TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI
KHOA CÔNG TRÌNH
BỘ MÔN CẦU HẦM

------****------

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

THIẾT KẾ CẦU VƯỢT TRÊN TUYẾN ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO HÀ NỘI QUẢNG NINH

Giáo viên hướng dẫn : GS.TS. BÙI TIẾN THÀNH

Giáo viên đọc duyệt : TS. NGUYỄN XUÂN LAM

Sinh viên thực hiện : Hà Minh Đức

Phí Đình Sơn

Nguyễn Phương Linh

Lớp : KTXD CTGT Cầu đường bộ 2 - K62

Hà Nội – 2026

LOA THÀNH

LỄ TRAO GIẢI THƯỞNG LOA THÀNH

Lần thứ 38 | Năm 2026

HÀ NỘI | 15.11.2026

CHUYÊN NGÀNH CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG

GIẢI NHẤT

CƠ QUAN BẢO TRỢ: BỘ XÂY DỰNG VIỆT NAM

CƠ QUAN PHỐI HỢP: TRUNG ƯƠNG ĐOÀN TNCS HỒ CHÍ MINH

CƠ QUAN TỔ CHỨC: HỘI KIẾN TRÚC SƯ VIỆT NAM; TỔNG HỘI XÂY DỰNG VIỆT NAM

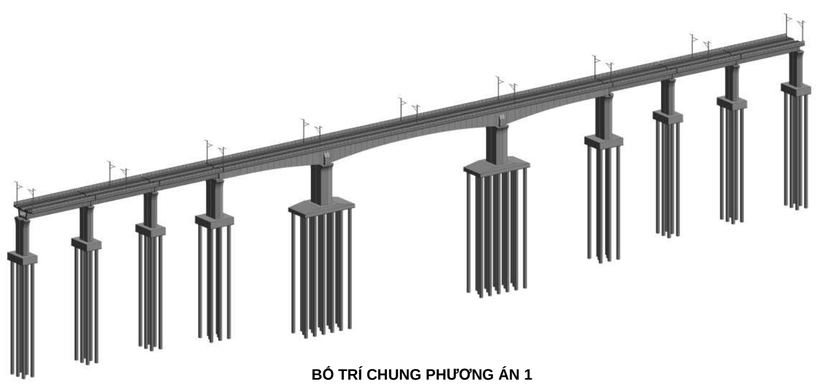
ĐƠN VỊ TÀI TRỢ: KHANG NGUYÊN; TEDI; CONINCO; VIA; VINA2



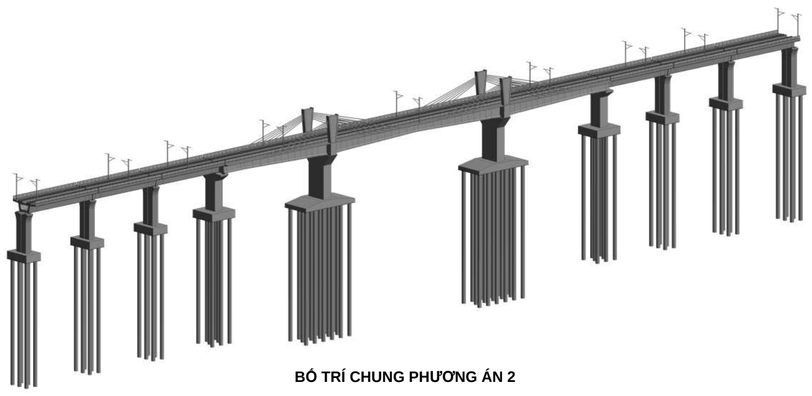
DIỄN HỌA PHƯƠNG ÁN 1 CẦU ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO



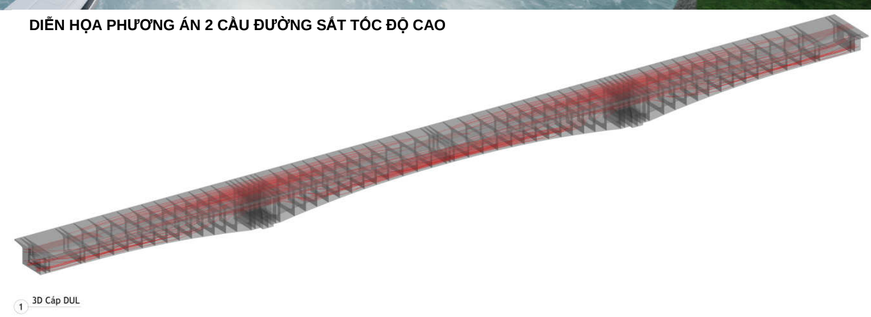
DIỄN HỌA PHƯƠNG ÁN 2 CẦU ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO



BỐ TRÍ CHUNG PHƯƠNG ÁN 1



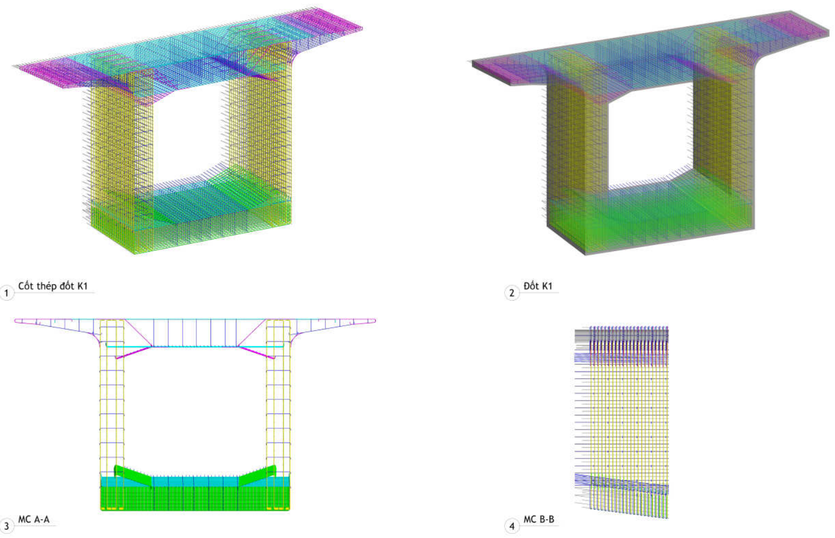
BỐ TRÍ CHUNG PHƯƠNG ÁN 2



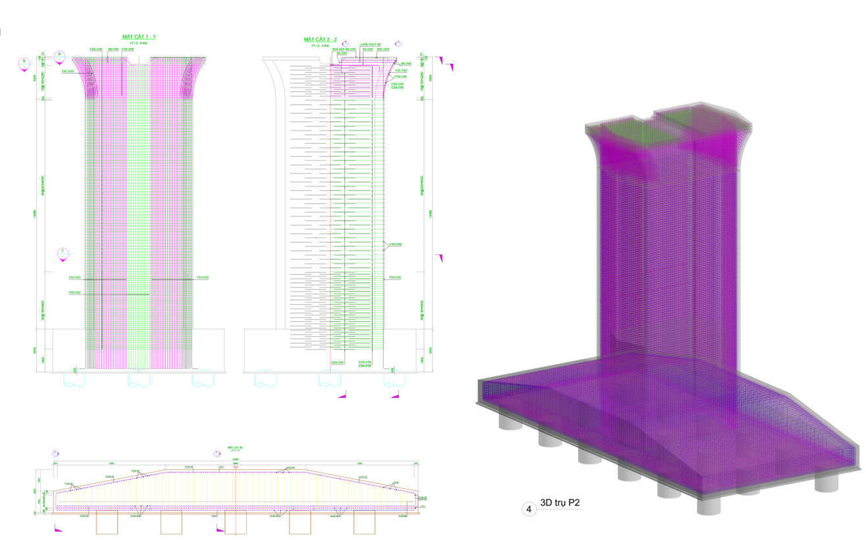
BỐ TRÍ CÁP DỰ ỨNG LỰC CẦU ĐÚC HẪNG



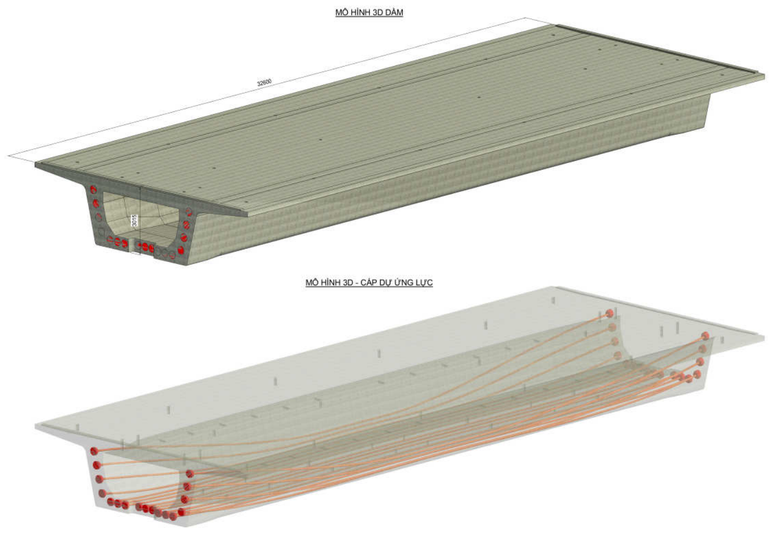
DIỄN HỌA CẦU NHỊP GIẢN ĐƠN



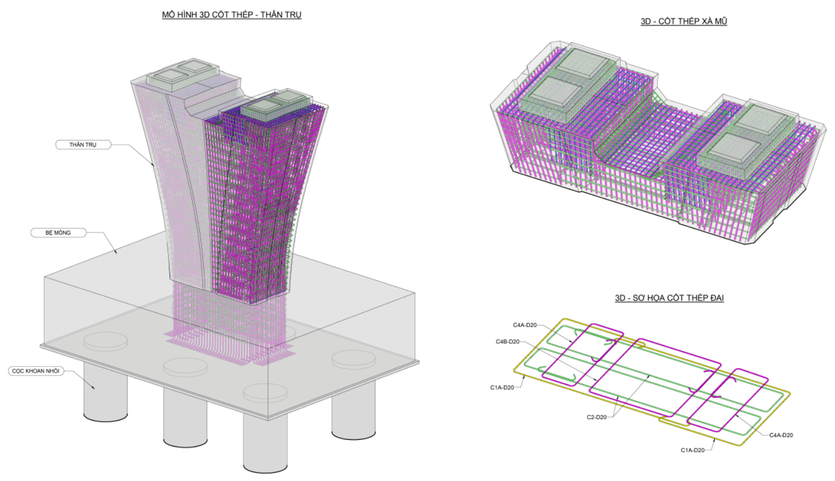
BỐ TRÍ CỐT THÉP ĐỐT K1 CẦU ĐÚC HẪNG



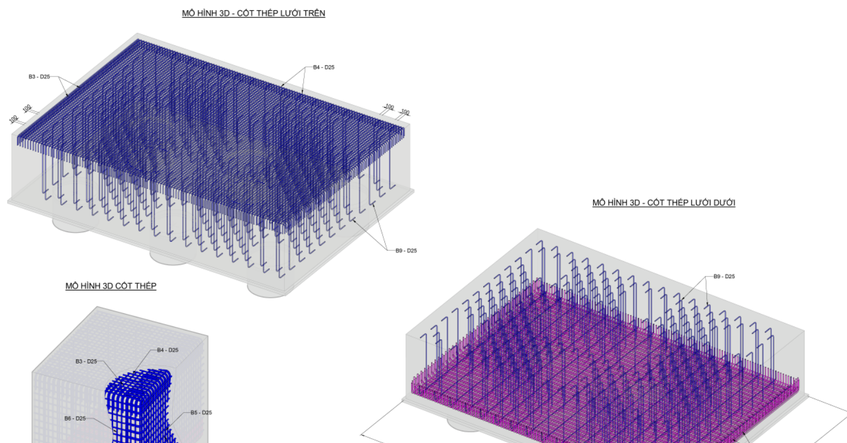
BỐ TRÍ CỐT THÉP TRỤ CẦU ĐÚC HẪNG



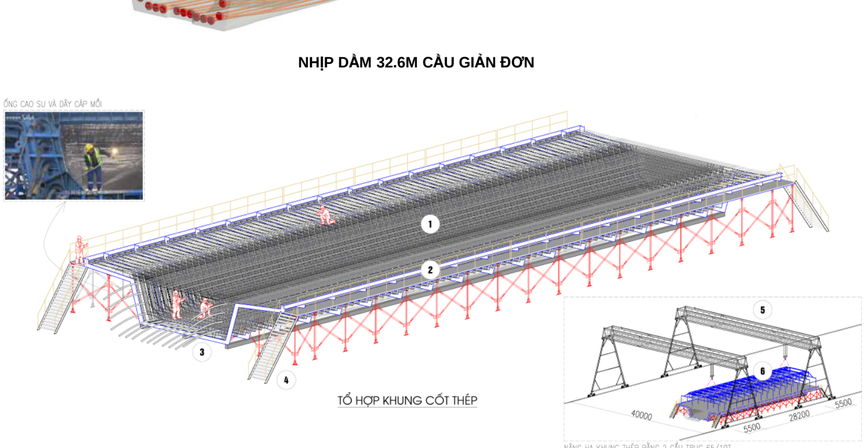
NHỊP DẦM 32.6M CẦU GIẢN ĐƠN



CỐT THÉP TRỤ CẦU GIẢN ĐƠN 32.6M



CỐT THÉP BỆ CẦU GIẢN ĐƠN 32.6M



QUY TRÌNH THỰC HIỆN CÔNG TÁC CỐT THÉP

NGHIỆM THU ĐẦU VÀO	GIA CÔNG THÉP TẠI XƯỞNG	TỔ HỢP KHUNG CỐT THÉP	LẮP ĐẶT HOÀN THIỆN CỐT THÉP	KIỂM TRA VÀ NGHIỆM THU
– NHẬN CỐT THÉP, CÁP THÉP TRÊN XE VẬN TẢI – CẮT THÉP THÍ NGHIỆM, NGHIỆM THU – HẠ HÀNG VÀ XẾP KHO	– GIA CÔNG CỐT THÉP VÀ CÁP THÉP THEO ĐÚNG KÍCH THƯỚC HÌNH HỌC – SẮP XẾP GỌN GÀNG	– VẬN CHUYỂN CỐT THÉP (ĐÃ GIA CÔNG) RA BÃI LẮP DỰNG – LẮP ĐẶT CỐT THÉP TRÊN KHUNG TỔ HỢP – LẮP ĐẶT ỐNG GEN CÁP DỰ ỨNG LỰC	– CẨU ĐẶT KHUNG CỐT THÉP LÊN BỆ VÁN KHUÔN BẰNG 2 CẨU TRỤC 65/10T – LẮP ĐẶT CỐI ĐẦU DẦM – LẮP ĐẶT THÉP TĂNG CƯỜNG THANH CHỐNG, CON KÊ, CÁC CHI TIẾT ĐẶT SẴN...	– KIỂM TRA CHIỀU DÀY LỚP BẢO VỆ – KIỂM TRA HƯ HẠI VÀ CAO ĐỘ ỐNG GEN – NGHIỆM THU TỔNG THỂ

QUY TRÌNH THỰC HIỆP CÔNG TÁC CỐT THÉP CẨU GIẢN ĐƠN 32.6M

KIỂM TOÁN ĐỘNG

Cầu đường sắt tốc độ cao

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Cầu đường sắt tốc độ cao chịu tác dụng của tải trọng đoàn tàu di động, gây ra các hiệu ứng động lực học. Do đó, cần phân tích và kiểm toán chuyển vị, vận tốc, gia tốc nhằm đảm bảo an toàn khai thác ở vận tốc thiết kế 350 km/h.

Ý nghĩa

- Đảm bảo an toàn kết cấu
- Tránh cộng hưởng động
- Đáp ứng tiêu chuẩn EN 1991-2

2 PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH

2.1 Mô hình phân tích
- Sử dụng phần mềm MIDAS Civil
- Mô hình dầm liên tục của cầu
- Khối lượng quy đổi: 140 kN/m

2.2 Phân tích dao động riêng
- Xác định 10 dạng dao động đầu tiên
- Ma trận giảm chấn Rayleigh: α = 0,107515; β = 0,00053543

2.3 Mô phỏng tải trọng đoàn tàu
- Tiêu chuẩn HSLM-A1 (EN 1991-2)
- Vận tốc: 120 km/h và 350 km/h

2.4 Phân tích lịch sử thời gian
- Thời gian tính: 60 giây
- Theo dõi: chuyển vị, vận tốc, gia tốc

Hình 6.3 Mô hình dầm đưa vào tính toán (bằng phần mềm MIDAS)

BIẾN DẠNG CỦA KẾT CẤU Ở MODE DAO ĐỘNG THỨ 10

3 KẾT LUẬN

Giá trị lớn nhất tại v = 350 km/h

Đại lượng	Giá trị	Giới hạn cho phép
Chuyển vị đứng	3,994 mm	52,94 mm (L/1700)
Gia tốc đứng	0,09 m/s²	5,0 m/s²

- Độ võng động: 3,994 mm < 52,94 mm
- Gia tốc đứng: 0,09 m/s² < 5,0 m/s²

Kết luận chung:
Kết cấu thỏa mãn điều kiện kiểm toàn độ võng động và gia tốc đứng theo tiêu chuẩn EN 1991-2.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI KHOA CÔNG TRÌNH BỘ MÔN CẦU HẦM LỚP KỸ SƯ CẦU ĐƯỜNG BỘ 2 - K62	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP HỆ ĐẠI HỌC CHÍNH QUY THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG CÔNG TRÌNH CẦU ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO	HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	CHỮ KÝ		HỌ VÀ TÊN	CHỮ KÝ	HÀ NỘI, NGÀY THÁNG NĂM 2026 BỘ MÔN CẦU HẦM
		HÀ MINH ĐỨC		GVHD	GS.TS. BÙI TIẾN THÀNH		
		PHÍ ĐÌNH SƠN					
		NGUYỄN PHƯƠNG LINH		GVĐD	TS. NGUYỄN XUÂN LAM		

PHẦN 1: GIỚI THIỆU TUYẾN ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO HÀ NỘI - QUẢNG NINH

1.1. Bối cảnh và Tầm quan trọng của dự án

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và sự phát triển không ngừng của nền kinh tế, hạ tầng giao thông vận tải luôn đóng vai trò là "mạch máu" quan trọng, quyết định trực tiếp đến tốc độ tăng trưởng và năng lực cạnh tranh của mỗi quốc gia. Đối mặt với những thách thức về gia tăng dân số, ùn tắc giao thông đường bộ, và đặc biệt là áp lực bảo vệ môi trường hướng tới mục tiêu Net-Zero vào năm 2050, việc chuyển dịch sang các phương thức vận tải hiện đại, bền vững đang trở thành yêu cầu cấp thiết đối với Việt Nam.

Đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) nổi lên như một giải pháp mang tính chiến lược và đột phá. Với những ưu điểm vượt trội như tốc độ di chuyển cực nhanh (lên tới 350km/h), năng lực vận tải khối lượng lớn, độ an toàn tuyệt đối và mức độ phát thải khí nhà kính thấp, hệ thống ĐSTĐC không chỉ giải quyết bài toán rút ngắn thời gian đi lại mà còn tạo ra những hành lang kinh tế mới, thúc đẩy giao thương và phát triển đô thị dọc tuyến.

Dự án đường sắt tốc độ cao Hà Nội – Quảng Ninh có quy mô lớn, dài khoảng 120,2km**,** tổng mức đầu tư dự kiến hơn 147.000 tỷ đồng, đi qua Hà Nội, Bắc Ninh, Hải Phòng và Quảng Ninh. Tuyến được thiết kế đường đôi, khổ ray 1.435 mm, điện khí hóa, vận tốc tối đa 350 km/h ngoài đô thị và 120 km/h tại Hà Nội.

Dự án dự kiến sử dụng tàu cao tốc Velaro Novo của Siemens Mobility, đồng thời xây dựng 4 nhà ga trên cao và 1 depot, nhằm rút ngắn thời gian di chuyển Hà Nội – Quảng Ninh xuống khoảng 23 phút.

1.2. Tiêu chuẩn thiết kế

1.2.1 Tiêu chuẩn sử dụng

- Thiết kế cầu đường sắt khổ 1435 mm, vận tốc đến 350 km/h: TCVN 13594-2022
- Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế: TCVN 2737-2023

- Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ: TCVN 11823-2017
- Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế: TCVN 10304:2025
- Tổ chức thi công: TCVN 4055:2012

1.2.2 Các nguyên tắc thiết kế

- Công trình được thiết kế vĩnh cửu, có kết cấu thanh thoát phù hợp với quy mô của tuyến
- Đáp ứng được yêu cầu quy hoạch, phân tích tương lai của tuyến đường.
- Thời gian thi công ngắn.
- Thuận tiện cho công tác duy tu bảo dưỡng.
- Giá thành xây dựng thấp.

1.2.3 Quy mô xây dựng

- Công trình cầu vĩnh cửu có tuổi thọ 100 năm.
- Đường sắt tốc độ cao vận tốc thiết kế V_{tk} = 350 km/h.

1.2.4 Tải trọng thiết kế

a) Sử dụng cấp tải trọng theo quy trình thiết kế cầu : TCVN 13594-2022

Hoạt tải thiết kế : LM71, SW/0, HSLM, SW/2

b) Hệ số tải trọng

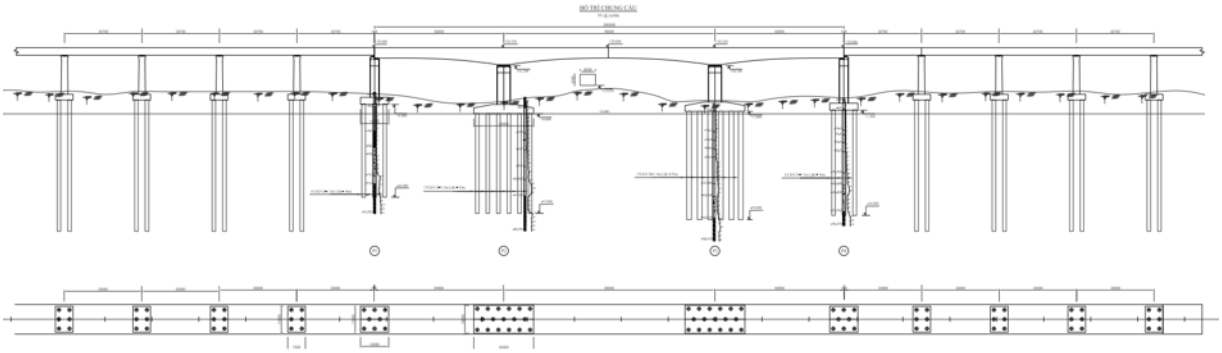
- Tĩnh tải DC : γ_{DC} = 1,35
- Tĩnh tải DW : γ_{DW} = 1,35
- Hoạt tải LL : γ_{LL} = 1,45

c) Hệ số động (hệ số xung kích) :

IM = 1+ 33/100 = 1.33

PHẦN 2: TỔNG QUAN HAI PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ VÀ SO SÁNH LỰA CHỌN GIỮA HAI PHƯƠNG ÁN

2.1. Giới thiệu Phương án 1: Cầu nhịp liên tục đúc hẫng cân bằng



Bố trí chung phương án cầu

Phương pháp đúc hẫng cân bằng là quá trình xây dựng kết cấu nhịp dần từng đốt theo sơ đồ hẫng từ trụ đối xứng ra 2 phía cho tới khi nối liền thành kết cấu nhịp hoàn chỉnh. Trong đồ án này, cầu được bố trí theo sơ đồ nhịp (55 + 90 + 55)m, là dầm liên tục 3 nhịp tiết diện hình hộp vách thẳng đứng.

Kích thước cơ bản:

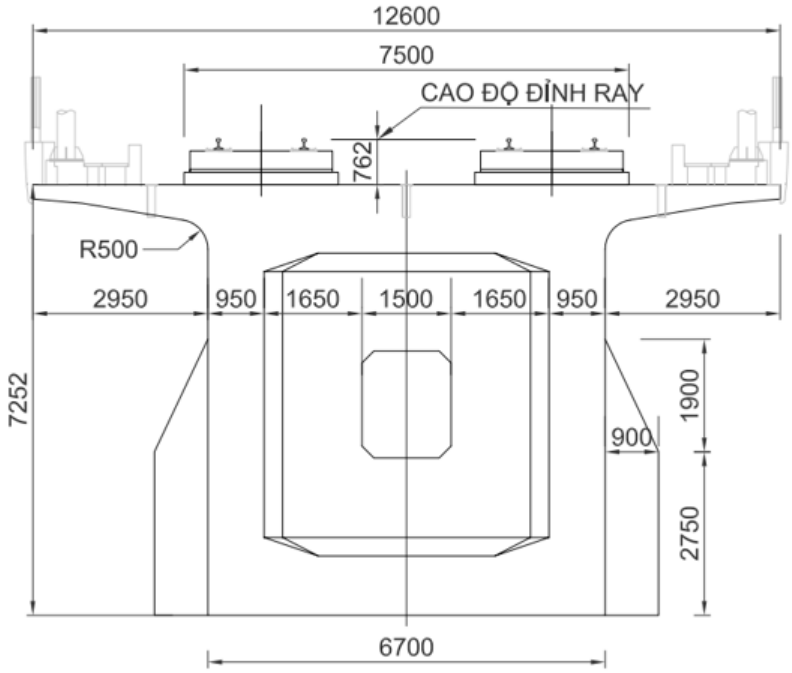
Chiều cao hộp trên đỉnh trụ H = 7,252m; Chiều cao hộp tại mặt cắt giữa nhịp H = 4,352m; Bề rộng đáy dầm hộp Bđáy = 6,700m. Cao độ đáy dầm thay đổi theo đường cong Parabol bậc 2 nhằm tối ưu hóa sự phân bố nội lực và đảm bảo mỹ quan.

Bề rộng tổng cộng của mặt cắt ngang cầu là 12.6m, bố trí như sau:

- khổ ray: 1435 (mm)
- Khoảng cách giữa 2 tim cầu ray: 4900 (mm)
- Bề rộng gờ chắn bánh: B_{gochan} = 1954 (mm)
- Khoảng cách từ tim cầu ray đến mép ngoài của dầm: 3850mm

MẶT CẮT NGANG TRỤ CHÍNH

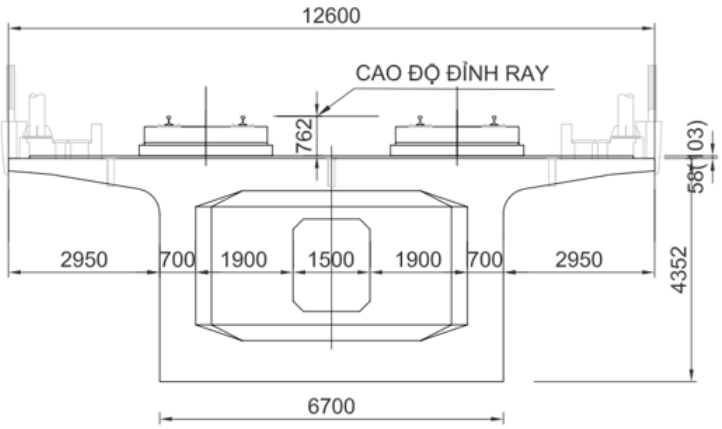
(TỶ LỆ 1:200)

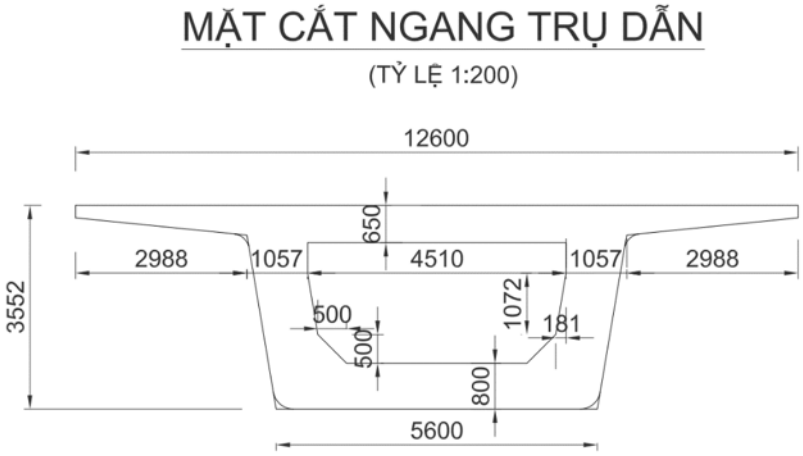


Mặt cắt ngang trụ chính

MẶT CẮT NGANG TRỤ CHUYỂN TIẾP

(TỶ LỆ 1:200)



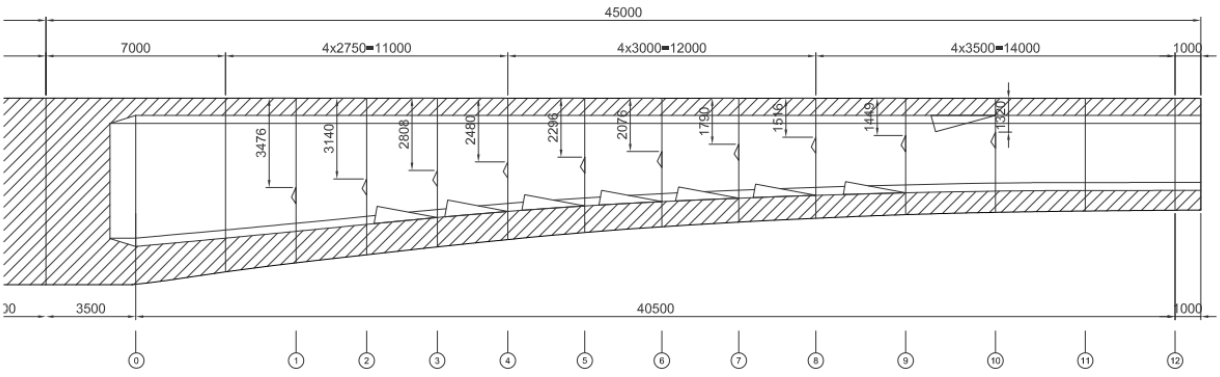


Mặt cắt ngang cầu nhịp dẫn

Công tác chia đốt dầm tùy thuộc vào năng lực của xe đúc và được chia như sau:

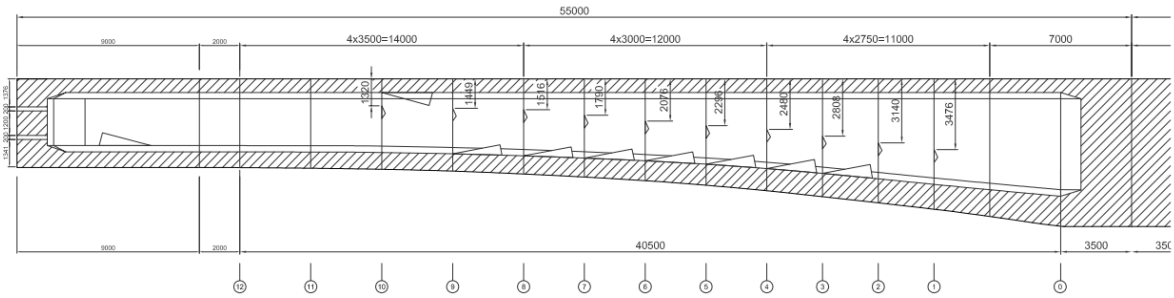
- Đốt trên đỉnh trụ K0 có chiều dài 14m.
- Số đốt trung gian: n =12 đốt, chiều dài mỗi đốt (4x2.75m + 4x3m + 4x3.5m)
- Đốt hợp long nhịp nhịp biên, nhip giữa có chiều dài2m.
- Đốt đúc trên đà giáo nhịp biên có chiều dài 9m.
- <u>Sơ đồ phân chia các đốt đúc</u>:

+ Phân chia các đốt đúc nhịp giữa:



Sơ đồ phân chia các đốt nhịp giữa

+ Phân chia các đốt đúc nhịp biên:



Sơ đồ phân chia các đốt nhịp biên

Nội lực tại các mặt cắt được tính toán qua 2 giai đoạn: giai đoạn thi công và giai đoạn khai thác.

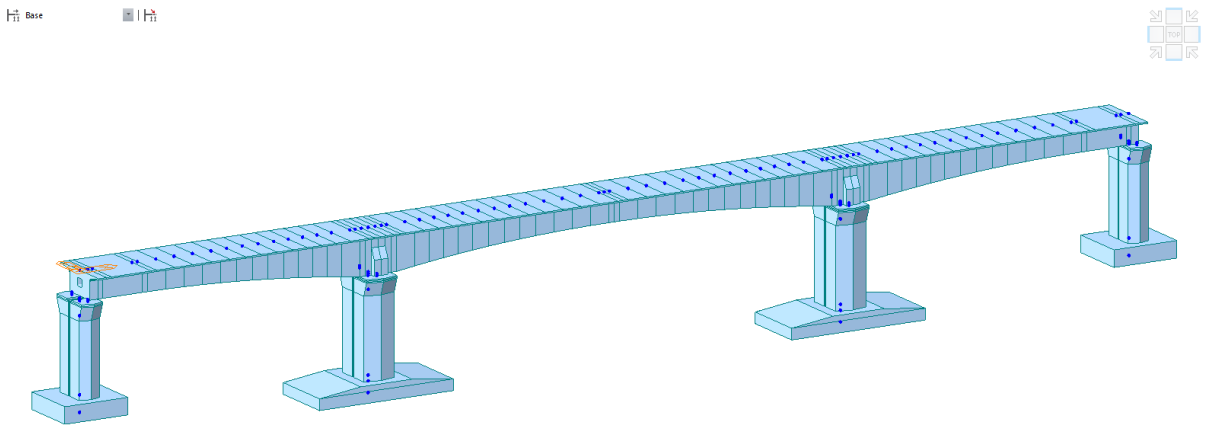
- Giai đoạn thi công:

+ Sơ đồ 1: Giai đoạn đúc hẫng đối xứng qua đốt đúc đỉnh trụ.
+ Sơ đồ 2: Giai đoạn hợp long nhịp biên và bê tông chưa đông cứng
+ Sơ đồ 3: Giai đoạn hợp long biên và bê tông đã đông cứng
+ Sơ đồ 4: Hợp long nhịp giữa

- Giai đoạn khai thác:

+ Sơ đồ 5: Dỡ bỏ tải trọng xe đúc
+ Sơ đồ 6: Sơ đồ dầm chịu hoạt tải + tĩnh tải giai đoạn 2

Nội lực tại các mặt cắt được tính thông qua chương trình MIDAS 2022. (thuyết minh)

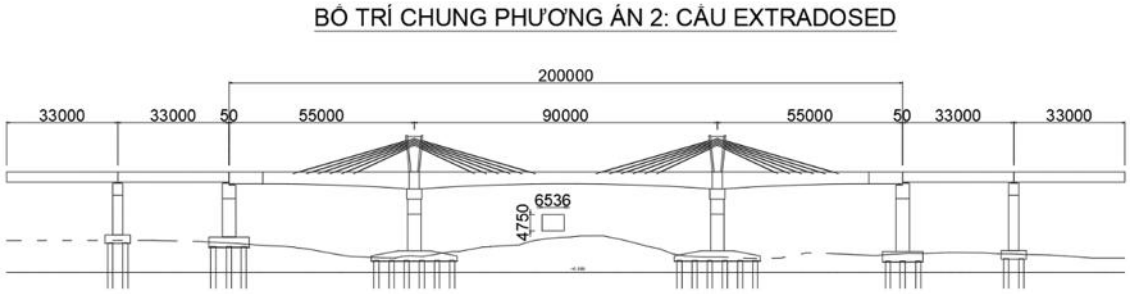


Mô hình dầm đưa vào tính toán

Vật liệu: Sử dụng bê tông mác cao C50 (fc = 50 MPa) và cốt thép dự ứng lực cường độ cao ASTM A416M Grade 270 (loại 19 tao 15.2mm, fpu = 1860 MPa).

Ưu điểm: độ cứng chống uốn của hệ cực kỳ tốt. Với chiều cao dầm tại đỉnh trụ lớn (hơn 7,2m), mặt cắt ngang dầm hộp sở hữu mômen quán tính khổng lồ. Độ cứng uốn cao giúp kết cấu dầm có khả năng tự kháng uốn hiệu quả, dễ dàng khống chế độ võng thẳng đứng tối đa (δmax ≤ L/1700) dưới tác dụng của tải trọng động từ đoàn tàu chạy 350km/h. Hơn nữa, toàn bộ cáp DƯL nằm hoàn toàn trong bê tông, không bị ảnh hưởng bởi chênh lệch nhiệt độ môi trường, duy trì sự ổn định tuyệt đối cho hệ ray hàn liền.

2.2. Giới thiệu Phương án 2: Cầu Extradosed



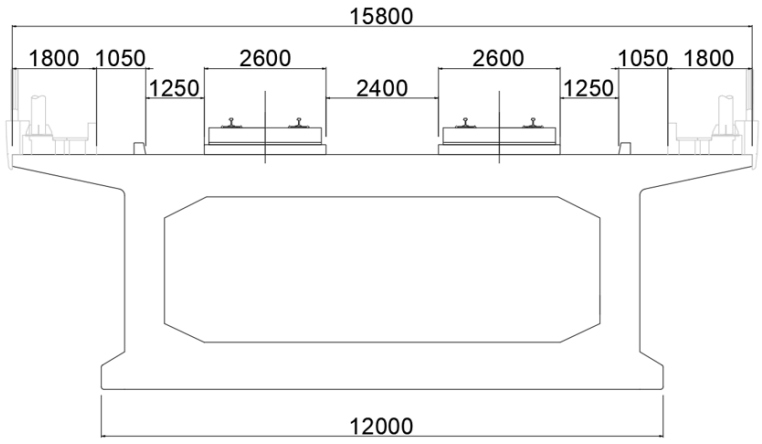
Bố trí chung phương án cầu Extradosed

Cầu Extradosed là một dạng kết cấu lai kết hợp giữa cầu dầm liên tục và cầu dây văng. Phương án này cũng sử dụng sơ đồ nhịp (55 + 90 + 55)m nhưng chiều cao dầm chủ được giảm xuống đáng kể: H = 5,0m tại đỉnh trụ và H = 3,5m tại giữa nhịp. Sự thiếu hụt độ cứng của dầm được bù đắp bằng hệ thống tháp (cao 10,5m) và các bó cáp văng ngoài (extradosed cables).

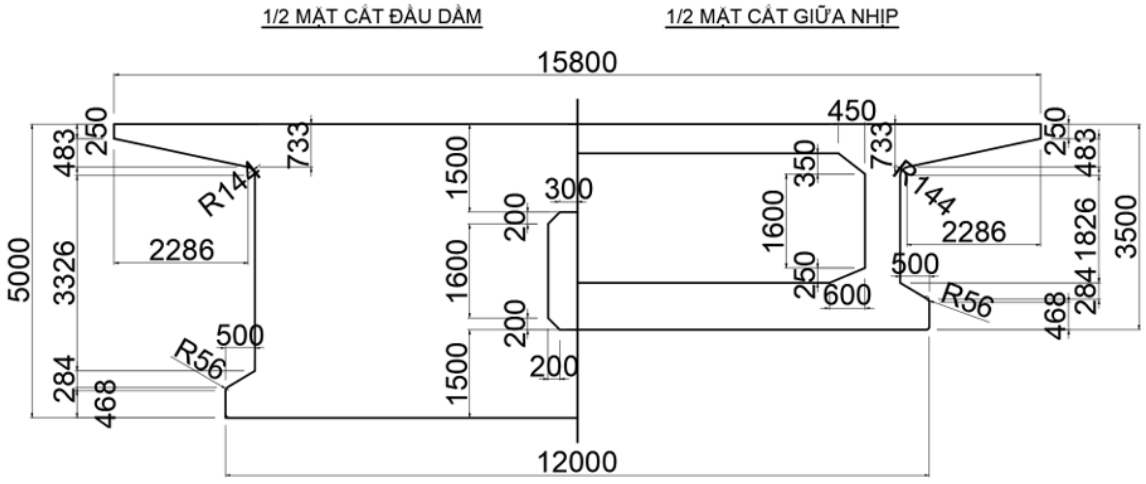
Mặt cắt ngang cầu

- Bề rộng tổng cộng của mặt cắt ngang phần cầu chính là 15.8m được bố trí như sau:
- Bề rộng bản bê tông đặt ray: $B_{\text{bản bê tông}} = 2.6 \times 2 = 5.2$ (m)
- Khoảng cách an toàn giữa 2 tàu: $B_{\text{an toàn 1}} = 2.4$ (m)
- Khoảng cách an toàn giữa tàu và tháp: $B_{\text{an toàn 2}} = 1.25 \times 2 = 2.5$ (m)
- Khoảng cách tĩnh không tháp: $b_{\text{tháp}} = 1.05 \times 2 = 2.1$ (m)
- Bề rộng kết cầu phụ trợ (tường phòng hộ, tường chống ồn, lan can, …): $B_{\text{kcpt}} = 1.8$

x 2 = 3.6 (m)



Mặt cắt ngang cầu



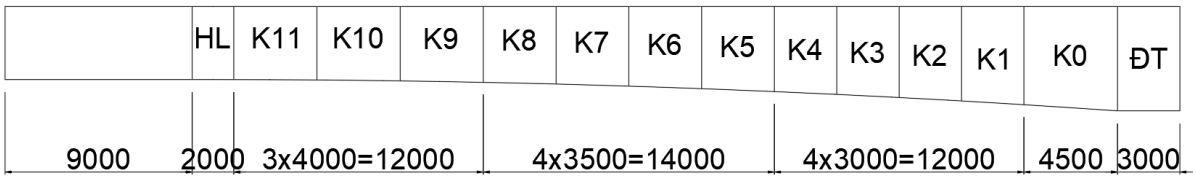
Cấu tạo mặt cắt ngang dầm chủ

Chia đốt dầm sao cho phù hợp với khả năng của xe đúc. Ta chia đốt dầm như sau:

- Đốt K0 có chiều dài 12m.
- Đốt từ K1 đến K4 có chiều dai 3m.
- Đốt từ K5 đến K8 có chiều dài 3.5m.
- Đốt từ K9 đến K11 có chiều dài 4m.
- Đốt hợp long có chiều 2m.
- Đốt trên đà giáo có chiều dài 9m.
- Sơ đồ phân chia đốt đúc:



Sơ đồ phân chia đốt đúc



Sơ đồ phân chia đốt đúc nhịp biên

Các sơ đồ tính toán nội lực qua các giai đoạn thi công:

+ Sơ đồ 1: Thi công bằng phương pháp đúc hẫng cân bằng và căng cáp

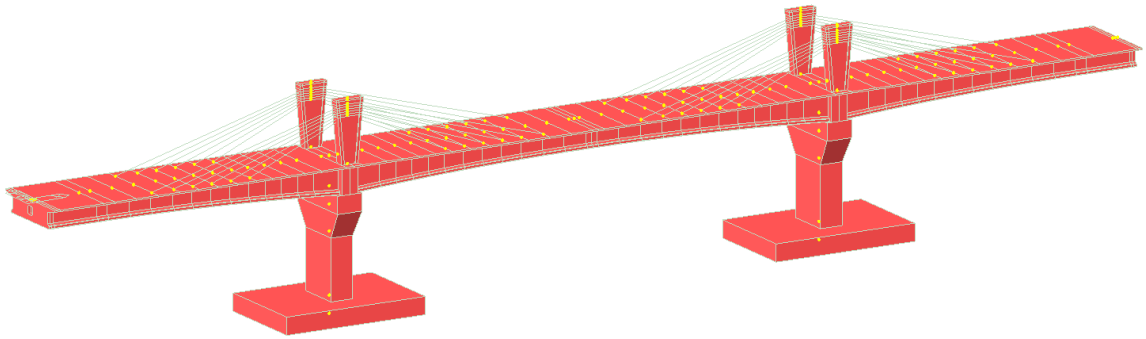
+ Sơ đồ 2: Thi công đoạn dầm trên đà giáo và hợp long nhịp biên.

+ Sơ đồ 3: Thi công hợp long nhịp giữa.

+ Sơ đồ 4: Dỡ bỏ tải trọng thi công.

+ Sơ đồ 5: Thi công tĩnh tải giai đoạn II

+ Sơ đồ 6: Chịu hoạt tải khai thác.



Mô hình kết cấu bằng Midas

Ưu điểm: Giảm trọng lượng tĩnh tải của dầm chủ truyền xuống bệ móng, hình dáng kiến trúc hiện đại, thanh thoát, mang tính biểu tượng cao.

Nhược điểm đối với ĐSTĐC: Sự giảm chiều cao dầm khiến độ cứng uốn tự thân của dầm giảm đi. Hệ cáp văng ngoài lộ thiên dễ bị biến dạng giãn nở do bức xạ mặt trời và

chênh lệch nhiệt độ, gây ra sự thay đổi lực căng cáp và tạo ra các biến dạng cưỡng bức thẳng đứng trên mặt cầu. Biến dạng này là rủi ro chí mạng đối với độ bằng phẳng của đường ray không đá ballast (Slab track). Hơn nữa, chi phí thi công cao do phải nhập khẩu hệ cáp neo ngoài chuyên dụng.

2.3. So sánh và lựa chọn 2 phương án

Nghiên cứu so sánh đa tiêu chí một cách hệ thống chỉ ra rằng, mặc dù cầu phương án 2 extradosed mang lại những giá trị thẩm mỹ kiến trúc hiện đại vô cùng ấn tượng, nhưng lại bộc lộ những nhược điểm về mặt chi phí đầu tư, độ nhạy cảm nhiệt độ ảnh hưởng đến độ phẳng hình học của ray đường sắt tốc độ cao, độ phức tạp trong công nghệ thi công và sự kéo dài tiến độ xây dựng.

Đối với một dự án đường sắt tốc độ cao vận tốc thiết kế 350 km/h, yêu cầu về độ ổn định hình học, độ cứng kết cấu vững chắc để triệt tiêu dao động thẳng đứng và tính hiệu quả kinh tế luôn phải được đặt lên hàng đầu. Do đó, việc lựa chọn phương án 1 (Cầu dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực liên tục đúc hẫng cân bằng) là hoàn toàn hợp lý, khoa học và mang tính khả thi thực tế cao nhất cho bước lựa chọn phương án thiết kế.

PHẦN 3: TÍNH TOÁN KỸ THUẬT CHI TIẾT PHƯƠNG ÁN CẦU DẦM HỘP ĐÚC HẪNG CÂN BẰNG (55 + 90 + 55M)

3.1. Sơ lược về phương án kỹ thuật

Toàn cầu có chiều dài L = 200m. Cầu được thiết kế cho đường sắt tốc độ cao với.

Tải trọng thiết kế: LM71, HSLM A

Tĩnh không thông xe dưới cầu: B=6.536m, H=4.75m

Tiêu chuẩn thiết kế:

- Thiết kế cầu đường sắt khổ 1435 mm, vận tốc đến 350 km/h: TCVN 13594-2022
- Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế: TCVN 2737-2023
- Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ: TCVN 11823-2017
- Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế: TCVN 10304:2025
- Tổ chức thi công: TCVN 4055:2012

Cầu được bố trí theo sơ đồ: 33 + 55 + 90 + 55 + 33 (m)

Chiều dài toàn cầu: L = 200m.

Cầu gồm 4 trụ T1,T2,T3,T4 và các trụ dẫn.

Để vượt khẩu độ nhịp chính 90m, chiều cao dầm được thay đổi liên tục nhằm tối ưu hóa vật liệu, tập trung độ cứng tại đỉnh trụ (nơi có momen âm lớn nhất) và giảm nhẹ trọng lượng ở giữa nhịp.

Sườn dầm có chiều dày thay đổi từ 950mm tại mặt cắt S1* đến 700mm tại mặt cắt hợp long. Bản nắp hộp có chiều dày thay đổi từ 1152mm tại mặt cắt S1* đến 632mm tại mặt cắt hợp long.

Tương tự bản đáy cũng thay đổi chiều dày từ 1000mm tại mặt cắt S1* đến 800mm tại mặt cắt hợp long.

Quá trình thi công hẫng được chia thành 12 đốt đúc cho mỗi cánh hẫng (K1 đến K12) với chiều dài thay đổi từ 2.75m đến 3.5m tùy thuộc vào khả năng chịu tải của xe đúc (trọng lượng xe đúc Pxđ = 1800 kN). Đốt K0 trên đỉnh trụ có chiều dài 14m. Hợp long nhịp biên và nhịp giữa có chiều dài 2m.

3.2. Tính toán Nội lực Dầm chủ theo các Giai đoạn

Quá trình thi công cầu đúc hẫng làm thay đổi liên tục sơ đồ kết cấu. Phần mềm Midas Civil được sử dụng để phân tích theo nguyên lý cộng tác dụng qua các sơ đồ:

- Giai đoạn thi công (Sơ đồ 1 đến Sơ đồ 4): Từ sơ đồ hệ ngàm tĩnh định dạng khung T khi đúc hẫng, chuyển sang hệ dầm liên tục khi hợp long.

- Giai đoạn khai thác (Sơ đồ 5 và 6): Dầm chịu tĩnh tải phần II (gờ chắn bánh, tấm bản CRTS III, ray PC60, tường chống ồn) và hoạt tải.

3.2.1. Phân tích Hoạt tải (Theo TCVN 13594:2022)

Các tổ hợp hoạt tải tiêu chuẩn được xét bao gồm:

1. Mô hình LM71: Gồm 4 trục tập trung, mỗi trục 250kN, cách nhau 1.6m, kèm theo dải tải phân bố 80kN/m.

2. Mô hình SW/0: Dành cho tàu hàng nặng, tải cực trị cục bộ 250kN/trục.

3. HSLM-A1: Mô hình đoàn tàu cao tốc.

Hệ số động lực học (IM) áp dụng cho phân tích tĩnh của ĐSTĐC với chất lượng bảo trì cẩn thận được tính toán chặt chẽ, lấy IM = 1.33.

Bảng 1: Tổng hợp Nội lực (Mômen) tại mặt cắt đỉnh trụ trong giai đoạn khai thác

Tổ hợp tải trọng	Mômen uốn cực đại Mu (kN.m)
Tĩnh tải GĐ2 + Hoạt tải LM71	-979.463,9
Tĩnh tải GĐ2 + Hoạt tải SW/0	-919.203,8
Tĩnh tải GĐ2 + HSLM-A1	-872.129,3
Tĩnh tải GĐ2 + Đoàn tàu rỗng	-850.187,6

Như vậy, tổ hợp gây bất lợi nhất cho mặt cắt đỉnh trụ là Tĩnh tải GĐ2 + LM71 với giá trị Momen âm cực đại Mu = -979.463,9 kN.m. Tại mặt cắt giữa nhịp, Momen dương cực đại là Mu = 14.711,8 kN.m.

3.3. Thiết kế và Bố trí Cốt thép Dự ứng lực (DƯL)

Sử dụng cáp DƯL ASTM A416M Grade 270, bó 12 hoặc 19 tao 15.2mm. Cường độ kéo đứt fpu = 1860 MPa.

Dựa vào phương trình cân bằng theo TTGH Cường độ I, diện tích cáp cần thiết Aps được tính:

$$Aps = Mu / (\Phi \times 0.95 \times fpu \times 0.9 \times H)$$

Tại đỉnh trụ (chịu momen âm lớn nhất), với Mu = 979.463,9 kN.m và H = 7.252m. Tính toán yêu cầu Aps = 84.928,13 mm2. Tiến hành bố trí 54 bó cáp 12 tao (tổng diện tích 90.720 mm2) phân bố đều trên bản nắp hộp dầm.

Tại giữa nhịp (chịu momen dương lớn nhất), với Mu = 14.711,8 kN.m và H = 4.352m. Yêu cầu Aps = 2.125,68 mm2. Bố trí 4 bó cáp (tổng diện tích 6.720 mm2) ở khu vực bản đáy hộp.

3.4. Kiểm toán Sức kháng uốn của Dầm chủ (TTGH Cường độ)

Mặt cắt hộp được quy đổi về mặt cắt chữ T tương đương để tính toán sức kháng uốn danh định Mn. Chiều dày bản cánh trên quy đổi b_trên = 888mm, bản cánh dưới b_dưới = 1130mm, sườn dầm b_bụng = 1900mm.

Xác định vị trí trục trung hòa c:

$$c = (Aps \times fpu) / (\alpha 1 \times \beta 1 \times f'c \times b + k \times Aps \times fpu / dp)$$

Với f'c = 50 MPa, hệ số khối ứng suất β1 = 0.693. Tính toán cho thấy trục trung hòa c = 827.58 mm < 1130 mm, do đó trục trung hòa nằm trong phạm vi bản nắp chịu nén. Giả thiết mặt cắt làm việc như tiết diện chữ nhật rộng b là chính xác.

Sức kháng uốn danh định:

$$Mn = Aps \times fps \times (dp - a/2) = 1.128.905\ kN.m$$

Áp dụng hệ số sức kháng Φ = 1.0, ta có Mr = 1.128.905 kN.m > Mu = 979.463,9 kN.m. Điều kiện cường độ hoàn toàn ĐẠT.

3.5. Kiểm toán Mất mát ứng suất và Ứng suất bê tông (TTGH Sử dụng)

Ứng suất hữu hiệu trong cáp DƯL đóng vai trò quan trọng trong việc khống chế vết nứt bê tông dưới hoạt tải tàu. Mất mát ứng suất bao gồm:

1. Mất mát tức thời:

- Ma sát cáp: $\Delta P(x) = Pmax [1 - exp(-(\mu\theta + kx))]$. Với $\mu = 0.19$, $k = 0.01$ rad/m.

- Tụt nêm neo: Độ tụt neo Lset = 6mm, gây mất mát khu vực đầu neo khoảng 71.7 MPa.

- Co ngắn đàn hồi bê tông: Do các bó cáp được căng tuần tự, các bó căng trước sẽ bị mất ứng suất khi bê tông bị nén bởi các bó căng sau. Tính toán cho thấy mất mát này từ 9.5 MPa đến 18.3 MPa tùy vị trí.

2. Mất mát dài hạn (Theo mô hình CEB-FIP / Eurocode):

- Từ biến (Creep): Hệ số từ biến tính toán ở thời điểm $t = \infty$ là $\varphi(t,t0) = 1.720$.

- Co ngót (Shrinkage): Tổng biến dạng co ngót $\varepsilon cs = 0.000299$ (bao gồm co ngót khô và tự sinh).

- Tự chùng cáp (Relaxation): Áp dụng cho thép Low-Relaxation sau 500,000 giờ, tổn hao 61.77 MPa.

Tổng mất mát dài hạn dao động quanh mức 95 - 98 MPa. Ứng suất còn lại trong cáp đảm bảo dầm luôn trong trạng thái nén toàn bộ mặt cắt (Fully prestressed), ứng suất nén bê tông lớn nhất xấp xỉ 7.03 MPa, thấp hơn nhiều so với giới hạn nén cho phép 0.6 f'c = 30 MPa. Không có ứng suất kéo xuất hiện tại thớ dưới ở giữa nhịp. Kết cấu ĐẠT trạng thái giới hạn sử dụng.

3.6. Phân tích Động lực học (Dynamic Analysis) - Tính chất cốt lõi của ĐSTĐC

3.6.1. Cơ sở lý thuyết và Ma trận Khối lượng - Độ cứng

Đối với cầu vận tốc 350km/h, phân tích động là bắt buộc. Phương trình chuyển động tổng quát của hệ nhiều bậc tự do:

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{u'(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{F(t)\}$$

Trong đó ma trận cản [C] được xây dựng theo mô hình cản Rayleigh: [C] = α[M] + β[K]. Dựa trên tiêu chuẩn cầu bê tông dự ứng lực (EN 1991-2), hệ số cản tới hạn ξ = 1.0% được sử dụng. Phân tích Eigenvalue (Modal Analysis) bằng MIDAS Civil trích xuất 10 dạng dao động (mode shapes) cơ bản đầu tiên của cầu.

Bảng 2: Tần số và Chu kỳ dao động riêng của cầu

Mode	Tần số f (Hz)	Tần số góc ω (rad/s)	Kiểu dao động (Shape)
1	1.036	6.511	Uốn dọc nhịp chính
2	1.637	10.285	Uốn ngang tổng thể
3	2.541	15.965	Uốn dọc nhịp biên
10	4.908	30.842	Xoắn hỗn hợp

Từ ω1 và ω10, hệ số cản Rayleigh được tính toán: α = 0.1075 và β = 0.000535.

3.6.2. Phân tích Lịch sử Thời gian (Time-History) với đoàn tàu HSLM

Đoàn tàu HSLM-A1 được mô phỏng chạy qua cầu với các bước vận tốc từ 120 km/h đến 350 km/h. Tải trọng được mô hình hóa thành chuỗi các lực tập trung di động dọc theo các phần tử dầm. Các thông số phản ứng cực đại (gia tốc, vận tốc, chuyển vị) được trích xuất tại điểm giữa nhịp chính 90m.

Tải trọng - Vận tốc	Độ võng động (mm)	Vận tốc m/s	Gia tốc đứng m/s2
HSLM A1 - 120km/h	-2.733	0.0028	0.025
HSLM A1 - 350km/h	-3.994	0.0147	0.090

3.6.3. Đánh giá tiêu chuẩn an toàn chạy tàu

- Giới hạn độ võng thẳng đứng: Theo tiêu chuẩn, δ_gh = L / 1700 = 90000 / 1700 = 52.94 mm. Giá trị tính toán lớn nhất là δ_max = 3.994 mm << 52.94 mm. Đạt.

- Giới hạn gia tốc mặt cầu: Đối với đường ray Slab track (không đá ballast), gia tốc đứng cho phép là a_gh = 5.0 m/s2 nhằm đảm bảo không phá vỡ liên kết bắt giữ ray và giữ êm thuận cho hành khách. Giá trị phân tích đạt a_max = 0.09 m/s2 << 5.0 m/s2. Đạt.

Kết luận: Kết cấu dầm hộp đúc hẫng nhịp 90m sở hữu khối lượng và độ cứng, hoạt động cực kỳ ổn định, không có dấu hiệu khuếch đại cộng hưởng nguy hiểm tại dải vận tốc 350km/h.

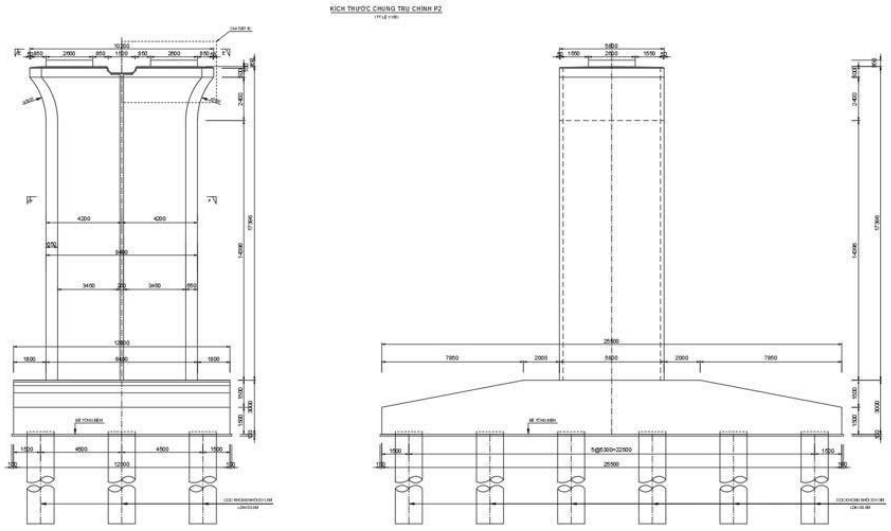
3.7. Thiết kế Trụ cầu và Móng cọc

3.7.1. Cấu tạo và Tải trọng lên trụ

Trụ chính (P2) là loại trụ thân đặc bằng bê tông C35. Kích thước thân trụ Bngang = 8.4m, Bdọc = 5.8m, chiều cao H = 14.39m. Trọng lượng tĩnh bản thân trụ xấp xỉ 17.782 kN, bệ móng xấp xỉ 18.252 kN.

Tổng tổ hợp lực thẳng đứng lớn nhất tác dụng xuống đáy bệ móng (bao gồm phản lực từ dầm do tải trọng LM71 + tĩnh tải + trọng lượng trụ bệ nhân hệ số vượt tải 1.35) là Pu = 202.966 kN.

Tải trọng gió (Khí động học): Với độ cao z = 14.3m, áp lực gió tính toán q_p = 792.5 Pa. Gây ra lực đẩy ngang 127.3 kN và dọc cầu 187.0 kN. Cấu trúc trụ thân đặc hoàn toàn đủ khả năng chống lại lực cắt và momen uốn tại ngàm bệ do gió và động đất (phổ thiết kế) gây ra.



3.7.2. Kiểm toán móng cọc khoan nhồi

Để chịu tải trọng thẳng đứng 202.966 kN và các momen lật, móng bệ được thiết kế với hệ cọc khoan nhồi đường kính D = 1.5m, chiều dài cọc L = 55m cắm vào lớp cát lẫn bụi trạng thái chặt (Lớp 7).

Sức kháng của cọc được kiểm toán theo 2 điều kiện:

- Điều kiện vật liệu (Bê tông cọc C30): R_vl = 37.488 kN.

- Điều kiện đất nền (Theo phương pháp tĩnh α): Sức kháng ma sát thành bên R_s = 9.424 kN, sức kháng mũi R_p = 1.716 kN. Tổng sức kháng cực hạn R_r = 10.111 kN.

Số lượng cọc yêu cầu: N = (1.5 × 202.966) / 10.111 = 30.1 cọc. Tiến hành bố trí sơ đồ 35 cọc (5 hàng x 7 cột) dưới mỗi bệ móng trụ chính, đảm bảo hệ số an toàn cao cho công trình ĐSTĐC.

PHẦN 4: ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ BIM CHO THIẾT KẾ

1. Quy trinh ứng dụng BIM trong đồ án thiết kế:

Bước 1: Xây dựng mô hình hình học

Dựa trên các thông số thiết kế đã xác định, mô hình ba chiều của công trình được xây dựng bao gồm:

- Dầm chủ;
- Bản mặt cầu;
- Trụ cầu;
- Mố cầu;
- Hệ móng;
- Đường ray;
- Gối cầu;
- Các cấu kiện phụ trợ.

Mô hình được xây dựng theo đúng kích thước thực tế, đảm bảo phản ánh đầy đủ hình học của công trình.

Bước 2: Gắn thông tin kỹ thuật

Sau khi hoàn thiện hình học, các thông tin kỹ thuật được bổ sung vào từng cấu kiện như:

- Mác bê tông;
- Loại cốt thép;
- Cáp dự ứng lực;
- Khối lượng vật liệu;
- Cao độ thiết kế;
- Thông số kỹ thuật khai thác.

Việc tích hợp dữ liệu giúp mô hình BIM không chỉ thể hiện hình dạng công trình mà còn trở thành cơ sở dữ liệu số phục vụ công tác quản lý.

Bước 3: Kiểm tra và phối hợp mô hình

Thông qua môi trường BIM, các thành phần công trình được kiểm tra khả năng tương thích, phát hiện các xung đột hình học hoặc sai khác về kích thước. Quá trình này góp phần nâng cao độ chính xác của hồ sơ thiết kế và giảm thiểu rủi ro trong thi công.

Bước 4: Trích xuất hồ sơ kỹ thuật

Từ mô hình BIM có thể tự động tạo ra:

- Bản vẽ mặt bằng;
- Mặt cắt dọc;
- Mặt cắt ngang;
- Bản vẽ bố trí cốt thép;
- Bảng thống kê vật liệu;
- Bảng khối lượng.

Điều này giúp giảm thời gian triển khai hồ sơ và nâng cao tính đồng nhất giữa mô hình và bản vẽ.

2. Ứng dụng BIM và Dynamo trong đồ án thiết kế cầu đường sắt tốc độ cao:

- Xây dựng mô hình 3D công trình bằng Autodesk Revit

Toàn bộ công trình cầu đường sắt tốc độ cao được xây dựng dưới dạng mô hình thông tin công trình (BIM) trên phần mềm Autodesk Revit. Mô hình bao gồm đầy đủ các thành phần chính như:

- Kết cấu nhịp cầu;
- Trụ cầu;
- Mố cầu;
- Gối cầu;
- Đường ray;
- Kết cấu đốt đúc hẫng;
- Hệ thống đường sắt slab track;
- Hệ thống cột điện khí hóa;
- Các cấu kiện phụ trợ khác.

Mô hình 3D được xây dựng theo đúng kích thước thiết kế, đảm bảo khả năng trực quan hóa công trình và phục vụ cho việc trích xuất bản vẽ, thống kê khối lượng cũng như quản lý dữ liệu thiết kế.

- Tự động hóa việc bố trí đốt đúc hẫng bằng Dynamo

Đối với cầu dầm hộp thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng, kích thước các đốt thường thay đổi theo chiều dài nhịp. Việc dựng thủ công từng đốt trên mô hình BIM đòi hỏi nhiều thời gian và dễ phát sinh sai sót.

Để giải quyết vấn đề này, Dynamo được sử dụng để đọc dữ liệu từ tệp Excel bao gồm:

- Tọa độ vị trí từng đốt;
- Chiều dài đốt;
- Chiều cao tiết diện;
- Các thông số hình học đặc trưng.

Từ dữ liệu đầu vào, chương trình Dynamo tự động tạo và bố trí toàn bộ các đốt đúc hẫng trên mô hình Revit. Khi thay đổi số liệu trong Excel, mô hình có thể được cập nhật nhanh chóng mà không cần dựng lại thủ công, giúp tiết kiệm đáng kể thời gian hiệu chỉnh thiết kế.

- Tự động bố trí cốt thép trụ cầu

Công tác mô hình hóa cốt thép trong các kết cấu bê tông cốt thép thường chiếm nhiều thời gian do số lượng thanh lớn và yêu cầu bố trí chính xác.

Trong đồ án này, Dynamo được áp dụng để tự động bố trí:

- Cốt thép đỉnh trụ;
- Cốt thép K1;
- Các nhóm cốt thép có quy luật phân bố lặp lại.

Các thông số như đường kính thép, khoảng cách bố trí, số lượng thanh và phạm vi phân bố được khai báo trước. Dynamo sẽ tự động tạo hình học cốt thép theo đúng yêu cầu thiết kế và cập nhật đồng bộ khi có thay đổi về kích thước kết cấu.

Giải pháp này giúp tăng tốc độ mô hình hóa, đồng thời bảo đảm tính chính xác và thống nhất của mô hình cốt thép.

- Tự động xây dựng hệ thống cáp dự ứng lực

Đối với cầu bê tông dự ứng lực, hình dạng tuyến cáp thường thay đổi liên tục dọc theo chiều dài kết cấu và được xác định thông qua các điểm khống chế.

Trong đồ án, dữ liệu tọa độ cáp dự ứng lực được xây dựng và quản lý trên Excel. Dynamo được sử dụng để:

- Đọc dữ liệu tọa độ các điểm điều khiển;
- Tự động tạo đường cong tuyến cáp;
- Dựng mô hình 3D cáp dự ứng lực trong Revit;
- Cập nhật hình học cáp khi thay đổi thông số thiết kế.

Nhờ đó, việc xây dựng mô hình cáp dự ứng lực trở nên nhanh chóng và chính xác hơn so với phương pháp dựng thủ công truyền thống.

- **Tự động bố trí hệ thống cột điện khí hóa**

Hệ thống cấp điện là một trong những hạng mục quan trọng của đường sắt tốc độ cao. Trong đồ án, tọa độ vị trí cột điện được xây dựng dưới dạng bảng dữ liệu trên Excel.

Dynamo được sử dụng để:

- Đọc tọa độ các vị trí cột;
- Tự động chèn Family cột điện vào mô hình;
- Điều chỉnh cao độ và hướng đặt cột theo tuyến đường.

Phương pháp này cho phép nhanh chóng cập nhật phương án bố trí cột điện khi có sự thay đổi về bình đồ hoặc trắc dọc tuyến.

- **Tự động bố trí kết cấu Slab Track**

Slab Track là kết cấu đường ray không ballast được sử dụng phổ biến trên các tuyến đường sắt tốc độ cao hiện đại nhờ khả năng ổn định hình học cao và giảm chi phí bảo trì.

Trong đồ án, dữ liệu tọa độ các tấm slab được tạo lập trong Excel trên cơ sở tuyến thiết kế. Dynamo được sử dụng để:

- Đọc dữ liệu vị trí từng tấm slab;
- Tự động tạo và bố trí các cấu kiện slab track;
- Đồng bộ vị trí với tuyến đường và kết cấu cầu;
- Cập nhật nhanh khi thay đổi hình học tuyến.

Việc tự động hóa quá trình này giúp giảm đáng kể thời gian mô hình hóa hàng nghìn cấu kiện lặp lại trên toàn tuyến.

PHẦN 5: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Tính khả thi của Phương án 1 (Đúc hẫng cân bằng):

Phân tích chuyên sâu chứng minh rằng dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực nhịp 55+90+55m hoàn toàn đáp ứng các điều kiện khắt khe nhất về tĩnh học, động lực học và độ bền mỏi cho tuyến ĐSTĐC Hà Nội - Quảng Ninh vận tốc 350km/h.

2. Tính ưu việt so với Cầu Extradosed:

Ở khẩu độ 90m, cầu đúc hẫng loại bỏ được các rủi ro về chuyển vị nhiệt của cáp văng ngoài, đảm bảo an toàn tuyệt đối cho hệ thống ray hàn liền không đá ballast, đồng thời tiết kiệm đáng kể ngoại tệ do không phải nhập khẩu các thiết bị neo cáp chuyên dụng.

3. Khuyến nghị ứng dụng công nghệ:

Đề xuất triển khai áp dụng đồng bộ Mô hình thông tin công trình (BIM) từ khâu thiết kế đến thi công. Các phần mềm như Revit, Dynamo và Navisworks nên được sử dụng để tự động hóa cốt thép, kiểm tra xung đột cáp dự ứng lực 3D, từ đó tối ưu hóa công tác giám sát đổ bê tông tại công trường.

MỤC LỤC

PHẦN 1: GIỚI THIỆU TUYẾN ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO HÀ NỘI - QUẢNG NINH 2

1.1. Bối cảnh và Tầm quan trọng của dự án 2
1.2. Tiêu chuẩn thiết kế 2
1.2.1 Tiêu chuẩn sử dụng 2
1.2.2 Các nguyên tắc thiết kế 3
1.2.3 Quy mô xây dựng 3
1.2.4 Tải trọng thiết kế 3
PHẦN 2: TỔNG QUAN HAI PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ VÀ SO SÁNH LỰA CHỌN GIỮA HAI PHƯƠNG ÁN 4
2.1. Giới thiệu Phương án 1: Cầu nhịp liên tục đúc hẫng cân bằng 4
2.2. Giới thiệu Phương án 2: Cầu Extradosed 8
2.3. So sánh và lựa chọn 2 phương án 11
PHẦN 3: TÍNH TOÁN KỸ THUẬT CHI TIẾT PHƯƠNG ÁN CẦU DẦM HỘP ĐÚC HẪNG CÂN BẰNG (55 + 90 + 55M) 12
3.1. Sơ lược về phương án kỹ thuật 12
3.2. Tính toán Nội lực Dầm chủ theo các Giai đoạn 13
3.2.1. Phân tích Hoạt tải (Theo TCVN 13594:2022) 13
3.3. Thiết kế và Bố trí Cốt thép Dự ứng lực (DƯL) 14
3.4. Kiểm toán Sức kháng uốn của Dầm chủ (TTGH Cường độ) 14
3.5. Kiểm toán Mất mát ứng suất và Ứng suất bê tông (TTGH Sử dụng) 15
3.6. Phân tích Động lực học (Dynamic Analysis) - Tính chất cốt lõi của ĐSTĐC 15
3.6.1. Cơ sở lý thuyết và Ma trận Khối lượng - Độ cứng 15
3.6.2. Phân tích Lịch sử Thời gian (Time-History) với đoàn tàu HSLM 16
3.6.3. Đánh giá tiêu chuẩn an toàn chạy tàu 16
3.7. Thiết kế Trụ cầu và Móng cọc 17
3.7.1. Cấu tạo và Tải trọng lên trụ 17

3.7.2. Kiểm toán móng cọc khoan nhồi 18
PHẦN 4: ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ BIM CHO THIẾT KẾ 19
PHẦN 5: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ 23