



ỨNG DỤNG HỆ THỐNG DỰA TRÊN TRI THỨC (KBS) VÀ TRÍ TUỆ NHÂN TẠO TRONG THIẾT KẾ THÉP DỌC CHỊU LỰC DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT THEO TCVN 5574:2018

APPLICATION OF KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS (KBS) AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DESIGNING LONGITUDINAL REINFORCEMENT FOR RECTANGULAR REINFORCED CONCRETE BEAMS ACCORDING TO TCVN 5574:2018

**Lâm Trung Toàn, Đặng Hoàng Kha,
 Nguyễn Đình Kha*,**
 Trường Đại học Cửu Long

DOI: <https://doi.org/10.65934/mkusj.2026.42.838>

*Email: nguyendinhkha@mku.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/12/2025

Ngày phản biện: 21/01/2026

Ngày duyệt bài: 23/03/2026

TÓM TẮT

Ngành công nghiệp xây dựng hiện đại đang chứng kiến những bước chuyển mình mạnh mẽ dưới tác động của công nghệ số, trong đó việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) vào thiết kế kết cấu được xem là một xu hướng tất yếu. Để cụ thể hóa xu hướng này vào thực tiễn, nghiên cứu tập trung phát triển hệ thống AI-KBS nhằm tự động hóa quá trình bố trí cốt thép dọc cho dầm bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018. Trong thực tế, việc tối ưu hóa các chi tiết cấu kiện không chỉ đòi hỏi sự chính xác tuyệt đối mà còn tiêu tốn rất nhiều thời gian của các kỹ sư. Khác với các phần mềm thiết kế kết cấu hiện nay chủ yếu chỉ xác định nội lực và diện tích cốt thép yêu cầu (As), hệ thống được đề xuất có khả năng mô hình hóa đầy đủ các quy định tính toán và ràng buộc cấu tạo của tiêu chuẩn Việt Nam thành cơ sở tri thức. Nhờ sự kết hợp chặt chẽ giữa tri thức chuyên gia và sức mạnh điện toán, bài toán thiết kế phức tạp đã được giải quyết một cách triệt để. Trên cơ sở đó, thuật toán tìm kiếm thông minh được sử dụng để tự động lựa chọn phương án bố trí cốt thép tối ưu cho dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật, hướng tới tối ưu vật liệu. Qua quá trình thử nghiệm thực tế và đối chiếu với các phương pháp truyền thống, kết quả kiểm chứng cho thấy hệ thống giúp rút ngắn đáng kể thời gian thiết kế, hạn chế sai sót thủ công và đảm bảo tuân thủ tiêu chuẩn, cho thấy tiềm năng ứng dụng cao trong thực tiễn thiết kế kết cấu tại Việt Nam, đồng thời mở ra hướng đi mới cho việc số hóa hoàn toàn quy trình triển khai bản vẽ kỹ thuật trong tương lai.

Từ khóa: Hệ thống Dựa trên Tri thức (KBS), Trí tuệ Nhân tạo (AI), Thiết kế tự động, Bê tông cốt thép, TCVN 5574:2018, Tối ưu hóa cốt thép.

ABSTRACT

The modern construction industry is witnessing profound transformations under the impact of digital technology, wherein the application of artificial intelligence (AI) in structural design is considered an inevitable trend. To concretize this trend into practice, this study focuses on developing an AI-KBS system to automate the longitudinal reinforcement detailing process for reinforced concrete beams in compliance with TCVN 5574:2018. In reality, optimizing structural component details not only demands absolute precision but also consumes a significant amount of engineers' time. Unlike existing commercial structural design software, which mainly determines internal forces and required steel area (As), the proposed system fully models both design calculations and strict detailing constraints prescribed by the Vietnamese standard into a knowledge base. Thanks to the seamless integration of expert knowledge and computing power, the complex design problem has been thoroughly resolved. Based on this framework, an intelligent search algorithm is employed to automatically identify optimal longitudinal reinforcement layouts for rectangular RC beams, aiming to minimize material cost. Through practical testing and comparison with traditional methods, verification results indicate that the system significantly reduces design time, minimizes human errors, and ensures strict code compliance, demonstrating strong potential for practical application in structural design practice in Vietnam, while simultaneously paving a new path for the complete digitalization of engineering drawing workflows in the future.

Keywords: Knowledge-Based System (KBS); Artificial Intelligence (AI); Automated Design; Reinforced Concrete; TCVN 5574:2018; Reinforcement Optimization.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, ứng dụng Trí tuệ Nhân tạo (AI) đã trở thành một xu hướng tất yếu trong mọi lĩnh vực kỹ thuật, bao gồm cả Xây dựng (Hoàng Ngọc Dũng, 2019). Việc thiết kế kết cấu đòi hỏi người kỹ sư phải thực hiện hàng loạt các phép tính lặp, kiểm tra ràng buộc và đưa ra quyết định tối ưu. Đặc biệt, đối với các công trình phức tạp, quá trình thiết kế cốt thép dầm bê tông cốt thép (BTCT) chịu lực, từ việc xác định diện tích thép yêu cầu (A_s) đến việc bố trí chi tiết số lượng, đường kính thép, và khoảng cách cốt thép theo các quy tắc cấu tạo, là một nhiệm vụ tốn thời gian, dễ xảy ra sai sót (chủ quan và khách quan) và phụ thuộc lớn vào mỗi cá nhân.

Tại Việt Nam, việc thiết kế kết cấu BTCT phải tuân thủ nghiêm ngặt Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 5574:2018. Tiêu chuẩn này đưa ra các công thức tính toán khả năng chịu lực dựa trên “Mô hình biến dạng giới hạn”, đồng thời quy định nhiều điều kiện cấu tạo bắt buộc (hàm lượng cốt thép tối thiểu/tối đa, khoảng cách cốt thép s_{min}, s_{max}) nhằm đảm bảo an toàn và tính thi công.

Mục tiêu cốt lõi của nghiên cứu này là phát triển một hệ thống tự động hóa hoàn toàn quá trình thiết kế thép dọc chịu lực cho dầm BTCT tiết diện chữ nhật theo TCVN 5574:2018, thông qua việc áp dụng Hệ thống Dựa trên Tri thức (KBS).

Phạm vi nghiên cứu tập trung vào:

- Mô hình hóa các quy tắc và công thức của TCVN 5574:2018 thành Cơ sở Tri thức.
- Xây dựng Thuật toán lõi để tính toán A_s yêu cầu.
- Phát triển Module AI (Bộ Suy luận) để tự động hóa việc lựa chọn số lượng và đường kính cốt thép tối ưu, đồng thời kiểm tra và thỏa mãn mọi điều kiện cấu tạo của Tiêu chuẩn.

Đóng góp chính của đề tài là việc tạo ra một công cụ chuyên biệt, tích hợp tri thức Tiêu chuẩn Quốc gia một cách hệ thống, nhằm lấp đầy khoảng trống mà các phần mềm thương mại hiện nay chưa giải quyết được: tự động hóa việc ra quyết định cấu tạo chi tiết cốt thép dầm tuân thủ TCVN 5574:2018. Công cụ này có thể nâng cao chất lượng bản vẽ thiết kế, giảm thiểu sự lãng phí vật liệu do lựa chọn không tối ưu, và tăng năng suất lao động của kỹ sư.

2. Tổng quan lý thuyết và tình hình nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý thuyết thiết kế cốt thép dầm theo TCVN 5574:2018

Thiết kế dầm BTCT theo TCVN 5574:2018 là bài toán xác định cốt thép để thỏa mãn điều kiện cường độ: $M \leq M_{gh}$ (Mục 7.4 TCVN 5574:2018) trong đó M là moment uốn tính toán và M_{gh} là moment chịu lực giới hạn của tiết diện. Quá trình tính toán bao gồm: xác định cốt thép chịu kéo A_s (và cốt thép chịu nén A'_s nếu cần), kiểm tra vị trí trục trung hòa ($\xi \leq \xi_R$), kiểm tra hàm lượng cốt thép ($\mu_{min} \leq \mu \leq \mu_{max}$).

Sau khi xác định được diện tích A_s yêu cầu, bước quan trọng nhất là chuyển A_s sang số lượng và đường kính cốt thép thực tế (A_s^{chon}). Bước này bắt buộc phải tuân thủ các quy tắc cấu tạo:

- Khoảng cách thông thủy giữa các thanh thép (s_{min}, s_{max});
- Số lượng thanh tối đa trên một lớp;
- Chiều cao lớp bảo vệ và khoảng cách từ trọng tâm cốt thép đến mép chịu nén.

Chính sự phức tạp và đa dạng của các quy tắc cấu tạo này là rào cản lớn nhất đối với việc tự động hóa hoàn toàn.

2.2. Tình hình Ứng dụng Hệ thống Tri thức (KBS) trong thiết kế kết cấu

Các phần mềm phân tích và thiết kế kết cấu phổ biến tại Việt Nam như ETABS, SAP2000, SAFE hay Robot Structural Analysis, chủ yếu được phát triển dựa trên các tiêu chuẩn quốc tế (ACI, Eurocode) và thường chỉ cung cấp kết quả là diện tích cốt thép yêu cầu (A_s) tại mặt cắt.

Hạn chế cốt lõi, (Computers and Structures, 2023) đã chỉ ra:

(1) Chưa tương thích hoàn toàn với TCVN 5574:2018: Mặc dù có thể điều chỉnh để phù hợp một phần, các phần mềm này vẫn gặp khó khăn trong việc áp dụng đầy đủ và tự động các ràng buộc cấu tạo chi tiết của TCVN.

(2) Thiếu khả năng lựa chọn và tối ưu thép chi tiết: Các phần mềm này thường yêu cầu người kỹ sư tự mình thực hiện bước cuối cùng: chuyển A_s thành sự bố trí thép thực tế (số lượng, đường kính, lớp) và phải tự kiểm tra lại các điều kiện cấu tạo bằng tay, dẫn đến sự tốn kém thời gian và tiềm ẩn rủi ro sai sót.

Khoảng trống nghiên cứu: sự thiếu vắng một công cụ chuyên biệt, thông minh, có khả năng áp dụng toàn bộ tri thức TCVN 5574:2018 để tự động hóa quá trình lựa chọn cốt thép chi tiết, không chỉ dừng lại ở tính toán A_s . Nghiên cứu này nhằm lấp đầy khoảng trống đó bằng việc xây dựng Hệ thống AI-KBS.

Hệ thống AI-KBS của bài báo được phát triển trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Python, tận dụng tính linh hoạt của các thư viện tính toán số học và xử lý dữ liệu. Hệ thống tích hợp mô hình ngôn ngữ lớn Google Gemini thông qua giao diện lập trình ứng dụng (API), đóng vai trò là module điều phối logic, kết nối giữa Cơ sở Tri thức (Knowledge Base) và Bộ Suy luận (Inference Engine) để đưa ra các quyết định thiết kế tối ưu. Giao diện người dùng được thiết kế để kỹ sư dễ dàng nhập các tham số vật liệu, kích thước tiết diện dầm (b, h, a) và nội lực tính toán (M). Đầu ra là diện tích cốt thép thực tế ($A_s^{chọn}$), số lượng và đường kính cốt thép được lựa chọn, và sơ đồ bố trí chi tiết.

3. Phương pháp nghiên cứu

Hệ thống được đề xuất là một Hệ thống Dựa trên Tri thức (KBS) với ba thành phần chính: Cơ sở Tri thức, Cơ sở Dữ liệu và Bộ Suy luận (Module AI).

Trong thiết kế kết cấu bê tông cốt thép, bài toán tính toán cốt thép đơn thường được tiếp cận theo hai dạng cơ bản. Bài toán thứ nhất là bài toán thuận, trong đó từ moment uốn thiết kế và các thông số hình học, vật liệu của tiết diện, tiến hành xác định diện tích cốt thép chịu kéo A_s cần thiết nhằm bảo đảm khả năng chịu lực theo trạng thái giới hạn. Bài toán thứ hai là bài toán nghịch, xuất phát từ tiết diện đã bố trí sẵn cốt thép, các đặc trưng vật liệu và hình học, để kiểm tra moment chịu uốn giới hạn M_{gh} , qua đó đánh giá khả năng chịu lực và mức độ an toàn của cấu kiện theo yêu cầu thiết kế.

3.1. Cấu trúc hệ thống dựa trên tri thức (KBS)

Cơ sở Dữ liệu (Database): Lưu trữ các hằng số vật liệu theo TCVN 5574:2018 (Cường độ chịu nén/kéo của Bê tông R_b, R_{bt} , cường độ chịu kéo của Cốt thép R_s), và danh sách các đường kính cốt thép tiêu chuẩn ($\phi 12, \phi 14, \phi 16, \dots$).

Cơ sở Tri thức (Knowledge Base): Chứa tất cả các quy tắc thiết kế (Rules) dưới dạng IF-THEN được trích xuất từ TCVN 5574:2018. Các quy tắc này bao gồm:

Quy tắc tính toán cốt thép đơn và cốt thép kép.

Quy tắc kiểm tra $\mu_{min}, \mu_{max}, \zeta \leq \zeta_R$

Quy tắc cấu tạo chi tiết: Kiểm tra khoảng cách thông thủy s_{min} theo TCVN 5574:2018, số lượng thanh tối đa trên lớp, và xác định $A_s^{chọn}$ cho từng phương án bố trí.

3.2. Thuật toán Tính toán Cốt lõi

Phần này xử lý việc tính toán A_s yêu cầu ($A_s^{cần}$) từ nội lực và kích thước mặt cắt, tuân theo các công thức cơ bản của TCVN 5574:2018.

Lưu đồ Thuật toán Tính toán:

- Nhập các tham số đầu vào: M, b, h, a, R_b, R_s
- Tính chiều cao vùng nén x và kiểm tra điều kiện ζ .
- Tính diện tích cốt thép yêu cầu $A_s^{cần}$ (Trường hợp cốt đơn hoặc cốt kép).
- Kiểm tra điều kiện ràng buộc: $A_s^{cần}$ phải nằm trong giới hạn μ_{min} và μ_{max} theo TCVN.

Truyền $A_s^{cần}$ đã được hiệu chỉnh đến Module AI Lựa chọn Thép.

Quy trình tính toán giải thuật chi tiết thiết kế cốt thép đơn (A_s) được thể hiện trong Bảng 1. Quy trình giải thuật chi tiết kiểm tra khả năng chịu lực được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 1. Quy trình giải thuật thiết kế cốt thép đơn (A_s)

Bước (Step)	Mô tả chi tiết thuật toán	Công thức / Điều kiện	Xử lý Lỗi / Trường hợp Biên
Bắt đầu	Nhập liệu: M, b, h , cấp bê tông (B), nhóm cốt thép (Gr), a (giả thiết).	$h_0 = h - a$	Kiểm tra Input M : Nếu $M < 0$, moment âm, nhập giá trị tuyệt đối.

1. Tra cứu Dữ liệu	Truy xuất $R_b, R_s, \alpha_R, \xi_R$ từ KBS.	$R_b, R_s, \alpha_R, \xi_R$ (Tra cứu)	Lỗi tra cứu: Báo lỗi nếu cấp bê tông hoặc nhóm cốt thép không tồn tại trong KBS.
2. Tính α_m	Tính hệ số moment tương đối (α_m) của Moment tác dụng.	$\alpha_m = \frac{M}{R_b b h_0^2} \times 10^6$	-
3. Kiểm tra giới hạn	So sánh α_m với α_R (Giới hạn của tiết diện đặt cốt đơn).	Kiểm tra 1: $\alpha_m \leq \alpha_R$	Lỗi giới hạn (Trường hợp biên): Nếu $\alpha_m > \alpha_R$. \rightarrow Kết luận: Cần thiết kế cốt kép hoặc tăng tiết diện/cấp bền. Báo lỗi và dùng tính A_s theo cốt đơn.
4. Tính ξ và ζ	Tính chiều cao tương đối vùng nén (ξ) và hệ số đòn bẩy (ζ).	$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}$	Kiểm tra ξ : Dù đã kiểm tra $\alpha_m \leq \alpha_R$, vẫn nên kiểm tra $\xi \leq \xi_R$ (dư thừa, nhưng an toàn).
5. Tính A_s	Tính diện tích cốt thép cần thiết.	$A_s = \frac{M}{R_s \xi h_0} \times 10^6$ (10^6 : Đổi M về N.m hoặc tương đương)	-
6. Kiểm tra cấu tạo	Tính toán $A_{s,min}$, $A_{s,max}$ và kiểm tra A_s .	$\mu_{min} = 0.1\%$ $\mu_{max} = \xi_R \times \frac{R_b}{R_s}$	Trường hợp biên: Nếu $A_s < A_{s,min} \rightarrow$ gán $A_s = A_{s,min}$ (Theo TCVN 5574:2018).
7. Kết thúc	Xuất kết quả A_s và chuyển sang Module bố trí.	-	-

Bảng 2. Quy trình giải thuật kiểm tra khả năng chịu Moment (M_{gh})

Bước (Step)	Mô tả chi tiết thuật toán	Công thức / Điều kiện	Xử lý Lỗi / Trường hợp biên
Bắt đầu	Nhập dữ liệu: b, h, A_s (thực tế), Cấp B, Gr, ϕ_{dai}, a_c .	-	-
1. Tra cứu Dữ liệu	Truy xuất $R_b, R_s, \xi_R, \alpha_R$ từ KBS.	$R_b, R_s, \xi_R, \alpha_R$ (Tra cứu)	Lỗi tra cứu: Báo lỗi nếu cấp bê tông hoặc nhóm cốt thép không tồn tại trong KBS.
2. Xác định h_0 chính xác	Tính h_0 dựa trên cấu tạo A_s thực tế.	$h_0 = h - a_{tb}$ (a_{tb} là khoảng cách đến trọng tâm A_s thực tế).	-
3. Tính ξ	Tính chiều cao tương đối vùng nén (ξ) dựa trên A_s thực tế.	$\xi = \frac{R_s A_s}{R_b b h_0}$	-
4. Kiểm tra độ dẻo	So sánh ξ với ξ_R (Điều kiện phá hoại dẻo).	Kiểm tra 1: $\xi \leq \xi_R$	Lỗi độ dẻo (trường hợp biên): Nếu $\xi > \xi_R$. \rightarrow Chuyển sang tính $M_{gh,max}$. Ghi nhận trạng thái là không đảm bảo độ dẻo (phá hoại giòn).

5. Tính α_m	Tính hệ số moment tương đối (α_m) cho khả năng chịu lực.	$\alpha_m = \xi(1 - 0.5\xi)$	Nếu $\xi > \xi_R$: Gán $\xi = \xi_R$ để tính $M_{gh,max}$ (khả năng chịu lực tối đa của tiết diện, giới hạn bởi độ dẻo).
6. Tính M_{gh}	Tính Moment giới hạn (khả năng chịu Moment tối đa của tiết diện).	$M_{gh} = \alpha_m R_b b h_0^2 10^{-6}$ (10^6 : đổi N.mm sang kNm hoặc tương đương)	-
7. Kết luận	So sánh M_{gh} với $M_{yêu cầu}$ (nếu có).	-	Kết quả: đạt, không đạt, hoặc phá hoại giòn (nếu $\xi > \xi_R$).

3.3. Module AI Lựa chọn và Tối ưu Thép (Inference Engine)

Module này đóng vai trò là Bộ Suy luận (AI Module), thực hiện việc ra quyết định để chuyển $A_s^{cần}$ thành bố trí thép thực tế ($A_s^{chọn}$).

1. Tạo Tập Hợp Ứng viên: Thuật toán duyệt qua các tổ hợp cốt thép tiêu chuẩn (ví dụ: n thanh ϕd) sao cho $A_s^{chọn} \geq A_s^{cần}$.

2. Áp dụng Quy tắc Cấu tạo (Lọc Tri thức): Với mỗi tập hợp ứng viên, hệ thống sẽ kích hoạt các quy tắc từ Cơ sở Tri thức (KBS) để kiểm tra:

- Quy tắc 1 (Khoảng cách): Tính toán khoảng cách thông thủy s và so sánh với s_{min} theo TCVN.
- Quy tắc 2 (Lớp Bố trí): Kiểm tra xem số lượng thanh có thể bố trí trong một lớp an toàn hay không.
- Quy tắc 3 (Chiều cao a): Tính toán chính xác chiều cao a từ trọng tâm cốt thép theo phương án bố trí đó.

Hàm Mục tiêu Tối ưu: Các phương án thỏa mãn tất cả các quy tắc cấu tạo sẽ được đánh giá dựa trên hàm mục tiêu tối ưu hóa, ví dụ:

Minimize: $Cost \propto A_s^{chọn} (1)$

Thuật toán sẽ chọn phương án có $A_s^{chọn}$ nhỏ nhất nhưng vẫn $\geq A_s^{cần}$ và thỏa mãn tất cả các ràng buộc cấu tạo.

4. Kết quả nghiên cứu

Nhóm tác giả tiến hành Kiểm chứng và Xác thực Mô hình (Case Studies) bài toán cốt thép đơn (trường hợp nghiên cứu Bảng 1). Để kiểm chứng tính chính xác và hiệu quả của hệ thống, tác giả đã tiến hành so sánh kết quả tính toán của AI-KBS với các bài toán điển hình đã được giải bằng phương pháp thủ công và đã được kiểm tra chéo.

Nhóm tác giả thực hiện thông qua tình huống: Cho dầm tiết diện hình chữ nhật 200x500mm, cấp độ bền bê tông B25, nhóm cốt thép CB300-V. Chịu moment làm căng thớ dưới $M = 90kNm$. Yêu cầu tính toán và chọn cốt thép cho dầm

4.1. Thực hiện thông qua phương pháp thủ công

Cho $M = 90kNm$, $b = 200mm$, $h = 500mm$.

Bê tông: B25: $R_b = 14.5Mpa$

Cốt thép: CB300-V: $R_s = 260 MPa$, $\zeta_R = 0.583$, $\alpha_R = 0.413$

Giả thiết $a = 50mm$,

$h_0 = h - a \Rightarrow h_0 = 500 - 50 = 450mm$

$\alpha_m = \frac{M}{R_b b h_0^2} = \frac{90 \times 10^6}{14.5 \times 200 \times 450^2} = 0.153$

$a_m = 0.153 \leq a_R = 0.413$

$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.153} = 0.167 \leq \xi_R = 0.583$

$\zeta = 1 - 0.5\xi = 1 - 0.5 \times 0.167 = 0.9165$

$A_s = \frac{M}{R_s \zeta h_0} = \frac{90 \times 10^6}{260 \times 0.9165 \times 450} = 839.313mm^2$

Chọn 3 ϕ 20 có:

$A_{s,c} = 3 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 942.48mm^2$

Hàm lượng cốt thép:

$$\begin{aligned} \mu_{\min} &= 0.1\% \\ \leq \mu &= \frac{A_{s,c}}{bh_0} = \frac{942.48}{200 \times 450} = 1.047\% \\ \leq \mu_{\max} &= \xi_R \frac{R_b}{R_s} = 0.583 \times \frac{14.5}{260} = 3.25\% \end{aligned}$$

=> Thỏa hàm lượng cốt thép

4.2. Thực hiện thông qua phương pháp AI KBS

Sau đây là hình chụp trực tiếp từ AI KBS

1. DỮ LIỆU ĐẦU VÀO VÀ TRA CỨU CƯỜNG ĐỘ

A. Thông số Kích thước và Tải trọng:

- Chiều rộng tiết diện: $b = 200$ mm.
- Chiều cao tiết diện: $h = 500$ mm.
- Moment tác dụng: $M = 90$ kNm = 90×10^6 N · mm.
- Cấp độ bền Bê tông: B25.
- Nhóm Cốt thép: CB300-V.

B. Tra cứu Cường độ Vật liệu (TCVN 5574:2018 và KBS):

- Cường độ chịu nén tính toán của Bê tông (R_b , B25): **14.5** MPa.
- Cường độ chịu kéo tính toán của Cốt thép (R_s , CB300-V): **260** MPa (Theo ví dụ trong KBS).
- Hệ số giới hạn vùng nén (ξ_R , CB300-V): **0.583**.
 - Hệ số giới hạn α_R : **0.413**.

2. QUY TRÌNH I: THIẾT KẾ CỐT THÉP (A_s)

A. Tính toán A_s yêu cầu

1. Giả thiết chiều cao làm việc (h_0): Theo quy tắc chuyên gia (KBS), giả thiết $a = 50$ mm (khoảng cách từ mép chịu kéo đến trọng tâm cốt thép).

$$h_0 = h - a = 500 - 50 = 450 \text{ mm}$$

2. Tính α_m và Kiểm tra giới hạn tiết diện:

$$\begin{aligned} \alpha_m &= \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} \\ \alpha_m &= \frac{90 \times 10^6}{14.5 \cdot 200 \cdot 450^2} \approx \mathbf{0.1533} \end{aligned}$$

Kiểm tra giới hạn: $\alpha_m = 0.1533 \leq \alpha_R = 0.413$.
(ĐẠT - Tiết diện làm việc cốt đơn).

3. Tính ξ và ζ :

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.1533}$$

$$\approx \mathbf{0.1673}$$

$$\zeta = 1 - 0.5\xi = 1 - 0.5 \times 0.1673 \approx \mathbf{0.91635}$$

4. Tính Diện tích Cốt thép cần thiết ($A_{s,cần}$):

$$A_{s,cần} = \frac{M}{R_s \cdot \zeta \cdot h_0}$$

$$A_{s,cần} = \frac{90 \times 10^6}{260 \cdot 0.91635 \cdot 450} \approx \mathbf{837.89 \text{ mm}^2}$$

B. Bố trí và Tối ưu hóa Cốt thép

1. Chọn cốt thép sơ bộ và kiểm tra cấu tạo:

- $A_{s,cần} = 837.89 \text{ mm}^2$.
- Chọn $3\phi 20$: $A_{s,chọn} = 3 \times \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = \mathbf{942.48 \text{ mm}^2}$ (Đảm bảo $A_{s,chọn} > A_{s,cần}$).
- Kiểm tra Khả năng Bố trí (Giả sử $a_{bv} = 20$ mm, $\phi_{đai} = 8$ mm, $S_{\min} = 25$ mm):
- Chiều rộng cần thiết ($b_{cần}$) cho $3\phi 20$ (1 lớp):

$$b_{cần} = 2 \cdot (a_{bv} + \phi_{đai}) + 3 \cdot \phi + 2 \cdot S_{\min}$$

$$\begin{aligned} b_{cần} &= 2 \cdot (20 + 8) + 3 \cdot 20 + 2 \cdot 25 \\ &= 56 + 60 + 50 = 166 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\bullet \quad b_{cần} = 166 \text{ mm} \leq b = 200 \text{ mm}. \rightarrow$$

ĐẠT CẤU TẠO.

2. Tính lại $A_{s,cần}$ với h_0 chính xác (cho $3\phi 20$ 1 lớp):

- Khoảng cách a : $a = a_{tb} = 20 + 8 + \frac{20}{2} = 38$ mm.
- Chiều cao làm việc chính xác (h_0): $h_0 = 500 - 38 = 462$ mm.
- Tính lại $A_{s,cần}$ theo $h_0 = 462$ mm:

$$\alpha_m = \frac{90 \times 10^6}{14.5 \cdot 200 \cdot 462^2} \approx 0.1456$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.1456} \approx 0.1557$$

$$\zeta = 1 - 0.5 \times 0.1557 \approx 0.92215$$

$$A_{s,cần} = \frac{90 \times 10^6}{260 \cdot 0.92215 \cdot 462} \approx \mathbf{811.23 \text{ mm}^2}$$

$$(A_{s, \text{chọn}} = 942.48 \text{ mm}^2 > 811.23 \text{ mm}^2) \rightarrow$$

ĐẠT.

3. Kiểm tra Hàm lượng Cốt thép (μ):

- Hàm lượng tối thiểu (μ_{min}): 0.1%.
- Hàm lượng tối đa (μ_{max}): $\mu_{\text{max}} = \xi_R \frac{R_b}{R_s} \times 100\% = 0.583 \times \frac{14.5}{260} \times 100\% \approx 3.248\%$.
- Hàm lượng thực tế (μ):

$$\mu = \frac{A_{s, \text{chọn}}}{b \cdot h_0} \times 100\% =$$

$$= \frac{942.48}{200 \cdot 462} \times 100\% \approx 1.019\%$$

- $0.1\% \leq 1.019\% \leq 3.248\% \rightarrow$ **ĐẠT.**

3. KẾT LUẬN THIẾT KẾ

Diện tích cốt thép cần thiết: $A_{s, \text{cần}} = 811.23 \text{ mm}^2$.

Bố trí Cốt thép Tối ưu:

- Cốt thép Chạy đều:** $3\phi 20$
- Cốt thép Gia cường:** 0
- $A_{s, \text{chọn}}: 942.48 \text{ mm}^2$.

4.3. Thảo luận kết quả từ phương pháp

Điểm tương đồng (Similarities)

Cả hai phương pháp về cơ bản là hoàn toàn giống nhau về mặt lý thuyết và quy trình cốt lõi:

Cơ sở lý thuyết: Cả hai đều tuân thủ nghiêm ngặt theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018. Các giá trị cường độ vật liệu (R_b, R_s) và các hệ số giới hạn (ξ_R, α_R) đều được tra cứu và áp dụng một cách nhất quán.

Quy trình tính toán: Cả hai đều tuân theo đúng trình tự của bài toán đặt cốt đơn.

Kết quả tính toán: Nếu cách "Giải thủ công" được điền đầy đủ các con số, kết quả tính toán cho diện tích thép yêu cầu ($A_s = 839.4 \text{ mm}^2$) và phương án thép lựa chọn ($3\phi 20$) sẽ giống hệt như cách giải của AI KBS.

Bảng 3. So sánh cách tính thép dầm giữa giải thủ công và giải bằng AI KBS

Tiêu chí	Giải thủ công	Giải bằng AI KBS
Tính đầy đủ và minh bạch	Chỉ nêu các bước nhưng để trống phần tính toán quan trọng (α, ξ, ζ, A_s). Người đọc không thể kiểm chứng được quá trình.	Trình bày đầy đủ, minh bạch từng bước tính toán. Mỗi công thức đều đi kèm với số liệu thay thế và kết quả rõ ràng, giúp người dùng dễ dàng theo dõi và xác minh.
Cấu trúc và hệ thống	Cấu trúc đơn giản theo "Bước 1, 2".	Cấu trúc chuyên nghiệp, logic với các tiêu đề rõ ràng (thông số, chuẩn bị, tính toán, bố trí). Giống như một bản thuyết minh tính toán thu nhỏ, rất dễ đọc và tra cứu.
Kiểm tra điều kiện	Có đề cập đến việc kiểm tra hàm lượng m nhưng không đầy đủ.	Thực hiện đầy đủ và giải thích rõ ràng các bước kiểm tra bắt buộc: 1. Kiểm tra $\alpha_m \leq \alpha_R$ và kết luận "Tiết diện đủ khả năng chịu lực". 2. Kiểm tra hàm lượng m bằng cách so sánh với cả m_{mip} và m_{max} . 3. Bổ sung kiểm tra về khoảng hở cốt thép, một yếu tố cấu tạo quan trọng trong thực tế.
Trình bày	Dạng văn bản thô.	Sử dụng định dạng Markdown chuyên nghiệp, công thức toán học (LaTeX) giúp các ký hiệu và công thức trở nên trực quan và dễ đọc hơn rất nhiều.

4.4. Tính ưu việt của phương pháp AI KBS

Về bản chất, cả hai đều là một phương pháp giải đúng đắn theo tiêu chuẩn.

Tuy nhiên, cách giải của AI KBS thể hiện tính

hệ thống và độ chi tiết cao hơn về chất lượng trình bày và tính toán kỹ thuật: Minh bạch và dễ kiểm chứng: Mọi con số đều được giải trình; An toàn và đầy đủ: Không bỏ sót bất kỳ bước kiểm

tra quan trọng nào theo yêu cầu của tiêu chuẩn và cấu tạo; Chuyên nghiệp và hệ thống: Cách trình bày logic, sạch sẽ, giúp người dùng (kể cả người mới nghiên cứu) có thể dễ dàng hiểu và áp dụng.

5. Kết luận và kiến nghị

5.1. Kết luận

Nghiên cứu đã thành công trong việc xây dựng một Hệ thống Dựa trên Tri thức (KBS) tích hợp AI, chuyên dụng cho việc thiết kế thép dầm BTCT tiết diện chữ nhật theo TCVN 5574:2018. Nghiên cứu đã cụ thể hóa các quy định định tính và định lượng của TCVN 5574:2018 thành các tập luật logic trong Cơ sở tri thức. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống đáp ứng đầy đủ các mục tiêu về tự động hóa và tối ưu hóa hàm lượng cốt thép đã đề ra. Điều này đã hoàn thành mục tiêu nghiên cứu là tự động hóa và tối ưu hóa quá trình thiết kế chi tiết cốt thép dầm tại Việt Nam.

5.2. Kiến nghị và hướng phát triển nghiên cứu

Dựa trên những kết quả bước đầu đã đạt được, nhóm nghiên cứu đề xuất lộ trình phát triển hệ thống nhằm tiến tới một giải pháp thiết kế toàn diện hơn. Trước hết, cần mở rộng Cơ sở tri thức để tích hợp các quy tắc tính toán và bố trí cốt thép đai chịu cắt, cũng như xử lý các cấu kiện có tiết diện phức tạp như dầm chữ T và chữ L theo đúng quy định của TCVN 5574:2018.

Về mặt công nghệ, hướng phát triển ưu tiên là xây dựng giao diện lập trình ứng dụng (API) cho phép kết nối trực tiếp với các phần mềm phân tích nội lực phổ biến như ETABS hay SAP2000. Việc này sẽ giúp dữ liệu được luân chuyển khép kín từ khâu phân tích nội lực đến khâu bố trí chi tiết và xuất bản vẽ, hạn chế tối đa sai số do nhập liệu thủ công. Cuối cùng, việc tinh chỉnh mô hình ngôn ngữ lớn để hiểu sâu hơn về ngữ cảnh kỹ thuật xây dựng tại Việt Nam sẽ là chìa khóa để nâng cao độ tin cậy của các đề xuất tối ưu hóa mà hệ thống đưa ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Bộ Xây dựng. (2018). TCVN 5574:2018: Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Nhà xuất bản Xây dựng.

Computers and Structures, Inc. (2023). Modeling assumptions and limitations in ETABS, SAP2000, and SAFE. CSI Documentation.

Hoàng, N. D. (2019). Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong dự đoán tiến độ thi công nhà lắp ghép. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (NUCE)*, 13(3), 45–52.

Luat, N. V., & Lee, J. (2021). Artificial intelligence-based optimization for structural design of reinforced concrete beams. *Journal of Building Engineering*, 44, Article 103254. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103254> (Tài liệu bổ sung về tối ưu hóa AI trong thiết kế dầm).

Mangini, N., Marano, G. C., & Cardellicchio, A. (2022). Knowledge-based systems for the automated design of reinforced concrete structures: A review. *Structures*, 41, 1450–1465. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.05.070> (Tài liệu bổ sung về tổng quan hệ thống KBS).

Nguyen, T. H., & Pham, Q. H. (2020). Automated reinforcement detailing for RC frames using expert systems and BIM. *Automation in Construction*, 118, Article 103282. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103282> (Tài liệu bổ sung về tự động hóa bố trí thép).

Phạm, L. C. (2021). Tính toán tiết diện bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018. Nhà xuất bản Xây dựng. (Tài liệu bổ sung về lý thuyết tính toán theo tiêu chuẩn hiện hành).

Russell, S. J., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson. (Tài liệu bổ sung về nền tảng lý thuyết AI và bộ suy luận).

Sajedi, S., & Liang, X. (2021). Intelligent post-disaster inspection of reinforced concrete bridges using deep learning and knowledge-based systems. *Engineering Structures*, 241, Article 112465. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112465> (Tài liệu bổ sung về kết hợp AI và KBS trong kết cấu).

Tạ, Q. Đ. (2022). Tối ưu hóa hàm lượng cốt thép trong dầm bê tông cốt thép bằng thuật toán di truyền. *Tạp chí Xây dựng*, 645, 32–36. (Tài liệu bổ sung về phương pháp tối ưu hóa tại Việt Nam).

Winston, P. H. (1992). *Artificial Intelligence* (3rd ed.). Addison-Wesley. (Tài liệu kinh điển về Hệ thống tri thức và lập trình logic)