



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР  
СТАЛЕВОГО  
БУДІВНИЦТВА

# Вибір сталі та класифікація елементів

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»  
26.05.2016

## Індекси, вживані у Єврокодi (довiдково)

Нижній підстрочний iндекс у Єврокодi	Визначення	Приклад	
Ed	Розр. значення ефекту дії	$M_{Ed}$	Розр. значення згин. моменту
Rd	Розр. значення несучої здатності	$M_{Rd}$	Розр. значення несучої здатності на згин
el	Властивості пружності	$W_{el}$	Момент опору перерізу у пружній стадії
pl	Властивості пластичності	$W_{pl}$	Момент опору перерізу у пластичній стадії

# Номинальні значення межі текучості ( $f_y$ ) та межі міцності ( $f_u$ )

Стандарт та сталь	Номинальна товщина елемента $t$ , мм			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	$f_y$ , Н/мм <sup>2</sup>	$f_u$ , Н/мм <sup>2</sup>	$f_y$ , Н/мм <sup>2</sup>	$f_u$ , Н/мм <sup>2</sup>
<b>ДСТУ EN 10025-2</b>				
<b>S 235</b>	235	360	215	360
<b>S 275</b>	275	430	255	410
<b>S 355</b>	355	510	335	470
<b>S 450</b>	440	550	410	550
<b>ДСТУ EN 10025-3</b>				
<b>S 275 N/NL</b>	275	390	255	370
<b>S 355 N/NL</b>	355	490	335	470
<b>S 420 N/NL</b>	420	520	390	520
<b>S 460 N/NL</b>	460	540	430	540
<b>ДСТУ EN 10025-4</b>				
<b>S 275 M/ML</b>	275	370	255	360
<b>S 355 M/ML</b>	355	470	335	450
<b>S 420 M/ML</b>	420	520	390	500
<b>S 460 M/ML</b>	460	540	430	530

# Визначення підкласу сталі

## Максимально допустимі значення товщин елементів

Клас сталі	Під-клас сталі	Ударна в'язкість $J_{\min}$		Розр. температура $T_{Ed} [^{\circ}\text{C}]$																					
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	
		при $T [^{\circ}\text{C}]$		$\sigma_{Ed} = 0,75 \cdot f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,50 \cdot f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,25 \cdot f_y(t)$							
C275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55	
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70	
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95	
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110	

# Класифікація поперечних перерізів елементів

---

**Клас 1** - поперечні перерізи, у яких може утворюватися повний пластичний шарнір без зниження несучої здатності від втрати місцевої стійкості.

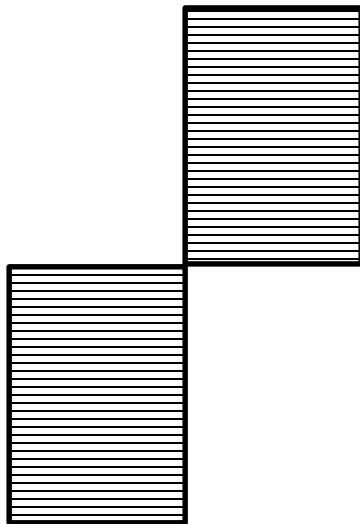
**Клас 2** - поперечні перерізи, у яких можуть утворюватися часткові пластичні деформації, обмежені внаслідок втрати місцевої стійкості.

**Клас 3** - поперечні перерізи, які працюють у пружній області, а напруження досягають межі текучості тільки у крайніх волокнах . Пластичні деформації у пер. 3 класу не розвиваються внаслідок втрати місцевої стійкості.

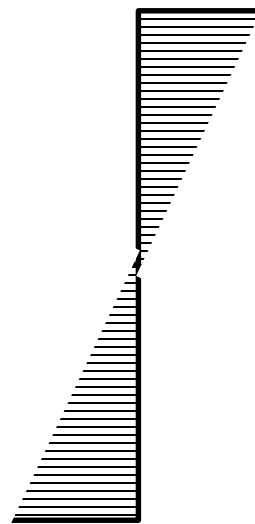
**Клас 4** - поперечні перерізи, у яких втрата місцевої стійкості у одній або кількох ділянках перерізу настає до досягнення текучості

# Класифікація поперечних перерізів елементів

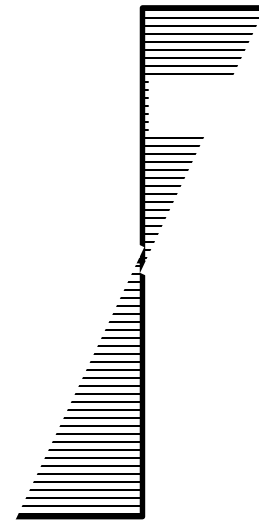
---



**Клас 1**  
**Клас 2**

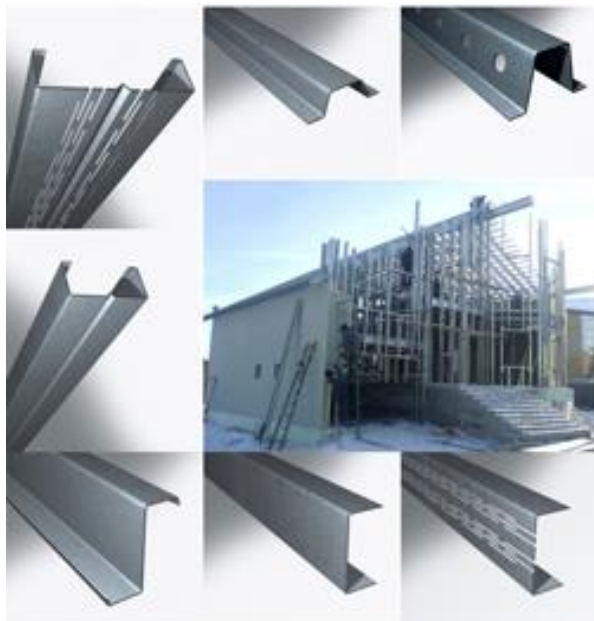


**Клас 3**



**Клас 4**

**Клас 4 – див. EN 1993-1-5!**







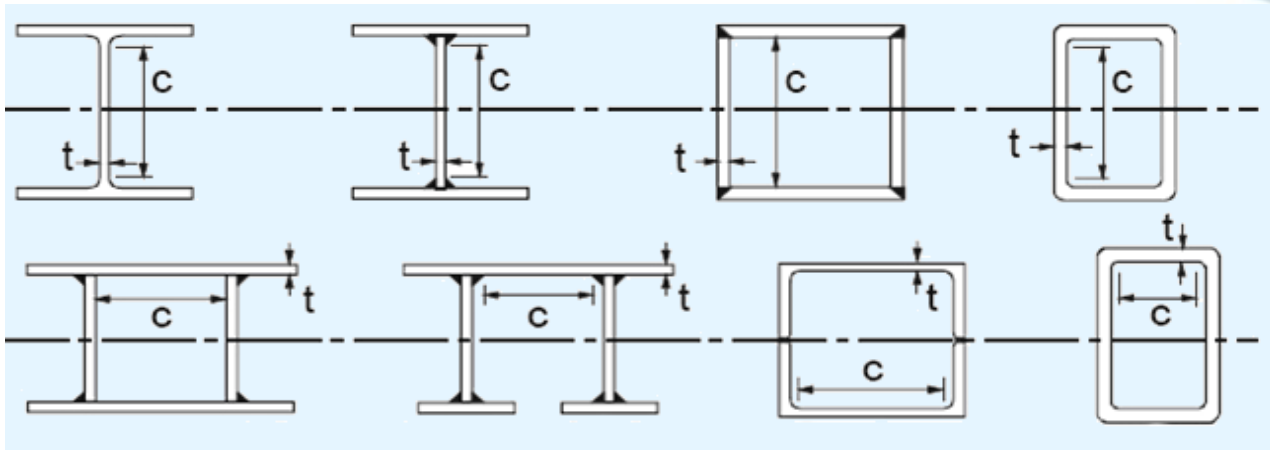






**Будівля London Dock and Harbour  
Company / Henry Robinson Palmer**

# Стиснуті внутрішні ділянки перерізу

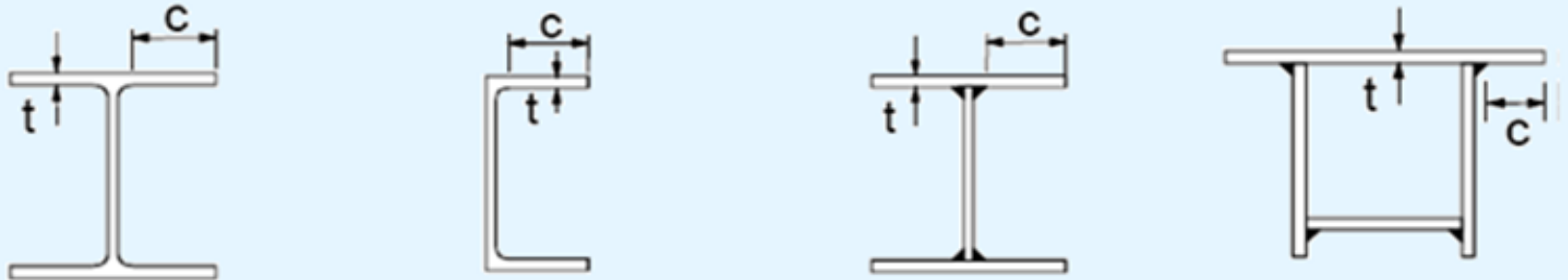


Клас	Згинана ділянка пер.	Стиснута ділянка пер.	Стиснуто-зігн. ділянка пер.
Розподіл напружень у ділянках пер. (стиск зі знаком «+»)			
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	если $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha-1}$ если $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	если $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha-1}$ если $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$

Розподіл напружень у ділянках пер. (стиск зі знаком «+»)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$		$c/t \leq 42\varepsilon$		если $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67+0,33\psi}$ если $\psi \leq -1$ : $c/t \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$	
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

За класифікацією частин перерізу обирається вищий клас!

### Звиси полицок

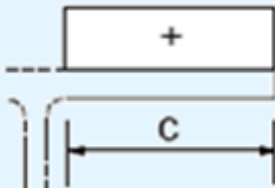
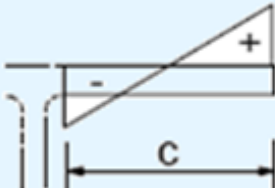
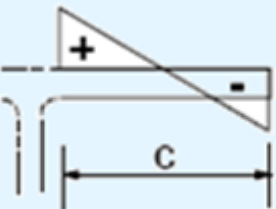


### Прокатні профілі

### Зварні профілі

Клас	Стиснута ділянка пер.	Стиснуто-зігнуті ділянки перерізу	
		Стиск на кінці	Розтяг на кінці
Розподіл напружень у ділянках пер. (стиск зі знаком «+»)			
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$



Розподіл напружень у ділянках пер. (стиск зі знаком «+»)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$		$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Для $k_\sigma$ див. EN 1993-1-5			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

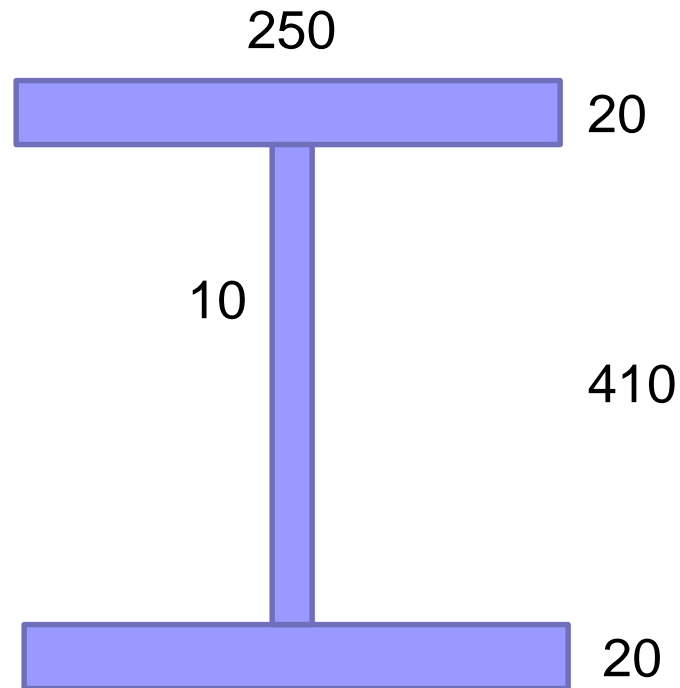
## Висновки:

- Краще уникати 4 класу, бо при стиску у них можливі ексцентриситети і як наслідок - знижена несуча здатність
- Класифікація перерізів залежить окрім як від класу сталі лише від геометрії та розподілу напружень, а не від їх абсолютних значень

## Приклад 2.

Класифікувати переріз балки при чистому згині

Прийнята сталь S235



## Розв'язок:

---

Для сталі С235  $\varepsilon = 1$

Класифікуємо стінку:

$$c / t = 410 / 10 = 41 < 72 * 1 = 72$$

Отже, стінка відноситься до 1 класу

Класифікуємо поличку:

$$c / t = 0,5 * (250 - 10) / 20 = 6 < 9 * 1 = 9$$

Отже, поличка відноситься до 1 класу

Висновок: переріз в цілому відноситься до першого класу

# **Можливості застосування високоміцних сталей**

**Вітчизняні марки за  
ДСТУ EN 10025-  
4:2007**

**S 275 M/ML**

**S 355 M/ML**

**S 420 M/ML**

**S 460 M/ML**

**товщина: 6..50мм**

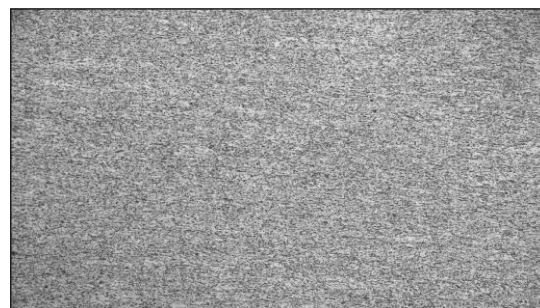
**ширина: 1500..2700мм**

**довжина: 6000..12000мм**

**Додатково:**  
ТМСП-лист з  
границею  
текучості до  
650МПа  
товщиною до  
20мм

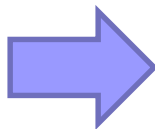


**Нормалізація**



**ТМСП**

- Дрібнозерниста структура сталі
- Висока міцність
- Низький вуглецевий еквівалент
- Добра зварюваність
- Мінімізація попереднього нагріву
- Значна ударна в'язкість
- Відносно низька вартість

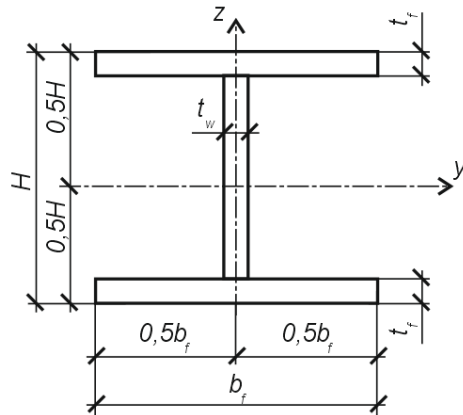


- Мінімізація ваги конструкцій
- Малоелементність
- Зносостійкість
- Фізична здійснюваність
- Висока надійність
- Відповідальні елементи
- Скорочення тривалості зведення



# Зведена розрахункова ефективність застосування високоміцного прокату

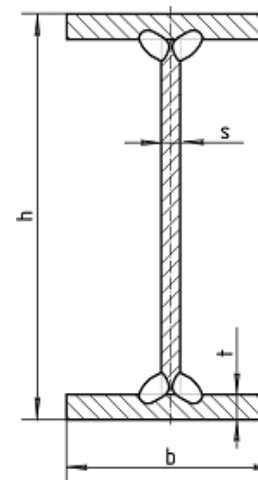
Ефективність застосування високоміцного прокату у колонах двотаврового перерізу, складених з листів



- Технічний поверх громадської будівлі
- Висота 4,2 м, сітка 8\*16 м

Сталь	C245	C275	C355	C420	C460
bf, см	50	48	40	38	36
tf, см	3	2,8	2,8	2,5	2,5
tw, см	2,5	2	1,8	1,4	1,4
Hw, см	34	34	34	34	34
H, см	40	39,6	39,6	39	39
A, см <sup>2</sup>	470	404,8	346,4	285,2	275,2
маса кг/пог. м	<b>369,0</b>	<b>317,8</b>	<b>271,9</b>	<b>223,9</b>	<b>216,0</b>

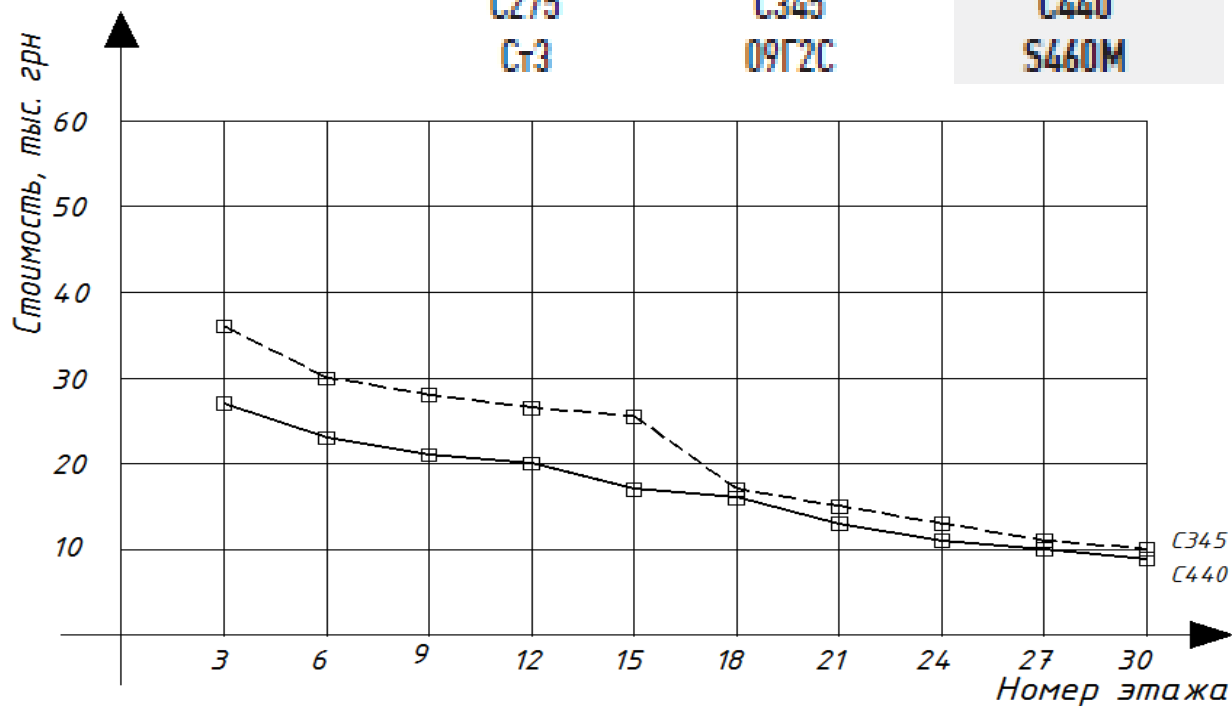
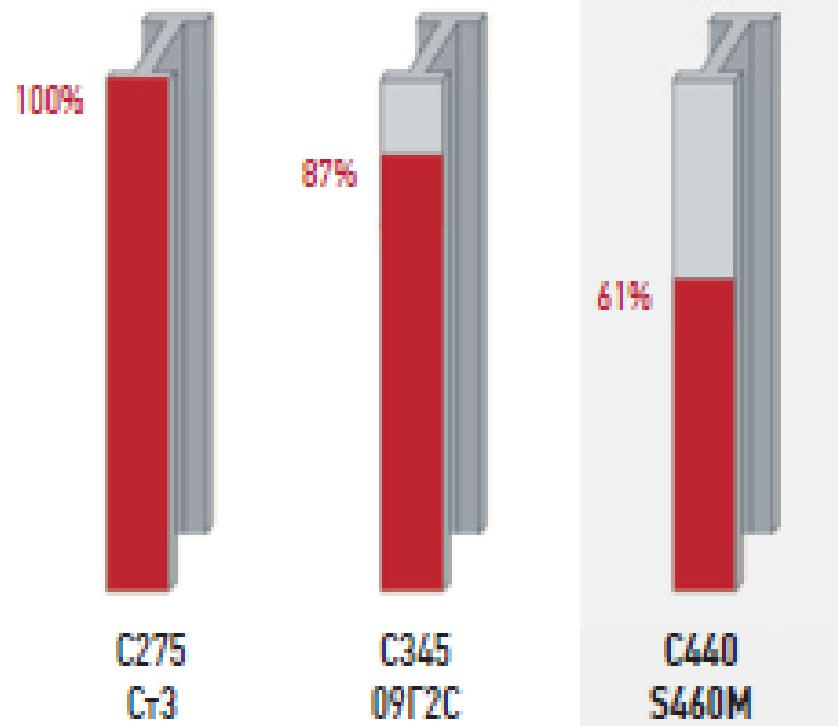
Ефективність застосування високоміцного прокату у балках двотаврового перерізу, складених з листів за ТУ У 01412851.001-95



- Головна балка технічного поверху громадської будівлі
- Сітка 8\*8 м

Сталь	№	Маса балки, кг
C245	60BC4	<b>1484,0</b>
C275	50BC4	<b>1526,0</b>
C355	50BC3	<b>1281,1</b>
C420	45BC2	<b>1070,1</b>

Ефективність використання сталі підвищеної міцності у зварних колонах складеного з листів коробчатого перерізу для 30-поверхової будівлі у м.Київ



# Сучасні приклади застосування високоміцних сталей

- Зменшення металоємності у сучасних комерційних будівлях внаслідок застосування високоміцного прокату



ВТЦ, Нью-Йорк (2014),  
541 м, 104 пов.



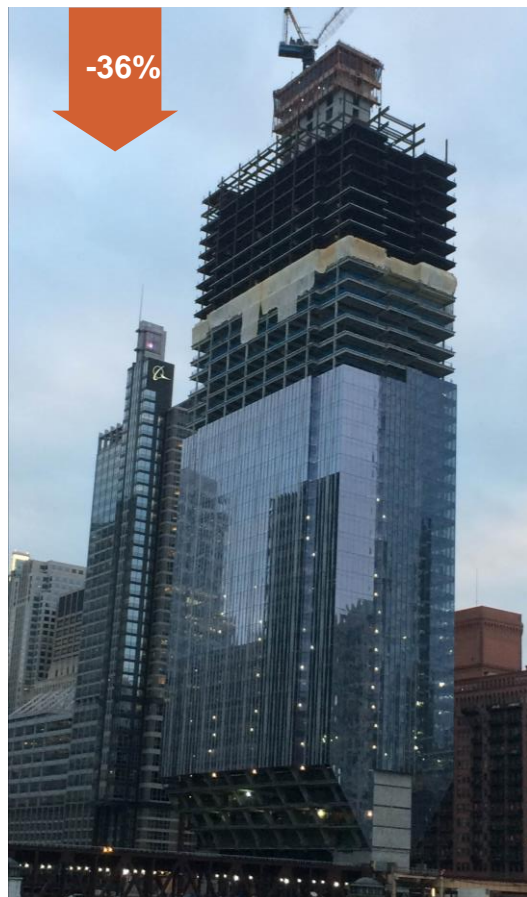
Башта Хьорста, Нью-Йорк (2002) , 201 м, 47 пов.



Башта Мапфре,  
Барселона (1992),  
154 м, 42 пов.

# Сучасні приклади застосування високоміцних сталей

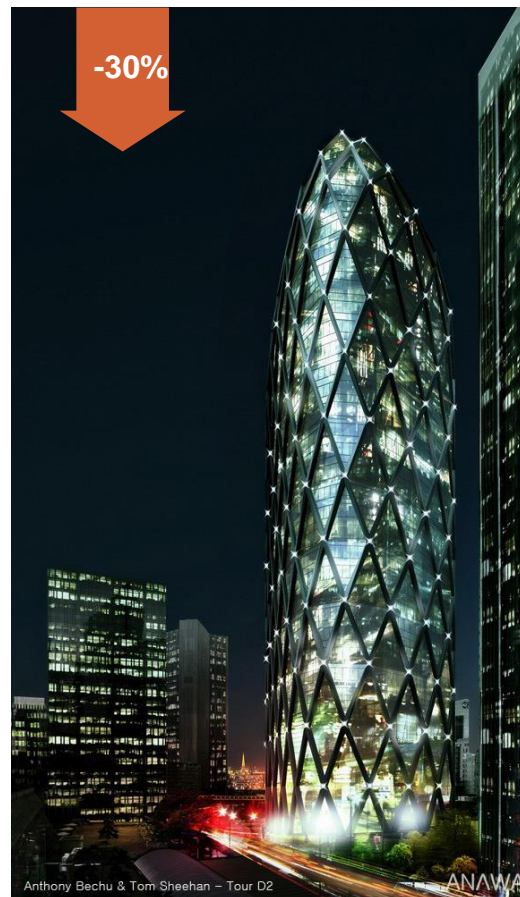
- Зменшення металоємності у сучасних комерційних будівлях внаслідок застосування високоміцного прокату



150 North Riverside Plaza

м. Чикаго, США, 2017

228 м, 54 пов.



Башня D2

м. Париж, Франція,

2014 171 м, 37 пов.



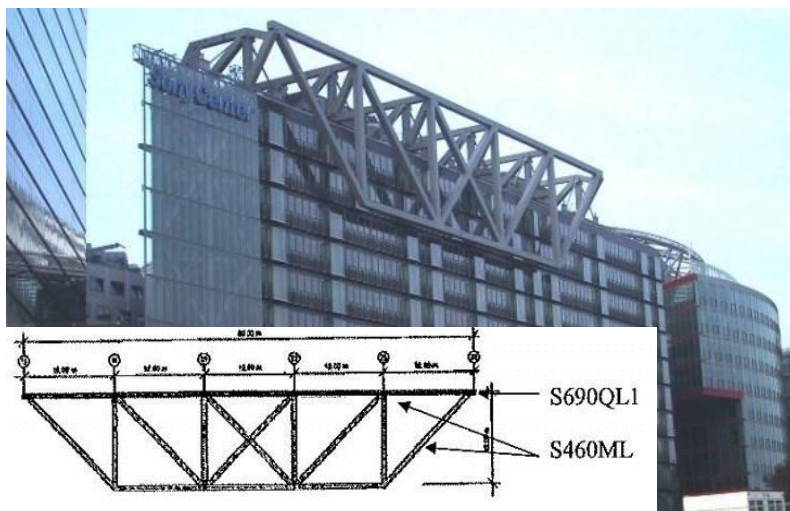
# Сучасні приклади застосування високоміцних сталей

- Високонавантажені елементи



Ефективні суцільностінчаті аутригери будівлі H-tower висотою 99.2 м, виготовлені із сталі підвищеної міцності 440-490 МПа. 2011 р.

Опорна база колони з траверсами (звичайна сталь) і із застосуванням високоміцної сталі (справа)



Фланцеві вузли балок із застосуванням високоміцної сталі стануть більш компактними

Sony-Center Берлін, опорна ферма. Атріум зсередини



# Сучасні приклади застосування високоміцних сталей

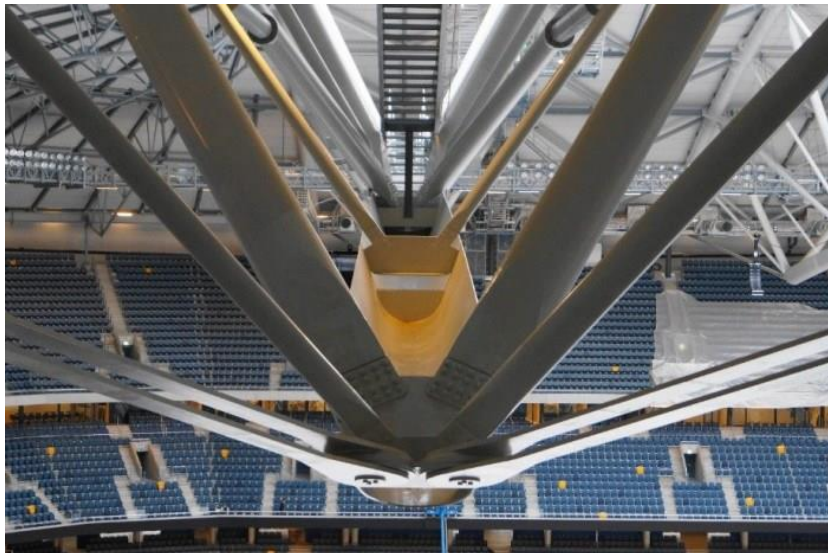
- Прольотні конструкції



Високоміцна сталь S460 в трубчатих елементах ферм стадіону Friends Arena (Стокгольм). Висота 17 м, проліт 162 м, займає 32% від загальної маси сталі

Компактні вузли із високоміцної сталі S900 зробили можливою реалізацію проекту

Сумарная економія коштів за рахунок застосунку високоміцної сталі – 15%.



# Сучасні приклади застосування високоміцних сталей

- Мости



**Міст Ерасмус 1996**

Роттердам, Нідерланди

Висота 139 м

Довжина 802 м

Вага конструкцій 6800т

**4 200 т листа марки S355M**



**Міст Ересун 2000**

Мальме-Копенгаген, Швеція/Данія

Макс. висота: 203,5 м

Ширина: 23,5 м

Довжина : 7 845 м

**60 000 т листа марки S460M**

**16 000 т листа марки S420M**



**Міст Ilverich 2002**

Дюссельдорф, Німеччина

Ширина: 33 м

Довжина: 5 910 м

Вага конструкцій 7500т

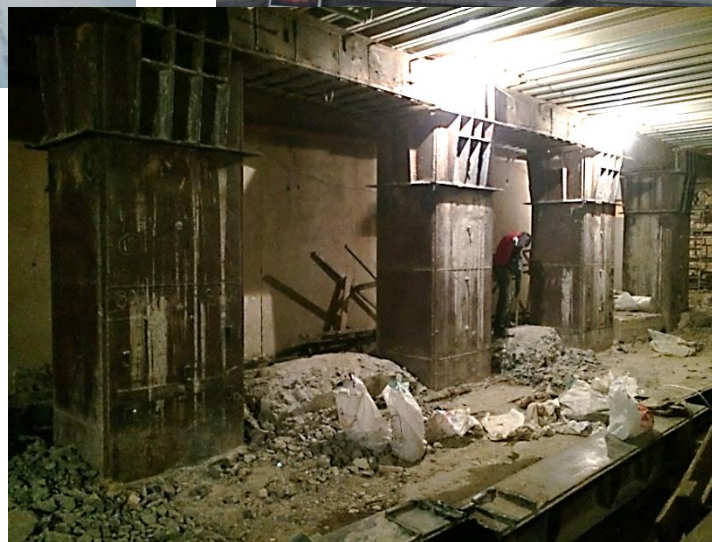
Застосунок **S460** знизив

вагу на 21%



# Сучасні приклади застосування високоміцних сталей

- Фізична здійснюваність реконструкції за допомогою високоміцних сталей



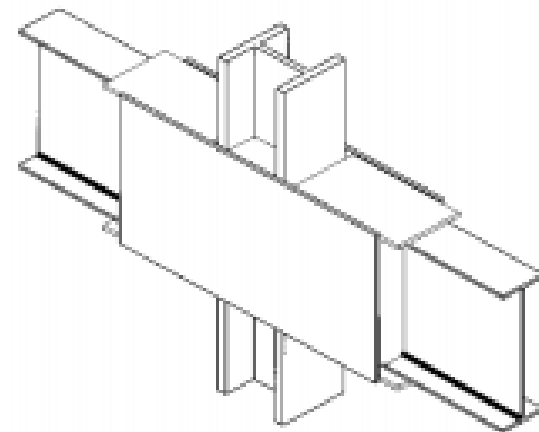
Хрещатик  
29, м.Київ

# Сучасні приклади застосування високоміцних сталей

- Застосування високоміцних сталей у сфері безпеки



Амбасада Швеції у США



Захист існуючих  
будівель



Перешкоди,  
периметр територій



**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**