



# MÔ HÌNH TÍCH HỢP CÁC PHƯƠNG PHÁP CRITICAL PATH METHOD (CPM), EARLIEST DUE DATE (EDD), CRITICAL RATIO (CR) VÀ RESOURCE CONSTRAINTS TRONG QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

## INTEGRATED MODEL OF CRITICAL PATH METHOD (CPM), EARLIEST DUE DATE (EDD), CRITICAL RATIO (CR) AND RESOURCE CONSTRAINTS IN CONSTRUCTION SCHEDULE MANAGEMENT

NGUYỄN THỊ NGỌC<sup>1</sup>, NGUYỄN VĂN CỰ<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Trong lĩnh vực xây dựng, quản lý tiến độ là yếu tố then chốt giúp đảm bảo dự án được thực hiện đúng hạn, trong phạm vi ngân sách và đạt chất lượng yêu cầu. Thực tế, ở nhiều dự án cho thấy công tác quản lý tiến độ thường xuyên đối mặt với tình trạng nhiều công việc phụ thuộc lẫn nhau, tài nguyên hạn chế, thời hạn gấp rút. Điều này khiến cho việc quản lý tiến độ trở nên khó khăn và phức tạp, dẫn đến tiến độ dự án bị kéo dài và vượt ngân sách. Các phương pháp quản lý tiến độ truyền thống như phương pháp đường găng (Critical Path Method – CPM) giúp xác định được chuỗi các công việc quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp tới thời hạn hoàn thành dự án, với giả định nguồn tài nguyên vô hạn, nhưng chưa xét đến các yếu tố về thời hạn gấp rút, mức độ nguy cấp của công việc cũng như hạn chế hoặc thiếu hụt tài nguyên – những vấn đề thường xuyên phát sinh trong quá trình thi công. Trong khi đó, Earliest Due Date (EDD) ưu tiên công việc có thời hạn chót gần nhất để thực hiện trước, và Critical Ratio (CR) ưu tiên mức độ nguy cấp của công việc để thực hiện. Tuy nhiên, việc áp dụng riêng lẻ từng phương pháp này vẫn chưa đủ để giải quyết toàn diện các vấn đề phát sinh trong thực tế thi công. Vì vậy, việc nghiên cứu xây dựng mô hình tích hợp các phương pháp CPM, EDD, CR và Resource Constraints là thực sự cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao. Mô hình này kỳ vọng không chỉ giúp người quản lý tiến độ xác định rõ chuỗi các công việc quan trọng, mà còn hỗ trợ ra quyết định tối ưu phân bổ tài nguyên, ưu tiên công việc có nguy cơ bị trễ hạn, đồng thời cũng đặt mục tiêu thu hẹp khoảng cách giữa lý thuyết và thực tế trong quản lý tiến độ xây dựng.

**Từ khóa:** CPM, EDD, CR, Resource Constraints, tiến độ xây dựng.

**Abstract:** Within the construction sector, effective schedule management is fundamental to ensuring timely delivery, budget adherence, and compliance with quality requirements. Nevertheless, construction projects frequently encounter interdependent tasks, resource limitations, and stringent deadlines, which increase scheduling complexity and often result in delays and cost overruns. Established approaches such as the Critical Path Method (CPM) determine sequences of critical tasks influencing the completion date under the assumption of unlimited resources, yet fail to address urgent deadlines, varying task urgency, and resource constraints that frequently arise during execution. The Earliest Due Date (EDD) rule schedules tasks with the closest deadlines first, whereas the Critical Ratio (CR) method prioritizes tasks by urgency. However, applying these techniques in isolation remains insufficient for resolving the multifaceted challenges of real-world construction. The formulation of an integrated framework combining CPM, EDD, CR, and resource-constraint considerations is therefore both essential and of high practical relevance. Such a framework would enable schedule managers to identify critical task sequences, optimize resource allocation, prioritize activities at risk of delay, and narrow the gap between theoretical models and practical requirements in construction schedule management.

**Keywords:** CPM, EDD, CR, Resource Constraints, construction progress.

(Ngày nhận bài: 12/8/2025, ngày sửa bài: 22/8/2025, ngày duyệt đăng: 09/9/2025)

**1. Đặt vấn đề**

Quản lý tiến độ xây dựng công trình là một trong những yếu tố then chốt và quyết định sự thành công của một dự án đầu tư xây dựng. Thực tế cho thấy, các dự án đầu tư xây dựng thường có nhiều loại công việc khác nhau, mức độ phức tạp của công việc cũng khác nhau. Chúng có mối quan hệ phụ thuộc chặt chẽ với nhau và yêu cầu thời hạn gấp rút, nghiêm ngặt, đặc biệt là sự hạn chế về tài nguyên (nhân lực, máy móc thiết bị thi công, nguyên vật liệu xây dựng). Điều này khiến cho việc quản lý tiến độ xây dựng trở nên khó khăn, nhất là khi nhiều công việc cần được thực hiện đồng thời nhưng lại bị ràng buộc bởi thời hạn hoàn thành và giới hạn tài nguyên có sẵn. Trong bối cảnh đó, các phương pháp lập kế hoạch tiến độ xây dựng truyền thống và cổ điển như phương pháp Critical Path Method (CPM) tuy có giúp người quản lý tiến độ xác định được chuỗi công việc quan trọng (công việc nặng) với giả định nguồn tài nguyên vô hạn, nhưng lại chưa xét đến các yếu tố về thời hạn chót (hay thời hạn gấp rút) và mức độ nguy cấp của công việc, cũng như không xử lý được các xung đột sử dụng tài nguyên phát sinh trong quá trình thi công. Vì thế, kế hoạch tiến độ xây dựng được lập ra theo các phương pháp truyền thống này thường có tính khả thi và hiệu quả không cao, và đôi khi còn bị phá vỡ kế hoạch tiến độ khi thực hiện. Trong khi đó, Earliest Due Date (EDD) ưu tiên công việc có thời hạn chót (hay thời hạn gấp rút) gần nhất để thực hiện trước, và Critical Ratio (CR) thì đánh giá mức độ nguy cấp của công việc dựa trên thời gian còn lại và khối lượng công việc để ưu tiên thực hiện. Tuy nhiên, việc áp dụng riêng lẻ từng phương pháp này vẫn chưa đủ để giải quyết toàn diện các vấn đề phát sinh trong thực tế thi công, nơi các yếu tố tiến độ, thời hạn chót và ràng buộc tài nguyên luôn biến động và tương tác lẫn nhau. Vì vậy, việc nghiên cứu và xây dựng mô hình tích hợp các phương pháp CPM, EDD, CR và Resource Constraints là thực sự cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao. Mô hình này kỳ vọng không chỉ giúp người quản lý tiến độ xác định rõ chuỗi các công việc xây dựng quan trọng, mà còn hỗ trợ ra quyết định tối

ưu về phân bổ sử dụng tài nguyên, ưu tiên công việc có nguy cơ bị trễ hạn, đồng thời cũng đặt mục tiêu thu hẹp khoảng cách giữa lý thuyết và thực tế trong quản lý tiến độ xây dựng.

**2. Nội dung**

**2.1. Phương pháp Critical Path Method (CPM)**

Phương pháp đường găng (Critical Path Method- CPM) sử dụng mạng đồ thị có hướng trong lý thuyết đồ thị để tổ chức các công việc hay công tác trong một dự án dưới dạng một sơ đồ mạng. Sơ đồ mạng là một sơ đồ biểu diễn dưới dạng mạng lưới, với hai yếu tố logic cơ bản là "nút của mạng" và "đường mũi tên của mạng" được liên kết với nhau có hướng bằng đường mũi tên theo chiều đi từ nút bắt đầu đến nút cuối cùng. CPM có hai hình thức thể hiện sơ đồ: Sơ đồ mạng với các công việc được thể hiện trên đường mũi tên của mạng, điển hình là phương pháp AOA (Activity On Arrow) và sơ đồ mạng với các công việc được thể hiện trên các nút của mạng, điển hình là phương pháp AON (Activity On Node).

Trong quản lý dự án truyền thống, chủ yếu tập trung vào việc nắm lấy một hoặc nhiều chuỗi xuyên suốt các công việc có tính chất quan trọng hay chủ chốt về mặt thời gian, quyết định đến hoàn thành toàn bộ dự án để quản lý tiến độ dự án. CPM là một phương pháp xác định chuỗi các công việc quyết định thời gian hoàn thành tối thiểu của một dự án.

Các bước cơ bản và cần thiết để sử dụng phương pháp đường găng CPM trong quản lý tiến độ, bao gồm:

**Bước 1:** Nghiên cứu đối tượng, xác định phương hướng công nghệ và tổ chức thi công tổng quát cho đối tượng quản lý tiến độ.

**Bước 2:** Lập danh mục các công việc phù hợp với qui mô, tính chất của dự án hay hạng mục công trình, phù hợp với mục đích quản lý tiến độ.

**Bước 3:** Lựa chọn giải pháp kỹ thuật và biện pháp tổ chức thi công để thực hiện từng công việc.

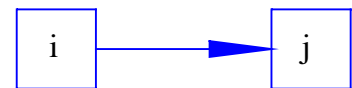
**Bước 4:** Xác định nhu cầu nguồn lực (nhân công, xe máy thi công, nguyên vật liệu,...) và thời gian thực hiện công việc. Việc xác định thời gian thực hiện công việc có thể dựa

vào định mức hao phí hay dựa trên dữ liệu lịch sử, đánh giá của chuyên gia hoặc phương pháp xác suất.

**Bước 5:** Xác định mối quan hệ phụ thuộc giữa các công việc: Mối quan hệ phụ thuộc về thời gian giữa các công việc được xác định dựa vào điều kiện mặt bằng, không gian sản xuất, nguồn lực thi công, công nghệ - kỹ thuật thi công, yêu cầu an toàn thi công, hay các yêu cầu chủ quan hoặc khách quan khác từ các bên tham gia thực hiện dự án.

**Bước 6:** Lựa chọn hình thức thể hiện sơ đồ và thiết lập sơ đồ mạng. Việc thiết lập sơ đồ mạng cần thực hiện theo các quy tắc thiết lập phù hợp với hình thức sơ đồ mạng nút công việc hay mũi tên công việc.

**Bước 7:** Tính toán các thông số thời gian của sơ đồ mạng: Việc xác định các thông số thời gian của sơ đồ mạng phụ thuộc vào loại sơ đồ mũi tên hay nút công việc, phụ thuộc vào thời gian hoàn thành công việc là tất định hay bất định, và phụ thuộc vào mối quan hệ phụ thuộc giữa các công việc thuận hay nghịch. Nếu là sơ đồ mạng nút công việc có thời gian hoàn thành công việc tất định và mối quan hệ phụ thuộc thuận giữa các công việc được thể hiện như hình 1, thì việc tính toán các thông số thời gian của sơ đồ mạng nút công việc loại này như sau:



Hình 1: Mô tả 2 công việc trong sơ đồ mạng nút

Tính thời gian bắt đầu sớm của công việc j ( $t_j^{bs}$ ): Là độ dài thời gian lớn nhất tính từ khi bắt đầu dự án (nút bắt đầu của sơ đồ mạng) đến nút đang xét.

$$t_j^{bs} = \begin{cases} 0 & \text{nếu } j = \text{nút bắt đầu} \\ \max [t_i^{bs} + SS_{ij}] & \text{nếu } 0 < j \leq n \end{cases} \quad (1)$$

Tính thời gian kết thúc sớm của công việc j ( $t_j^{ks}$ ):

$$t_j^{ks} = t_j^{bs} + t_j \quad (2)$$

Tính thời gian bắt đầu muộn của công việc i ( $t_i^{bm}$ ): Là độ dài thời gian lớn nhất tính từ khi hoàn thành dự án (nút hoàn thành của sơ đồ mạng) đến nút đang xét.

$$t_i^{bm} = \begin{cases} t_i^{bs} & \text{nếu } i = \text{nút hoàn thành} \\ \min [t_j^{bm} - SS_{ij}] & \text{nếu } 0 \leq i < n \end{cases} \quad (3)$$



Tính thời gian kết thúc muộn của công việc  $i(t_i^{km})$   $t_i^{km} = t_i^{bm} + t_i$  (4)

Trong đó:

$SS_{ij}$ : Là thời gian mối quan hệ đầu giữa 2 công việc  $i$  và  $j$

$t_i$ : Là thời gian thực hiện công việc  $i$

$t_j$ : Là thời gian thực hiện công việc  $j$

**Bước 8:** Xác định thời gian dự trữ (hay độ trễ) công việc: Dự trữ thời gian của mạng thông thường xét 2 loại dự trữ, đó là:

+ Dự trữ toàn phần của công việc  $i (D_i^{tp})$ : Là khoảng thời gian tối đa có thể kéo dài thời hạn thực hiện công việc  $i$  mà không làm tăng thêm thời hạn thực hiện đường găng (hay còn gọi là dự trữ lớn nhất của công việc) và được tính theo công thức:

$$D_i^{tp} = t_i^{bm} - t_i^{bs} \quad (5)$$

+ Dự trữ tự do của công việc

$(iD_i^{t.do})$ : Là khoảng thời gian tối đa có thể trì hoãn sự hoàn thành của công việc  $i$  mà không làm ảnh hưởng đến thời gian bắt đầu sớm của các công việc tiếp sau, được tính theo công thức:

$$D_i^{t.do} = \min(t_j^{bs} - t_i^{bs} - SS_{ij}) \quad (6)$$

**Bước 9:** Xác định đường găng: Đường găng (critical path) là đường dài nhất trong tất cả các đường của sơ đồ mạng, đi từ thời điểm khởi công dự án tới thời điểm kết thúc dự án, là chuỗi các công việc nằm trên đường dài nhất này có độ trễ bằng 0. Độ dài của đường găng chính là thời lượng nhỏ nhất có thể để dự án hoàn thành theo kế hoạch (tức là thời gian hoàn thành dự án), và được xác định ở công việc cuối cùng  $n$  (nút hoàn thành sơ đồ mạng):

$$T_g = t_n^{km} = t_n^{bm} + t_n = t_n^{bs} + t_n \quad (7)$$

**Bước 10:** Phân tích, đánh giá và điều chỉnh hoặc ưu hoá kế hoạch tiến độ theo những mục tiêu quản lý.

CPM thường có những ưu điểm như: Chỉ rõ mối quan hệ logic và liên hệ kỹ thuật giữa các công việc, làm lộ ra các công việc găng và công việc không găng còn dự trữ thời gian, cho phép điều chỉnh mà không cần phải lập lại sơ đồ mạng. Giúp nhà quản lý tiến độ biết được các công việc nào

là quan trọng và không được phép trễ hạn, ảnh hưởng đến toàn bộ tiến độ chung của dự án. Khi có sự thay đổi, CPM giúp xác định nhanh tác động của các thay đổi đến tiến độ dự án và đề xuất điều chỉnh phù hợp. Nhờ phân tích đường găng, nhà quản lý tiến độ có thể chủ động phát hiện và xử lý rủi ro ảnh hưởng đến thời gian hoàn thành dự án. Ngoài những ưu điểm trên, CPM cũng còn những hạn chế sau: Chưa xét đến các yếu tố về thời hạn chót (hay thời hạn gấp rút) và mức độ nguy cấp của công việc, và cũng không xét đến các ràng buộc về tài nguyên ban đầu hay tài nguyên hiện có (nguyên vật liệu, nhân công, máy móc thi công hay tài chính,...), dẫn đến không xử lý được các xung đột sử dụng tài nguyên phát sinh trong quá trình thi công. Đặc biệt là không thể hiện rõ mối quan hệ ràng buộc tài nguyên của các công việc khác nhau có sử dụng chung một loại tài nguyên. Vì vậy, để áp dụng CPM có hiệu quả, cần đòi hỏi có những điều kiện nhất định và cần phải có các yếu tố khác đi kèm.

### 2.2 Phương pháp Earliest Due Date (EDD)

Earliest due date (EDD) là phương pháp được sử dụng để ưu tiên thực hiện các công việc dựa trên thời hạn hoàn thành sớm nhất của công việc (còn được gọi là qui tắc thời hạn hoàn thành sớm nhất).

Mục tiêu chính của phương pháp này là giảm thiểu sự chậm trễ của công việc và tối đa hóa số công việc đúng hạn hoàn thành. Điều này đặc biệt hữu ích cho việc quản lý các mốc thời gian quan trọng hay các công việc phải hoàn thành đúng hạn, nhằm đảm bảo tiến độ chung của dự án, hoặc nhằm chuyển bước công việc, giai đoạn, hạng mục công trình hay bàn giao cho đơn vị thầu phụ khác triển khai tiếp, làm căn cứ để giải ngân, thanh quyết toán hoàn thành,...

EDD là một quy tắc sắp xếp công việc đơn giản và hiệu quả, thường được sử dụng trong lập và quản lý kế hoạch sản xuất công nghiệp. Nguyên tắc ưu tiên trong lập và quản lý kế hoạch của EDD là các công việc sẽ được sắp xếp và thực hiện theo thứ tự ngày đến hạn (due date) từ sớm nhất đến muộn nhất. Công việc nào

có ngày đến hạn sớm nhất sẽ được ưu tiên làm trước, bất kể thời gian thực hiện của nó là bao lâu. Mặc dù EDD là phương pháp đơn giản, không yêu cầu tính toán phức tạp và dễ dàng triển khai, đặc biệt là rất hiệu quả trong việc giảm thiểu số công việc trễ hạn, tối đa hóa sự đúng hạn của các công việc. Tuy nhiên, một hạn chế đáng kể của EDD dẫn đến kém hiệu quả nếu thời gian thực hiện các công việc khác nhau đáng kể. Điều này ngụ ý rằng, mặc dù EDD đáp ứng ngày đến hạn của các công việc, nhưng chưa xem xét thời lượng của công việc hay mức độ tài nguyên cần thiết của các công việc được ưu tiên. Một công việc ngắn với ngày đến hạn sớm có thể được ưu tiên hơn một công việc dài, đòi hỏi nhiều tài nguyên quan trọng nhưng có ngày đến hạn muộn hơn một chút, điều này có khả năng làm chậm tổng thời gian hoàn thành dự án nếu tài nguyên bị hạn chế. Do đó, EDD là một quy tắc tối ưu hóa cục bộ mạnh mẽ (giảm thiểu độ trễ cho từng công việc) nhưng có thể không tối ưu cho các mục tiêu như tổng thời gian hoàn thành hoặc hiệu quả sử dụng tài nguyên trong môi trường xây dựng phức tạp, nếu không được tích hợp với các phương pháp khác. Tính hữu ích của nó được phát huy tốt nhất khi kết hợp với CPM (về tổng thời gian) và các ràng buộc tài nguyên (về tính khả thi).

### 2.3. Phương pháp Critical Ratio (CR)

Để kiểm tra việc bố trí công việc có hợp lý không, người ta dùng tỷ lệ tới hạn (Critical Ratio – CR). Tỷ lệ tới hạn (CR) là một phương pháp được sử dụng trong lập kế hoạch sản xuất và để đánh giá mức độ cấp thiết của công việc cần thực hiện.

Mục đích sử dụng CR là để ưu tiên xử lý những công việc có nguy cơ trễ hạn, hỗ trợ ra quyết định tối ưu hóa theo mức độ khẩn cấp trong kế hoạch tiến độ (còn gọi là qui tắc tỷ lệ tới hạn CR).

CR gán mức độ ưu tiên cho các công việc dựa trên tỷ lệ giữa thời gian còn lại cho đến ngày đến hạn của công việc và thời gian xử lý cần thiết. Đây là chỉ số có tính động, được cập nhật hàng ngày, cho phép bố trí lại thứ tự công việc cần ưu tiên trong quá trình thực hiện nhằm hoàn thành tốt nhất các công việc theo thời gian.

Phương pháp này nhằm mục đích xử lý các công việc đúng thời hạn để đáp ứng ngày đến hạn của chúng. Tỷ lệ tới hạn (CR) được xác định theo công thức sau:

$$CR_i = T_i/N_i \quad (8)$$

Trong đó:

CR<sub>i</sub>: Tỷ lệ tới hạn công việc i

T<sub>i</sub>: Thời gian còn lại đối với công việc i, được xác định bằng cách lấy ngày đến hạn trừ đi ngày hiện tại.

N<sub>i</sub>: Thời gian cần thiết để hoàn thành phần còn lại của công việc i.

Ý nghĩa của tỷ lệ tới hạn CR:

Nếu CR >1: Công việc được hoàn thành trước thời hạn (cho thấy công việc đang vượt tiến độ và cho thấy có một khoảng thời gian dự trữ/dự phòng)

Nếu CR =1: Công việc hoàn thành đúng thời hạn (cho thấy công việc hiện đang đúng tiến độ, nghĩa là có đủ thời gian để hoàn thành).

Nếu CR <1: Công việc không hoàn thành đúng thời hạn (cho thấy công việc đang bị chậm tiến độ và yêu cầu cần quan tâm, chú ý hay ưu tiên cao nhất và ngay lập tức).

- Trái ngược với các qui tắc ưu tiên, tỉ số tới hạn là chỉ tiêu động, dễ dàng cập nhật và nó phản ánh tình hình thực hiện công việc và khả năng hoàn thành theo thời gian. CR có xu hướng hoạt động tốt hơn qui tắc đến trước (First Come First Served - FCFS), qui tắc thời hạn hoàn thành sớm nhất (Earliest Due Date - EDD), qui tắc thời gian thực hiện ngắn nhất làm trước (Shortest Processing Time - SPT) và qui tắc thời gian thực hiện dài nhất làm trước (Longest Processing Time - LPT) về tiêu chí độ trễ công việc trung bình.

- CR không chỉ xem xét ngày đến hạn mà còn tích hợp khối lượng công việc còn lại. Điều này có nghĩa là một công việc có ngày đến hạn tương đối xa nhưng thời gian xử lý còn lại rất dài vẫn có thể có CR thấp, báo hiệu rằng nó đang bị chậm tiến độ so với nỗ lực cần thiết. Điều này biến CR thành một chỉ số chủ động hơn về các vấn đề tiềm ẩn trong việc tuân thủ tiến độ so với EDD đơn thuần. Nó cung cấp một thước đo tương đối về mức độ ưu tiên của công việc quan trọng. Trong xây dựng, nơi các công việc có thời lượng và độ phức tạp rất khác nhau, CR cung cấp một thước đo ưu tiên vượt trội cho

các quyết định quản lý tiến độ hàng ngày, đặc biệt khi kết hợp với các ràng buộc tài nguyên. Nó giúp nhà quản lý tiến độ dự án phân bổ tài nguyên hạn chế cho các công việc không chỉ "sắp đến hạn" mà còn thực sự "đang bị chậm tiến độ" dựa trên khối lượng công việc nội tại của chúng.

## 2.4. Ràng buộc tài nguyên (Resource Constraints)

### 2.4.1. Tài nguyên và tác động của ràng buộc tài nguyên trong quản lý tiến độ

Trong quản lý tiến độ, ràng buộc tài nguyên (Resource Constraints) là một yếu tố cốt lõi, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng thực hiện đúng hạn các công việc trong một dự án hoặc hệ thống sản xuất. Ràng buộc tài nguyên trong quản lý tiến độ là giới hạn về năng lực sử dụng của các tài nguyên như: Nhân lực (số lượng người, cấp bậc thợ, kinh nghiệm,...); Máy móc, thiết bị thi công (số lượng, chủng loại, tính năng kỹ thuật,...); Vật tư, nguyên liệu (khối lượng, chủng loại, thông số kỹ thuật,...); Ngân sách (giá trị, thời hạn,...) và thời gian làm việc (ca kíp, nghỉ lễ,...). Trong quá trình lập tiến độ, nếu các công việc yêu cầu vượt quá lượng tài nguyên hiện có, thì phải điều chỉnh lại tiến độ hoặc phân bổ lại tài nguyên. Hay nói cách khác, đây là quá trình tối ưu hóa kế hoạch tiến độ tập trung vào tính sẵn có của các tài nguyên hạn chế, bằng cách điều chỉnh ngày bắt đầu và kết thúc hay rút ngắn hoặc kéo dài thời gian thực hiện công việc để phù hợp với tính sẵn có của tài nguyên. Các ràng buộc tài nguyên là một trong những tác động chính trong quản lý tiến độ có thể dẫn đến:

+ Sự chậm trễ dự án: Các công việc bị trì hoãn nếu không có đủ tài nguyên cần thiết.

+ Làm kém hiệu quả kinh tế: Sử dụng tài nguyên không tối ưu do phân bổ quá mức hoặc dưới mức.

+ Làm tăng chi phí thi công: Do kéo dài thời gian, tăng chi phí gián tiếp hoặc cần phải mua thêm tài nguyên với giá đắt đỏ.

+ Làm giảm năng suất hay lãng phí nguồn lực: Khi tài nguyên bị dàn trải quá mỏng hoặc phân bổ quá mức, dẫn đến giảm năng suất và tinh thần làm việc.

CPM giả định tài nguyên là vô

hạn và tác động của các ràng buộc tài nguyên có thể dẫn đến chậm trễ, kém hiệu quả và vượt chi phí. Điều này chỉ ra rằng các giới hạn tài nguyên là một yếu tố cơ bản định hình lại tiến độ của CPM. Đường găng được xác định bởi CPM là đường găng công nghệ - kỹ thuật. Khi tài nguyên bị ràng buộc, thì một đường găng tài nguyên mới xuất hiện và có thể thời gian dài hơn và liên quan đến các công việc khác so với đường găng ban đầu. Điều này có nghĩa là chỉ tính toán đường găng CPM là không đủ, mà còn phải quản lý sự tương tác giữa các ràng buộc về công nghệ - kỹ thuật và tính sẵn có của tài nguyên cho công việc.

### 2.4.2. Ràng buộc tài nguyên với quản lý tiến độ

Tiến độ công việc và ràng buộc tài nguyên của công việc có quan hệ mật thiết với nhau trong quản lý tiến độ, với mục tiêu các công việc cần tuân theo các ràng buộc về thứ tự ưu tiên và tài nguyên, nhằm giảm thiểu tổng thời gian hoàn dự án. Các công việc có thời gian cố định và không thể bị gián đoạn thì chúng yêu cầu một lượng cụ thể các loại tài nguyên với khả năng sẵn có không đổi theo từng giai đoạn thi công. Điều này rất khó khả thi đối với các dự án xây dựng lớn hay phức tạp, mà đòi hỏi phải tìm kiếm một giải pháp khác phù hợp với khả năng sẵn có tài nguyên. Có thể sử dụng các kỹ thuật xử lý tài nguyên như sau:

- San bằng tài nguyên (Resource Leveling): Là một kỹ thuật điều chỉnh ngày dự án để phù hợp với tài nguyên có sẵn. Nó được sử dụng khi việc thiếu tài nguyên là mối quan tâm chính, bằng cách dời thời gian bắt đầu hay kết thúc các công việc không khẩn cấp (có độ trễ cho phép) với mục tiêu là tránh vượt quá mức cung ứng tài nguyên tại bất kỳ thời điểm nào. Điều này thường có nghĩa là kéo dài thời hạn dự án để tránh phân bổ tài nguyên quá mức. Với kỹ thuật này sẽ ngăn ngừa tình trạng kiệt sức của tài nguyên, giảm thiểu việc sử dụng quá mức, làm cho dự án thực tế và khả thi hơn, giúp kiểm soát ngân sách được tốt hơn.

- Làm mịn tài nguyên (Resource Smoothing): Với mục tiêu là tối ưu phân bổ tài nguyên mà không thay đổi tổng thời gian thực hiện dự án, bằng cách dịch chuyển các công việc trong



khoảng thời gian linh hoạt (float/slack) sao cho nhu cầu tài nguyên phân bố đều hơn. Ràng buộc chính là thời hạn dự án cố định, nó phân bổ lại tài nguyên để tránh các vùng tài nguyên cao (lỗi) và các vùng tài nguyên thấp (lỗi) trong việc sử dụng tài nguyên, cải thiện cao cấp làm việc và năng suất lao động mà không kéo dài thời gian dự án. Với kỹ thuật này sẽ không thay đổi tổng tiến độ dự án, nhưng giảm sự biến động tài nguyên (tránh lúc quá tải hoặc lúc nhàn rỗi).

Sự khác biệt giữa kỹ thuật san bằng tài nguyên và làm mịn tài nguyên: San bằng tài nguyên điều chỉnh thời gian để cân bằng nhu cầu tài nguyên, trong khi làm mịn tài nguyên giữ thời gian cố định và phân bổ lại tài nguyên.

- Tái phân bổ tài nguyên (Resource Allocation): Với mục tiêu là phân phối lại tài nguyên (nhân lực, máy móc thi công,...) để phù hợp với tiến độ mong muốn, bằng cách chuyển tài nguyên từ chỗ dư sang chỗ thiếu hoặc có thể tăng cường tài nguyên nếu cần (thuê ngoài, tăng ca...). Kết quả là giữ nguyên tiến độ, nhưng có thể tăng chi phí hoặc phải điều động tài nguyên (nhân lực, phương tiện,...) trong những thời khoảng thời gian thi công cao điểm.

- Áp dụng các quy tắc ưu tiên (Priority Rules): Với mục tiêu khi không đủ tài nguyên để thực hiện tất cả công việc cùng lúc, thì cần xác định công việc nào làm trước, kết quả là không đảm bảo tối ưu tuyệt đối, nhưng giúp người quản lý tiến độ ra quyết định kịp thời khi tài nguyên khan hiếm.

**2.5. Tích hợp các phương pháp CPM, EDD, CR và Resource Constraints trong quản lý tiến độ**

Trong khi CPM quan tâm nhiều về trình tự logic công việc và đường găng của dự án, nhưng nó lại thiếu quan tâm về tài nguyên. Với EDD và CR đưa ra các quy tắc ưu tiên, nhưng nếu không có cái nhìn tổng thể về dự án hoặc kiểm tra tính khả thi của tài nguyên,

chúng có thể dẫn đến kết quả không tối ưu. Còn các ràng buộc tài nguyên là thể hiện khả năng thực tế trong triển khai tiến độ. Do đó, một cách tiếp cận tích hợp là cần thiết để tạo ra tiến độ thực tế, khả thi và tối ưu trong quản lý tiến độ xây dựng.

**2.5.1. Cách thức hoạt động của mô hình tích hợp**

Mô hình tích hợp các phương pháp CPM, EDD, CR và Resource Constraints như một quá trình lặp đi lặp lại, trong đó CPM thiết lập đường cơ sở, các ràng buộc tài nguyên đưa ra các thách thức về tính khả thi, và EDD hoặc CR thực hiện như các quy tắc ưu tiên động để giải quyết những thách thức về ràng buộc tài nguyên này, cụ thể cách thức hoạt động của mô hình tích hợp như sau:

*Thứ nhất, CPM làm nền tảng:* Sơ đồ mạng của dự án ban đầu và đường găng được xác định dựa trên thời lượng công việc và thứ tự ưu tiên. Đây là thời gian hoàn thành dự án tối thiểu về mặt lý thuyết.

Thứ hai, phân bổ tài nguyên: Mỗi công việc được gán các tài nguyên cần thiết để thực hiện (chẳng hạn như: số lượng công nhân, loại thiết bị, số lượng vật liệu,...). Đây là các giới hạn về tính sẵn có của tài nguyên được xác định.

Thứ ba, xác định xung đột tài nguyên: Tiến độ được kiểm tra để tìm các trường hợp phân bổ tài nguyên quá mức, nơi (khu vực) có nhu cầu về một tài nguyên vượt quá khả năng sẵn có của nó tại bất kỳ thời điểm nào trong tiến độ.

Thứ tư, ưu tiên và san bằng: Khi xung đột tài nguyên phát sinh, các công việc được ưu tiên bằng cách sử dụng kết hợp tính quan trọng của CPM, tính cấp bách ngày đến hạn của EDD và tính cấp thiết động của CR.

- Vai trò của CPM trong ưu tiên: Các công việc trên đường găng (dự trữ bằng 0) vốn dĩ có mức độ ưu tiên cao. Tuy nhiên, các ràng buộc tài nguyên có thể

kéo dài thời gian thực hiện các công việc này hoặc tạo ra các đường găng mới.

- Vai trò của EDD: Đối với các công việc có xung đột tài nguyên, EDD có thể được sử dụng để ưu tiên những công việc có ngày đến hạn sắp tới sớm nhất, đặc biệt đối với các mốc thời gian quan trọng của dự án.

- Vai trò của CR: CR cung cấp mức độ ưu tiên tập trung vào các công việc đang bị chậm tiến độ so với khối lượng công việc và thời gian còn lại của chúng. Nó có thể được sử dụng làm quy tắc điều phối chính để phân bổ tài nguyên.

- San bằng hoặc làm mịn tài nguyên: Dựa trên mức độ ưu tiên đã chọn, các công việc được dịch chuyển (tri hoãn hoặc đôi khi được đẩy nhanh nếu có thể hay được kéo dài thời hạn thực hiện công việc nếu cần thiết) để giải quyết xung đột tài nguyên. Điều này có thể dẫn kéo dài thời gian hoàn thành dự án tổng thể (san bằng tài nguyên) hoặc phân bổ lại tài nguyên trong phạm vi độ trễ hiện có (làm mịn tài nguyên).

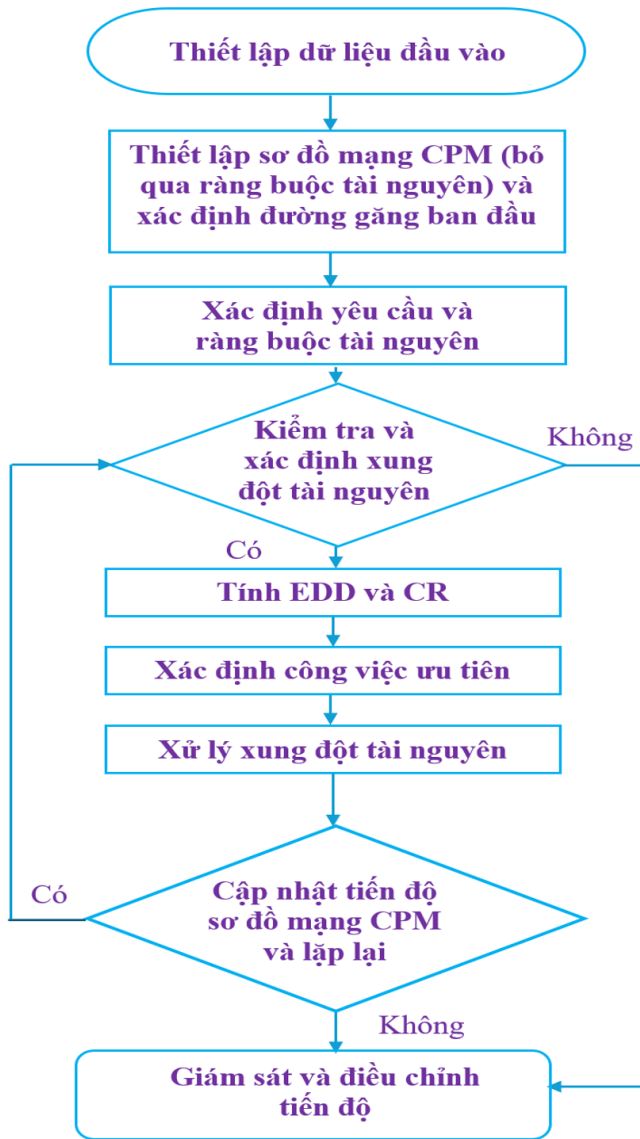
*Thứ năm, lặp lại và điều chỉnh tiến độ:* Tiến độ được đánh giá lại và các nội dung thứ 3 và thứ 4 được lặp lại cho đến khi tất cả các xung đột tài nguyên được giải quyết, hoặc một tiến độ khả thi, chấp nhận được được tạo ra. Quá trình động này đòi hỏi sự giám sát liên tục.

Cách thức hoạt động của mô hình tích hợp này không chỉ đơn thuần là áp dụng CPM và sau đó khắc phục các vấn đề về tài nguyên, mà còn chỉ ra rằng các ràng buộc tài nguyên về cơ bản xác định lại những gì là quan trọng của đường găng. Đường găng trong mô hình tích hợp là động và thay đổi dựa trên tính sẵn có của tài nguyên và các quy tắc ưu tiên EDD hoặc CR được sử dụng để giải quyết xung đột.

**2.5.2. Các bước triển khai mô hình tích hợp**

Cách thức hoạt động của mô hình được thể hiện thông qua sơ đồ hình 2 sau đây:





Hình 2: Sơ đồ tích hợp CPM, EDD, CR và Resource Constraints trong quản lý tiến độ

Cụ thể hóa sơ đồ và để triển khai mô hình tích hợp CPM, EDD, CR và Resource Constraints trong quản lý tiến độ, cần thực hiện các bước cơ bản sau đây:

**Bước 1:** Xác định sơ đồ mạng CPM và đường găng ban đầu. Để thực hiện bước này, chúng ta cần triển khai từ bước 1 đến bước 9 như ở mục 1. Trong bước này, dữ liệu đầu vào cần được cụ thể như: Tên công việc, mã hiệu công việc (thời gian thực hiện công việc), mối quan hệ phụ thuộc giữa các công việc (công việc tiếp trước hay công việc tiếp sau công việc đang xét).

**Bước 2:** Xác định yêu cầu và ràng buộc tài nguyên

- Đối với mỗi công việc, cần xác

định rõ loại và số lượng tài nguyên cần thiết để có thể thực hiện công việc. Xác định nhu cầu mỗi loại tài nguyên hàng ngày của các công việc.

- Xác định khả năng sẵn có tối đa của mỗi tài nguyên trên mỗi thời điểm thi công hay hàng ngày theo tiến độ.

- Gán ngày đến hạn cho các công việc cụ thể hoặc các mốc thời gian quan trọng của dự án.

**Bước 3:** Kiểm tra và xác định xung đột về tài nguyên

- Phù các yêu cầu tài nguyên lên tiến độ CPM cơ sở: Xác định nhu cầu từng tài nguyên ở từng ngày theo kế hoạch tiến độ CPM cơ sở (còn gọi là biểu đồ nhu cầu sử dụng tài nguyên hàng ngày theo kế hoạch tiến độ);

- Xác định các vùng hay giai đoạn

thi công mà nhu cầu về bất kỳ tài nguyên nào vượt quá khả năng sẵn có của nó (phân bổ tài nguyên quá mức). Đây là vùng hay giai đoạn bị xung đột tài nguyên cần được giải quyết.

**Bước 4:** Áp dụng EDD, CR và xử lý xung đột tài nguyên

- Đối với mỗi giai đoạn hay khoảng thời gian có xung đột tài nguyên, áp dụng một quy tắc ưu tiên để xác định công việc nào nên tiếp tục và công việc nào nên bị trì hoãn.

- Quy tắc ưu tiên được thực hiện như sau:

+ Thứ nhất: Ưu tiên các công việc găng ban đầu: Đối với tất cả các công việc cạnh tranh tài nguyên hạn chế trong một giai đoạn nhất định, tính toán CR của chúng. Các công việc có CR thấp hơn được ưu tiên trước. Điều này ưu tiên các công việc đang bị chậm tiến độ nhất so với khối lượng công việc còn lại của chúng.

+ Thứ hai: Ưu tiên thứ cấp: Nếu có nhiều lựa chọn thì ưu tiên công việc có EDD sớm nhất và nếu nhiều công việc có EDD giống nhau thì chọn công việc có CR nhỏ nhất. Nếu các công việc có giá trị CR tương tự nhau hoặc đối với các công việc liên quan đến các ngày đến hạn quan trọng của dự án, sử dụng EDD để phá vỡ sự cân bằng, ưu tiên các công việc có ngày đến hạn sớm hơn.

+ Thứ ba: San bằng hoặc làm mịn tài nguyên: Dựa trên danh sách công việc ưu tiên, lên lịch các công việc tuần tự cho đến khi đạt đến hạn mức tài nguyên. Trì hoãn các công việc có mức độ ưu tiên thấp hơn sang các giai đoạn tiếp theo khi tài nguyên trở nên có sẵn. Điều này sẽ trực tiếp ảnh hưởng đến các thời gian bắt đầu sớm và bắt đầu muộn của công việc và có khả năng kéo dài tổng thời gian hoàn thành dự án (do san bằng tài nguyên). Nếu thời hạn dự án cố định, xem xét làm mịn tài nguyên bằng cách dịch chuyển các công việc không quan trọng trong phạm vi độ trễ của chúng.

Như vậy, CR có thể là quy tắc chính cho các công việc cạnh tranh tài nguyên. Tuy nhiên, đối với các công việc có ngày đến hạn cứng (các mốc thời gian quan trọng không thể đẩy lùi), thì EDD có thể ghi đè CR để đảm bảo tuân thủ. Việc ra quyết định đa mục tiêu này là rất quan trọng để



cân bằng các mâu thuẫn như thời gian hoàn thành, sử dụng tài nguyên và tuân thủ ngày đến hạn.

**Bước 5:** Cập nhật lịch trình và lặp lại

- Sau khi điều chỉnh các công việc để giải quyết xung đột tài nguyên, tính toán lại các thông số thời gian của công việc và dự trữ thời gian của công việc cho tất cả các công việc bị ảnh hưởng trong sơ đồ mạng, lúc này đường găng của sơ đồ mạng có thể thay đổi.

- Lặp lại các bước 3 và 4 cho đến khi tất cả các xung đột tài nguyên được giải quyết và tiến độ khả thi.

**Bước 6:** Giám sát và điều chỉnh tiến độ

- Khi kế hoạch tiến độ được thiết lập sau tích hợp, liên tục giám sát tiến độ thực tế so với kế hoạch tiến độ đã lập.

- Luôn sẵn sàng điều chỉnh tiến độ một cách linh hoạt khi có các tình huống phát sinh không lường trước (như chậm trễ vật liệu, thiếu lao động, thời tiết cực đoan,...) xảy ra. Việc không cập nhật tiến độ khi có thay đổi sẽ dẫn đến việc mất dấu thời gian còn lại trước khi đến hạn.

Thực hiện mô hình tích hợp này có thể sẽ đem lại các lợi ích quan trọng sau:

- Kế hoạch tiến độ có tính thực tế

và khả thi cao: Tính toán tính sẵn có của tài nguyên thực tế, dẫn đến kế hoạch tiến độ dự án có tính khả thi cao.

- Phân bổ tài nguyên tối ưu: Ngăn ngừa việc phân bổ quá mức và quá khả năng cung ứng, cải thiện áp lực công việc và tăng năng suất thi công.

- Quản lý rủi ro chủ động: Xác định các chậm trễ tiềm ẩn sớm bằng cách xem xét cả sự phụ thuộc về công nghệ - kỹ thuật và tài nguyên, đặc biệt giúp xác định được các công việc đang bị chậm tiến độ (CR).

- Cải thiện việc tuân thủ ngày đến hạn: Giúp ưu tiên các công việc để đạt được các mốc thời gian quan trọng (EDD).

- Nâng cao khả năng ra quyết định: Cập nhật và cung cấp thông tin khá đầy đủ và tin cậy để điều chỉnh tiến độ phù hợp với các thay đổi theo thời gian thực.

### 3. Kết luận

Bài viết này đã trình bày một mô hình tích hợp khá toàn diện để quản lý tiến độ xây dựng, trong đó kết hợp phương pháp đường găng (CPM) làm nền tảng với khả năng ưu tiên động của các quy tắc ngày đến hạn sớm nhất (EDD) và tỷ lệ tới hạn (CR), tất cả trong khuôn khổ các ràng buộc tài nguyên thực tế. Mô hình tích hợp này

đã khắc phục được phần nào hạn chế của CPM truyền thống bằng cách giải quyết rõ ràng tình trạng khan hiếm tài nguyên, dẫn đến tiến độ xây dựng có khả thi cao hơn và hiệu quả hơn. Đồng thời mô hình này còn đem lại các lợi ích quan trọng là tối ưu hóa phân bổ tài nguyên, giảm sự chậm trễ công việc, cải thiện việc tuân thủ ngày đến hạn (mốc thời gian quan trọng) của dự án và nâng cao kiểm soát tổng thể dự án. Điều này thấy rõ vai trò của quản lý tiến độ xây dựng đang dần chuyển đổi từ việc không chỉ đơn thuần lập kế hoạch sang vai trò phân tích và ra quyết định đúng đắn và hiệu quả trong quản lý. Tuy nhiên, hiệu quả của mô hình tích hợp này phụ thuộc nhiều vào ước tính chính xác thời lượng công việc, yêu cầu tài nguyên và dữ liệu sẵn có khác, mặt khác việc áp dụng thủ công cho các bước của mô hình có sự lặp đi lặp lại là khá phức tạp, tốn nhiều thời gian, đặc biệt là đối với các dự án rất lớn. Đây cũng là những thách thức chính của mô hình này. Hướng phát triển trong tương lai của mô hình là tự động hóa và tích hợp với các phần mềm có sẵn như Microsoft Project hay Primavera P6 để phát huy hiệu quả mô hình, đồng thời tối ưu hóa nhiều mục tiêu quản lý.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Giáo trình tổ chức thi công xây dựng – Bộ Xây dựng, 2003.  
[2] Các phương pháp sơ đồ mạng trong xây dựng - PGS.TS. Trịnh Quốc Thắng, 1998.  
[3] Explaining Construction Project Management - Critical Path Method - GPRS, truy cập vào tháng 8 4, 2025, <https://www.gp-radar.com/article/explaining-construction-project-management---critical-path-method>.  
[4] What Is Construction Project Scheduling? A Complete Guide, truy cập vào tháng 8 4, 2025, <https://gbc-engineers.com/news/what-is-construction-project-scheduling-a-complete-guide>.  
[5] Critical Path Method in Project Management | The Workstream, truy cập vào tháng 8 4, 2025, <https://www.atlassian.com/work-management/project-management/critical-path-method>.  
[6] Comparison of Various Techniques for Project Scheduling under Resource Constraints, truy cập vào tháng 8 4, 2025, <https://ijettjournal.org/Volume-73/Issue-2/IJETT-V73I2P106.pdf>.  
[7] What is Resource-Constrained Scheduling? A Practical Guide, truy cập vào tháng 8 4, 2025, <https://www.saviom.com/blog/resource-constrained-scheduling/>.  
[8] Production Sequences: FCFS, EDD, and Others - AllAboutLean.com, truy cập vào tháng 8 4, 2025, <https://www.allaboutlean.com/fcfs-edd-etc/>.  
[9] Critical Ratio | PDF | Teaching Mathematics | Business - Scribd, truy cập vào tháng 8 4, 2025, <https://www.scribd.com/presentation/425668524/Critical-ratio-ppt>.  
[10] Comparison of Heuristic Priority Rules in the Solution of the Resource-Constrained Project Scheduling Problem - MDPI, truy cập vào tháng 8 4, 2025, <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/17/9956>.