

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH CHO TẤM CHỊU CẮT THEO TCVN 5575 – 2024 - ĐỀ XUẤT MỚI TỪ NCAL

NỘI DUNG

I.	ĐẶT VẤN ĐỀ.....	1
II.	TIÊU CHUẨN VIỆT NĂM 5575 – 2024 VỀ TẤM CHỊU CẮT.....	2
III.	KHẢO SÁT VẤN ĐỀ THEO TCVN 5575 - 2024.....	4
III.1.1	LÝ THUYẾT TẤM CHỊU CẮT VÀ SO SÁNH VỚI CÁC TIÊU CHUẨN.....	5
IV.	PHƯƠNG TRÌNH ĐỀ XUẤT TỪ NCAL.....	10
V.	11
VI.	TÀI LIỆU THAM KHẢO	12
VII.	PHỤ LỤC SO SÁNH CHÊNH LỆCH KẾT QUẢ GIỮA CÁC TIÊU CHUẨN VÀ NCAL	13

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

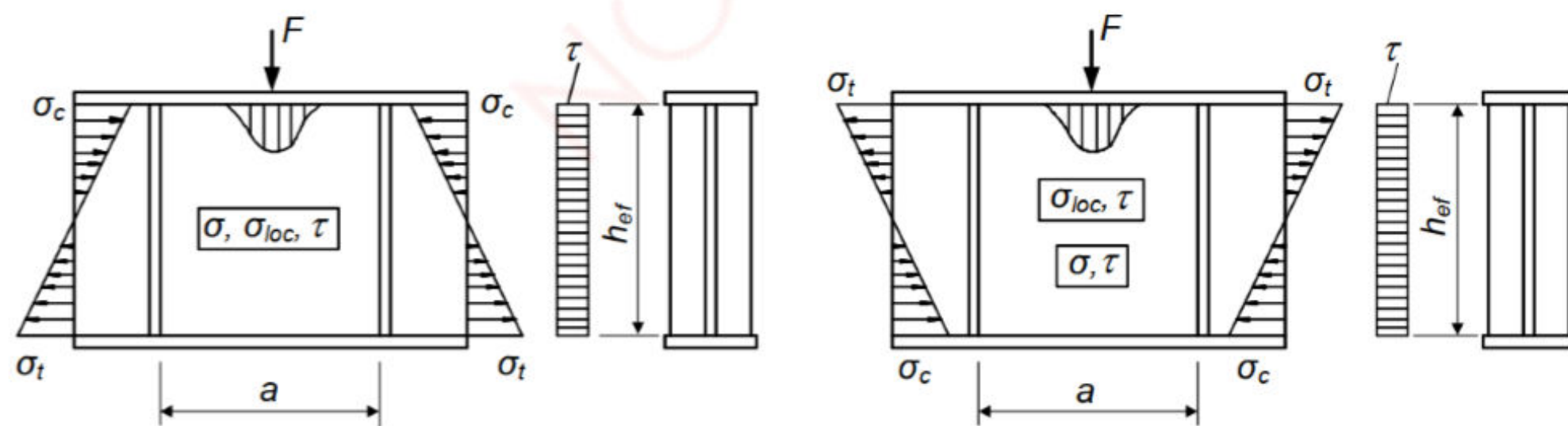
Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) ra đời, đã kế thừa nhiều “đổi mới” từ các lý thuyết thiết kế kết cấu trên thế giới, cũng như riêng trong lĩnh vực kết cấu thép. Và những đổi mới này giúp cho việc thiết kế trở nên gần với ứng xử thực tế của kết cấu hơn, cũng như là sự làm việc của cấu kiện trong thực tế sẽ gần hơn với lý thuyết tính toán. Tuy nhiên, bên cạnh những điều mới đó cũng còn nhiều điều chưa rõ ràng cần được nghiên cứu. Và trải qua quá trình nghiên cứu, tác giả nhận thấy rằng trong TCVN với mã hiệu 5575 – 2024 còn nhiều điều thật sự chưa rõ trong thiết kế khả năng chịu lực cắt của tấm.

Và thông qua bài báo này, chúng ta cùng nhau thảo luận và tìm hiểu về vấn đề tấm chịu cắt trong thiết kế kết cấu thép theo tiêu chuẩn TCVN 5575 – 2024.

II. TIÊU CHUẨN VIỆT NĂM 5575 – 2024 VỀ TẦM CHỊU CẮT

TCVN 5574 – 2024 không có riêng phần thiết kế chịu cắt cho tấm như những tiêu chuẩn phổ biến trên thế giới như AISC 360 [1] trong chương G hay Eurocode (BS EN 1993 – 1). Mà thay vào đó là sự lồng ghép với ứng suất pháp do mô men uốn gây ra, và được thể hiện trong mục “8.5 Kiểm tra ổn định bản bụng và bản cánh của cấu kiện chịu uốn tiết diện đặc”, và trong công thức tính toán ổn định của bản dầm cấp 1 trong mục 8.5.3 có công thức được thể hiện như bên dưới :

- Cho dầm có ứng suất cục bộ :



Hình II-1 Cấu kiện có ứng suất cục bộ tác dụng (Trích Hình 10 – Sơ đồ đoạn dầm được tăng cứng bằng các sườn cứng ngang [2])

$$\frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{cr,loc}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq 1 \quad (\text{Trích công thức 79 [2]})$$

- Cho dầm không có ứng suất cục bộ :

$$\frac{0.5\sigma_1}{\gamma_c \sigma_{cr}} \left(2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2}\right) \leq 1 \quad (\text{Trích công thức 84 [2]})$$

- Với $\beta = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_1} \frac{\tau}{\tau_{cr}}$, các đại lượng còn lại vui lòng tham khảo trong [2].

Nhận xét :

- Chúng ta thấy rằng, cả hai công thức đều có chứa giá trị τ_{cr} , với τ_{cr} được tính theo công thức :

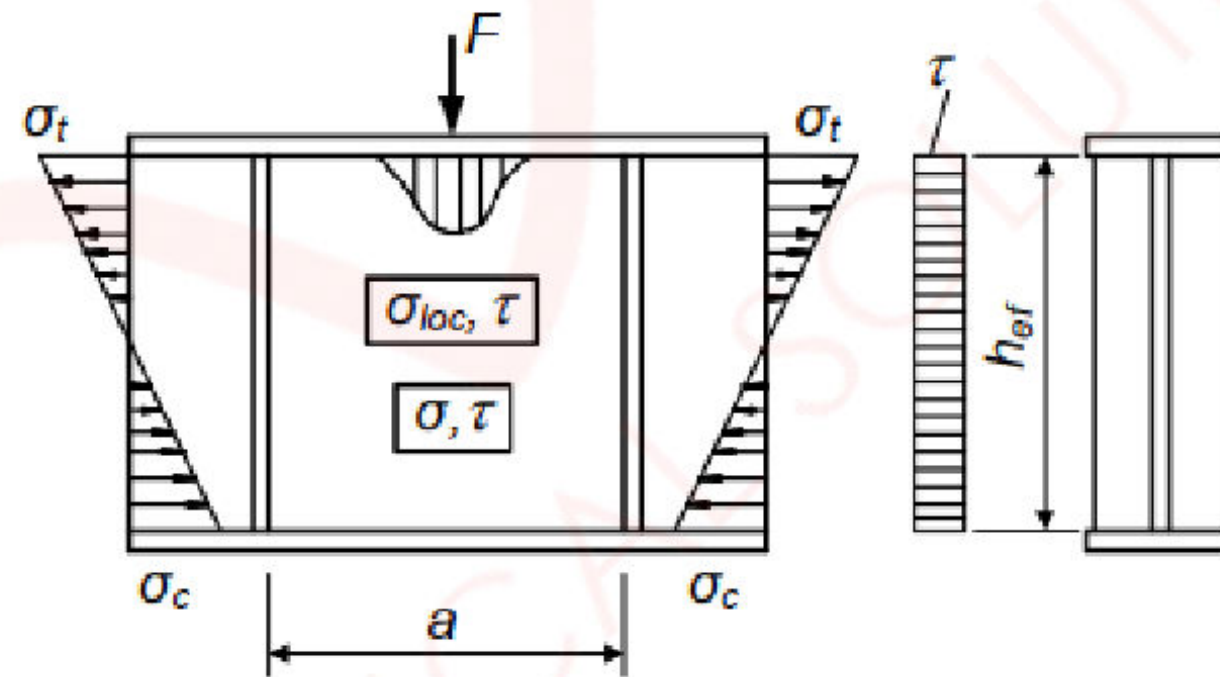
$$\tau_{cr} = 10.3 \left(1 + \frac{0.76}{\mu^2}\right) \frac{f_v}{\bar{\lambda}_d^2}$$

- Với μ là tỉ số cạnh lớn và cạnh nhỏ của ô bản bụng

$$\bar{\lambda}_d = \left(\frac{d}{t_w}\right) \sqrt{\frac{f_{yd}}{E}}$$

- d là cạnh nhỏ của ô bản bụng (bằng h_{ef} hoặc a)

- f_{yd} là giới hạn chảy thiết kế của vật liệu
- E là mô đun đàn hồi của vật liệu



Hình II-2 Chú thích h_{ef} và a (Trích Hình 10 – Sơ đồ đoạn dầm được tăng cứng bằng các sườn cứng ngang [2])

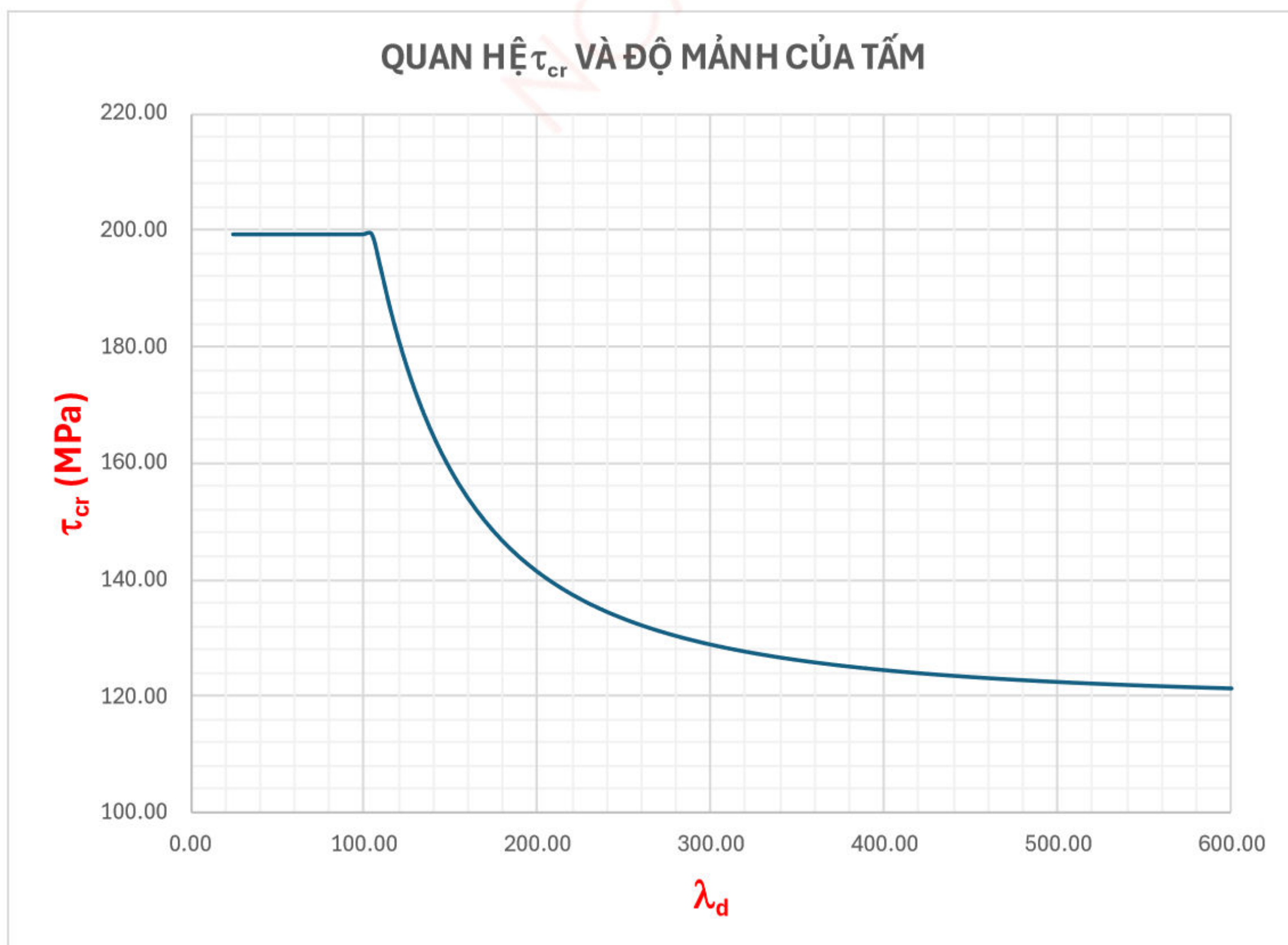
- Từ công thức trên, ta thấy có một sự ràng buộc giữa chiều cao dầm và giá trị a (khoảng cách giữa hai sườn tăng cường của bụng), và vì thế, bắt buộc phải có sườn tăng cường để có được khoảng cách a , từ đó làm cho tiêu chuẩn trở nên bị hạn chế.
- Theo công thức trên, ta có thể viết lại theo hai trường hợp bên dưới.

$$\begin{cases} a \leq h_w : \tau_{cr} = 5.94 \left(1 + \frac{0.76}{\mu^2} \right) \frac{Et_w^2}{a^2} \\ a > h_w : \tau_{cr} = 5.94 \left(1 + \frac{0.76}{\mu^2} \right) \frac{Et_w^2}{h_w^2} \end{cases}$$

Từ đây, chúng ta sẽ đi khảo sát khả năng chịu lực cắt tới hạn của tấm cho các kích thước khác nhau dựa trên công thức của TCVN được viết lại này.

III. KHẢO SÁT VẤN ĐỀ THEO TCVN 5575 - 2024

- Kết quả khảo sát của một tấm chữ nhật
 - Kích thước : chiều cao là 1000 mm (1m)
 - Chiều dày tấm là 10 mm
 - Chiều dài tấm được khảo sát với a chạy từ 250 mm đến 6000 mm (6m)
 - Thép Q345 (có $F_y = 345$ MPa), $E = 200$ GPa
- Kết quả khảo sát khả năng chịu cắt trước khi tấm mất ổn định do cắt được cho theo đồ thị bên dưới.



Hình III-1 Biểu đồ thể hiện khả năng chịu cắt của tấm và độ mảnh

III.1.1 LÝ THUYẾT TẮM CHỊU CẮT VÀ SO SÁNH VỚI CÁC TIÊU CHUẨN

Tiếp theo, chúng ta sẽ khảo sát tiếp tấm này theo lý thuyết tấm chịu cắt thông qua phần mềm NBPlate và so sánh với các cách tính toán trong các tiêu chuẩn đang được sử dụng phổ biến.

III.1.1.1. PHẦN MỀM NBPLATE

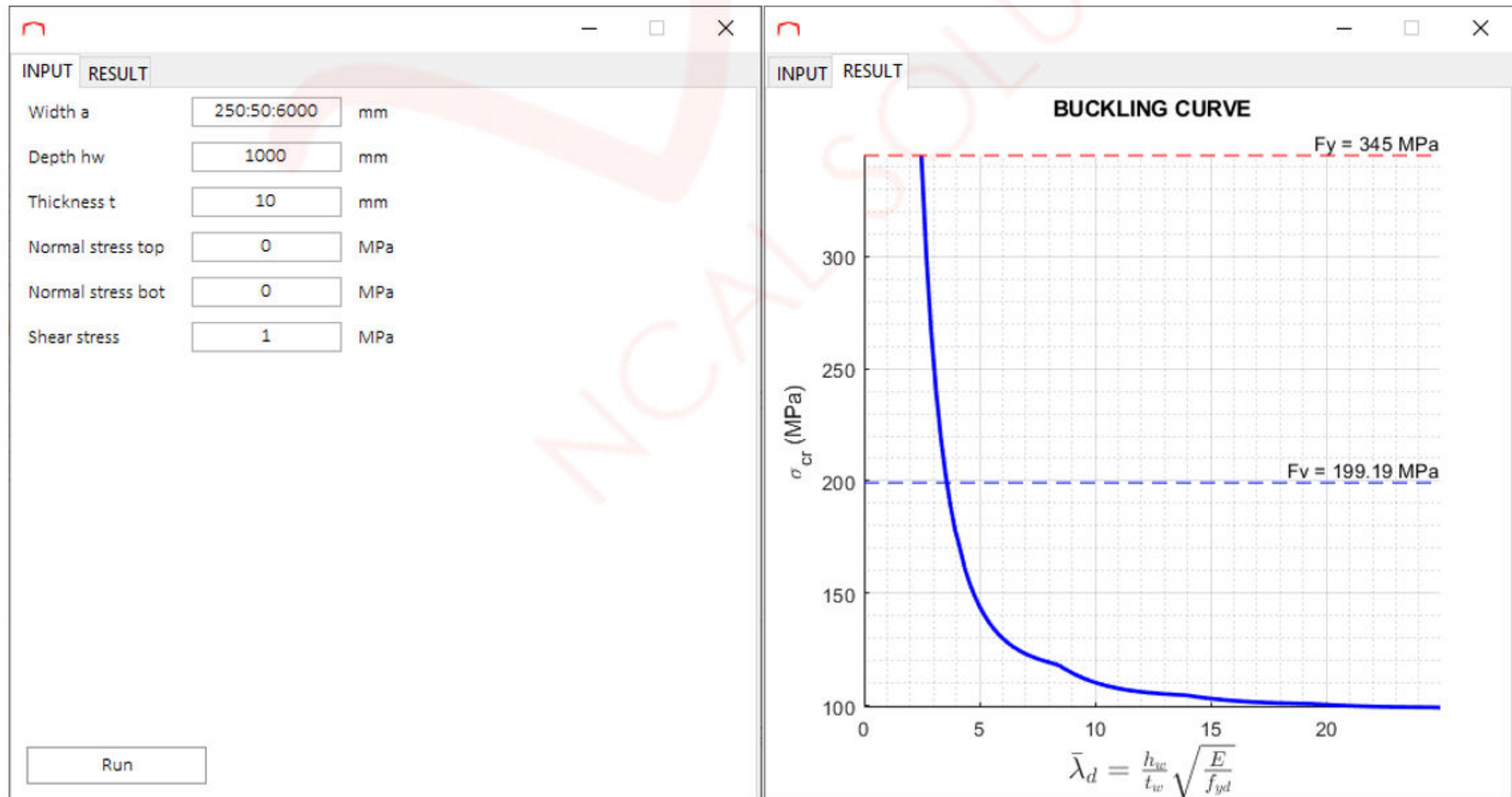
- NBPlate là phần mềm khảo sát về mất ổn định tấm mỏng có hoặc không có sườn gia cường dưới tác dụng của tải trọng tổng quát, về kết quả của NBPlate đã được so sánh với các kết quả từ phần mềm như Ansys, RF-PLATE-BUCKLING từ Dlubal, Frilo PLII++, ... và các kết quả từ lý thuyết của Timoshenko. Kết quả cho thấy NBPlate khớp với các số liệu từ lý thuyết tính tay và sai số với các phần mềm tính toán không quá 1%.
- Vì vậy, trong bài báo này chúng ta sẽ sử dụng phần mềm NBPlate để khảo sát giá trị lực tới hạn của tấm chịu cắt

The screenshot shows the NBPLATE v1.0 software interface. It has a menu bar with 'INPUT', 'STIFFNEFERS', 'STRESS', 'LOCAL STRESS / PATCH LOAD', and 'RESULT'. The 'INPUT' tab is active, showing three sections: '1 - MATERIAL', '2 - GEOMETRY', and '3 - TYPE OF PLATE'. The material properties are: Elastic Modulus E = 200 GPa, Poisson's Ratio v = 0.3, and Yield strength Fy = 345 MPa. The geometry parameters are: Width a = 1 m, Depth hw = 1 m, and Thickness t = 10 mm. The type of plate is set to 'Web'. To the right of the input fields is a diagram of a rectangular plate with a horizontal longitudinal stiffener. The diagram labels the 'Plate' and 'Longitudinal Stiffener', and shows dimensions: 'Depth : hw', 'Width : a', and 'y'. Below the diagram is the text 'BASIC PARAMETER'. At the bottom of the interface, there is a section titled 'NBPLATE : BUCKLING MODE SHAPE OF PLATE' with a small graph icon labeled 'B' and the following equation:

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2)\lambda^2} = \frac{4 \times \pi^2 \times 200}{12(1-0.3^2) \times 100^2} = 72.3 \text{ MPa}, [\gamma = 7.23]$$

Hình III-2 Phần mềm NBplate

- Với dải bề rộng của tấm, chiều cao, chiều dày tấm được khảo sát như ở phần II, dùng chức năng Buckling Curve được cung cấp trong NBPlate để tiến hành khảo sát :



Hình III-3 Kết quả khảo sát và các thông số đầu vào trong Buckling Curve NBPlate

Các kết quả sẽ được thảo luận bên dưới.

III.1.1.2. TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ HOA KỲ AISC 360-10

Sử dụng Chương G trong [1] để khảo sát khả năng chịu cắt của tấm trên, thu được kết quả được cho trong bảng dưới :

AISC 360 - 10			
a	a/h	C _v	τ _{cr} (MPa)
500	0.50	1.00	199.19
1000	1.00	0.84	166.82
1500	1.50	0.63	125.09
2000	2.00	0.54	108.25
2500	2.50	0.50	100.46
3000	3.00	0.48	96.23
3500	3.50	0.43	86.60
4000	4.00	0.43	86.60
6000	6.00	0.43	86.60

Hệ số C_v được tính như sau :

$$\left\{ \begin{array}{l} C_v = 1 \\ C_v = \frac{1.1\sqrt{k_v}}{\bar{\lambda}_d} \\ C_v = \frac{1.51k_v}{\bar{\lambda}_d^2} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \forall \bar{\lambda}_d \leq 1.1\sqrt{k_v} \\ \forall \bar{\lambda}_d \in [1.1\sqrt{k_v}, 1.37\sqrt{k_v}] \\ \forall \bar{\lambda}_d > 1.37\sqrt{k_v} \end{array} \quad \bar{\lambda}_d = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

(Tham khảo công thức G2-3,4,5 trong [1])

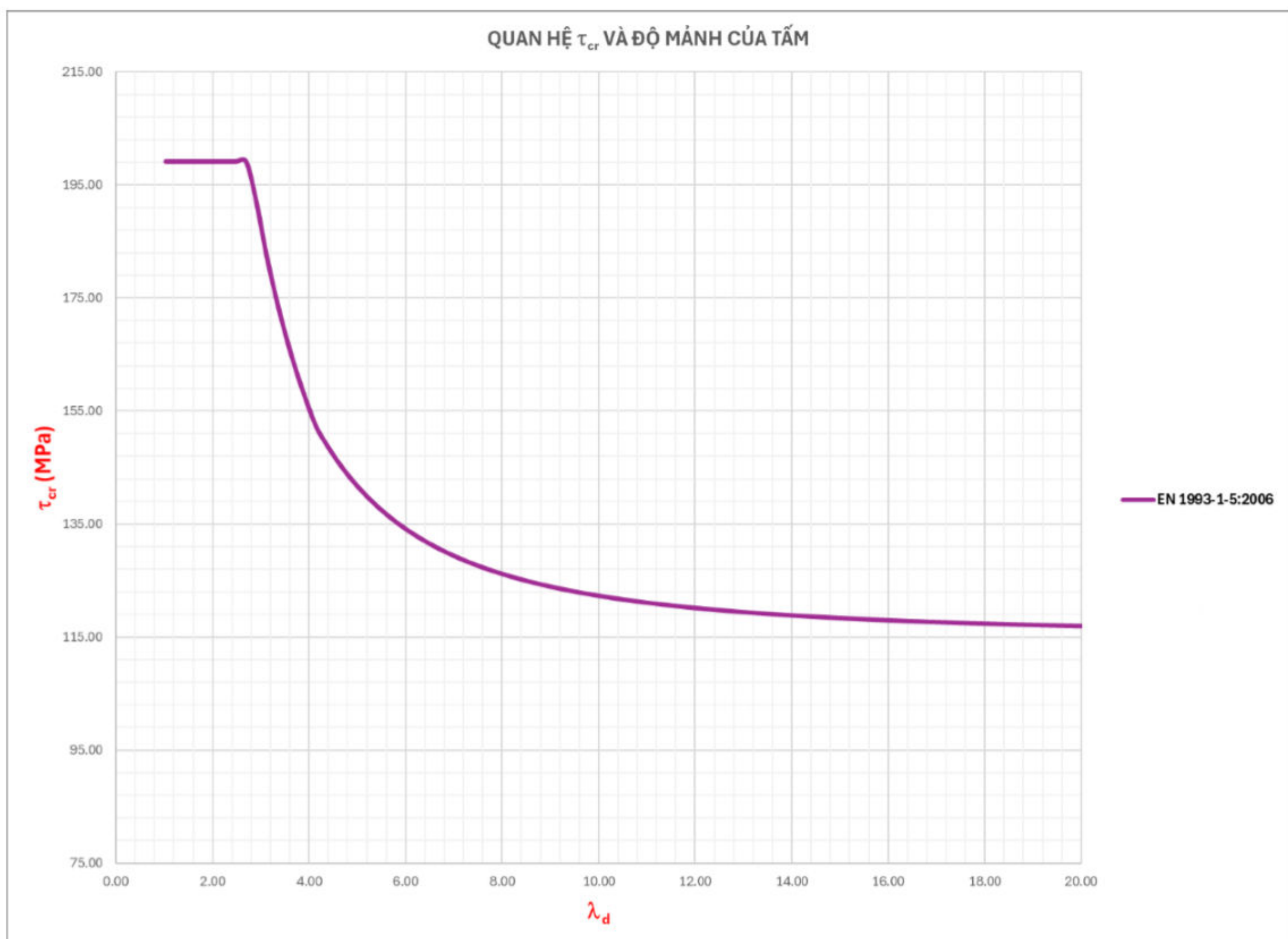
III.1.1.3. EUROCODE 3 : EN 1993-1-5

- Tính toán khả năng chịu cắt của tấm theo [3], với công thức tính toán được quy đổi lại theo định dạng AISC 360 (cho độc giả dễ so sánh) như bên dưới, mà không làm mất đi tính tổng quát của công thức :

$$\tau_{cr} = C_v f_v$$

$$\text{○ Với } \begin{cases} C_v = \eta & \forall \bar{\lambda}_d < 1.03 \frac{\sqrt{k_\tau}}{\eta} \\ C_v = \frac{1.03 \sqrt{k_\tau}}{\bar{\lambda}_d} & \forall \bar{\lambda}_d \geq 1.03 \frac{\sqrt{k_\tau}}{\eta} \end{cases} \text{ và } \bar{\lambda}_d = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

- Với bài toán này, ta chọn $\eta = 1.0$
- Và kết quả được cho theo biểu đồ bên dưới.



III.1.1.4. TÍNH TAY THEO LÝ THUYẾT

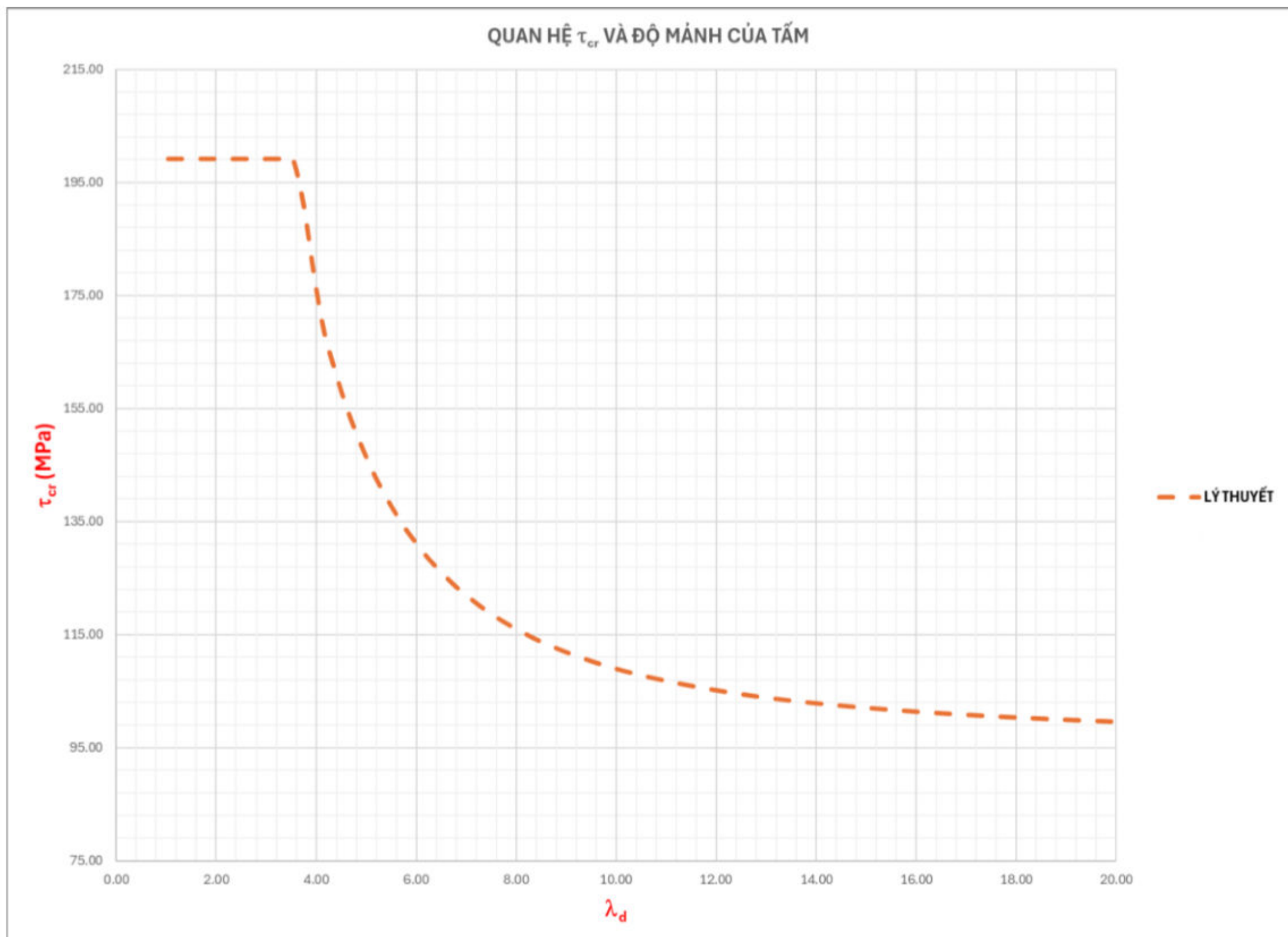
- Theo công thức được tính toán trực tiếp từ phương trình năng lượng trong [4], với dạng :

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{1}{D} \left(N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)$$

- Với w là hàm độ võng của tấm, D là hệ số vật liệu của tấm mỏng, được cho bởi công thức:

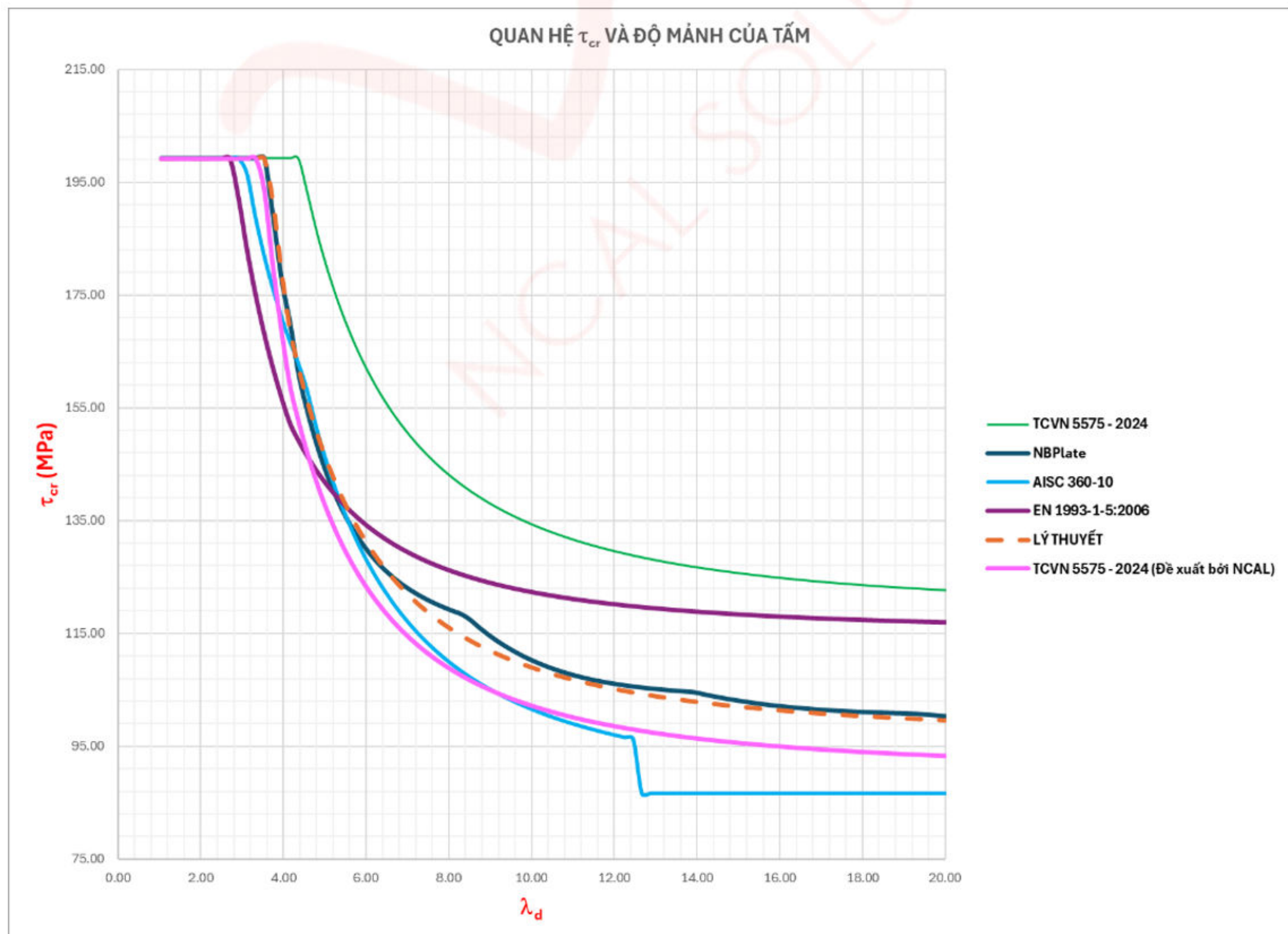
$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

- Do tính chất phức tạp của việc giải phương trình vi phân này, nên trong bài báo sẽ chỉ trình bày kết quả dưới dạng đồ thị. Và kết quả được tính toán dựa trên phương trình trên được cho như bên dưới :



III.1.1.5. NHẬN XÉT KẾT QUẢ TỔNG QUÁT

- Tổng hợp kết quả từ các phần trên, các đồ thị được tập hợp theo biểu đồ bên dưới :



Từ đây có có một vài nhận xét như bên dưới :

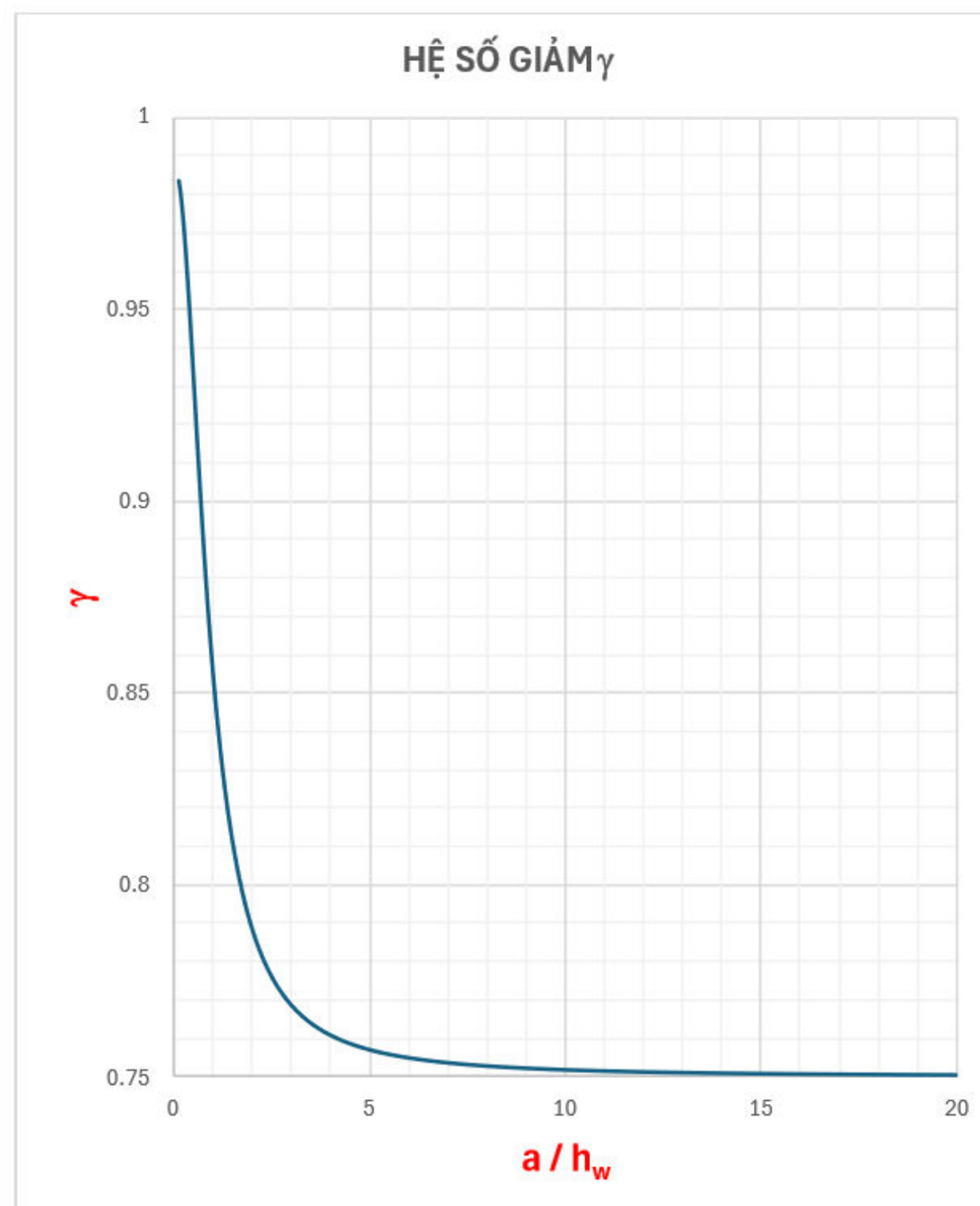
- Kết quả tính toán từ TCVN 5575 – 2024 cho ra kết quả chênh lệch nhiều nhất, và khác “rất xa” so với các lý thuyết hiện tại, kể cả khi kể đến ảnh hưởng của hiện tượng “tension field”.
- Trong khi kết quả của Eurocode cũng vậy, từ tỉ số $a/b > 2$ thì đã có sự khác biệt rõ rệt giữa lý thuyết tính toán từ các lý thuyết “giải tích” so với tiêu chuẩn.
- Trong khi kết quả AISC tỏ ra rất khả quan, và “bám sát” với các lý thuyết tính toán.
- Các kết quả của NBPlate
- Dựa trên các nghiên cứu từ NBPlate, NCAL đề nghị một đường cong tính mới, với hệ số áp dụng được lấy từ NBPlate, và kết quả nghiên cứu cho thấy tính khả quan của của phương trình được đề xuất, và tuân thủ theo các nghiên cứu mới nhất từ Mỹ.
- Và phương trình do NCAL đề xuất có thể áp dụng cho việc tính toán bụng chịu cắt mà không cần bố trí sườn tăng cứng, từ đó giúp cho giảm khối lượng của công trình.

IV. PHƯƠNG TRÌNH ĐỀ XUẤT TỪ NCAL

- Dựa trên các nghiên cứu, NCAL đề xuất khả năng chịu cắt tới hạn của tấm không kể đến ảnh hưởng của sườn gia cường như sau :

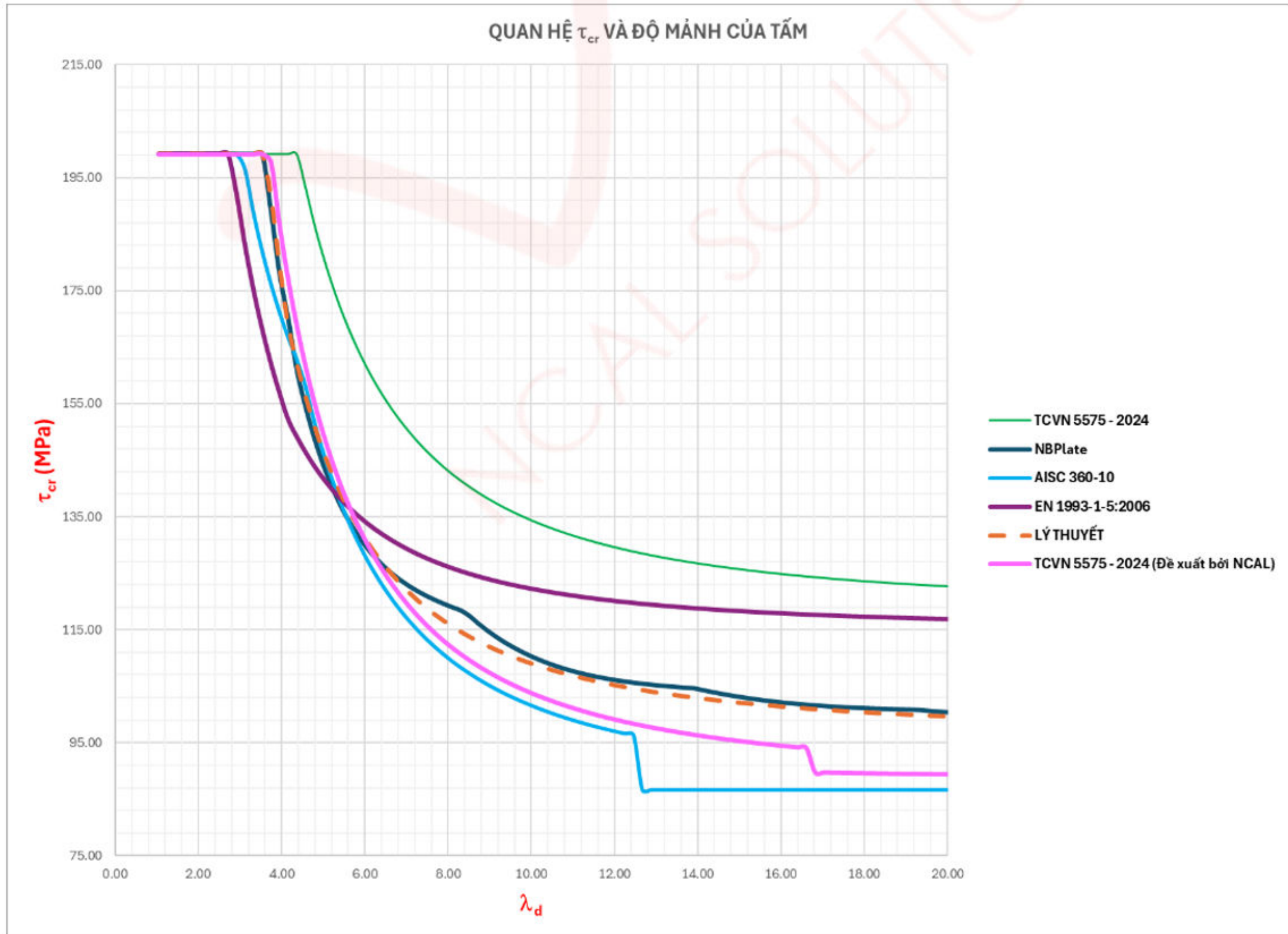
$$\tau_{cr} = 5.9\gamma \left(1 + \frac{0.76}{\mu^2} \right) \frac{F_y}{\bar{\lambda}_d^2}$$

- Với
 - Hệ số γ được tra theo đồ thị bên dưới hoặc dùng phần mềm NBPlate
 - Hệ số $\mu = \frac{a}{h_w}$, **không cần phân biệt cạnh ngắn hay dài.**
 - Độ mảnh tương đối $\bar{\lambda}_d = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$
 - Nếu $\mu > 4$ thì $\tau_{cr} = 5.9\gamma \frac{F_y}{\bar{\lambda}_d^2}$



Hình IV-1 Hệ số giảm cắt đề xuất

- Kết quả đề xuất :



- Nhận xét :
 - Kết quả tính toán do NCAL đề ra sát với lý thuyết tính toán và các tiêu chuẩn đang phổ biến hiện hành. Vì vậy có thể áp dụng để tính toán cho tấm không cần sườn tăng cường khi chịu cắt.

V.

Δ (%)				
NBPlate - Tính tay	TCVN 5575 - Tính tay	AISC 360 - Tính tay	EC3 - Tính tay	NCAL mới - Tính tay
2.78	23.34	5.92	10.21	3.86
2.40	23.33	6.09	10.58	4.03
2.07	23.32	6.25	10.93	4.20
1.78	23.31	6.41	11.26	4.36
1.54	23.30	6.55	11.57	4.51
1.32	23.29	6.69	11.86	4.65
1.16	23.28	6.82	12.14	4.78
1.01	23.27	6.95	12.40	4.91
0.90	23.27	7.06	12.64	5.03
0.82	23.26	7.18	12.88	5.14
0.76	23.25	7.28	13.10	5.25
0.73	23.25	7.38	13.31	5.36
0.72	23.24	7.48	13.51	5.45
0.72	23.24	7.57	13.71	5.55
0.75	23.23	7.66	13.89	5.64
0.79	23.23	7.74	14.06	5.72
0.84	23.22	7.82	14.23	5.80
0.90	23.22	7.90	14.38	5.88
0.97	23.21	7.97	14.53	5.96
1.05	23.21	16.97	14.68	6.03
1.13	23.20	16.77	14.81	6.09
1.22	23.20	16.58	14.94	6.16
1.31	23.20	16.40	15.07	6.22
1.40	23.19	16.22	15.19	6.28
1.49	23.19	16.06	15.30	6.34
1.56	23.19	15.90	15.41	6.39
1.45	23.18	15.74	15.52	6.45
1.31	23.18	15.59	15.62	6.50
1.20	23.18	15.45	15.72	6.55
1.09	23.18	15.31	15.81	6.59
1.00	23.17	15.18	15.90	6.64
0.92	23.17	15.06	15.99	6.68
0.85	23.17	14.94	16.07	6.72
0.78	23.17	14.82	16.15	6.76
0.73	23.16	14.71	16.23	6.80
0.70	23.16	14.60	16.30	6.84
0.66	23.16	14.49	16.37	6.87
0.64	23.16	14.39	16.44	6.91
0.63	23.15	14.29	16.51	6.94
0.62	23.15	14.20	16.57	11.09
0.62	23.15	14.11	16.63	11.03

Δ (%)				
NBPlate - Tính tay	TCVN 5575 - Tính tay	AISC 360 - Tính tay	EC3 - Tính tay	NCAL mới - Tính tay
0.62	23.15	14.02	16.69	10.96
0.64	23.15	13.94	16.75	10.90
0.66	23.15	13.85	16.81	10.84
0.68	23.14	13.77	16.86	10.79
0.71	23.14	13.70	16.91	10.73
0.74	23.14	13.62	16.96	10.68
0.77	23.14	13.55	17.01	10.63
0.80	23.14	13.48	17.06	10.58
0.83	23.14	13.41	17.10	10.53
0.87	23.14	13.35	17.15	10.48
0.88	23.13	13.29	17.19	10.44
0.82	23.13	13.22	17.23	10.39
0.77	23.13	13.16	17.27	10.35
0.72	23.13	13.11	17.31	10.31
0.67	23.13	13.05	17.35	10.27
0.62	23.13	13.00	17.39	10.23
0.59	23.13	12.94	17.42	10.19
0.55	23.13	12.89	17.46	10.15
0.52	23.13	12.84	17.49	10.12
0.50	23.12	12.79	17.52	10.08
0.48	23.12	12.75	17.56	10.05
0.46	23.12	12.70	17.59	10.02
0.45	23.12	12.66	17.62	9.99
0.44	23.12	12.61	17.65	9.95
0.44	23.12	12.57	17.67	9.92
0.44	23.12	12.53	17.70	9.89
0.44	23.12	12.49	17.73	9.87
0.45	23.12	12.45	17.75	9.84
0.46	23.12	12.41	17.78	9.81
0.47	23.12	12.37	17.80	9.79
0.48	23.12	12.34	17.83	9.76
0.49	23.11	12.30	17.85	9.74
0.51	23.11	12.27	17.88	9.71
0.52	23.11	12.24	17.90	9.69
0.54	23.11	12.20	17.92	9.66
0.55	23.11	12.17	17.94	9.64
0.54	23.11	12.14	17.96	9.62
0.51	23.11	12.11	17.98	9.60