống đang vận hành như hệ thống đẩy, hệ thống kéo, hay hỗn hợp, cụ thể như sau:

i) *Đối với hệ thống đẩy*: sản xuất theo kế hoạch sản lượng định trước, nguyên vật liệu, bán thành phẩm, linh kiện,... được “đẩy” từ trạm làm việc trước đến trạm làm việc sau

(Buzacott và Shanthikumar, 1993, Cochran và Kim, 1998,...). Triết lý sản xuất theo kiểu đẩy phù hợp với các ngành sản xuất với sản lượng lớn, đáp ứng nhu cầu lớn, ổn định, phục vụ thị trường rộng lớn, các công ty đa quốc gia, các công ty sản xuất hàng điện tử, xe hơi, đồ gia dụng,... Như nghiên cứu của Gelogullari và Longendran (2010) đã giải quyết bài toán điều độ trong lĩnh vực điện tử (sản phẩm bo mạch điện tử), sản xuất hàng điện tử cũng rất phổ biến trong các khu công nghiệp tại Việt Nam, Rehman và Asad (2010) nghiên cứu bài toán điều độ trong các nhà máy sản xuất xi-măng có khai thác nguyên liệu đá vôi phục vụ cho quy trình sản xuất, rất cần thiết với các công ty sản xuất xi-măng của Việt Nam. Gần đây Hamdi và cộng sự (2015) và Cura (2015) cũng giải quyết bài toán điều độ trên dây chuyền (flowshop scheduling). Trong những nghiên cứu đó, tổng thời gian hoàn thành tất cả các đơn hàng rất được quan tâm trong các bài toán điều độ. Ngoài ra, độ trễ về mặt thời gian của các đơn hàng cũng được quan tâm trong nghiên cứu và thực tiễn. Ngày nay, chúng ta biết rằng việc sản xuất với sản lượng lớn đôi khi không còn phù hợp, khi nhu cầu của khách hàng ngày càng đa dạng thì việc sản xuất theo lô, hay theo nhu cầu càng có ưu thế.

*ii) Đối với hệ thống kéo:* là triết lý sản xuất theo kiểu Nhật rất phù hợp với kiểu sản xuất theo lô nhỏ, sản xuất khi có nhu cầu. Trong vài thập kỷ gần đây triết lý sản xuất này đã được áp dụng rộng rãi ở nhiều công ty và nhiều quốc gia khác nhau trên thế giới. Hệ thống này được nghiên cứu từ vài thập kỷ trước đây như Sumichrast và cộng sự (1992), Anwar và Nagi (1997). Bài toán điều độ theo triết lý sản xuất kiểu Nhật (hay còn gọi là Just in time - JIT) là bài toán quan trọng trong quản trị sản xuất (Moslehi và Rohani, 2012). Trước đó, Gstettner và Kuhn (1996) đã phân tích việc kiểm soát kế hoạch sản xuất thông qua hệ thống kanban, và hệ thống kiểm soát số lượng bán thành phẩm không đổi (CONWIP - constant WIP). Việc ứng dụng rộng rãi và thành công ở nhiều công ty trên

thế giới đã làm cho JIT trở nên phổ biến, đặc biệt rất nhiều công ty Mỹ sử dụng triết lý sản xuất này như là một nhân tố giúp công ty thành công.

*iii) Hệ thống hỗn hợp:* cũng được quan tâm rất nhiều thời gian gần đây. Việc phát huy ưu điểm của từng triết lý riêng sẽ giúp cho công ty có nhiều lợi thế và hiệu quả trong điều độ và lập kế hoạch sản xuất (Spearman và cộng sự, 1990; Bonvik và cộng sự, 1997;...). Trong thực tế, việc áp dụng mô hình hỗn hợp cũng cho nhiều lợi thế tùy thuộc vào dữ liệu cụ thể về nhu cầu, đơn hàng, thời gian gia công, thời gian giao hàng, nguồn lực sẵn có,... Việc chia sẻ nguồn lực thực tế có thể thay đổi theo thời gian, những áp lực từ khách hàng, nhà cung cấp... hoặc có thể phát huy những lợi thế của cả hai hệ thống như nghiên cứu của Herer và Masin (1997), và Hopp và Roof (1998).

Việc ứng dụng các mô hình toán cho các bài toán điều độ và lập kế hoạch sản xuất tùy thuộc vào yêu cầu sản xuất và ràng buộc về nguồn lực. Đặc biệt, việc xác định lời giải trật tự gia công nhanh chóng giúp cho các nhà quản lý có thể ra quyết định, hoặc hiệu chỉnh kế hoạch đang thực hiện khi có đơn hàng mới xuất hiện, điều này rất phù hợp với các công ty sản xuất của Việt Nam. Đây là vấn đề giải quyết của nghiên cứu này.

## 2. Mô hình toán

Để phát triển mô hình toán, chúng tôi dựa vào mô hình được xây dựng bởi Herer và Masin (1997), và hiệu chỉnh cho những trường hợp áp dụng riêng là đẩy và kéo. Trong quá trình nghiên cứu mô hình điều độ cho sản phẩm điện tử của công ty Nhật đầu tư tại Việt Nam, chúng tôi nhận thấy rằng việc hiệu chỉnh mô hình này là hoàn toàn phù hợp. Hơn nữa, việc ứng dụng thuật toán Tabu cho kết quả nhanh chóng nên dễ dàng giúp cho những nhà quản lý hiệu chỉnh và cập nhật kế hoạch sản xuất của mình, đây là đóng góp quan trọng của nghiên cứu.

Mô hình toán được xây dựng dựa trên những bộ biến, tham số và chỉ số, được giới thiệu lần lượt như sau:

**2.1. Nhóm các chỉ số:**

- $i$  tập chỉ số các loại sản phẩm  $i = 1, 2, \dots, I$   
 $n$  tập chỉ số các trạm làm việc  $n = 1, 2, \dots, N$   
 $t$  tập chỉ số thời đoạn  $t = 1, 2, \dots, T$   
 $m$  tập chỉ số các thùng chứa (container)  $m = 1, 2, \dots, M$   
 $k$  tập chỉ số sản phẩm trong danh sách điều độ (back log items)  $k = 1, 2, \dots, K$

**2.2. Nhóm các tham số:**

- $d_{it}$  nhu cầu của sản phẩm  $i$  tại thời điểm  $t$   
 $OI_i$  mức tồn kho dư sản phẩm  $i$  tại thời điểm điều độ  
 $UI_i$  mức tồn kho thiếu sản phẩm  $i$  tại thời điểm điều độ  
 $Iwip_i$  mức tồn kho bán thành phẩm  $i$  tại thời điểm điều độ  
 $CB_i$  chi phí giao hàng chậm (backorder cost) của sản phẩm  $i$   
 $CO_i$  chi phí ngoài giờ (overtime cost) của sản phẩm  $i$   
 $R_{\max}$  thời gian định mức tối đa cho phép trong hệ thống  
 $t_{ijn}$  thời gian chuyển đổi từ sản phẩm  $i$  sang sản phẩm  $j$  tại trạm  $n$   
 $ts_{in}$  thời gian chuẩn bị sản xuất sản phẩm  $i$  tại trạm  $n$   
 $CS_{in}$  chi phí chuẩn bị sản xuất sản phẩm  $i$  tại trạm  $n$   
 $tp_{in}$  thời gian gia công sản phẩm  $i$  tại trạm  $n$   
 $Ch_i$  chi phí tồn trữ sản phẩm  $i$  tại mỗi thời đoạn  
 $Chwip_i$  chi phí tồn trữ bán thành phẩm  $i$  tại mỗi thời đoạn

**2.4. Hệ thống hỗn hợp:**

Hàm mục tiêu:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I CH_i * In_{it} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I CB_i * Bc_{it} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I Chwip_i * WIP_{it} \\ & + \sum_{k=2}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N Y_{kij} * CS_{in} + \sum_{n=1}^N X_{1i} * CS_{in} \end{aligned} \quad (1)$$

Các ràng buộc:

**2.3. Nhóm các biến quyết định:**

- $R_t$  thời gian định mức sử dụng tại thời điểm  $t$   
 $MP_n$  thời gian gia công trung bình tại mỗi trạm làm việc  $n$   
 $MPP_n$  thời gian gia công trung bình tại mỗi trạm làm việc  $n$  trong trường hợp kéo  
 $RL_k$  thời gian dự kiến của sản phẩm thứ  $k$  sẵn sàng đưa vào điều độ  
 $FN_k$  thời gian dự kiến hoàn thành của sản phẩm thứ  $k$   
 $A_{nm}$  thời gian dự kiến hoàn thành  $m$  thùng chứa tại trạm làm việc  $n$   
 $In_{it}$  mức tồn kho của sản phẩm  $i$  ở trạm làm việc  $n$  tại cuối mỗi thời đoạn  $t$   
 $Bc_{it}$  mức cho phép điều độ chậm sản phẩm  $i$  ở trạm làm việc  $n$  tại cuối mỗi thời đoạn  $t$   
 $X_{ki}$  biến  $[0, 1]$  (binary) nếu sản phẩm  $i$  có thứ tự điều độ  $k$  trong danh sách điều độ  
 $Z_{kt}$  biến  $[0, 1]$  nếu thời gian dự kiến thứ tự điều độ  $k$  thực hiện tại thời điểm  $t$   
 $F_{kt}$  biến  $[0, 1]$  nếu thời gian dự kiến thứ tự điều độ  $k$  hoàn thành tại thời điểm  $t$   
 $V_{kit}$  biến  $[0, 1]$  (binary) nếu sản phẩm  $i$  có thứ tự điều độ  $k$  thực hiện tại thời điểm  $t$   
 $U_{kit}$  biến  $[0, 1]$  (binary) nếu sản phẩm  $i$  có thứ tự điều độ  $k$  hoàn thành tại thời điểm  $t$   
 $Y_{kij}$  biến  $[0, 1]$  (binary) nếu sản phẩm  $j$  có thứ tự điều độ  $k$  có yêu cầu chuẩn bị từ  $i$  sang  $j$

Từ các chỉ số, các tham số cũng như các biến quyết định trình bày ở trên, mô hình toán chi tiết cho từng hệ thống được thiết lập và trình bày như sau:

$$\sum_{k=1}^K X_{ki} = \sum_{t=1}^T d_{it} \quad \forall i \in I, \quad (\text{cân bằng nhu cầu}) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ki} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (\text{mỗi lần chỉ có 1 sản phẩm được gia công}) \quad (3)$$

$$OI_i - UI_i + \sum_{k=1}^K U_{kit} - d_{it} = In_{it} - Bc_{it} \quad \forall i \in I, \quad t = 1, \quad (\text{cân bằng tồn kho tại } t = 1) \quad (4)$$

$$In_{i(t-1)} - Bc_{i(t-1)} + \sum_{k=1}^K U_{kit} - d_{it} = In_{it} - Bc_{it} \quad \forall i \in I, \quad t = 2, \dots, T, \quad (\text{cbbt tại } t > 1) \quad (5)$$

$$Iwip_i + \sum_{k=1}^K [V_{kit} - U_{kit}] = WIP_{it} \quad \forall i \in I, \quad t = 1, \quad (\text{cân bằng bán thành phẩm tại } t = 1) \quad (6)$$

$$WIP_{i(t-1)} + \sum_{k=1}^K [V_{kit} - U_{kit}] = WIP_{it} \quad \forall i \in I, \quad t = 2, \dots, T, \quad (\text{cbbt tại } t > 1) \quad (7)$$

$$V_{kit} = X_{ki} * Z_{kt} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall i \in I, \quad (8)$$

$$U_{kit} = X_{ki} * F_{kt} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall i \in I, \quad (9)$$

$$Y_{kij} = X_{(k-1)i} * X_{kj} \quad \forall k = 2, \dots, K, \forall i \neq j, \quad (10)$$

$$Y_{kij} = 0 \quad \forall k = 2, \dots, K, \forall i = j, \quad (11)$$

$$Y_{kij} = 0 \quad k = 1, \quad (12)$$

$$X_{ki} + Z_{kt} - 1,5 \leq V_{kit} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall i \in I, \quad (13)$$

$$X_{ki} + Z_{kt} \geq 1,5 * V_{kit} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall i \in I, \quad (14)$$

$$X_{ki} + F_{kt} - 1,5 \leq U_{kit} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall i \in I, \quad (15)$$

$$X_{ki} + F_{kt} \geq 1,5 * U_{kit} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall i \in I, \quad (16)$$

$$X_{(k-1)i} + X_{kj} - 1,5 \leq Y_{kij} \quad \forall k = 2, \dots, K, \forall i \neq j, \quad (17)$$

$$X_{(k-1)i} + X_{kj} \geq 1,5 * Y_{kij} \quad \forall k = 2, \dots, K, \forall i \neq j, \quad (18)$$

Trong đó, ràng buộc 13 và 14 tuyến tính hóa ràng buộc 8, ràng buộc 13 và 14 đảm bảo rằng chỉ khi  $X_{ki} = Z_{kt} = 1$  thì  $V_{kit} = 1$ . Tương tự cho ràng buộc 15 và 16 tuyến tính hóa ràng buộc 9, và ràng buộc 17 và 18 tuyến tính hóa ràng buộc 10.

Thời gian gia công trung bình tại mỗi trạm:

$$MP_n = \frac{\sum_{k=2}^K \left[ \sum_{i=1}^I X_{kj} * tp_{in} + \sum \sum Y_{kij} * t_{ijn} \right] + \sum_{i=1}^I X_{li} * (tp_{in} + ts_{in})}{K} \quad \forall n, \quad (19)$$

Giá trị dự báo phân tích (thời gian dự kiến hoàn thành  $m$  thùng chứa tại trạm  $n$ )

$$A_{n1} = MP_n \quad \forall n, \quad (20)$$

$$A_{nm} = A_{n1} * \left[ 1 + \frac{A_{n(m-1)} * (m-1)}{\sum_{l=1}^N A_{l(m-1)}} \right] \quad \forall n, m = 2, \dots, M \quad (21)$$

Giá trị hiệu chỉnh tuyến tính hóa

$$A_{nm} = A_{n1} * [CoA_n * m + CoB_n] \quad \forall n, m = 2, \dots, M \quad (22)$$

Ước lượng thời gian bắt đầu và hoàn thành của đơn hàng thứ  $k$  trong danh sách điều độ

$$RL_k \geq 0 \quad k = 1, \quad (23)$$

$$RL_k \geq RL_{(k-1)} + \frac{\sum_{n=1}^N A_{nM}}{M} \quad \forall k > 1, \quad (\text{ước lượng thời gian bắt đầu}) \quad (24)$$

$$FN_k = RL_k + \sum_{n=1}^N A_{nM} \quad \forall k, \quad (\text{ước lượng thời gian kết thúc}) \quad (25)$$

$$\sum_{a=1}^t Z_{k_1 a} \geq \sum_{a=1}^t Z_{k_2 a} \quad \forall k_2 > k_1, \forall t, \quad (\text{thứ tự điều độ trước sau tại mỗi thời điểm}) \quad (26)$$

$$\frac{\sum_{a=1}^t R_a - RL_k}{LN} - \sum_{a=1}^{t-1} Z_{ka} \leq Z_{kt} \quad \forall k, \forall t, \quad (\text{đảm bảo những điều độ trước đã xong}) \quad (27)$$

$$1 + \frac{\sum_{a=1}^t R_a - RL_k}{LN} \geq Z_{kt} \quad \forall k, \forall t, \quad (\text{đảm bảo điều kiện khả thi cho sắp xếp}) \quad (28)$$

$$\sum_{t=1}^T Z_{kt} = 1 \quad \forall k, \quad (\text{đảm bảo 1 công việc tại mỗi thời điểm}) \quad (29)$$

$$\sum_{a=1}^t F_{k_1 a} \geq \sum_{a=1}^t F_{k_2 a} \quad \forall k_2 > k_1, \forall t, \quad (\text{đảm bảo thứ tự hoàn thành trước sau}) \quad (30)$$

$$\frac{\sum_{a=1}^t R_a - FN_k}{LN} - \sum_{a=1}^{t-1} F_{ka} \leq F_{kt} \quad \forall k, \forall t, \quad (\text{đảm bảo thời gian hoàn thành trước sau}) \quad (31)$$

$$1 + \frac{\sum_{a=1}^t R_a - FN_k}{LN} \geq F_{kt} \quad \forall k, \forall t, \quad (\text{đảm bảo điều kiện khả thi cho hoàn thành}) \quad (32)$$

$$\sum_{t=1}^T F_{kt} = 1 \quad \forall k, \quad (\text{đảm bảo 1 công việc hoàn thành tại mỗi thời điểm}) \quad (33)$$

$$R_t \leq R_{\max} \quad \forall t, \quad (\text{đảm bảo điều kiện khả thi về mặt thời gian}) \quad (34)$$

$$X_{ki}, Z_{kt}, F_{kt}, U_{kit}, V_{kit}, Y_{kij} = 0, 1 \quad \forall i, j, k, t, \quad (\text{biến 0, 1}) \quad (35)$$

$$In_{it}, Bc_{it}, WIP_{it} \in [\text{integer}] \quad \forall i, t, \quad (\text{biến nguyên}) \quad (36)$$

$$MP_n, A_{nm}, RL_k, FN_k, R_t \geq 0 \quad \forall n, m, k, t, \quad (37)$$

**2.5. Hệ thống kéo:** để áp dụng cho hệ thống kéo, một số bộ ràng buộc có thể hiệu chỉnh như sau:

$$MPp_n = MP_n \quad n = 1, 2 \quad (\text{đảm bảo thời gian công}) \quad (38)$$

$$A_{n1} = MPp_n \quad n = 1, 2 \quad [\text{thời gian hoàn thành 1 thùng (39) và } m \text{ thùng (40)}] \quad (39)$$

$$A_{nm} = MPp_n * \left[ 1 + \frac{A_{n(m-1)}}{\sum_{l=1}^2 A_{l(m-1)}} * (m-1) \right] \quad n = 1, 2, \quad m = 2, \dots, KB_{1,2} \quad (40)$$

Để chia nhỏ hệ thống, chúng tôi xây dựng một số ràng buộc như sau:

$$MPp_n = \sum_1^2 A_{L, KB_{(s-1)S}} \quad n = 1 \text{ (thay thùng chứa } m \text{ bằng kanban } KB \text{ tại các trạm liên tiếp)} \quad (41)$$

$$MPp_n = MP_{S+1} \quad n = 2 \quad (42)$$

$$A_{n1} = MPp_n \quad n = 1, 2 \quad (43)$$

$$A_{nm} = MPp_n * \left[ 1 + \frac{A_{n(m-1)}}{\sum_{l=1}^2 A_{l(m-1)}} * (m-1) \right] \quad n = 1, 2, \quad m = 2, \dots, KB_{1,2} \quad (44)$$

Tuyến tính hóa các ràng buộc phi tuyến:

$$A_{nm} = MPp_n * [CoA_n * m + CoB_n] \quad n = 1, 2, \quad m = 2, \dots, KB_{S(s+1)} \quad (45)$$

$$RL_k \geq 0 \quad k=1, \quad (46)$$

$$RL_k \geq RL_{(k-1)} + \frac{\sum_{n=1}^2 A_{nKB_{(n-1)N}}}{M} \quad \forall k > 1, \quad (47)$$

$$FN_k = RL_k + \sum_{n=1}^2 A_{nKB_{(n-1)N}} \quad \forall k, \quad (48)$$

**2.6. Hệ thống đẩy:** Mô hình sẽ hiệu chỉnh một số bộ ràng buộc để có thể áp dụng cho hệ thống đẩy cụ thể như sau (do hệ thống đẩy thì bán thành phẩm liên tục hơn nên việc hiệu chỉnh mô hình cũng khác so với hệ thống kéo):

$$RL_k \geq 0 \quad k=1, \quad (49)$$

$$RL_k \geq RL_{(k-1)} + MP_1 \quad \forall k > 1, \quad (\text{đảm bảo điều kiện điều độ khả thi của hệ thống}) \quad (50)$$

$$FN_k = RL_k + \text{Flowtime}_i \quad \forall k, X_{ki} = 1, \quad (\text{đảm bảo điều kiện hoàn thành của hệ thống}) \quad (51)$$

Những bộ ràng buộc còn lại tương tự như hệ thống hỗn hợp.

### 3. Giải thuật Tabu

Chúng ta biết rằng, Tabu là thuật toán giải quyết hiệu quả đối với những bài toán lớn, độ phức tạp cao, áp dụng cho nhiều lĩnh vực trong ngành quản lý công nghiệp. Đặc biệt, đối với bài toán lập kế hoạch và điều độ sản xuất như Chiang (1998); MacKendall Jr và Shang (2008); Đường (2013); Ahani và Asyabani (2014),... Đối với bài toán điều độ trong nghiên cứu này, chúng tôi thấy rằng

Tabu là một giải thuật rất phù hợp để xác định lời giải. Giải thuật Tabu của nghiên cứu này được tóm lược như sau:

**3.1. Lời giải ban đầu:** chúng ta biết rằng đối với giải thuật Tabu để có thể bắt đầu, giải thuật cần một lời giải ban đầu. Trong nghiên cứu này, lời giải ban đầu được tạo ra theo nguyên tắc thời gian giao hàng sớm nhất (EDD), đây cũng là nguyên tắc thường được áp dụng để giải quyết bài toán điều độ. Lời giải ban đầu cũng có ảnh hưởng đến lời giải của giải thuật (Glover, 1990; Chiang, 1998; Đường, 2013;...).

**3.2. Xác định thời điểm điều độ và hoàn thành ban đầu:** các giá trị thời điểm điều độ và hoàn thành [RLk, FNk] được xác định cho mỗi trật tự gia công mới sau mỗi bước tìm kiếm. Tại mỗi bước, sau khi có giá trị thời điểm điều độ và hoàn thành, giải thuật sẽ xác định thời điểm hoàn thành tất cả các đơn hàng (make span) theo bước 3.3 tiếp theo.

**3.3. Xác định thời điểm điều độ và hoàn thành mới:** với mỗi bước tìm kiếm mới, trật tự gia công được thay đổi, thời điểm điều độ và hoàn thành mới sẽ được xác định theo tiêu chí chi phí thấp nhất. Việc xác định các giá trị này được tóm tắt như sau:

$$RL_k = \text{Max}\{RL_{k-1} + \text{interval}, (t_r - 1) * (\text{regular time})\} \geq 0 \quad (52)$$

$$FN_k = RL_{k-1} + (\text{flowtime}) \quad (53)$$

**3.4. Bộ nhớ Tabu:** trong thuật toán Tabu để kiểm soát tối ưu cục bộ, người ta dùng một mảng để ghi nhận vị trí của từng cặp đơn hàng trong lời giải hiện tại. Khi lời giải di chuyển sang trật tự mới, nếu thỏa mãn tiêu chuẩn chấp nhận thay đổi, thì bộ nhớ sẽ được cập nhật và lời giải mới được chấp nhận thay thế lời giải hiện tại.

**3.5. Xác định vùng lân cận:** để di chuyển lời giải hiện tại sang một lời giải

khác, giải thuật sẽ lựa chọn một sản phẩm ở vị trí hiện tại thay thế bằng một sản phẩm ở vị trí khác. Các lựa chọn này hoàn toàn ngẫu nhiên và chỉ được chấp nhận nếu 2 sản phẩm này là khác nhau. Khi đó, một vùng lân cận mới được xác định và lời giải mới được di chuyển đến.

**3.6. Chiến lược tìm kiếm lời giải:** chúng ta biết rằng giải thuật Tabu là tìm kiếm và cải thiện lời giải qua từng bước bắt đầu từ lời giải ban đầu trong bước 1. Vùng lân cận sẽ cung cấp lời giải khả thi tiếp theo, trong khi đó, bộ nhớ Tabu sẽ kiểm soát lời giải mới, so sánh với lời giải tốt nhất (best solution). Nếu trường hợp lời giải được cải thiện, thì lời giải mới sẽ được cập nhật và thay thế lời giải tốt nhất và lời giải hiện tại. Trong trường hợp tại một bước lặp nào đó, lời giải mới không tốt hơn lời giải tốt nhất sau Retmax bước không cải thiện, khi đó giải thuật sẽ thay đổi giá trị tìm kiếm (tabu size) để tạo ra một trật tự mới và lời giải mới được hình thành thay thế lời giải hiện tại, xác định vùng lân cận mới và giải thuật được tiếp tục đến khi thỏa mãn điều kiện dừng của giải thuật.

#### 4. Kết quả tính toán

**4.1. Kiểm tra mô hình:** để kiểm tra giải thuật, chúng tôi đã áp dụng giải thuật cho bài toán nhỏ với 3 loại sản phẩm và 3 thời đoạn điều độ. Dữ liệu minh họa cho mô hình là công ty sản xuất linh kiện điện tử tại Việt Nam. Thông số và kết quả đạt được rất khả quan cụ thể như sau: i). thiếu hàng tồn kho: không xảy ra; ii). dư hàng tồn kho: không xảy ra; iii). bán thành phẩm trong quá trình gia công: chỉ xuất hiện thời đoạn 1, đối với sản phẩm loại 3. Giá trị hàm mục tiêu và thời gian chương trình được tóm tắt trong Bảng 1 như sau:

**Bảng 1. Kết quả kiểm tra giải thuật**

Giá trị	Tabu phi tuyến	Tabu tuyến tính	Optimum tuyến tính
Hàm mục tiêu	184.117	184.117	184.117
Bước lặp	1551	1618	1221968
Thời gian	00:00:02	00:00:02	25:39:00



Với kết quả trên, chúng tôi nhận thấy rằng giải thuật Tabu có hiệu quả hơn lời giải tối ưu trực tiếp từ LINGO (optimum tuyến tính), giải thuật hoàn toàn có thể áp dụng cho những bài toán lớn hơn trong thực tế.

**4.2. Kết quả tính toán của giải thuật:** để khẳng định thêm hiệu quả của giải thuật, chúng tôi trình bày thêm 3 bài toán ứng dụng

đáp ứng nhu cầu cho 3 tuần liên tiếp cụ thể như sau:

**4.2.1. Bài toán 1:** bài toán điều độ và lập kế hoạch sản xuất cho tuần 1. Dữ liệu bài toán điều độ với 3 nhóm sản phẩm, 6 ngày trong tuần, 29 trật tự gia công với nhu cầu từng loại sản phẩm tương ứng. Kết quả của giải thuật được tóm tắt trong Bảng 2 như sau:

**Bảng 2. Tóm tắt kết quả của bài toán 1**

Thông số	Hệ thống sản xuất		
	Kéo	Đẩy	Hỗn hợp
WIP (boxes)	32	38	32
Thiếu hàng tồn kho (boxes)	5	6	5
Dư hàng tồn kho (boxes)	1	/	1
Tổng chi phí (hàng mục tiêu)	835.800	966.494	835.800
Thời gian giải (phút)	20	39	20

- Trật tự gia công theo hệ thống đẩy:

1	1	1	3	2	2	2	3	3	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Trật tự gia công theo hệ thống kéo:

3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Trật tự gia công theo hệ thống hỗn hợp:

3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**4.2.2. Bài toán 2:** bài toán điều độ và lập kế hoạch sản xuất cho tuần 2. Kết quả của giải thuật được tóm tắt trong Bảng 3 như sau:

**Bảng 3. Tóm tắt kết quả của bài toán 2**

Thông số	Hệ thống sản xuất		
	Kéo	Đẩy	Hỗn hợp
WIP (boxes)	34	38	32
Thiếu hàng tồn kho (boxes)	5	8	8
Dư hàng tồn kho (boxes)	/	/	/
Tổng chi phí (hàng mục tiêu)	771.777	926.159	785.227
Thời gian giải (phút)	20	19	18

- Trật tự gia công theo hệ thống đẩy:

1	1	1	1	1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Trật tự gia công theo hệ thống kéo:

3	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Trật tự gia công theo hệ thống hỗn hợp:

1	1	1	1	1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

4.2.3. *Bài toán 3*: bài toán điều độ và lập kế hoạch sản xuất cho tuần 3. Tương tự dữ liệu bài toán 1 và 2 nhưng số trật tự gia công giảm từ 29 xuống 27. Kết quả của giải thuật được tóm tắt trong Bảng 4 như sau:

**Bảng 4. Tóm tắt kết quả của bài toán 3**

Thông số	Hệ thống sản xuất		
	Kéo	Đẩy	Hỗn hợp
WIP (boxes)	31	36	31
Thiếu hàng tồn kho (boxes)	10	15	10
Dư hàng tồn kho (boxes)	3	3	3
Tổng chi phí (hàng mục tiêu)	876.420	1012940	876.420
Thời gian giải (phút)	27	27	27

- Trật tự gia công theo hệ thống đẩy:

2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Trật tự gia công theo hệ thống kéo:

2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Trật tự gia công theo hệ thống hỗn hợp:

2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Với kết quả tóm tắt trên, chúng ta thấy rằng giải thuật luôn cung cấp được những lời giải đủ tin cậy để lập kế hoạch sản xuất. Trong đó, khi áp dụng cho hệ thống đẩy, tổng phí điều độ cao hơn so với 2 hệ thống còn lại. Tuy nhiên, với những tổng phí cho từng phương án thì vẫn có thể chấp nhận được để có những giải pháp hoạch định sản xuất đáp ứng cho kế hoạch giao hàng trong thời gian cho phép. Đối với các bài toán điều độ thì hầu hết những trật tự gia công cho từng hệ thống có lệch đôi chút, những chênh lệch này cũng không gây ra quá nhiều chi phí cho hệ thống. Điều quan trọng của lời giải của nghiên cứu này là tính khả thi của từng lời giải, đáp ứng được tất cả nhu cầu trong khoảng thời gian định trước của khách hàng, bằng cách tận dụng, chia sẻ tất cả nguồn lực sẵn có của hệ thống, đó là những thành công nhất định của nghiên cứu...

## 5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, dựa trên mô hình của Herer và Masin (1997), chúng tôi đã hiệu chỉnh và mở rộng mô hình toán cho bài toán điều độ sản xuất dùng cho hệ thống đẩy, kéo và hỗn hợp. Lời giải của giải thuật là đáng tin cậy, thời gian thực hiện ngắn, có thể giúp cho những nhà quản lý và điều hành sản xuất có thể ra quyết định nhanh chóng và hợp lý, đặc biệt trong việc hiệu chỉnh kế hoạch sản xuất cập nhật theo kế hoạch giao hàng. Việc tận dụng và chia sẻ nguồn lực để đáp ứng các đơn hàng là thực sự cần thiết đối với các công ty sản xuất Việt Nam hiện nay. Mặc dù việc minh họa trong nghiên cứu cho ngành sản xuất điện tử, nhưng với nguyên tắc điều độ thì chúng tôi tin rằng mô hình này có thể áp dụng rộng cho các ngành sản xuất công nghiệp khác. Trật tự gia công từ giải thuật giúp cho các nhà quản lý lập kế hoạch và kiểm soát sản

xuất một cách hiệu quả. Đây là điểm thành công của nghiên cứu.

Ngoài ra, giải thuật Tabu đã được xây dựng và áp dụng để xác định lời giải (trật tự gia công) một cách nhanh chóng, cũng là một thành công của nghiên cứu. Với việc cho lời giải nhanh gọn, giải thuật có thể áp dụng cho những bài toán điều độ mà tập đơn hàng có xu hướng thay đổi (tập động), điều này rất phù hợp với thực tế sản xuất tại Việt nam. Trong trường hợp đơn hàng thay đổi thêm hoặc bớt

đơn hàng, tách ghép đơn hàng,... Giải thuật hoàn toàn cung cấp trật tự gia công mới trong thời gian ngắn, giúp cho các nhà quản lý có thể hiệu chỉnh kịp thời kế hoạch sản xuất cũng như cập nhật thông tin đơn hàng trong tập đơn hàng điều độ, xây dựng kế hoạch điều độ mới một cách hiệu quả.

Tuy nhiên, để có thể mở rộng phạm vi ứng dụng, những nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào những bài toán nhu cầu thay đổi, thời gian gia công thay đổi.

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại Học Bách Khoa trong khuôn khổ đề tài mã số: T-QLCN-2014-68.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ahani, G., and Asyabani, M. (2014). A tabu search algorithm for no-wait job shop scheduling problem. *International Journal of operational research*, 19(2), 246 - 258.
- Anwar, M.F., and Nagi, R. (1997). Integrated lot sizing and scheduling for just-in-time production of complex assemblies with finite set ups. *International Journal of production research*, 35(5), 1447-1470.
- Bonvik, A.M., Cough, C.E., and Gershwin, S.B. (1997). A comparison of production line control mechanisms. *International journal of production research*, 35(3), 789 - 804.
- Buzacott, J.A., and Shanthikumar J. G. (1993). *Stochastic models of manufacturing system*, Prentice Hall.
- Chiang, W.C. (1998). The application of a Tabu searchmetaheuristic to the assembly line balancing problem. *Annals of operation research*, 77(0), 209 - 227.
- Chung, C., Dawande, M., Rajamani, D., and Sriskandarajah, C. (2011). A short-range shceduling model for Blocbuster's order-processing operation. *Interfaces*, 41(5), 466 - 484.
- Cochran, J.K., and Kim S.S. (1998). Optimum junction point location and inventory levels in serial hybrid push/pull production systems. *International journal of production research*, 36(4), 1141 - 1155.
- Cura, Tunchan (2015). An evolutionary algorithm for the permutation flowshop scheduling problem with total tardiness criterion. *International journal of operational research*, 22(3), 366 - 384.
- Đường, V. H., (2013). Giải thuật Tabu cho bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất: một nghiên cứu so sánh kết hợp thay đổi lời giải ban đầu và điều kiện cải thiện lời giải. *Tạp chí Khoa học Đại học Mở TP.HCM*, 2(30), 25 - 36.
- Gelogullari, C.A., and Logendran R. (2010). Group-scheduling problems in electronics manufacturing. *Journal of scheduling*, 13(2), 177 - 202.
- Glover, F. (1990). Tabu search: A tutorial. *Interfaces*, 20(4), 74 - 94.
- Gstettner, S., and Kuhn, H. (1996). Analysis of production control systems kanban and CONWIP. *International journal of operational research*, 34(11), 3253 - 3273.

- Hamdi, I., Oulamara A., and Loukil T. (2015). A branch and bound algorithm to minimise the total tardiness in the two-machine permutation flowshop scheduling problem with minimal time lags. *International journal of operational research*, 23(4), 387 - 405.
- Herer, Y.T, and Masin, M. (1997). Mathematical programming formulation of CONWIP based production lines; and relationships to MRP. *International journal of production research*, 35(4), 1067 - 1076.
- Hopp, W.J., and Roof, M.L. (1998). Setting WIP levels with statistical throughput control (STC) in CONWIP production lines. *International journal of production research*, 36(4), 867 -882.
- Huỳnh, T.P.L., Đường V.H., Nguyễn T.H.Đ. (2013). Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả chuỗi cung ứng. *Tạp chí Khoa học Đại học Mở TP.HCM*, 3(31), 37 - 51.
- Leaven, L., and Qu X. (2011). Improving appointment scheduling systems in outpatient clinics using a deterministic modeling approach (MILP), *Proceedings of the 2011 industrial engineering research conference*.
- MacKendall Jr., A.R., and Shang J. (2008). Tabu search heuristics for the crane sequencing problem. *International Journal of operational research*, 3(4), 412 - 429.
- Magatão, L., Arruda, L.V.R., and Neves-Jr, F. (2011). A combined CLP-MILP approach for scheduling commodities in a pipeline. *Journal of scheduling*, 14(1), 57 - 87.
- Marichelvam, M.K., and Prabakaran, T. (2015). Solving realistic industrial scheduling problems using a multi-objective improved hybrid particle swarm optimisation algorithm. *International journal of operational research*, 23(1), 94 - 129.
- Matinrad, N., Roghanian E., and Razi Z. (2013). Supply chain network optimization: A review of classification, models, solution techniques and future research. *Uncertain Supply chain management* 1(1), 1 - 24.
- Moslehi, G. and Rohani, M. (2012). Finding Pareto optima for maximum tardiness, maximum earliness and number of tardy jobs. *International journal of operational research*, 14(4), 433 - 452.
- Pastor, R., and Corominas, A. (2010). A bicriteria integer programming model for the hierarchical workforce scheduling problem. *Journal of modelling in management*, 5(1), 54 - 62.
- Rehman, S.U., and Asad, M.W.A. (2010). A mixed-integer linear programming (MILP) model for short-range production scheduling of cement quarry operations. *Asia-Pacific journal of operational research*, 27(3), 315 - 333.
- Savsar, M., Alnaqi J., and Atash M. (2013). Scheduling and routing of city buses for a public transport company. *International journal of operational research*, 16(3), 304 - 328.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., and Simchi-Levi, E. (2000). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and cases studies*, McGraw-Hill, Boston, USA.
- Spearman, M.L., Woodruff, D.L. and Hopp W.J. (1990). CONWIP: a pull alternative to kanban. *International Journal of production research*, 28(5), 879 - 894.
- Sumichrast, R.T., Russell R.S., and Taylor III, (1992). A comparative analysis of sequencing procedures for mixed-model assembly lines in a just-in-time production system. *International Journal of production research*, 30(1), 199 - 214.