

ĐÁNH GIÁ LẠI CÔNG THỨC (84) TRONG TCVN 5575 – 2024

Lưu ý : Bài báo này chỉ đánh giá cho dầm thuộc cấp 1 (Dầm đàn hồi)

MỤC LỤC

I.	LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN TRONG TCVN 5575 – 2024	2
II.	ỔN ĐỊNH CỦA TẦM DƯỚI TÁC DỤNG CỦA ỨNG SUẤT PHÁP THAY ĐỔI.....	4
II.1.1	TCVN 5575 – 2024	5
II.1.2	PHƯƠNG PHÁP GIẢI TÍCH VÀ NBPLATE	7
II.1.3	NHẬN XÉT	8
III.	PHƯƠNG PHÁP ĐƯỜNG CONG NCAL.....	10
IV.	VÍ DỤ TÍNH TOÁN.....	11
V.	KẾT LUẬN	13
VI.	TÀI LIỆU THAM KHẢO	14

I. LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN TRONG TCVN 5575 – 2024

- Công thức (84) trong [1] được viết lại như sau :

$$\frac{0.5\sigma_1}{\sigma_{cr}} \left(2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2} \right) \leq 1 \quad (\text{Lấy } \gamma_e = 1)$$

- Trong đó :

$$\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1}, \quad \beta = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_1} \frac{\tau}{\tau_{cr}}$$

- Với

- σ_1 và σ_2 lần lượt là ứng suất nén và ứng suất kéo ở biên tính toán của bản bụng, lấy với dấu “cộng” và dấu “trừ” tương ứng và được xác định theo công thức (77) !
- σ_{cr} được xác định theo công thức (80) với hệ số c_{cr} được xác định theo Bảng 18 phụ thuộc vào α

$$\sigma_{cr} = c_{cr} \frac{f_{yd}}{\bar{\lambda}_w^2}$$

- Độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{f_{yd}}{E}}$ (h_w là chiều cao bụng dầm đang xét, t_w là chiều dày tấm bụng, f_{yd} là giới hạn chảy, E là mô đun đàn hồi)
- τ và τ_{cr} là các ứng suất tiếp, được xác định theo các công thức (78) và (82) trong [1] tương ứng.

$$\tau = \frac{V}{h_w t_w}$$

$$\tau_{cr} = 10.3 \left(1 + \frac{0.76}{\mu^2} \right) \frac{f_v}{\bar{\lambda}_d^2}$$

- Trong đó :
- V là lực cắt, f_v là giới hạn chảy tính toán cho ứng suất tiếp ($f_v \sim 0.6f_y$), độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}_d^2$ xem trong chú thích công thức (82) của [1].
- Quy ước dấu ứng suất pháp :
 - Với công thức số (77) trong [1] được quy ước dấu “+” khi là ứng suất nén.

8.5.2 Khi kiểm tra ổn định cục bộ bản bụng của dầm cấp 1 cần kể đến:

- Ứng suất nén lớn nhất σ ở biên tính toán của bản bụng, lấy với dấu "dương";
- Ứng suất tiếp trung bình τ ;
- Ứng suất cục bộ σ_{loc} trong bản bụng dưới tải trọng tập trung.

Các ứng suất σ và τ cần được tính theo các công thức:

$$\sigma = \frac{M}{I_x} y \quad (77)$$

$$\tau = \frac{V}{h_w t_w} \quad (78)$$

Hình I-1 Trích [1] Điều 8.5.2

Bảng 18 – Hệ số c_{cr} cho dầm cấp 1 có tiết diện chữ I không đối xứng với cánh chịu nén mở rộng khi $\sigma_{loc} = 0$

α	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
c_{cr}	10,2	12,7	15,5	20,0	25,5	30,0

CHÚ THÍCH: Với các giá trị trung gian của α thì giá trị c_{cr} được xác định bằng nội suy tuyến tính.

Hình I-2 Trích bảng 18 trong [1]

• **Nhận xét :**

- Theo [2], công thức tính τ_{cr} theo [1] là chưa hợp lý, và trong [2], tác giả đề xuất công thức tính toán lại giá trị τ_{cr} như bên dưới :

$$\tau_{cr} = 5.9\gamma \left(1 + \frac{0.76}{\mu^2} \right) \frac{F_y}{\lambda_d^2}$$

- Giá trị $\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} = 1 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1} > 1$ do ứng suất kéo là dấu âm, có thể viết

lại công thức tính α lại thành : $\alpha = 1 + \psi$ với $\psi = \left| \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right|$

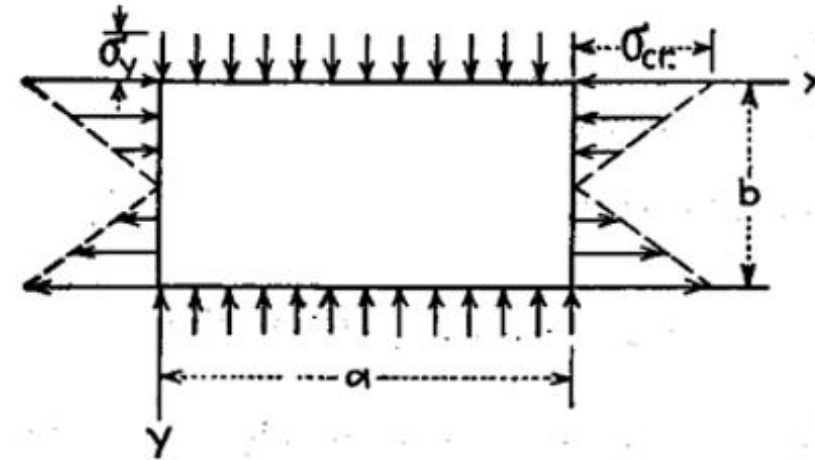
- Thế vào $\frac{0.5\sigma_1}{\sigma_{cr}} (2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2}) \leq 1$, ta thu được công thức sau :

$$\frac{0.5\sigma_1}{\sigma_{cr}} \left(1 - \psi + \sqrt{1 + \psi^2 + 4\beta^2} \right) \leq 1$$

II. ỔN ĐỊNH CỦA TẤM DƯỚI TÁC DỤNG CỦA ỨNG SUẤT PHÁP THAY ĐỔI

Việc khảo sát tấm mỏng (thin plate) chịu tác dụng của ứng suất pháp thay đổi đã được rất nhiều tác giả quan tâm, và cho ra rất nhiều lý thuyết tính toán cho trường hợp này.

Điển hình như trong các nghiên cứu [3] của tác giả Timoshenko, hay trong [4], tác giả cũng đề xuất cách giải cho trường hợp này.



$$\frac{\pi^4 D \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn}^2 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2}{\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn}^2 \frac{m^2 \pi^2}{a^2} - \frac{\alpha}{2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \left[\sum_{n=1}^{\infty} a_{mn}^2 - \frac{32}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_i \frac{a_{mn} a_{mi} n i}{(n^2 - i^2)^2} \right]} \quad (e)$$

Hình II-1 Lời giải ra giá trị σ_{cr} trong [3]

Phương trình vi phân chủ đạo của tấm dưới tác dụng của trường ứng suất pháp được nêu ra trong [4] có dạng :

$$D_{11} \frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_0}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_0}{\partial y^4} + N_{xx}^0 \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + 2N_{xy}^0 \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} + N_{yy}^0 \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} = 0$$

Dựa trên các phương trình này, các tác giả có thể đưa ra lời giải “giải tích” cho tấm chịu tác dụng của ứng suất pháp biến đổi như vấn đề mà chúng ta đang trao đổi. Với hàm võng được cho ban đầu có dạng :

$$w_0 = \sum \sum \phi_{ij} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

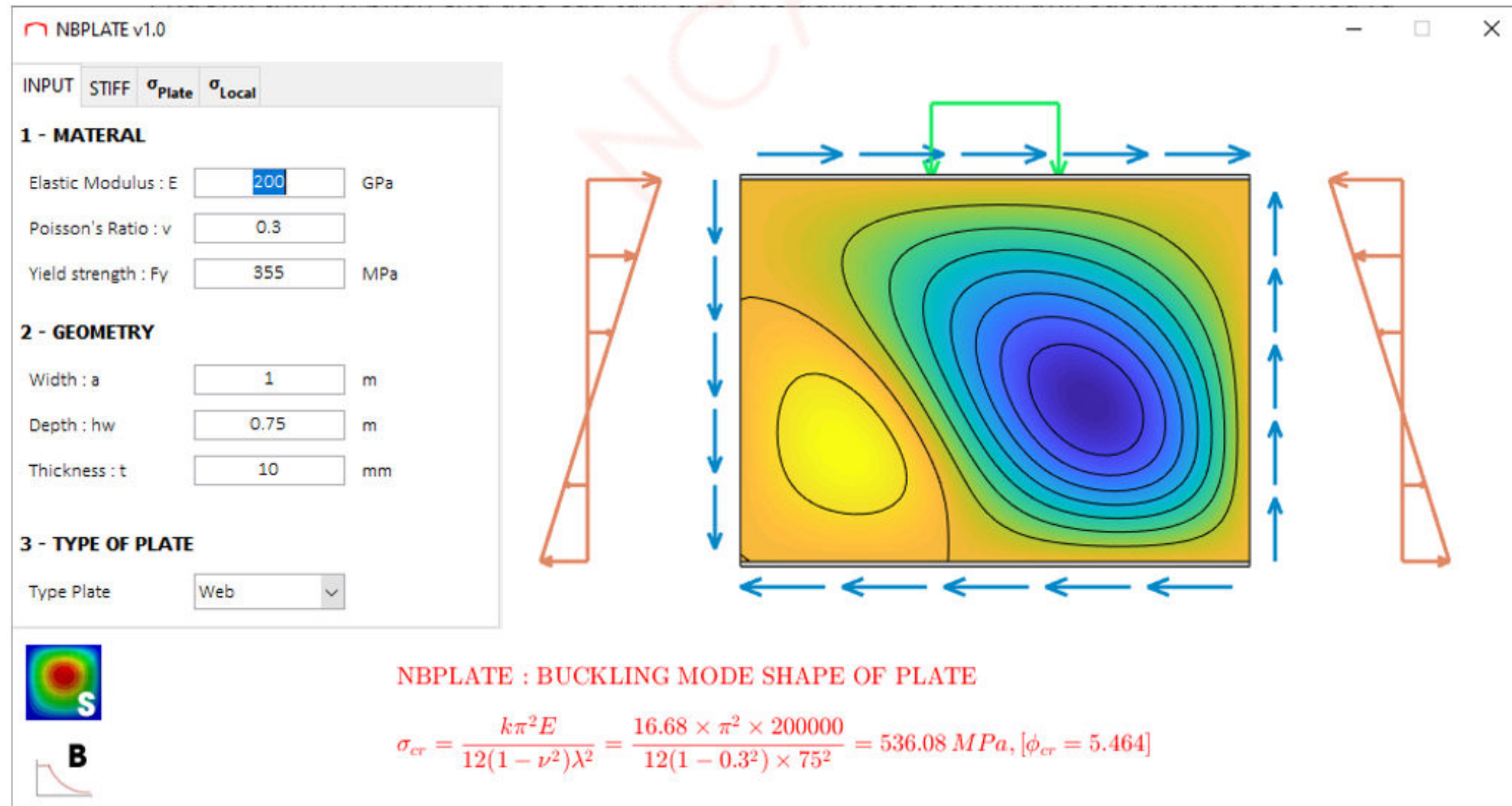
Và hàm ứng suất đầu vào $N_{0,x} = \sigma_1 t \left[1 - \psi \frac{y}{b} \right]$

- Trong đó

- $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$

- σ_2 là ứng suất tại $y = 0$, σ_1 là ứng suất tại $y = b$

Nhìn vào đây, ta thấy được tính “phức tạp” của việc giải tìm được giá trị σ_{cr} , vì vậy NCAL dựa trên các nghiên cứu này cho ra đời phần mềm NBPlate để giải quyết được vấn đề này.



Hình II-2 Giao diện phần mềm NBPlate [5]

II.1.1 TCVN 5575 – 2024

Theo [1], công thức xác định ứng suất tâm dưới tác dụng của ứng suất pháp biến đổi tính theo công thức :

$$\sigma_{cr} = c_{cr} \frac{f_{yd}}{\lambda_w^2}$$

Với hệ số c_{cr} lấy theo Bảng 18 ([1]) như bên dưới :

Bảng 18 – Hệ số c_{cr} cho dầm cấp 1 có tiết diện chữ I không đối xứng với cánh chịu nén mở rộng khi $\sigma_{loc} = 0$

α	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
c_{cr}	10,2	12,7	15,5	20,0	25,5	30,0

CHÚ THÍCH: Với các giá trị trung gian của α thì giá trị c_{cr} được xác định bằng nội suy tuyến tính.

Với giá trị $\alpha = 1.6$, thì ứng suất trong tâm sẽ bằng :

$$\sigma_{cr} = 20 \frac{f_{yd}}{\lambda_w^2}$$

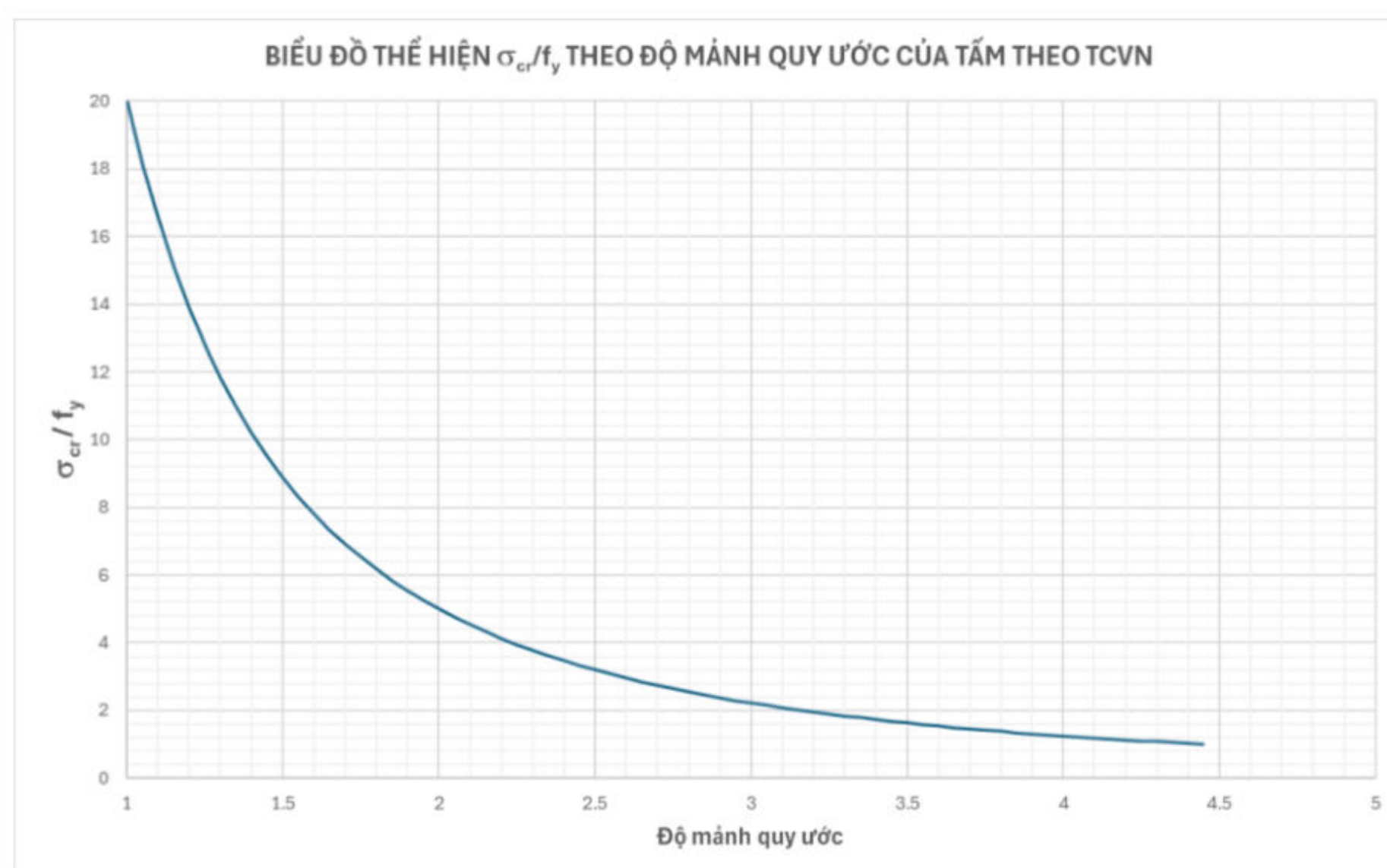
Nhưng để đạt được ứng suất này, thì cần phải bố trí các sườn tăng cứng, và việc bố trí các sườn này thì trong [1] có đưa ra các yêu cầu việc bố trí các sườn tăng cứng cho bản bụng. Nhưng theo đánh giá của tác giả là quá “rối” để áp dụng (Tham khảo hình bên dưới) :

PHỔ CẬP TRONG KHÓA HỌC VÀ SAU KHI ĐĂNG TRÊN TCXD

Và thêm một ý nữa, thì trong công thức trên ([1]), cũng không thấy ảnh hưởng của chiều dài tấm bản bụng đến khả năng chịu lực.

Nếu lấy chiều dài khảo sát của tấm bản bụng là $2h_{ef}$ hay $(2h_w)$ thì khả năng chịu lực tới hạn của tấm dưới tác dụng của ứng suất pháp sao cho $\alpha = 1.6$ sẽ là :

$$\sigma_{cr} = 20 \frac{f_{yd}}{\lambda_w^2}$$



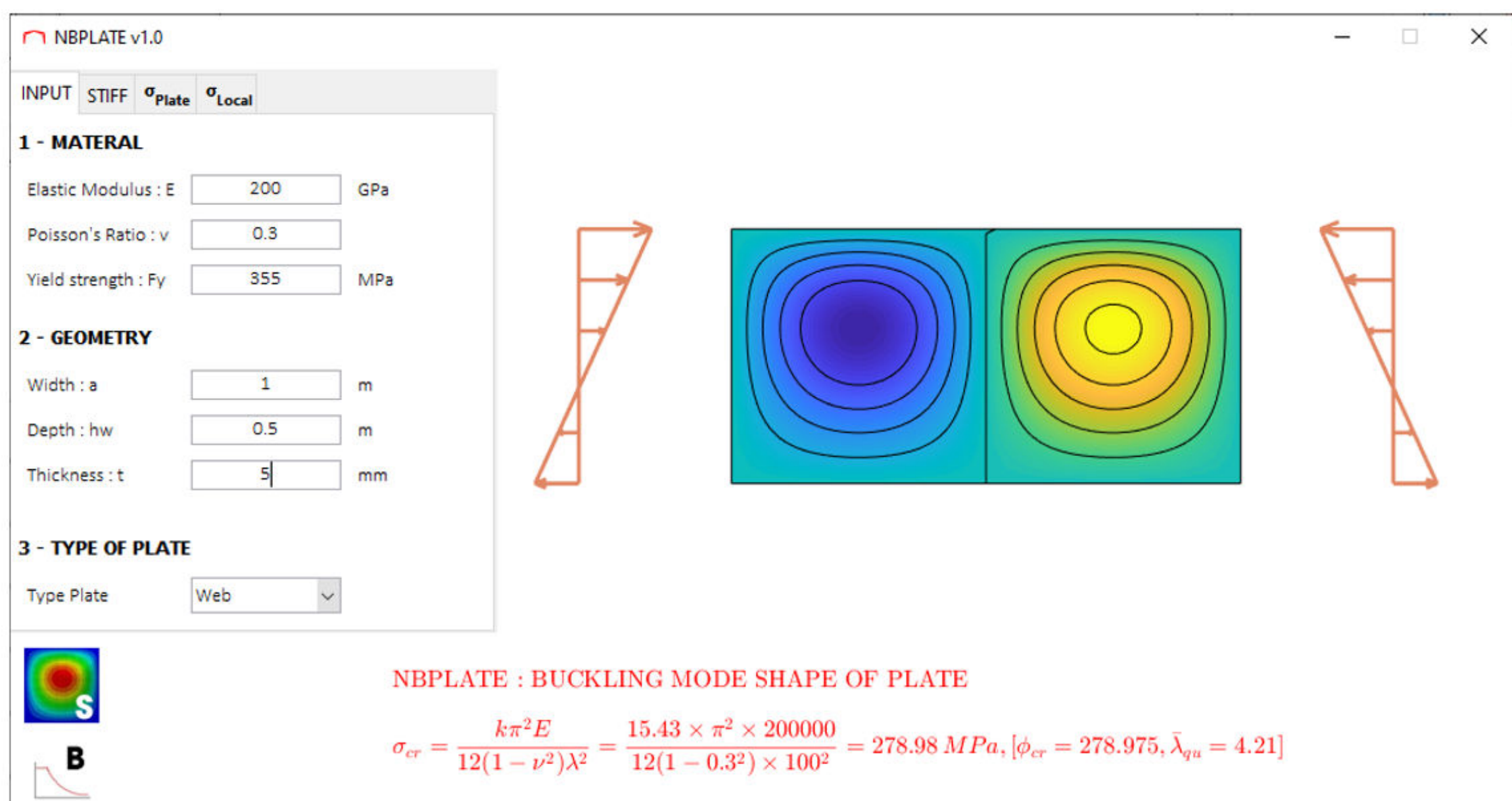
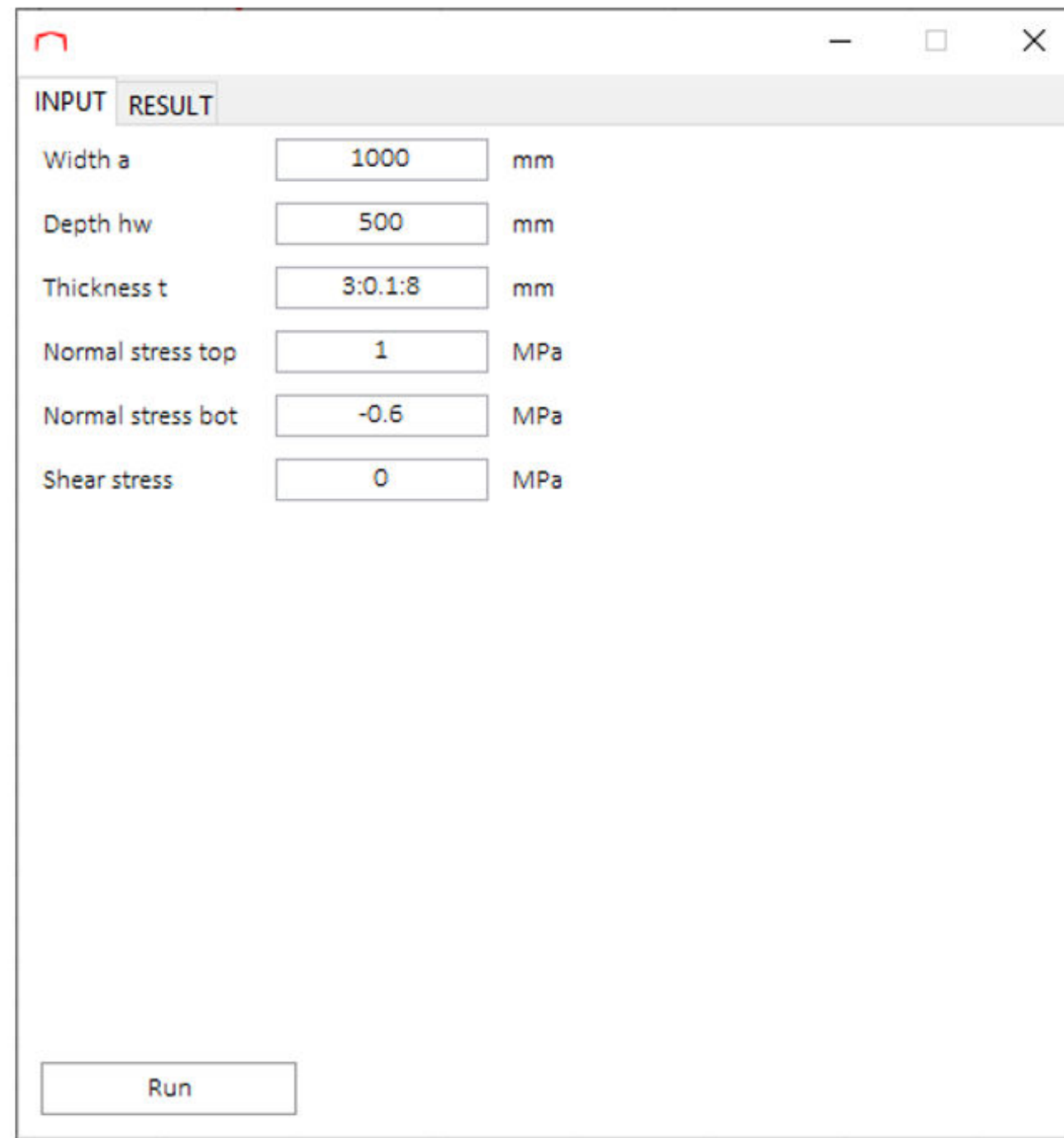
Hình II-4 Đồ thị thể hiện lực tới hạn của tấm dưới tác dụng của ứng suất biến thiên

II.1.2 PHƯƠNG PHÁP GIẢI TÍCH VÀ NBPLATE

Theo phương pháp giải tích, thì đường cong theo phương pháp “tính tay” (được thực hiện bằng phần mềm PTC Mathcad Prime [6]) và dùng phần mềm NBPlate được vẽ như biểu đồ bên dưới :

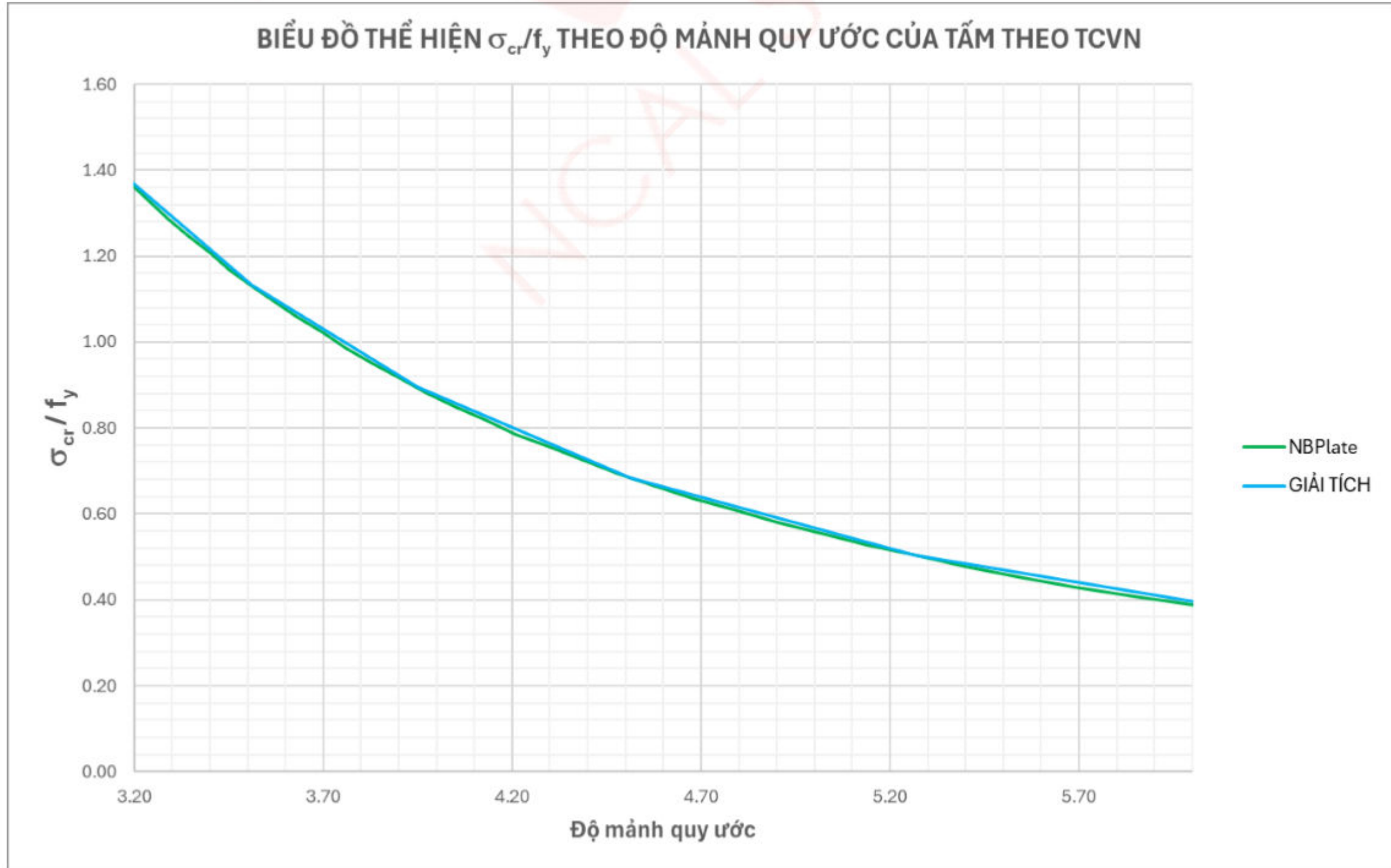
Với hàm được sử dụng :

$$w_0 = \phi_1 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} + \dots + \phi_9 \sin \frac{3m\pi x}{a} \sin \frac{3n\pi y}{b}$$



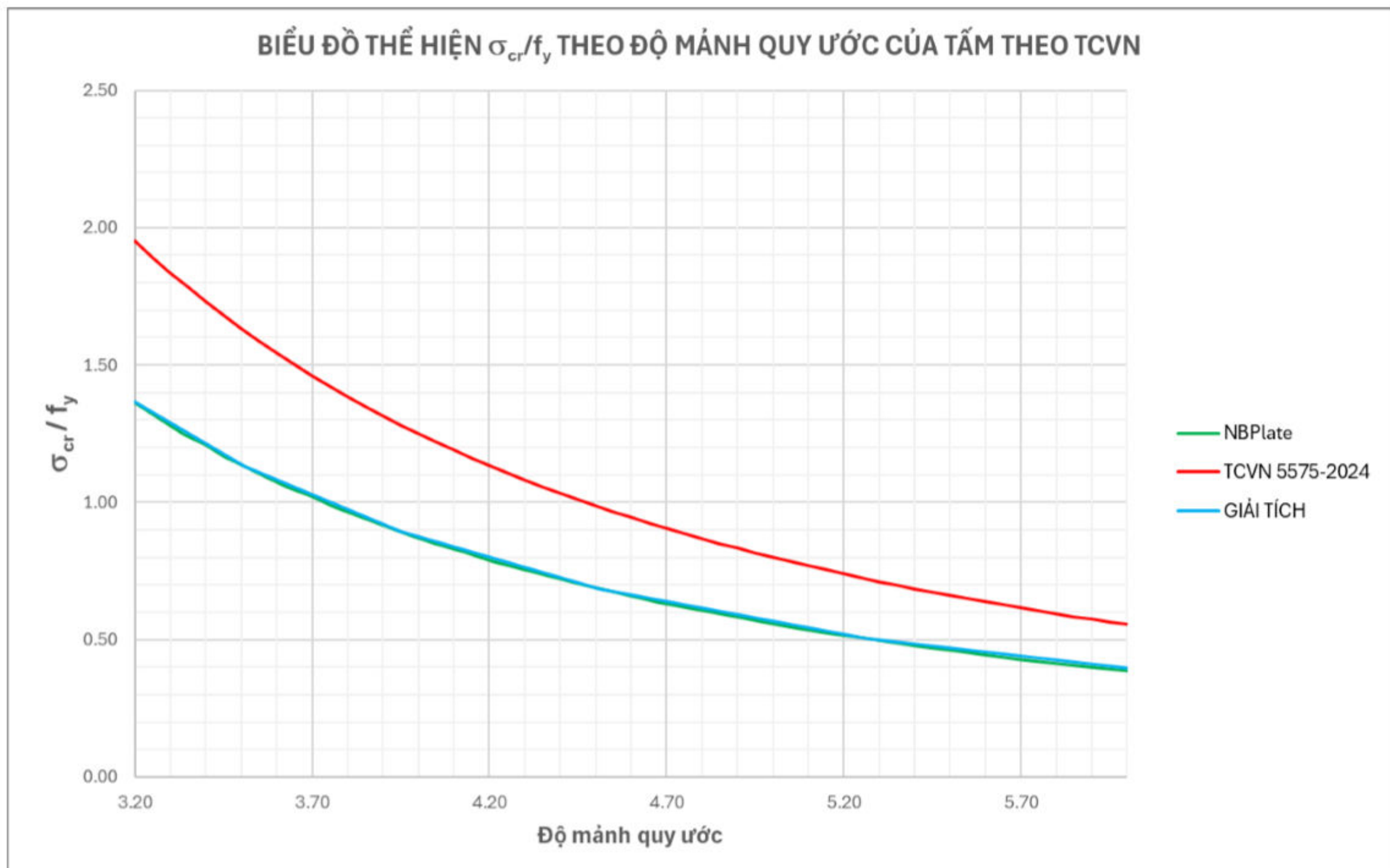
Hình II-5 Thông số đầu vào trong NBPlate

Kết quả khảo sát cho thấy NBPlate tính khớp với các giá trị tính tay (Không chênh lệch) :

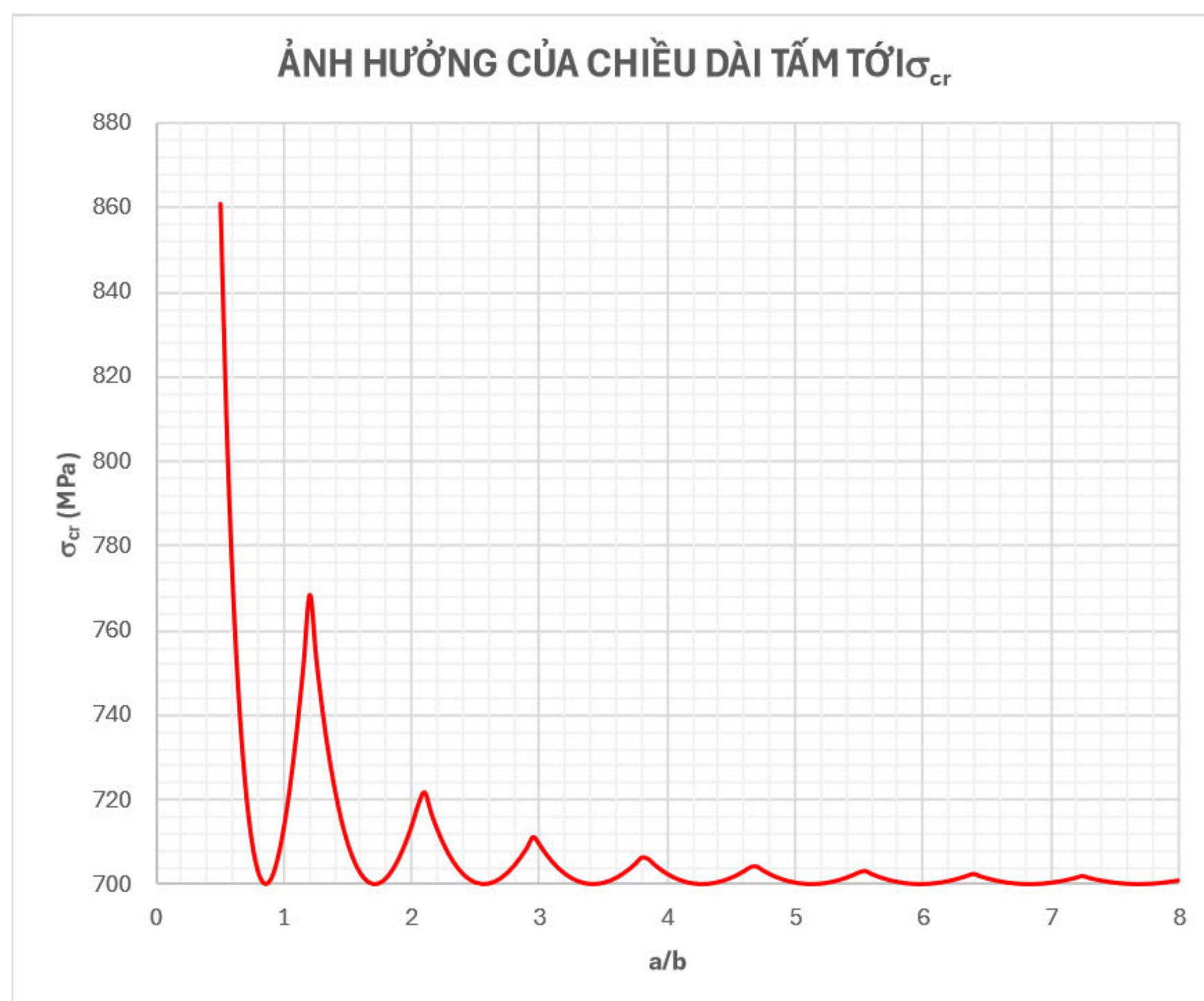


II.1.3 NHẬN XÉT

Vẽ chung cả 3 biểu đồ để so sánh :



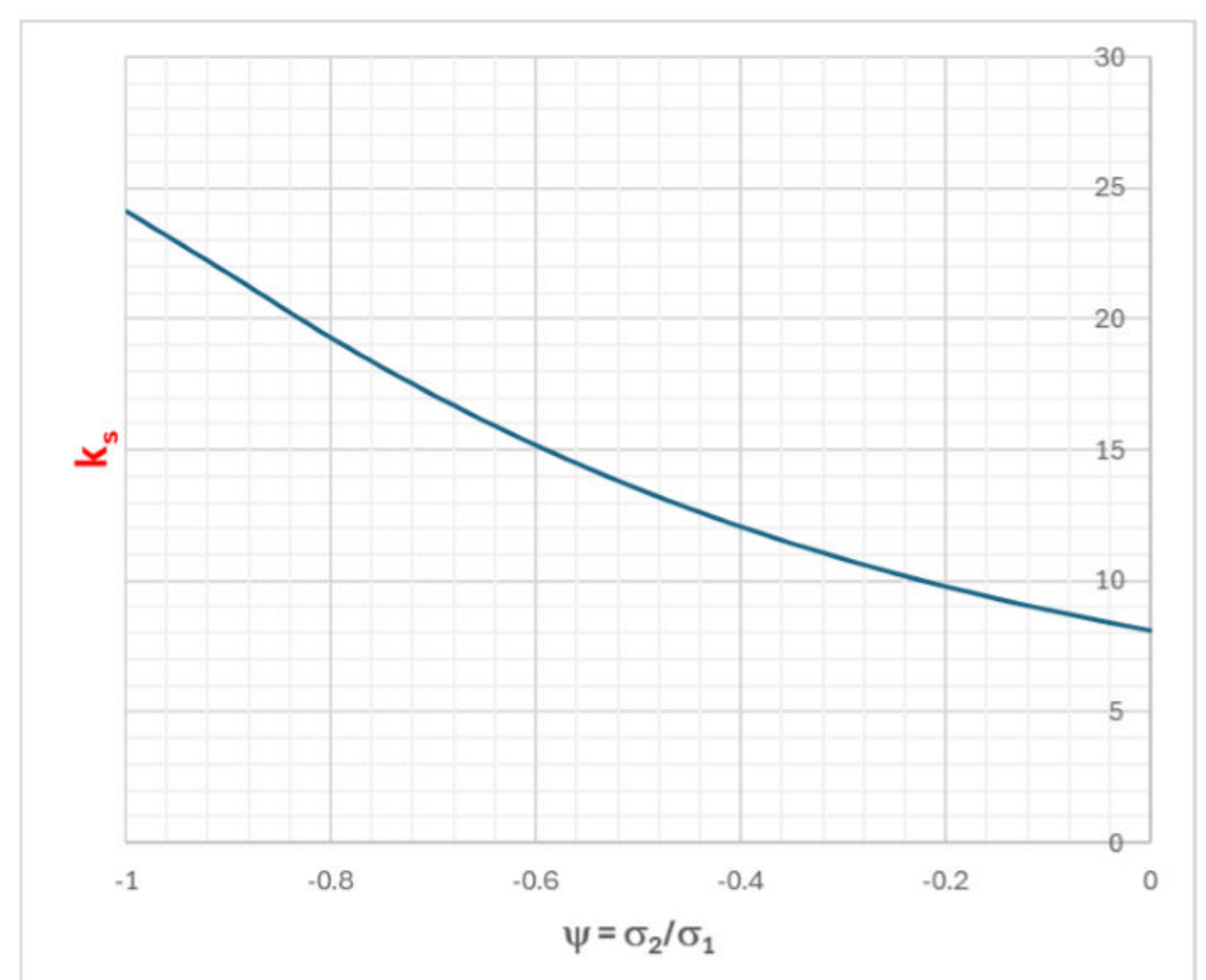
- Nhận xét :
 - Các giá trị tính toán từ [1] cho thấy sự chênh lệch khá nhiều so với lý thuyết tính toán.
 - Tính toán cho thấy chưa có sự ảnh hưởng của chiều dài tấm đến giá trị của σ_{cr}
 - Khả năng áp dụng [1] cho dầm lệch cánh với cánh trên lớn hơn cánh dưới là không khả thi. Vấn đề này sẽ được thảo luận bên dưới.
- Tiến hành khảo sát cho tấm không có sườn gia cường, thu được đường cong bên dưới (Đường cong dựa trên chiều cao dầm 500 mm, E = 200 Gpa, Fy = 355 MPa, chiều dày 8mm) :



Ta thấy khi tấm không có sườn gia cường, thì các giá trị σ_{cr} hội tụ về 1 giá trị xấp xỉ 700 MPa. Từ đó, khảo sát mở rộng ra cho các giá trị ứng suất khác nhau (α khác nhau, ta có được công thức thiết kế cho tấm chịu uốn không cần sườn gia cường như bên dưới :

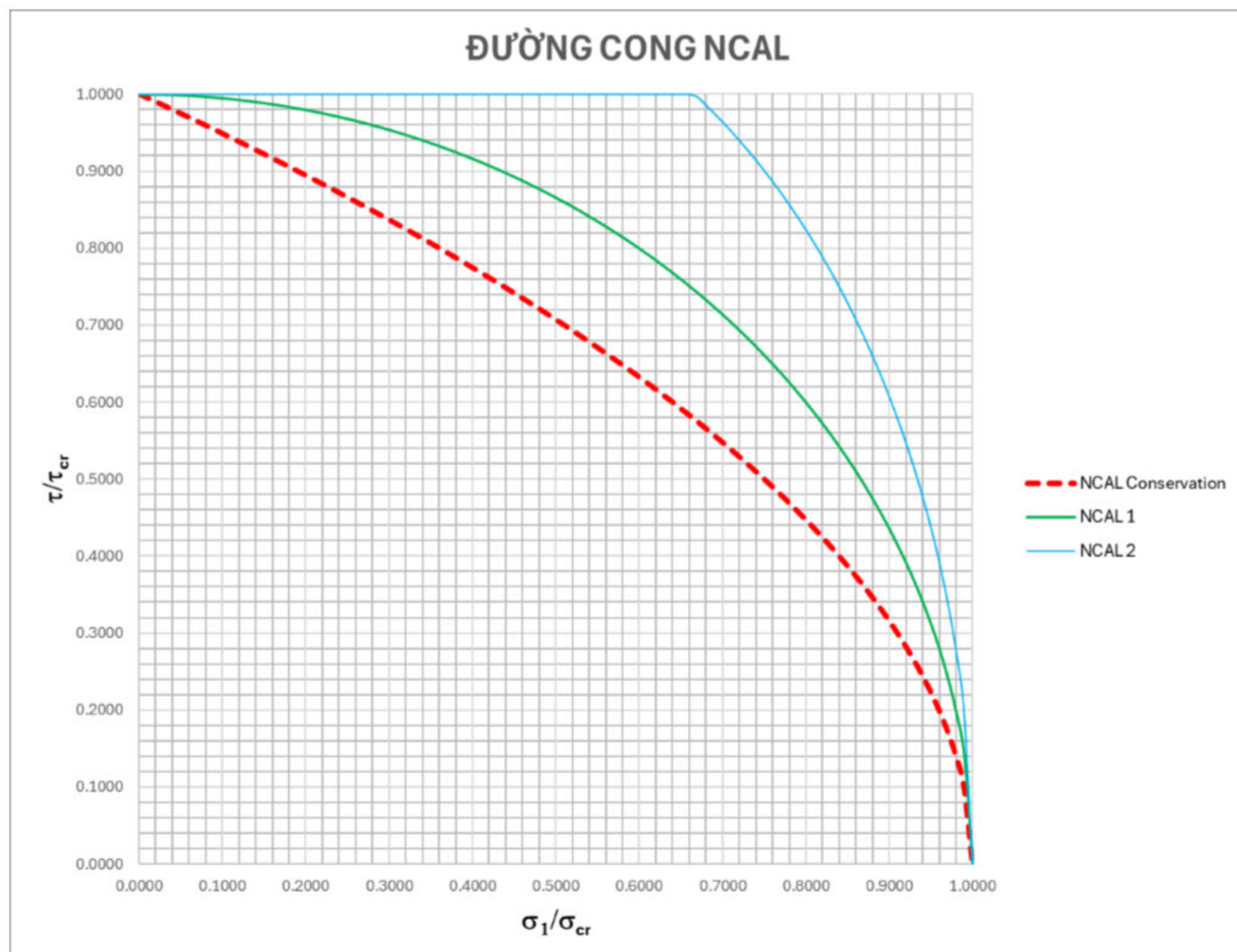
$$\sigma_{cr} = \frac{0.9k_s F_y}{\bar{\lambda}_w^2}$$

Trong đó k_s được cho như biểu đồ bên cạnh.



III. PHƯƠNG PHÁP ĐƯỜNG CONG NCAL

PHỔ CẬP TRONG KHÓA HỌC VÀ SAU KHI ĐĂNG TRÊN TCXD



Hình III-1 Đường cong NCAL trong thiết kế cấu kiện chịu ứng suất tổng hợp

IV. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Lưu ý:

- Các chỉ dẫn trong 8.5.7 của [1] không thể áp dụng được cho loại dầm có cánh trên to hơn cánh dưới, hay α được tính toán theo công thức (84) trong [1] không được vượt quá 2.

I - SỐ LIỆU ĐẦU VÀO

Chiều cao bụng	$h_w := 800 \text{ mm}$
Chiều dày bụng	$t_w := 8 \text{ mm}$
Bề rộng cánh trên	$b_{ft} := 200 \text{ mm}$
Chiều dày cánh trên	$t_{ft} := 8 \text{ mm}$
Bề rộng cánh dưới	$b_{fb} := 250 \text{ mm}$
Bề dày cánh dưới	$t_{fb} := 14 \text{ mm}$
Mô đun đàn hồi	$E := 200 \text{ GPa}$
Giới hạn chảy	$F_y := 345 \text{ MPa}$
Lực dọc	$N := 200 \text{ kN} \quad (\text{Nén})$
Mô men	$M := 250 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Lực cắt	$V := 200 \text{ kN}$

II - ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC

Diện tích tiết diện	$A := h_w \cdot t_w + b_{ft} \cdot t_{ft} + b_{fb} \cdot t_{fb} = 115 \text{ cm}^2$
Mô đun kháng uốn	$W_{xc} := \frac{I_x}{y_c} = 2415.574 \text{ cm}^3$ $W_{xt} := \frac{I_x}{y_t} = 3399.146 \text{ cm}^3$
Ứng suất	$\sigma_1 := \frac{M}{W_{xc}} + \frac{N}{A} = 120.886 \text{ MPa}$ $\sigma_2 := \frac{-M}{W_{xt}} + \frac{N}{A} = -56.157 \text{ MPa}$ $\tau := \frac{V}{h_w \cdot t_w} = 31.25 \text{ MPa}$
Tỉ số α	$\alpha := 1 + \left \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right = 1.465$ $\alpha_\tau := \frac{\tau}{\sigma_1} = 0.259$

III - ỨNG SUẤT TỚI HẠN

Độ mảnh quy ước

$$\lambda_w := \frac{h_w}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 4.153$$

Ứng suất pháp tới hạn (NCAL)

$$\sigma_{cr} := k_s \cdot 0.9 \cdot \frac{F_y}{\lambda_w^2} = 233.957 \text{ MPa} \quad \text{Với } k_s = 12.998$$

Ứng suất tiếp tới hạn (NCAL)

$$\tau_{cr} := 5.9 \cdot \gamma \cdot \frac{F_y}{\lambda_w^2} = 88.5 \text{ MPa} \quad \text{Với } \gamma = 0.75$$

IV - PHƯƠNG PHÁP BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC (NCAL đề xuất)

Hệ số r_M

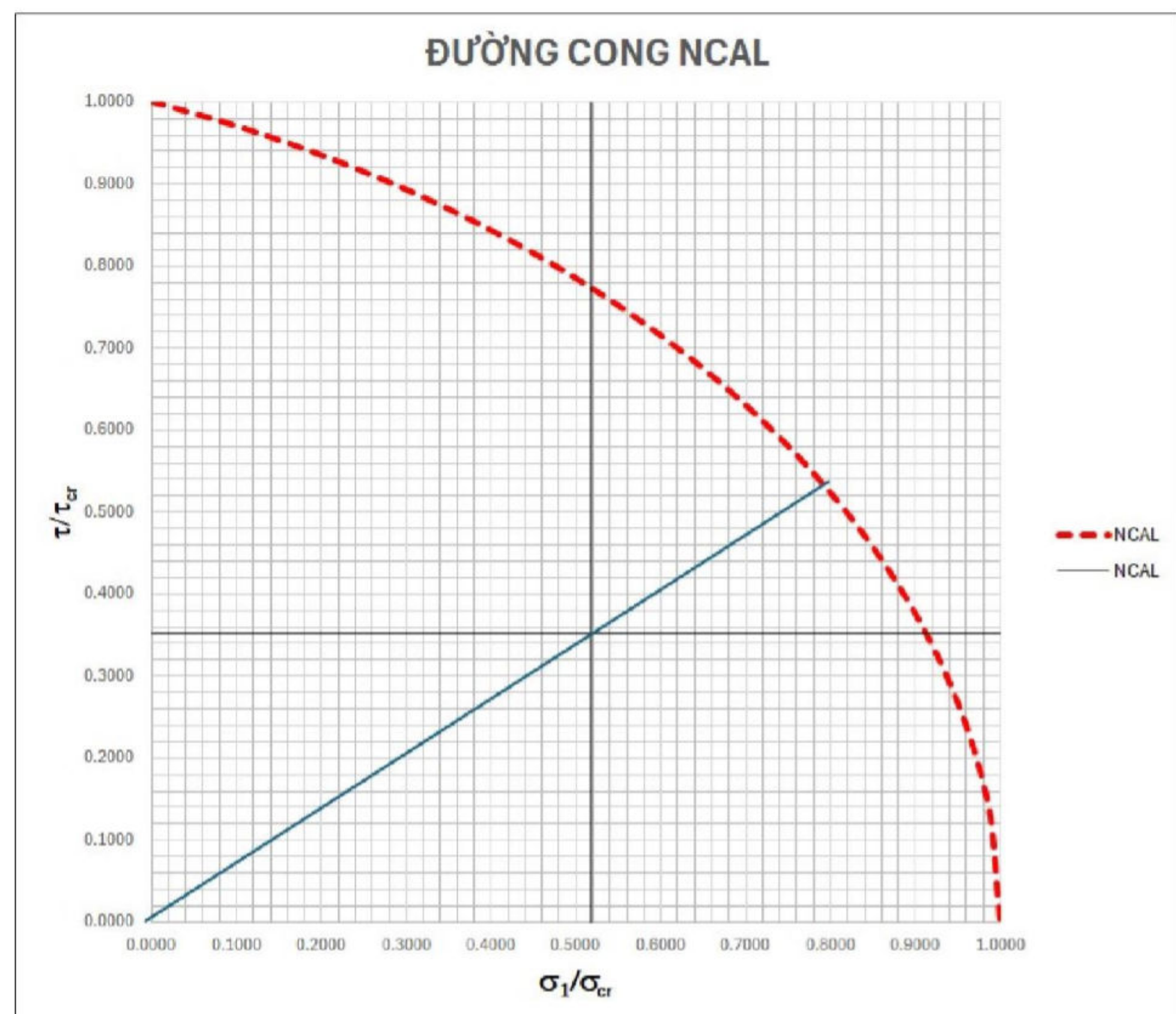
$$r_M := \frac{\sigma_1}{\sigma_{cr}} = 0.517$$

Hệ số r_V

$$r_V := \frac{\tau}{\tau_{cr}} = 0.353$$

Kiểm tra

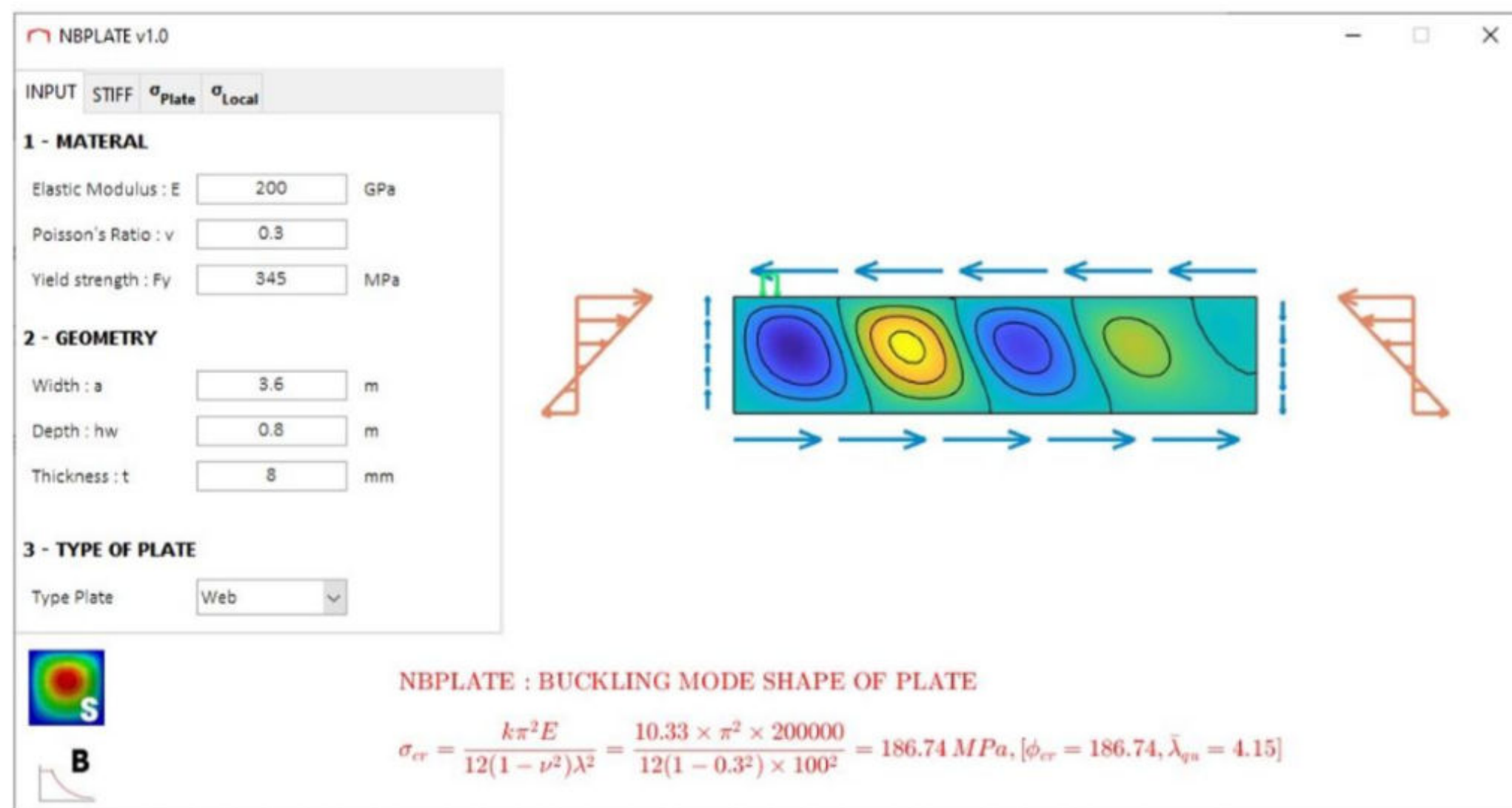
$$SOF = 0.525$$



PHƯƠNG PHÁP SỬ DỤNG NBPLATE

Lực tới hạn (Sử dụng NBPlate) $\sigma_{cr0} := 186.74 \text{ MPa}$

Tỉ số ứng suất $\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr0}} = 0.647$ $\frac{\tau}{\sigma_{cr0} \cdot \alpha_\tau} = 0.647$ (PASS)



V. KẾT LUẬN

Phương pháp do NCAL mở rộng bài toán để giải quyết được vấn đề thiết kế trong [1] chưa rõ ràng. Và việc áp dụng phương pháp này sẽ giúp cho việc thiết kế cấu kiện chịu uốn sẽ tốt hơn và nhanh hơn.