



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР  
СТАЛЕВОГО  
БУДІВНИЦТВА

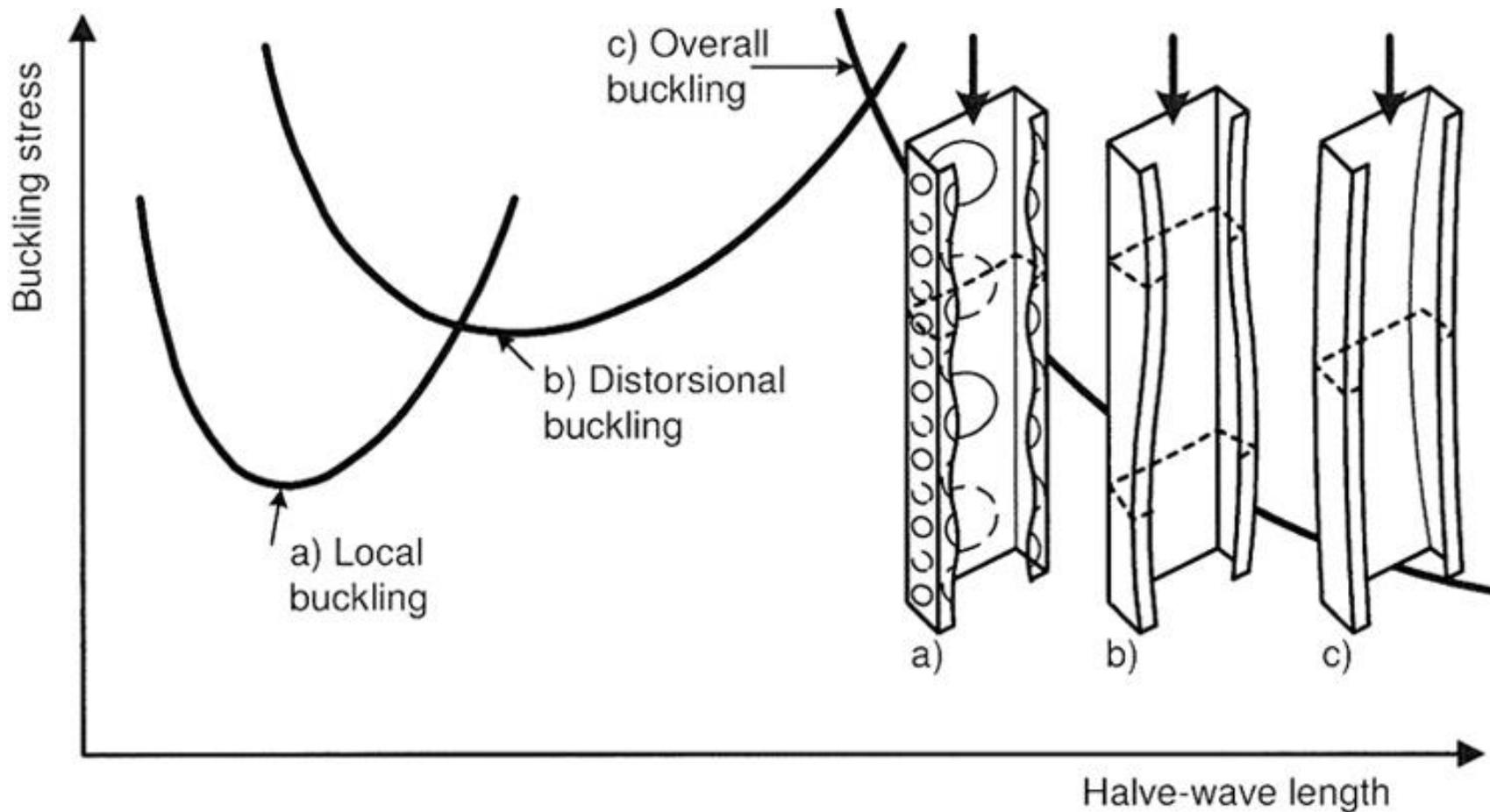
# Розрахунок елементів на стійкість

Білик Артем Сергійович

к.т.н., голова інженерного центру УЦСБ, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА

Семінар  
«Розрахунок сталевих конструкцій відповідно до Єврокодів»  
17.06.2015

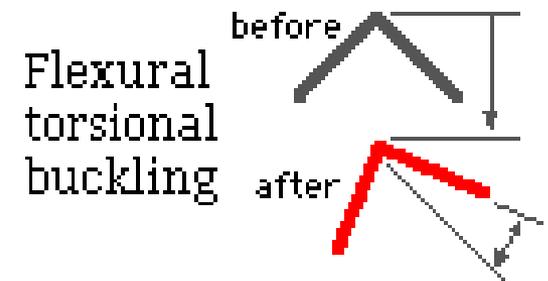
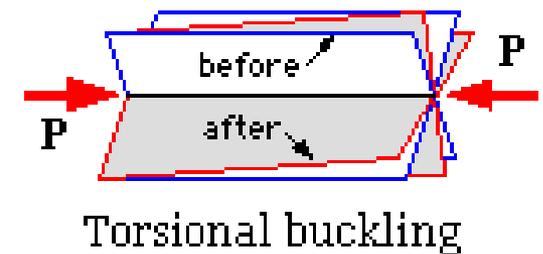
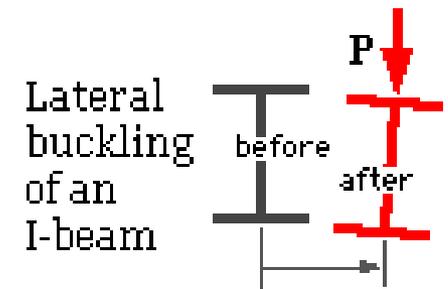
# Несуча здатність елементів на стійкість при центральному стиску



# Несуча здатність елементів на стійкість при центральному стиску

Центрально-стиснуті елементи постійного перерізу мають **ТРИ** типи втрати стійкості:

- **згинна форма** (для двотаврових перерізів з двома вісями симетрії або замкнених)
- **крутильна форма** (для хрестоподібних, таврових, і тонкостінних профілів)
- **згинно-крутильна форма втрати стійкості**, (для асиметричних та тонкостінних профілів).



---

Перевірка стійкості при центральному стиску:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0$$

$N_{Ed}$  розрахункове значення стискального зусилля

$N_{b,Rd}$  розрахункова несуча здатність

для поперечних перерізів класів 1, 2 або 3 
$$N_{b,Rd} = \chi \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

$\chi$  коефіцієнт стійкості для відповідної форми

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Проміжний вираз  $\phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$

$\alpha$  - коефіцієнт початкових недосконаlostей

Крива втрати стійкості	$a_0$	a	b	c	d
$\alpha$	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

---

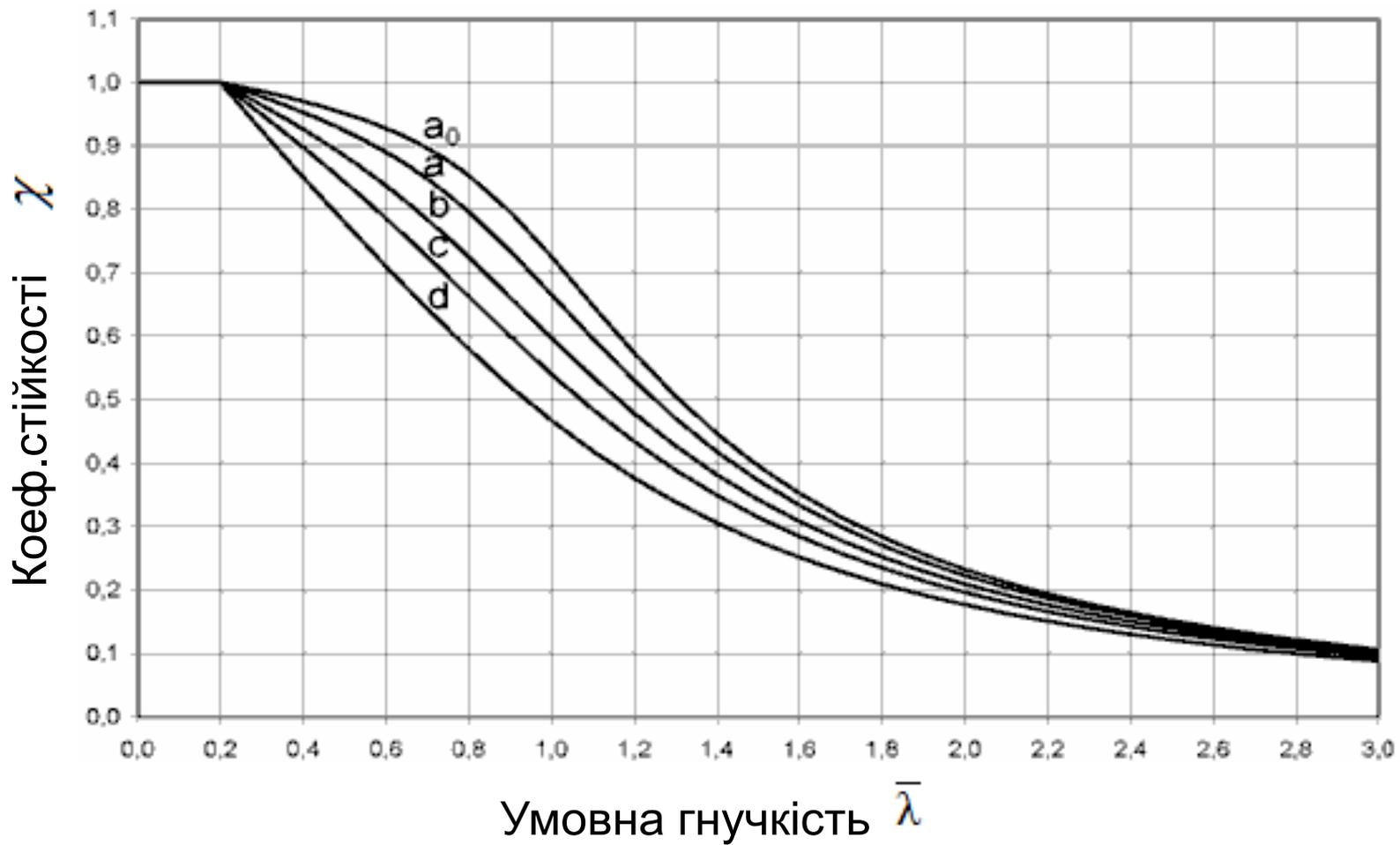
Умовна гнучкість  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}}$  для класів 1, 2 та 3

$N_{cr}$  критичне зусилля у пружній стадії для відповідної форми втрати стійкості бруто

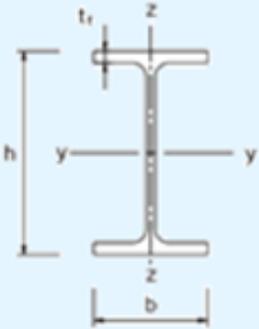
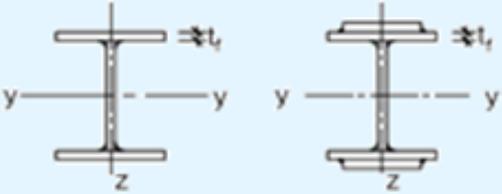
При згинній формі  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}$

$L_{cr}$  – розрахункова довжина у площині що розглядається

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$$



# Вибір кривої стійкості

Поперечний переріз		Межі	Вісь	Крива втрати стійкості		
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Прокатні профілі		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ мм}$	y-y z-z	a b	$a_0$ $a_0$
			$40 \text{ мм} < t_f \leq 100 \text{ мм}$	y-y z-z	b c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ мм}$	y-y z-z	b c	a a
			$t_f > 100 \text{ мм}$	y-y z-z	d d	c c
Зварні двотаврові профілі			$t_f \leq 40 \text{ мм}$	y-y z-z	b c	b c
			$t_f > 40 \text{ мм}$	y-y z-z	c d	c d

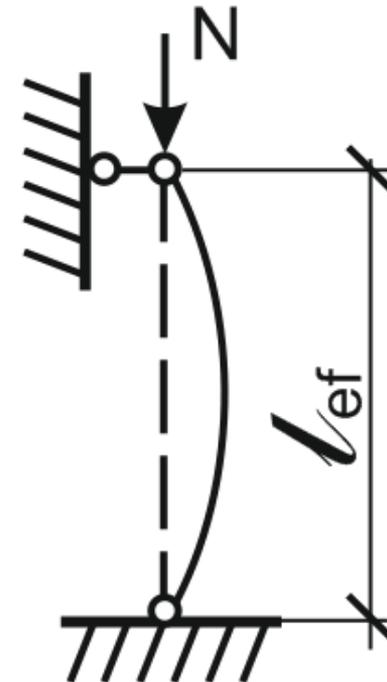
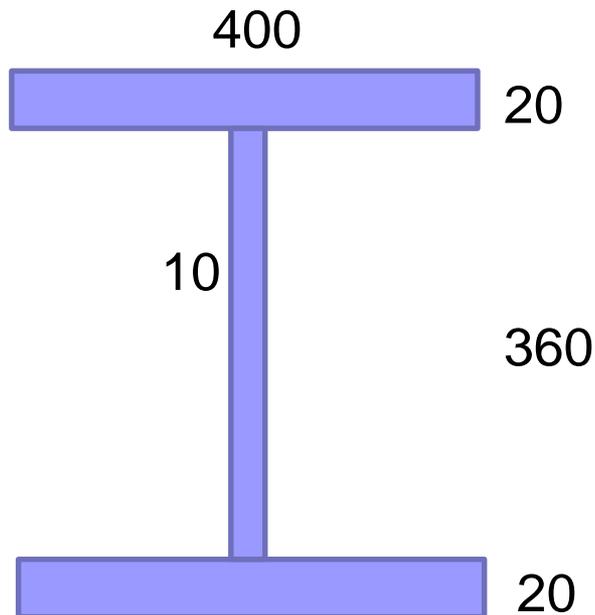
## Типи кривих стійкості для деяких вітчизняних прокатних двотаврових профілів

Тип	Джерело	Ознака	Згин відносно вісі	
			у-у	z-z
3 паралельними гранями полиць	ГОСТ 26020-83	Прокатні двотаврові профілі балкові	a	b
		Прокатні двотаврові профілі з широкими полицями	a	b
		Колонні	b	c
Балки двотаврові	ГОСТ 8239-89	Звичайні	a	b

## Приклад 4.

Прийнята сталь S275

Класифікувати переріз колони і перевірити на стійкість при центральному стиску у площині головної вісі із розрахунковою поздовжньою силою  $N = 2000$  кН, висота 4.2м



$$i = 17,74 \text{ см} \quad A = 196 \text{ см.кв.}$$

## Розв'язок:

---

### 1. Визначимо клас перерізу при стиску

Для сталі С275  $\varepsilon = 0,92$

Класифікуємо стінку для стиснутих елементів:

$$c / t = 360 / 10 = 36 < 42 * 0,92 = 38,64$$

Отже, стінка відноситься до 3 класу

Класифікуємо поличку:

$$c / t = 0,5 * (400 - 10) / 20 = 9,75 < 14 * 0,92 = 12,88$$

Отже, поличка відноситься до 3 класу

Висновок: переріз вцілому відноситься до третього класу

## Розв'язок:

---

### 2. Визначимо тип кривої стійкості

- Зварний двотавровий профіль
- Товщина полицки менше 40мм
- Сталь S275

### Висновок:

тип кривої стійкості перерізу відносно головної вісі: **b**

Відтоді коефіцієнт початкових недосконалостей  $\alpha = 0,34$

Розрахункова довжина колони у головній площині  $L_{cr} = 1 \cdot 4,2 = 4,2$  м

## Розв'язок:

---

### 3. Знайдемо умовну гнучкість

При згинній формі  $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon = 93,9 * 0,92 = 86,4$

Умовна гнучкість тоді рівна

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4,2}{0,1774} * \frac{1}{86,4} = 0,274$$

## Розв'язок:

---

### 4. Знайдемо коефіцієнт стійкості

Проміжний вираз

$$\begin{aligned}\varphi &= 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] = \\ &= 0.5 \left[ 1 + 0,34 (0,274 - 0.2) + 0,274^2 \right] = 0,641\end{aligned}$$

Відтоді коефіцієнт стійкості рівний

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,641 + \sqrt{0,641^2 - 0,274^2}} = 0,82$$

## Розв'язок:

---

### 4. Знайдемо коефіцієнт стійкості

Проміжний вираз

$$\begin{aligned}\varphi &= 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] = \\ &= 0.5 \left[ 1 + 0,34 (0,274 - 0.2) + 0,274^2 \right] = 0,641\end{aligned}$$

Відтоді коефіцієнт стійкості рівний

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,641 + \sqrt{0,641^2 - 0,274^2}} = 0,82$$

# Розв'язок:

## 5. Перевіримо умову стійкості

Частинний коефіцієнт надійності для  $\gamma_{M1} = 1.0$  елементу несучої здатності

Розрахункова несуча здатність на стійкість при центральному стиску для поперечних перерізів класів 1, 2 або 3

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{Af_y}{\gamma_{M1}} = 0,82 * \frac{196 * 275}{1,0 * 10} = 4419,8 \text{ кН}$$

Перевірка стійкості при центральному стиску:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{2000}{4419,8} = 0,453 < 1.0$$

**Висновок:** умова стійкості відносно головної вісі задовольняється

## Недосконалості

- загальні недосконалості для рам і в'язевих систем;
- місцеві недосконалості для окремих елементів – зазвичай ураховані у формулах визначення стійкості елементів!

## Моделювання:

- задання перекосу;
- еквівалентні горизонтальні зусилля

## Для рам:

- загальні початкові недосконалості поперечного  $\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m$  зміщення

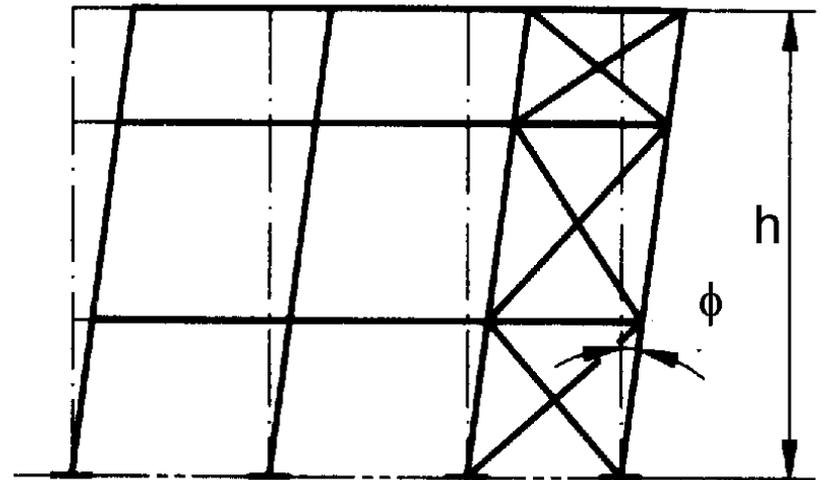
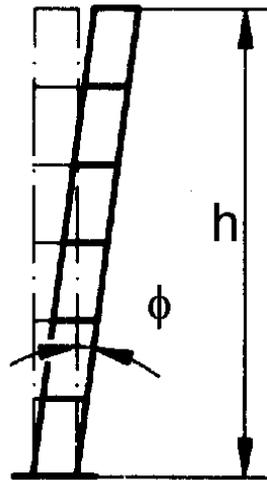
базове значення:  $\phi_0 = 1/200$

$\alpha_h$  – знижувальний коефіцієнт для висоти  $h$  колони

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad \text{але} \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 10$$

$\alpha_m$  – коефіцієнт для кількості колон, що передають горизонт. дії на систему в'язей

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)}$$



Еквівалентні недосконалості поперечного зміщення

2. відносні початкові місцеві недосконалості викривлення елементів із площини при втрати стійкості за згинальною формою задані у формулах:

$$e_0/L$$

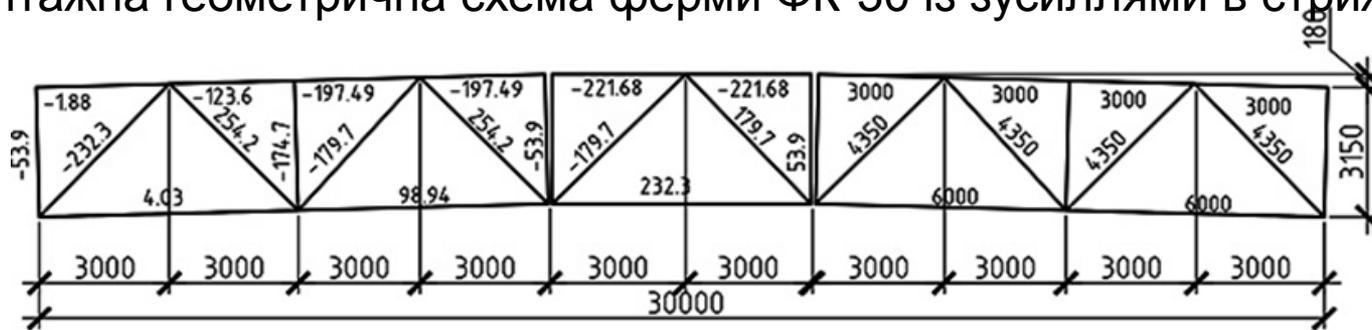
де  $L$  – довжина елемента

Крива втрати стійкості	при розрахунку у пружній стадії	при розрахунку у пластичній стадії
	$e_0/L$	$e_0/L$
$a_0$	1/350	1/300
$a$	1/300	1/250
$b$	1/250	1/200
$c$	1/200	1/150
$d$	1/150	1/100

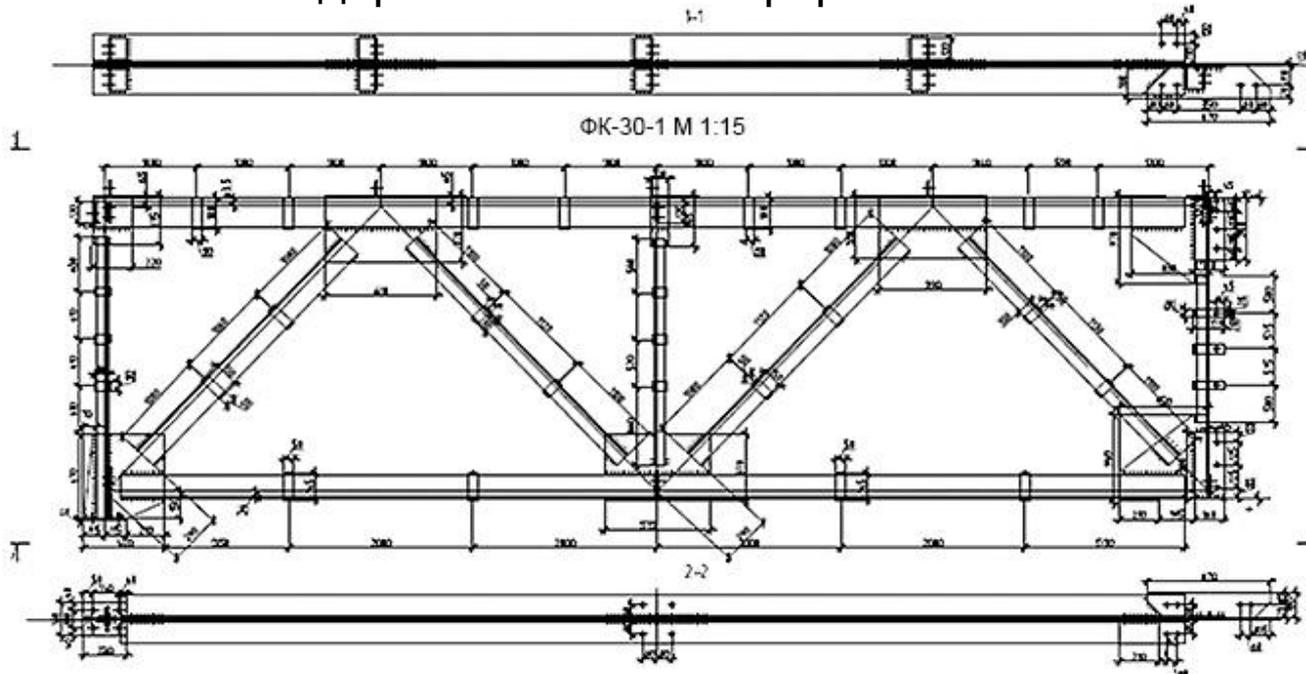


# Ефективність застосування Єврокоду 3

Монтажна геометрична схема ферми ФК-30 із зусиллями в стрижнях



Відправний елемент ферми ФК-30



# Ефективність застосування Єврокоду 3

## Специфікація перерізів елементів і зварних швів при розрахунку за європейськими нормами

Название элемента	Стержни	Расчетное усилие, кН	Сечение	Размер швов, мм			
				по обушке		по перу	
				kt,об	lw,об	kt,п	lw,п
Верхний пояс	1	0,00	2L125*16	10	150	6	100
	2	-540,34	2L125*16	10	150	6	100
	3	-540,34	2L125*16	10	150	6	100
	4	-810,51	2L125*16	10	150	6	100
	5	-810,51	2L125*16	10	150	6	100
	6	-810,51	2L125*16	10	150	6	100
	7	-810,51	2L125*16	10	150	6	100
	8	-540,34	2L125*16	10	150	6	100
	9	-540,34	2L125*16	10	150	6	100
	10	0,00	2L125*16	10	150	6	100
Нижний пояс	11	303,94	2L100*10	10	150	6	110
	12	709,20	2L100*10	10	150	6	110
	13	844,29	2L100*10	10	150	6	110
	14	709,20	2L100*10	10	150	6	110
	15	303,94	2L100*10	10	150	6	110
Раскосы	16	-440,72	2L125*9	8	100	6	60
	17	342,78	2L70*6	6	100	4	70
	18	-244,84	2L100*10	6	80	4	50
	19	146,91	2L70*6	6	100	4	80
	20	-48,97	2L100*10	6	80	4	50
	21	-48,97	2L100*10	6	80	4	50
	22	146,91	2L70*6	6	100	4	80
	23	-244,84	2L100*10	6	80	4	50
	24	342,78	2L70*6	6	100	4	70
	25	-440,72	2L125*9	8	100	6	60
Стояки	26	-35,46	2L63*6	4	40	4	30
	27	-70,92	2L63*6	4	40	4	30
	28	-70,92	2L63*6	4	40	4	30
	29	-70,92	2L63*6	4	40	4	30
	30	-70,92	2L63*6	4	40	4	30
	31	-35,46	2L63*6	4	40	4	30

## Специфікація перерізів елементів і зварних швів при розрахунку за діючими в Україні нормами

Название элемента	Стержни	Расчетное усилие, кН	Сечение	Размер швов, мм			
				по обушке		по перу	
				kt,об	lw,об	kt,п	lw,п
Верхний пояс	1	0,00	2L160*10	5	40	5	40
	2	-759,51	2L160*10	10	250	8	200
	3	-759,51	2L160*10	10	250	8	200
	4	-1154,10	2L180*11	10	250	8	200
	5	-1154,10	2L180*11	10	250	8	200
	6	-1154,10	2L180*11	10	250	8	200
	7	-1154,10	2L180*11	10	250	8	200
	8	-759,10	2L160*10	10	250	8	200
	9	-759,10	2L160*10	10	250	8	200
	10	0,00	2L160*10	5	40	5	40
Нижний пояс	11	414,30	2L80*7	8	130	5	90
	12	1006,10	2L140*10	10	240	6	180
	13	1203,40	2L140*10	10	300	6	230
	14	1006,10	2L140*10	10	240	6	180
	15	414,30	2L80*7	8	130	5	90
Раскосы	16	-623,28	2L140*10	10	160	6	140
	17	500,59	2L90*7	8	150	5	110
	18	-344,56	2L110*8	8	110	5	80
	19	214,54	2L90*7	8	70	5	50
	20	-71,51	2L90*7	5	50	5	40
	21	-71,51	2L90*7	5	50	5	40
	22	214,54	2L90*7	8	70	5	50
	23	-344,56	2L110*8	8	110	5	80
	24	500,59	2L90*7	8	150	5	110
	25	623,28	2L140*10	10	160	6	140
Стояки	26	-103,57	2L70*7	5	60	5	40
	27	-103,57	2L70*7	5	60	5	40
	28	-103,57	2L70*7	5	60	5	40
	29	-103,57	2L70*7	5	60	5	40
	30	-103,57	2L70*7	5	60	5	40
	31	-103,57	2L70*7	5	60	5	40

# Ефективність застосування Єврокоду 3

Норма часу на виконання зварювальних робіт за європейськими нормами

Катет шва, мм	Загальна довжина шва, м	Норма часу на 10 м.п.	Загальна норма часу на виріб
4	1,84	1,5	0,276
6	4,78	3,3	1,5774
8	0,4	4,6	0,184
10	4,5	1,5	0,675
Разом	11,52		2,7124

Норма часу на виконання зварювальних робіт за чинними українськими нормами

Катет шва, мм	Загальна довжина шва, м	Норма часу на 10 м.п.	Загальна норма часу на виріб
4	3	2,3	0,69
6	1,74	3,3	0,5742
8	4,52	4,6	2,0792
10	6,2	1,5	0,93
Разом	15,46		4,2734

при розрахунку за Єврокодом 3 порівняно із ДБН В 2.6-163:2010:

- Маса відправного елемента ферми менша на 8% (3599кг проти 3909)
- Загальна довжина швів на ферму скоротилась на 25,5%
- Витрата електродів скоротилась на 34,9%

За рахунок зменшення довжини зварних швів та використання менших катетів швів вдалось досягти скорочення витрати часу на 36,5% у порівнянні з чинними нормами.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

**Питання?**