



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЕВОГО
БУДІВНИЦТВА

Розрахунок фланцевих з'єднань сталевих конструкцій згідно вимог ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8

Туз Олександр,
Інженер- консультант
BIM SOLUTION UKRAINE

EN 1993 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій

- ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд
- ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проектування з'єднань
- ДСТУ-Н Б EN 1993-1-10:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-10. Властивості тріщиностійкості і міцності матеріалу у напрямі товщини прокату
- ДСТУ-Н Б EN 1993-2:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 2. Сталеві мости



1.1.2 Сфера застосування частини 2 Єврокод 3

(1) Цей технічний кодекс дає загальні основи будівельного проектування сталевих мостів і сталевих елементів сталезалізобетонних мостів об'єднаної конструкції.

У ньому наведено положення, що доповнюють, змінюють або заміняють відповідні положення, зазначені в різних частинах стандарту EN 1993-1.

Розрахункові положення

При розрахунку використовується компонентний метод розрахунку

2.4 НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ З'ЄДНАНЬ

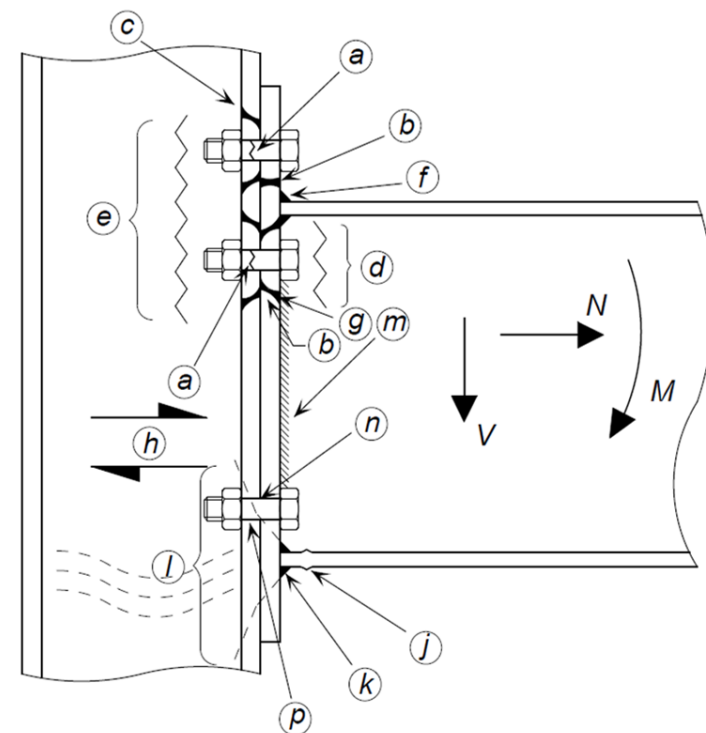
Несучу здатність з'єднання потрібно визначати виходячи з несучої здатності його основних компонентів.

Компонент

Частина вузла, що впливає на одну або більше його конструктивних властивостей.

Компонентний метод розрахунку

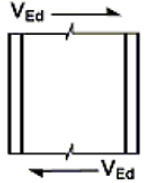
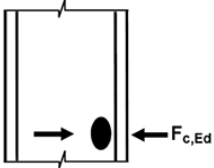
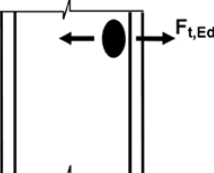
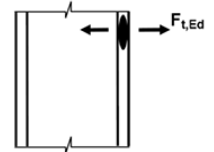
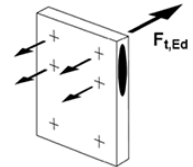
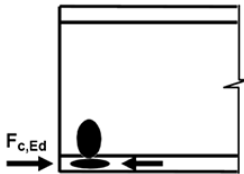
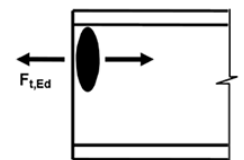
Розрахунок основних компонентів, необхідних для розуміння роботи вузла в процесі передачі відповідних внутрішніх сил та моментів між з'єднаними елементами



Компонентна модель

Компонентний метод розрахунку

Таблиця 6.1 Основні компоненти вузлів

| Компонент Component | | Посилання на правила застосування Reference to application rules | | |
|--|---|---|---|------------------------|
| | | Несуча здатність | Коефіцієнт жорсткості | Поворотна здатність |
| | | Design resistance | Stiffness coefficient | Rotation capacity |
| 1 Ділянка стінки колони при зсуві 1 Column web panel in shear |  | 6.2.6.1 | 6.3.2 | 6.4.2 та 6.4.3 |
| 2 Стінка колони при поперечному стиску 2. Column web in transverse compression |  | 6.2.6.2 | 6.3.2 | 6.4.2 та 6.4.3 |
| 3 Стінка колони при поперечному розтягу 3 Column web in transverse tension |  | 6.2.6.3 | 6.3.2 | 6.4.2 та 6.4.3 |
| 4 Полиця колони при згині 4 Column flange in bending |  | 6.2.6.4 | 6.3.2 | 6.4.2 та 6.4.3 |
| 5 Фланець при згині 5. End-plate in bending |  | 6.2.6.5 | 6.2.6.5 | 6.4.2 |
| 7 Полиця та стінка балки або колони при стиску 7 Beam or column flange and web in compression |  | 6.2.6.7 | 6.3.2 | * |
| 8 Стінка балки при розтягу 8 Beam web in tension |  | 6.2.6.8 | 6.3.2 | * |
| 10 Болти при розтягу 10 Bolts in tension | | | У з'єднаннях: з полицею колони – 6.2.6.4; з торцевою пластиною – 6.2.6.5; з поясною накладкою – 6.2.6.6 | 6.4.7 |
| 19 Зварні шви 19 Welds | | 4 | 6.3.2 | * |

ВРАХУВАННЯ ЖОРСТКОСТІ ВУЗЛУ

5.1.1 Загальні положення

(1) Як правило, слід враховувати вплив роботи з'єднань на розподіл внутрішніх сил та моментів у конструкції, а також на загальні деформації конструкції. Якщо цей вплив незначний, то ним можна знехтувати.

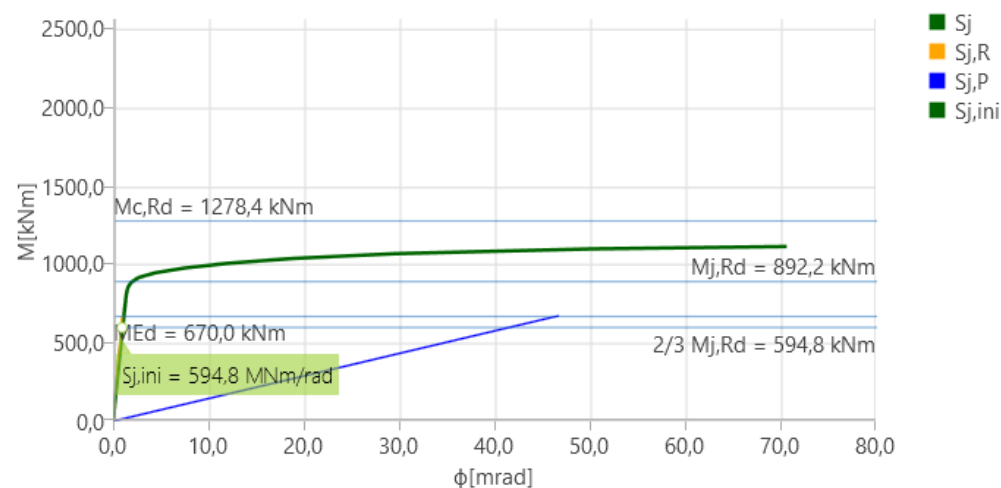
(2) Для встановлення необхідності врахування впливу роботи з'єднань на виконання розрахунку розрізняють три типи спрощених моделей вузлів:

- простий, за яким можна допустити, що вузол не передає згинальний момент;
- жорсткий, за яким робота вузла не впливає на результати статичного розрахунку;
- напівжорсткий, за яким слід враховувати роботу вузла у розрахунку.

Таблиця 6.1 Основні компоненти вузлів

| Метод розрахунку Method of global analysis | Класифікація вузла Classification of joint | | |
|---|---|--|--|
| Пружний Elastic | Номінально шарнірний Nominally pinned | Жорсткий Rigid | Напівжорсткий Semi-rigid |
| Жорстко-пластичний Rigid-Plastic | Номінально шарнірний Nominally pinned | Рівномісний Full-strength | Частково рівномісний Partial-strength |
| Пружно-пластичний Elastic-Plastic | Номінально шарнірний Nominally pinned | Жорсткий та рівномісний Rigid and full-strength | Напівжорсткий та частково рівномісний. Напівжорсткий та рівномісний. Жорсткий та частково рівномісний Semi-rigid and partial-strength. Semi-rigid and full-strength. Rigid and partial-strength |
| Тип моделі вузла | Простий Simple | Жорсткий Continuous | Напівжорсткий Semi-continuous |

Stiffness diagram $M_y - \phi_y$, LE1



ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011

Таблиця 2.1 Часткові коефіцієнти безпеки для з'єднань

| | |
|--|--|
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ RESISTANCE OF MEMBERS AND CROSS SECTIONS | γ_{M0}, γ_{M1} ТА γ_{M2} , ДИВ. EN 1993-1-1 γ_{M0}, γ_{M1} AND γ_{M2} , SEE EN 1993-1-1 |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ БОЛТІВ RESISTANCE OF BOLTS | γ_{M2} |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАКЛЕПОК RESISTANCE OF RIVETS | |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ШТИФТІВ RESISTANCE OF PINS | |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗВАРНИХ ШВІВ RESISTANCE OF WELDS | |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ПЛАСТИН НА ЗМИНАННЯ RESISTANCE OF PLATES IN BEARING | |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ НА ЗСУВ SLIP RESISTANCE | |
| У ГРАНИЧНОМУ СТАНІ ЗА НЕСУЧОЮ ЗДАТНІСТЮ (КЛАС ТОЧНОСТІ С) AT ULTIMATE LIMIT STATE (CATEGORY C) | γ_{M3} |
| У ГРАНИЧНОМУ СТАНІ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ПРИДАТНІСТЮ (КЛАС ТОЧНОСТІ В) AT SERVICEABILITY LIMIT STATE (CATEGORY B) | $\gamma_{M3,ser}$ |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ІН'ЄКЦІЙНИХ БОЛТІВ НА ЗМИНАННЯ BEARING RESISTANCE OF AN INJECTION BOLT | γ_{M4} |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ВУЗЛІВ ФЕРМ ІЗ ЗАМКНУТИХ ПРОФІЛІВ RESISTANCE OF JOINTS IN HOLLOW SECTIONS LATTICE GIRDER | γ_{M5} |
| НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ШТИФТІВ У ГРАНИЧНОМУ СТАНІ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ПРИДАТНІСТЮ RESISTANCE OF PINS AT SERVICEABILITY LIMIT STATE | $\gamma_{M6,ser}$ |

Національний вибір дозволено для EN 1993-1-8 за допомогою:

- 2.2 (2)
- 1.2.6 (Група 6: Заклепки)
- 3.1.1 (3)
- 3.4.2 (1)
- 5.2.1 (2)
- 6.2.7.2 (9)

ПРИМІТКА. Числові значення коефіцієнтів безпеки γ_M можуть бути визначені у Національному додатку. Рекомендуються наступні значення:

$$\gamma_{M2} = 1,25; \gamma_{M3} = 1,25 \text{ та } \gamma_{M3,ser} = 1,1; \gamma_{M4} = 1,0;$$

$$\gamma_{M5} = 1,0; \gamma_{M6,ser} = 1,0; \gamma_{M7} = 1,1.$$

ОСОБЛИВОСТІ, ВІДМІННОСТІ

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011

$F_{t,Rd}$ – розрахункова несуча здатність одного болта на розтяг

$F_{v,Rd}$ – розрахункова несуча здатність одного болта на зсув

$F_{b,Rd}$ – розрахункова несуча здатність одного болта на зминання

$V_{p,Rd}$ – розрахункова несуча здатність головки болта або гайки на відрив при зсуві

ДБН В.2.6-198:2014

N_{bt} - розрахункове зусилля при розтягу болта

N_{bs} розрахункове зусилля сприйняте одним болтом при зрізі (умовному) болта

N_{bp} - розрахункове зусилля при зминанні металу з'єднаних елементів в отворі

ОСОБЛИВОСТІ, ВІДМІННОСТІ

ДБН В.2.6-198:2014

16.2.9 Розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом, слід визначати залежно від виду напруженого стану за формулами:

- при зрізі (умовному) болта

$$N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c; \quad (16.12)$$

- при зминанні металу з'єднаних елементів в отворі

$$N_{bp} = R_{bp} d_b \sum t_{min} \gamma_b \gamma_c; \quad (16.13)$$

- при розтягу болта

$$N_{bt} = R_{bt} A_{bn} \gamma_c; \quad (16.14)$$

де R_{bs} , R_{bp} , R_{bt} – розрахункові опори одноболтових з'єднань;

$A_b = 0,78d_b^2$ – площа поперечного перерізу стрижня болта;

n_s – кількість розрахункових площин зрізу одного болта, шт;

γ_c – коефіцієнт умов роботи, який визначається за таблицею 5.1;

γ_b – коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання, який визначається за таблицею 16.4;

d_b – зовнішній діаметр стрижня болта;

$\sum t_{min}$ – найменша сумарна товщина елементів у з'єднанні, які зминаються в одному напрямку;

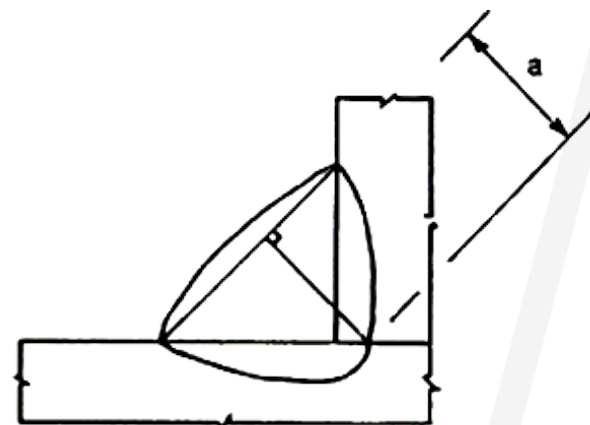
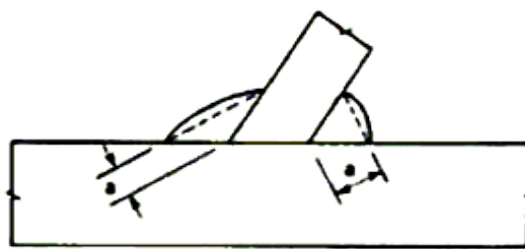
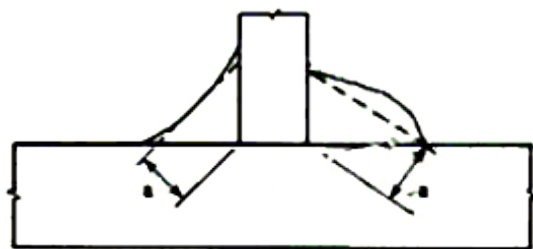
A_{bn} – площа поперечного перерізу нетто болта за різьбою.

(Пункт 16.2.9 змінено, Зміна № 1)

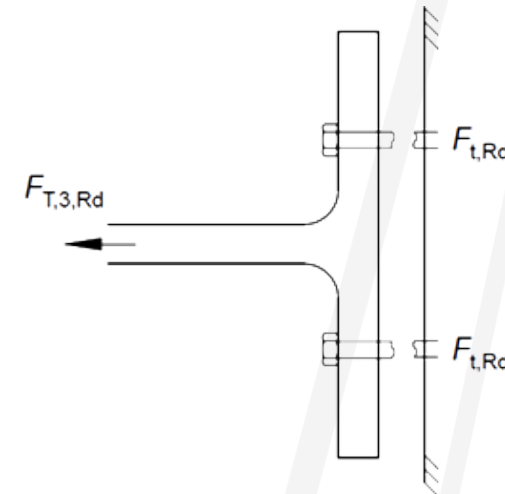
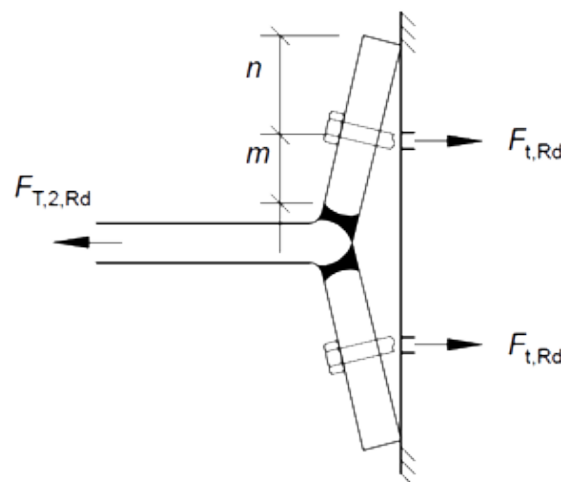
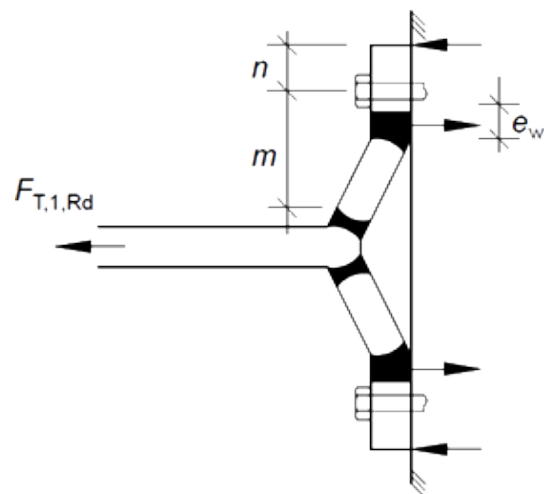
EN 1993-1-8

| З'ЄДНАННЯ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА РОЗТЯГ TENSION CONNECTIONS | | |
|---|--|--|
| D З'ЄДНАННЯ БЕЗ ПОПЕРЕДНЬОГО НАТЯГУ БОЛТІВ NON-PRELOADED | $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ | ПОПЕРЕДНЄ НАПРУЖЕННЯ НЕ ПОТРІБНЕ. МОЖУТЬ ЗАСТОСОВУВАТИСЯ БОЛТИ КЛАСІВ 4,6–10,9. $B_{p,Rd}$ ВИЗНАЧАЄТЬСЯ ЗА ТАБЛИЦЕЮ 3.4 NO PRELOADING REQUIRED. BOLT CLASSES FROM 4.6 TO 10.9 MAY BE USED. $B_{p,Rd}$ SEE TABLE 3.4. |
| E З'ЄДНАННЯ З ПОПЕРЕДНІМ НАТЯГОМ БОЛТІВ PRELOADED | $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ | СЛІД ЗАСТОСОВУВАТИ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНІ БОЛТИ КЛАСІВ 8.8 АБО 10.9. $B_{p,Rd}$ ВИЗНАЧАЄТЬСЯ ЗА ТАБЛИЦЕЮ 3.4 PRELOADED 8.8 OR 10.9 BOLTS SHOULD BE USED. $B_{p,Rd}$ SEE TABLE 3.4. |
| РОЗРАХУНКОВЕ РОЗТЯГУВАЛЬНЕ ЗУСИЛЛЯ $F_{T,ED}$ ПОВИННО ВКЛЮЧАТИ МОЖЛИВЕ ЗУСИЛЛЯ ВІДРИВУ ВНАСЛІДОК ЕФЕКТУ ВАЖЕЛЯ, ДИВ. 3.11. БОЛТИ РОЗТЯГУВАЛЬНОГО ЗУСИЛЛЯ ЗСУВУ РАЗОМ ІЗ РОЗТЯГУВАЛЬНИМ ЗУСИЛЛЯМ, ПОВИННІ ТАКОЖ ЗАДОВОЛЬНЯТИ УМОВИ, НАВЕДЕНІ У ТАБЛИЦІ 3.4 THE DESIGN TENSILE FORCE $F_{T,ED}$ SHOULD INCLUDE ANY FORCE DUE TO PRYING ACTION, SEE 3.11. BOLTS SUBJECTED TO BOTH SHEAR FORCE AND TENSILE FORCE SHOULD ALSO | | |

Товщина кутового шва а не катет



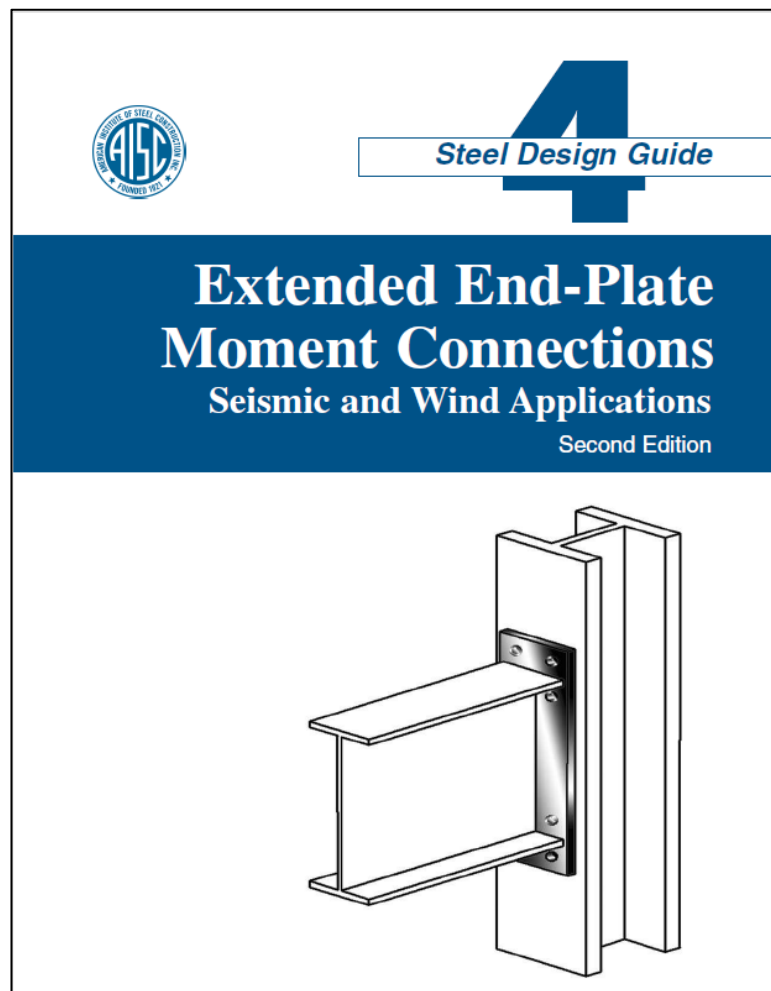
Врахування ефекту важелю при визначенні зусилля в болті



www.academia.edu



AMERICAN INSTITUTE OF STEEL
CONSTRUCTION



The Steel Construction Institute

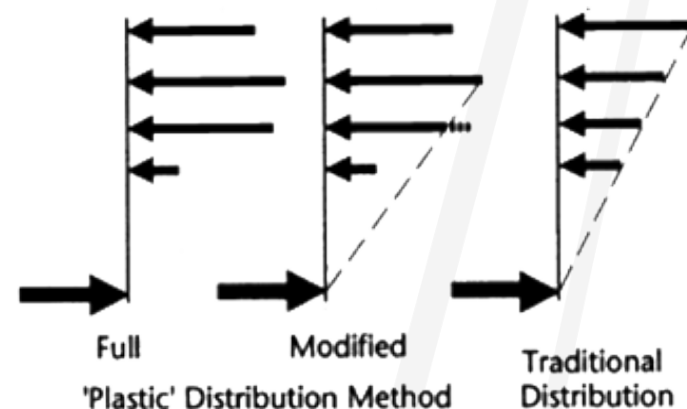
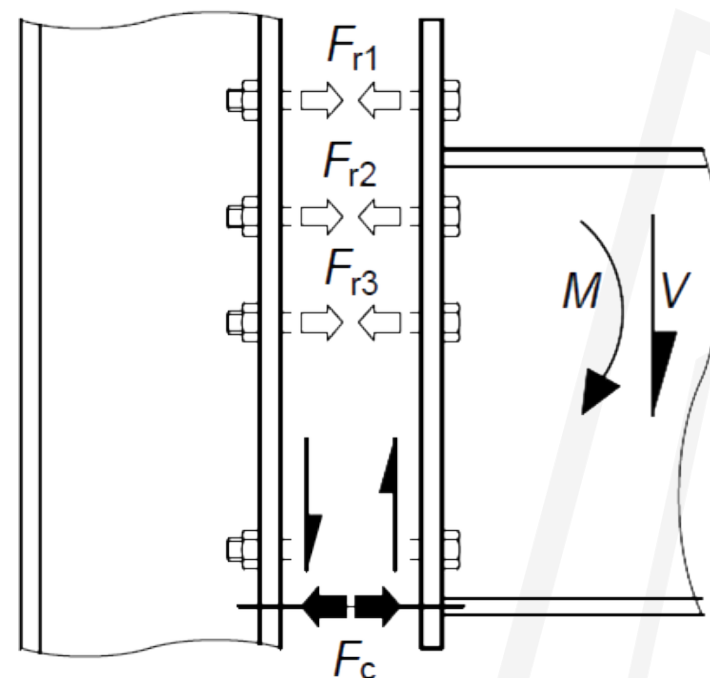


Здатність «**Moment resisting connections**» сприймати навантаження забезпечується комбінацією сприйняття зусиль розтягу високоміцними болтами, і стиску.

Вертикальному зсуву протидіють болти. Зазвичай передбачається, що зусилля протидіє головним чином болтами, прилеглими до фланця стиснення.

У граничному стані **центр обертання** знаходиться в зоні стиснутої полки ригеля, і для простоти конструкції можна припустити, що опір стисненню зосереджено по осі полки.

Ряд болтів, найдавший від зони стиснення, буде прагнути сприйняти найбільшу **складову розтягу**, однак, якщо або фланець колони, або балки є достатньо гнучкими, можна використовувати повний опір нижніх рядів - «пластичний розподіл сил болтового ряду».



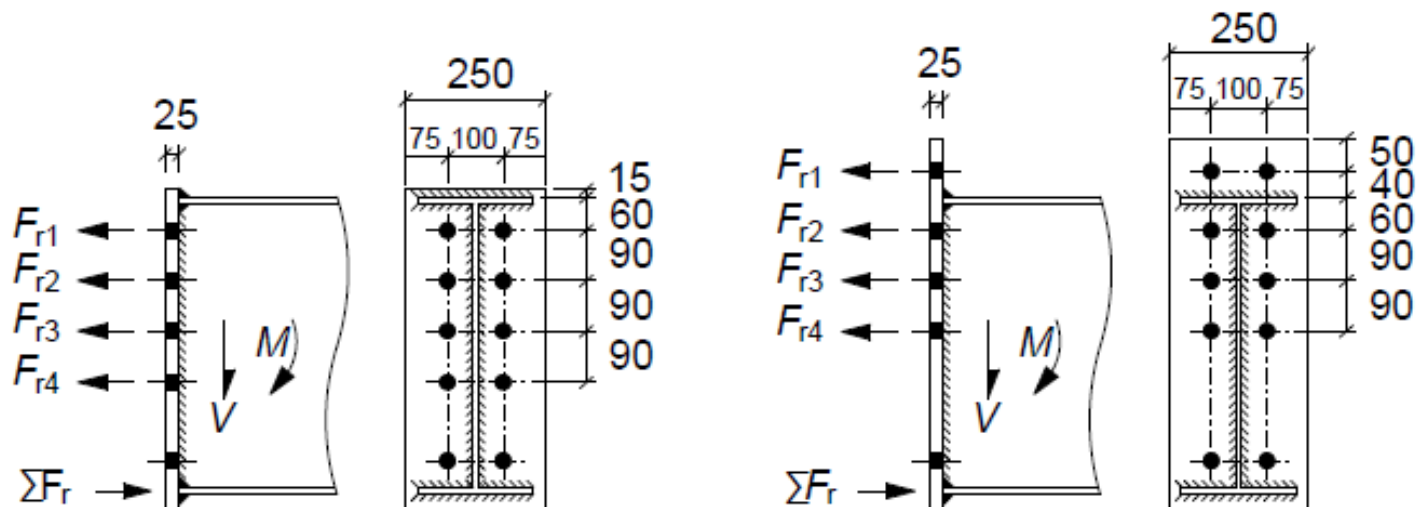
ПОЧАТКОВІ СТАНДАРТНІ ПОЛОЖЕННЯ

Незважаючи на те, що стандартних з'єднань не існує, **принципи стандартизації** залишаються важливими для структурної ефективності, економічного будівництва та безпеки.

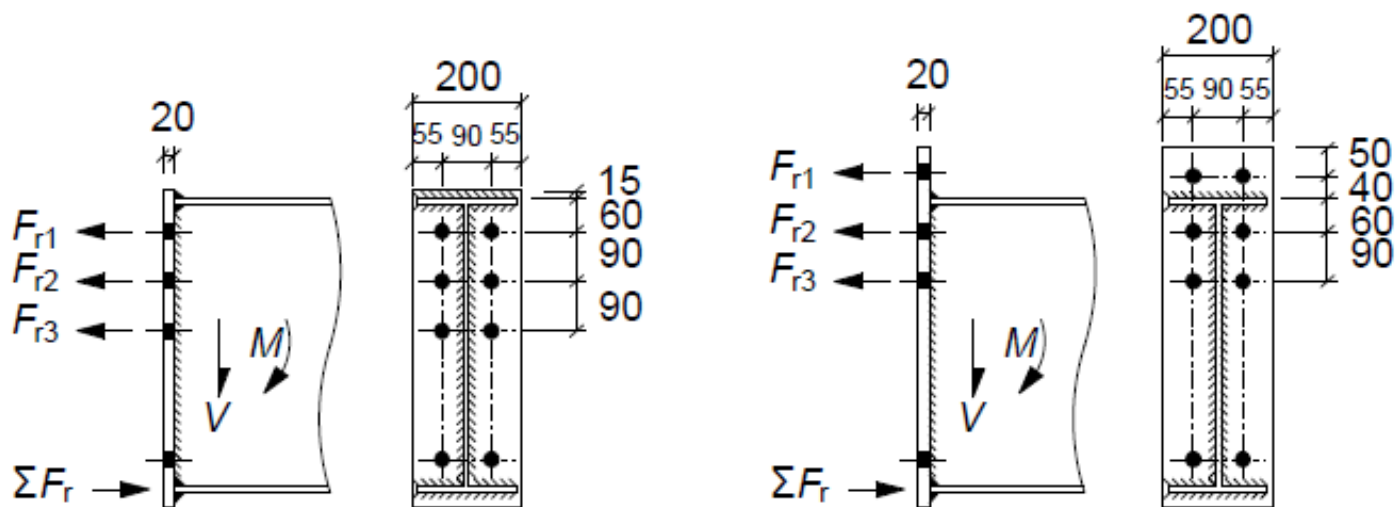
Загалом рекомендується приймати такі правила, принаймні для початкових наближень:

- Болти M20 або M24 класу міцності 8,8, повна різьба. При обґрунтуванні допустимо використання M30 та клас міцності 10.9.
- Відстань між болтами на 90 або 100 мм по горизонталі («gauge»)
- Відстань між болтами на 90 мм по вертикалі («pitch»)
- Елементи з'єднання S275 або S355 (торцеві пластини, з'єднувальні пластини та ребра жорсткості)
- Торцеві пластини 20 мм з болтами M20; Торцеві пластини 25 мм з болтами M24.

ПОЧАТКОВІ СТАНДАРТНІ ПОЛОЖЕННЯ



Для балок висотою 533 та більше використовують фланець товщиною 25 мм та болти М24



Для балок висотою 457 та менше використовують фланець товщиною 20 мм та болти М20

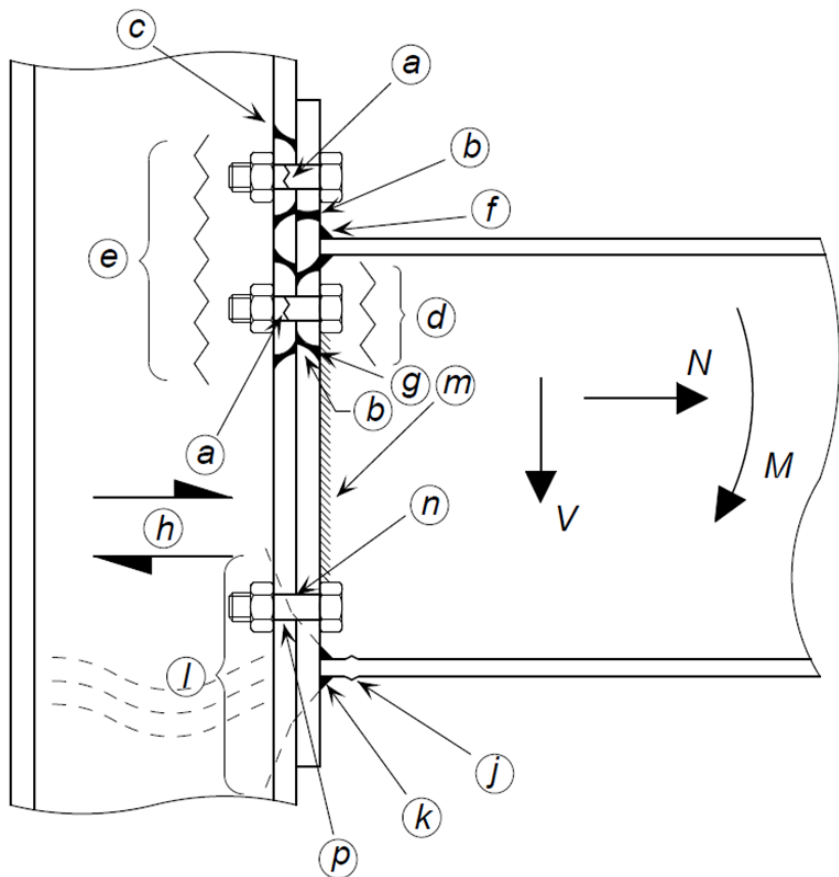
Загальний метод проектування для «**Moment resisting connections**» обов'язково є **ітераційною процедурою**:

- Вибирається конфігурація болтів і, якщо необхідно, елементів жорсткості;
- Оцінюється несуча спроможність цієї конфігурації;
- Конфігурація потім модифікується для більшого опору або більшої економії, відповідно;
- Переглянута конфігурація повторно оцінюється, поки не буде досягнуто задовільного рішення.

Перевірка опору з'єднання складається з семи кроків.

- Крок 1** Розрахувати ефективну здатність компонентів з'єднання сприймати розтяг. Це передбачає розрахунок опору болтів, торцевої пластини (фланця), полки (фланця) колони, стінки балки та стінки колони. Підсумком цього етапу є набір опорів розтягу, одне значення для кожного ряду болтів, і підсумовування всіх рядів болтів для отримання загального опору зони розтягування.
- Крок 2** Розрахувати здатність компонентів з'єднання сприймати стиск.
- Крок 3** Розрахувати опір зсуву стінки колони.
- Крок 4** Якщо загальний опір розтягу суттєво перевищує опір стисненню (Крок 2) або опір зсуву стінки колони (Крок 3), необхідно скоригувати параметри з'єднання щоб гармонізувати розподіл зусиль.
- Крок 5** Розрахувати опір зсуву рядів болтів. Опір приймається як сума повного опору зсуву нижнього ряду (або рядів) болтів (які, як передбачається, не мають опору розтягу) і 28% опору зсуву болтів у зоні розтягування.
- Крок 6** Перевірте необхідність встановлення ребер жорсткості в конфігурації.
- Крок 7** Перевірте правильність зварних швів у з'єднанні. (Зверніть увагу, що розміри зварних швів не є критичними на попередніх етапах).

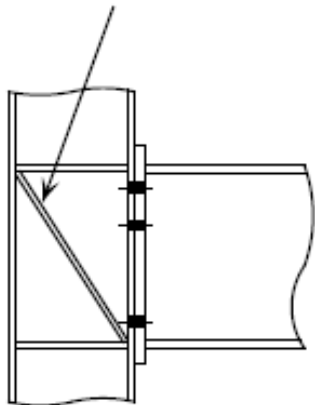
КОМПОНЕНТИ, ЯКІ НЕОБХІДНО ОЦІНИТИ В ПРОЦЕДУРІ ПРОЕКТУВАННЯ



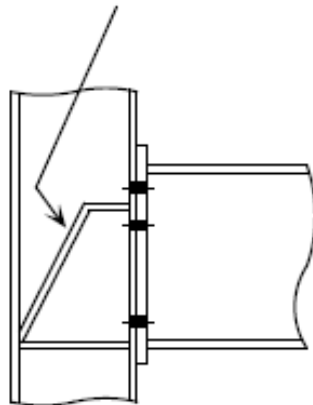
| Зона | Позн | Компонент | Процедура |
|---------------------|------|---|-----------|
| Розтяг | a | Розтяг болтів | Крок 1А |
| | b | Згин кінцевої пластини (фланця) | Крок 1А |
| | c | Згин полки колони (фланця) | Крок 1А |
| | d | Розтяг у стінці балки | Крок 1В |
| | e | Розтяг у стінці колони | Крок 1В |
| | f | Зварні шви, що поєднують розтягнуту полку балки та кінцеву пластину | Крок 7 |
| | g | Зварні шви, що поєднують стінку балки та кінцеву пластину | Крок 7 |
| Горизонтальний зсув | h | Зсув від горизонтальних зусиль у стінці колони | Крок 3 |
| Стиск | j | Стиск полки балки | Крок 2 |
| | k | Зварні шви, що поєднують стиснену полку балки та кінцеву пластину | Крок 7 |
| | l | Стискаючі зусилля в стінці колони | Крок 2 |
| Вертикальний зсув | m | Зварні шви, що поєднують стінку балки та кінцеву пластину | Крок 7 |
| | n | Болти на поперечну силу | Крок 5 |
| | p | | Крок 5 |

СПОСОБИ ПІДСИЛЕННЯ (КРОК 6)

'N' stiffener

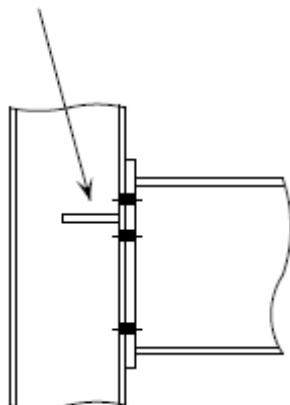


'Morris' stiffener

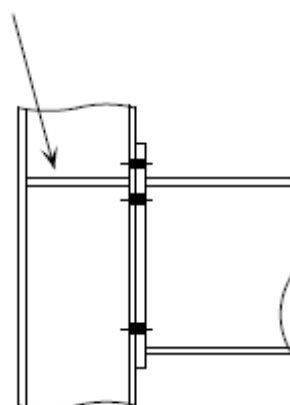


SHEAR STIFFENERS

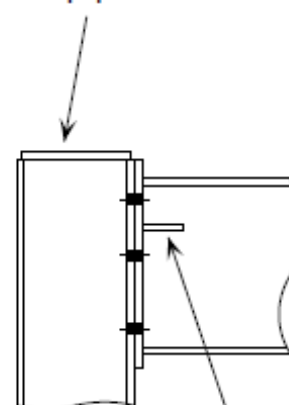
Partial depth stiffener



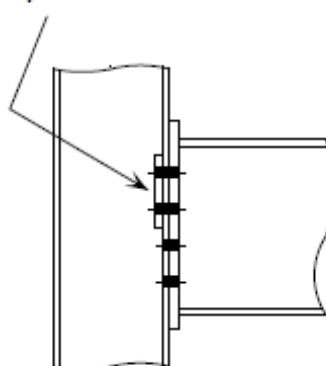
Full depth stiffener



Cap plate



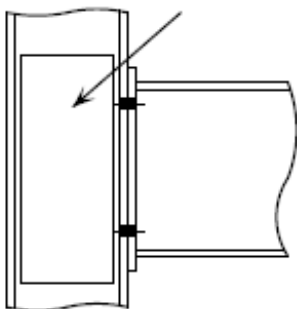
Flange backing plates



Stiffener for beam web

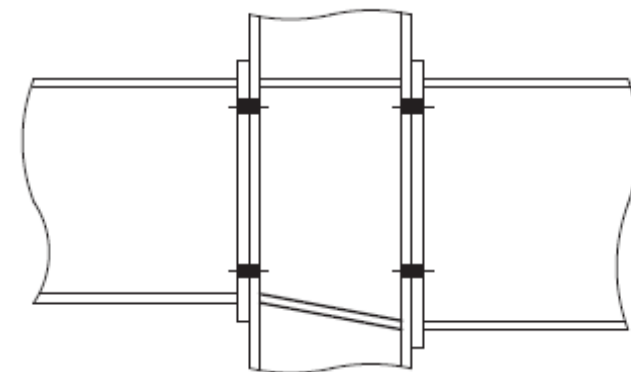
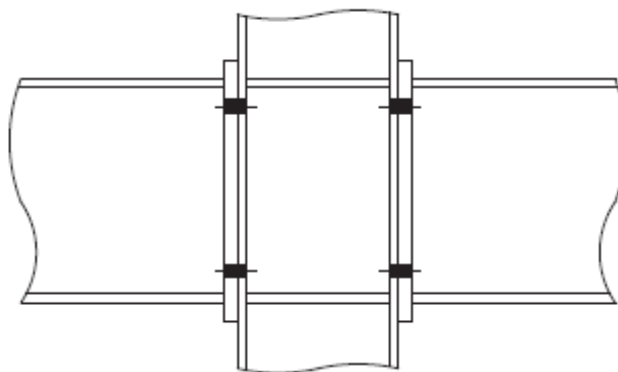
TENSION STIFFENERS



Provides tensile
compression and
shear reinforcement



SUPPLEMENTARY WEB PLATE

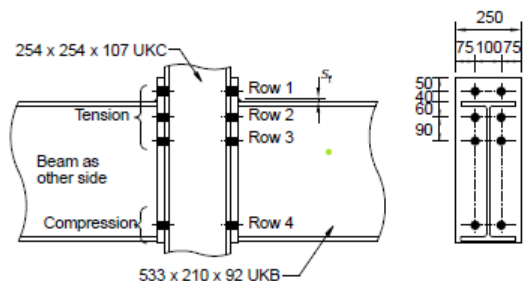
COMPRESSION STIFFENERS



| | | |
|--|---|----------------|
|  CALCULATION SHEET  | Job No. CDS 324 | Sheet 1 of 23 |
| | Title Example C.1 – Bolted end plate connection (unstiffened) | |
| | Client | |
| | Calcs by MEB | Checked by DGB |

JOINT CONFIGURATION AND DIMENSIONS

Determine the resistances for the extended end plate connection shown below. It may be assumed that the design moments in the two beams are equal and opposite.



| | |
|-----------|--|
| Column | 254 × 254 × 107 UKC in S275 |
| Beam | 533 × 210 × 92 UKB in S275 |
| End plate | 670 × 250 × 25 in S275 |
| Bolts | M24 class 8.8 |
| Welds | Fillet welds. Assumed weld sizes: S _t = 12 mm S _w = 8 mm |

References to clauses, etc. are to BS EN 1993-1-8 and its UK NA, unless otherwise stated.

| | |
|---|---------------|
| Title Example C.1 – Bolted end plate connection (unstiffened) | Sheet 4 of 23 |
|---|---------------|

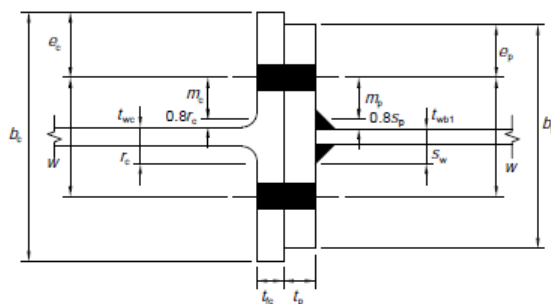
TENSION ZONE T-STUBS

When prying forces may develop, the design tension resistance ($F_{T,Rd}$) of a T-stub flange should be taken as the smallest value for the 3 possible failure modes in Table 6.2.

BOLT ROW 1

Column flange in bending (no backing plate)

Consider bolt row 1 to be acting alone. The key dimensions are shown below.



Determine e_{min} , m and ℓ_{eff} for the unstiffened column flange

$$m = m_c = \frac{W - t_{wc} - 2 \times 0.8 r_c}{2} = \frac{100 - 12.8 - (1.8 \times 12.7)}{2} = 33.4 \text{ mm}$$

$$e_{min} = \min(e_p; e_c) = \min(75; 79.4) = 75 \text{ mm}$$

For Mode 1, $\ell_{eff,1}$ is the lesser of $\ell_{eff,nc}$ and $\ell_{eff,cp}$

$$\ell_{eff,cp} = 2\pi m = 2\pi \times 33.4 = 210 \text{ mm}$$

$$\ell_{eff,nc} = 4m + 1.25e = 4 \times 33.4 + 1.25 \times 79.4 = 233 \text{ mm}$$

As 210 < 233

$$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,cp} = 210 \text{ mm}$$

For failure Mode 2, $\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$
Therefore $\ell_{eff,2} = 233 \text{ mm}$

Mode 1 resistance

For Mode 1, without backing plates, using Method 2:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$$

where:

$$\begin{aligned} m &= m_c = 33.4 \text{ mm} \\ n &= e_{min} \text{ but } \leq 1.25m \\ 1.25m &= 1.25 \times 33.4 = 41.8 \text{ mm} \\ \text{As } 41.8 &< 75: \\ n &= 41.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

6.2.4.1(8)

STEP 1

6.2.4.1(2))

Figure 6.8
Table 6.6
Table 2.2(e)
in STEP 1A

STEP 1

Table 6.2

| | |
|---|----------------|
| Title Example C.1 – Bolted end plate connection (unstiffened) | Sheet 22 of 23 |
|---|----------------|

In this case, the limiting thickness in both expressions = $\frac{24}{1.8} \sqrt{\frac{800}{265}} = 21.9 \text{ mm}$
The column flange is 20.5 mm thick, so no reduction is necessary.

EQUILIBRIUM OF FORCES

The sum of the tensile forces, together with any axial compression in the beam, cannot exceed the resistance of the compression zone.

Similarly, the design shear cannot exceed the shear resistance of the column web panel; this is not relevant in this example as the moments in the identical beams are equal and opposite.

For horizontal equilibrium:

$$\Sigma F_{T,Rd} + N_{Ed} = F_{c,Rd}$$

In this example there is no axial compression in the beam ($N_{Ed} = 0$)

Therefore, for equilibrium of forces in this example:

$$\Sigma F_{T,Rd} = F_{c,Rd}$$

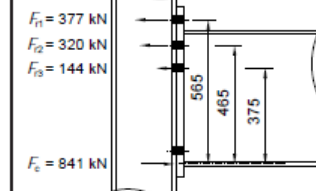
Here, the total effective tension resistance $\Sigma F_{T,Rd} = 377 + 320 + 291 = 988 \text{ kN}$, which exceeds the compression resistance $F_{c,Rd} = 841 \text{ kN}$.

To achieve equilibrium, the effective resistances are reduced, starting at the lowest row and working upward, until equilibrium is achieved.

Reduction required = 988 – 841 = 147 kN

All of this reduction can be obtained by reducing the resistance of the bottom row.

Hence $F_{T3,Rd} = 291 - 147 = 144 \text{ kN}$



MOMENT RESISTANCE OF JOINT

The moment resistance of the beam to column joint ($M_{j,Rd}$) may be determined using:

$$M_{j,Rd} = \sum h_i F_{T,Rd}$$

Taking the centre of compression to be at the mid-thickness of the compression flange of the beam:

$$h_{r1} = h_b - \left(\frac{t_b}{2}\right) + x = 533.1 - \left(\frac{15.8}{2}\right) + 40 = 565 \text{ mm}$$

$$h_{r2} = h_{r1} - 100 = 465 \text{ mm}$$

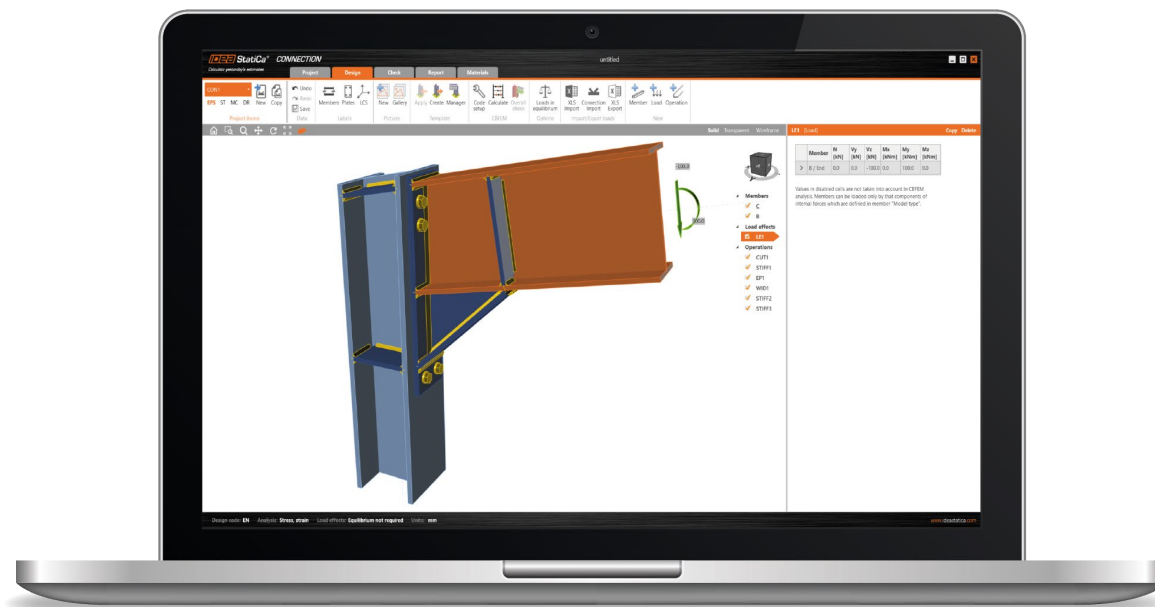
$$h_{r3} = h_{r2} - 90 = 375 \text{ mm}$$

Thus, the moment resistance of the beam to column joint is:


$$\begin{aligned} M_{j,Rd} &= h_{r1} F_{T1,Rd} + h_{r2} F_{T2,Rd} + h_{r3} F_{T3,Rd} \\ &= (565 \times 377 + 465 \times 320 + 375 \times 144) \times 10^{-3} = 416 \text{ kNm} \end{aligned}$$

6.2.7.2(1)
(6.25)

IDEA StatiCa® Сталеві з'єднання

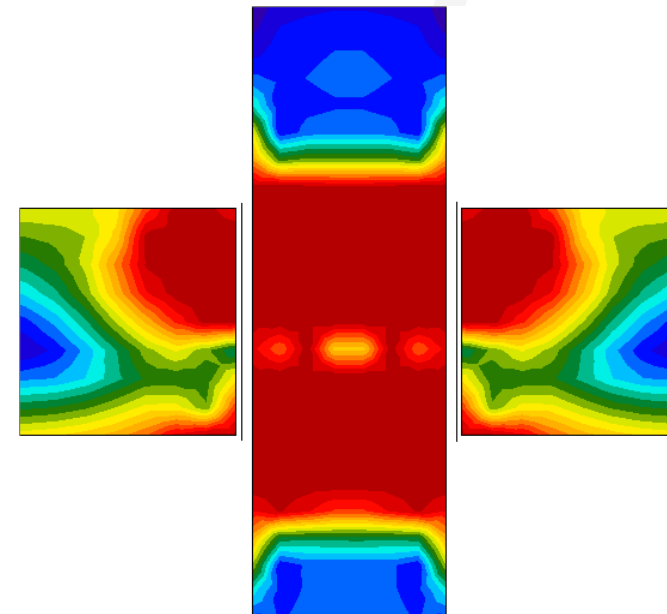
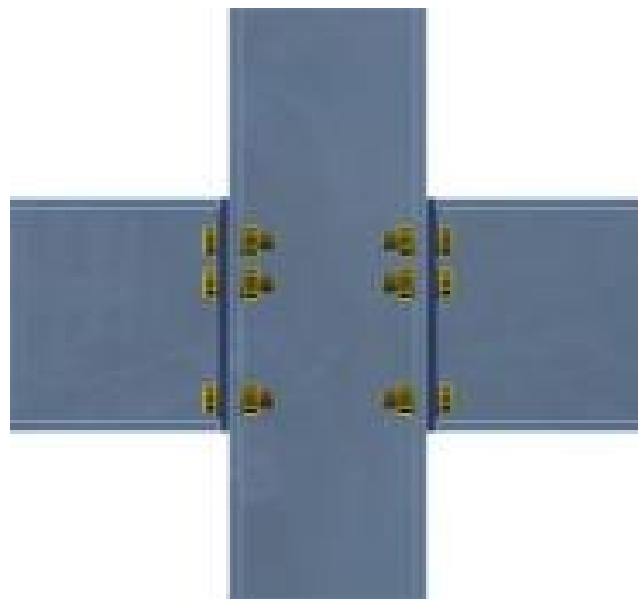
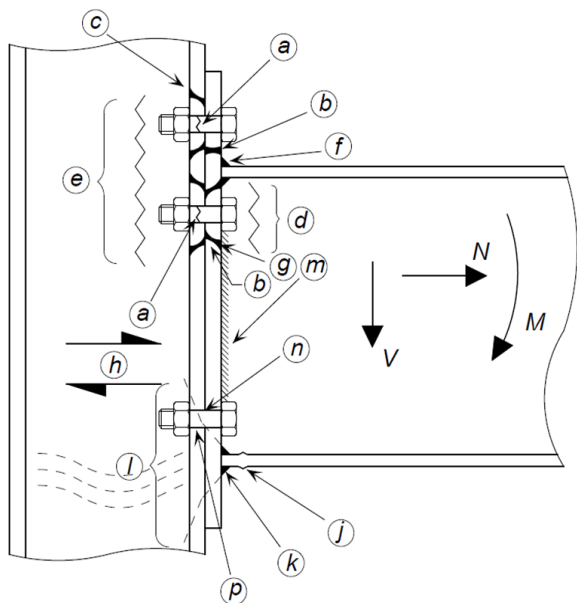


Проектування та перевірка несучої здатності сталевих з'єднань



СВFEM (метод скінченних елементів на основі компонентів) – це новий метод аналізу, підтверджений дослідженнями та трансформований в інструмент проектування з'єднань конструкцій

Компонентний метод скінченних елементів (CBFEM)



Компонентна модель



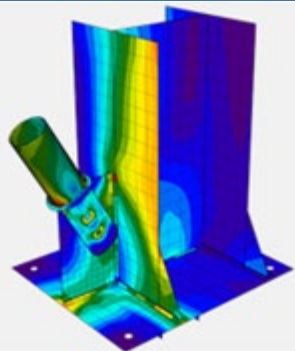
Болтове з'єднання



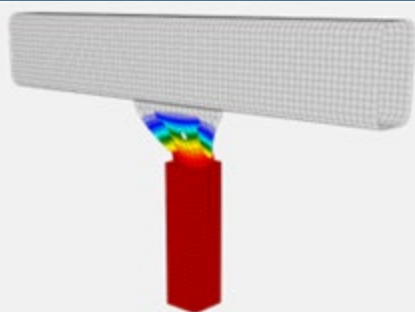
CBFEM модель

Види розрахунків та перевірок

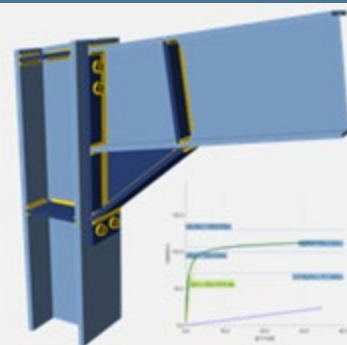
Аналіз
напружень/деформації



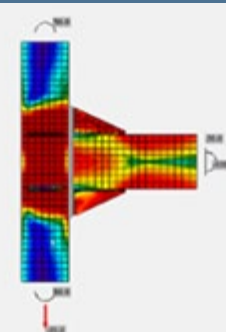
Перевірка стійкості



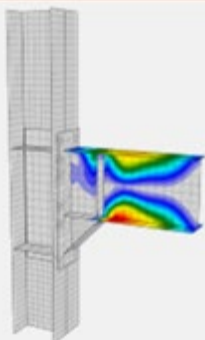
Аналіз жорсткості



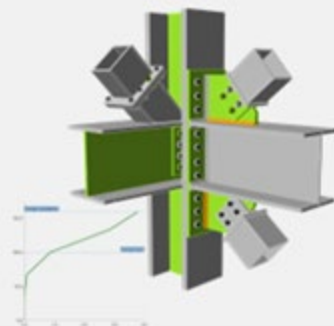
Вогнестійкість



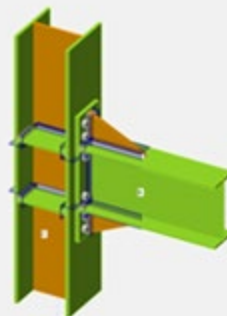
Пластичний шарнір



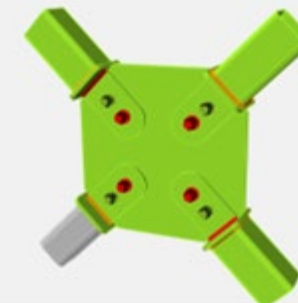
Несуча спроможність



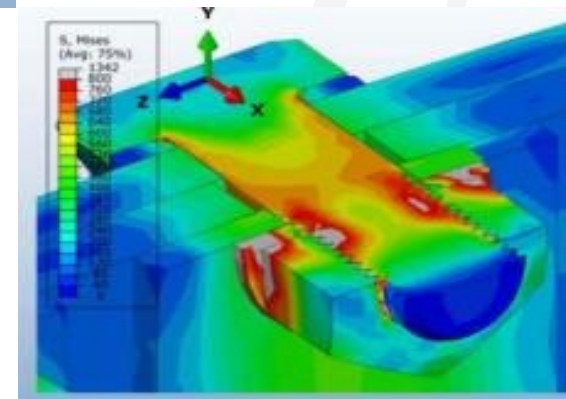
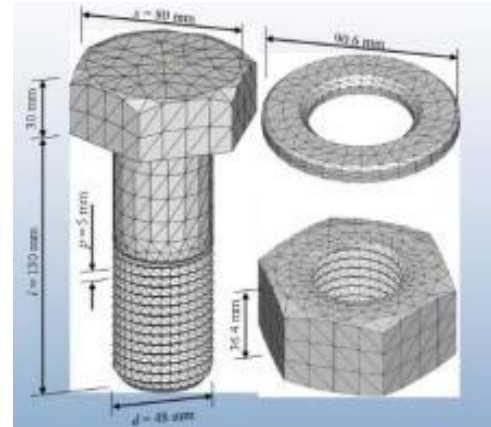
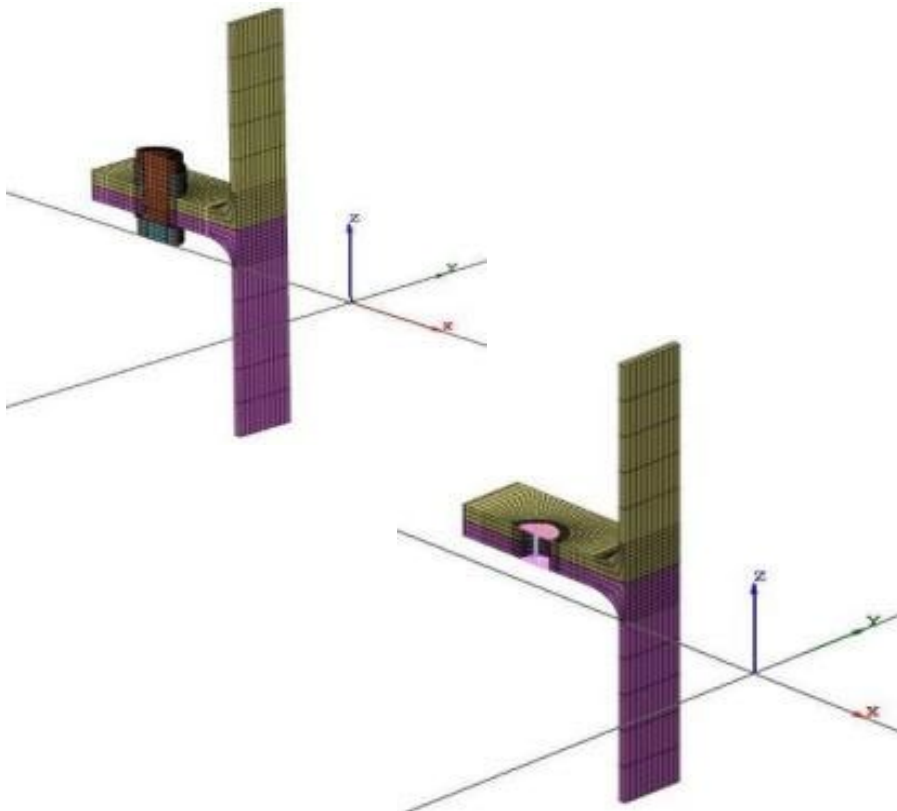
Несуча спроможність
в часі



Максимальний
горизонтальний розтяг



Для підтвердження результатів були зроблені ручні розрахунки та розроблені складні скінчено-елементні моделі результати роботи порівняли з **IDEA StatiCa**. Результати підтверджені

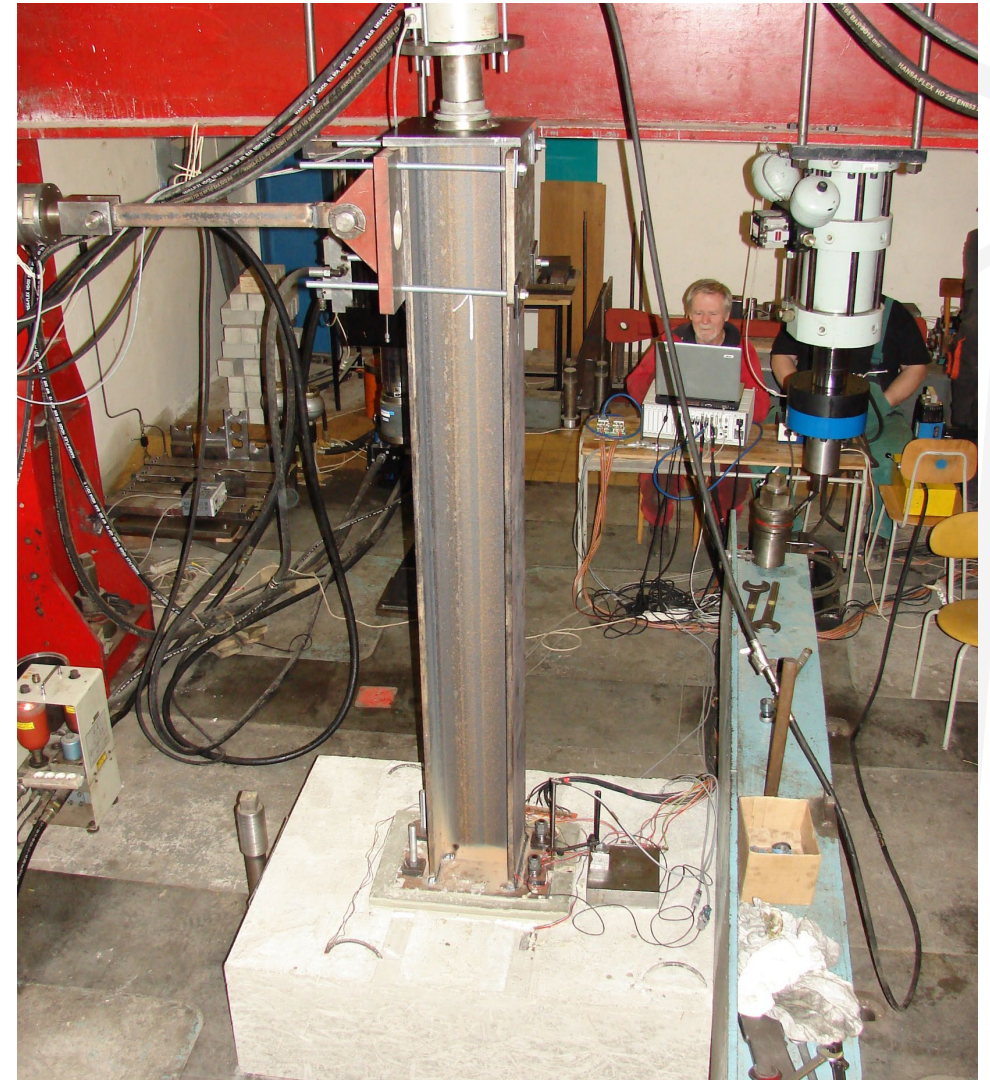


Верифікація – складних топологій

Індивідуальні рішення створені в програмах були відтворені в натурі та протестовані.

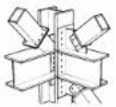
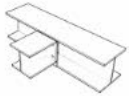
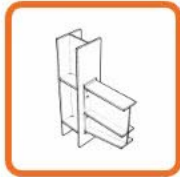
Результати тестів опубліковані.

Тестування проходило у двох університетах протягом трьох років.

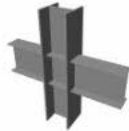


New project

1. Class

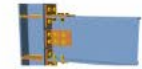
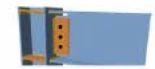
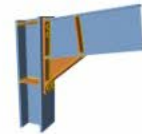
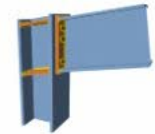
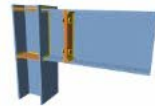
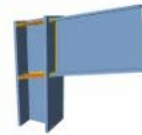


2. Geometry



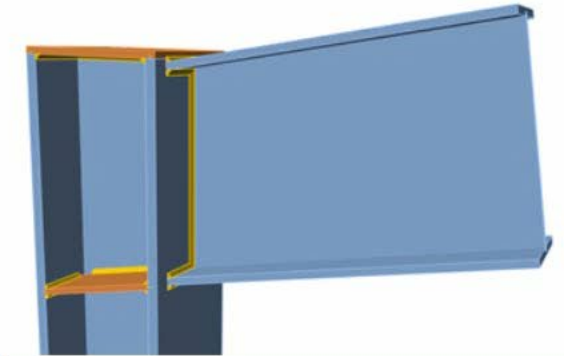
3. Design

Moment connection



4. Parameters

| | | |
|----------------|---|----------------------------------|
| Name | <input type="text"/> | |
| Description | <input type="text"/> | |
| Steel grade | S 355 | <input type="button" value="↺"/> |
| Bolt assembly | M 10.9 | <input type="button" value="↺"/> |
| Concrete grade | C25/30 | <input type="button" value="↺"/> |
| Design code |  | |




Create project

-
- New**
- Open
- Save
- Save as
- Information
- About
- Units
- Preferences
- Licences
- Close
- Exit

- Support center
- Tutorials
- FAQ
- Sample projects
- Case studies
- Webinars

News

| | | |
|---|--|--|
| <p>02.08.2023 Webinar: Critical steel member design workflow with ... During the one-hour session, we will show the recommended steel design workflow for critical steel members using all the Steel IDEA applications: Checkbot, Connection and Member.</p> | <p>05.07.2023 Reinforced concrete walls – linear or nonlinear design? Reinforced concrete walls are a common structural element in many buildings, but how to design them correctly? Is it better to use a linear or a nonlinear approach? In this article, we will explore these questions, make a comparison, and show you how to avoid underestimations and cracks by using the innovation method.</p> | <p>28.06.2023 Webinar: Design of Steel to Concrete Connections inc... Steel base plate connections to concrete foundations or other concrete elements are critical to successfully transferring forces from the main structure to the ground. IDEA StatiCa helps you to model and design them. Join this webinar to learn all about steel to concrete joints.</p> |
|---|--|--|


 StatiCa[®] CONNECTION
Calculate yesterday's estimates

untitled

New project

←

New

Open

Save

Save as

Information

About

Units


Preferences

Licences

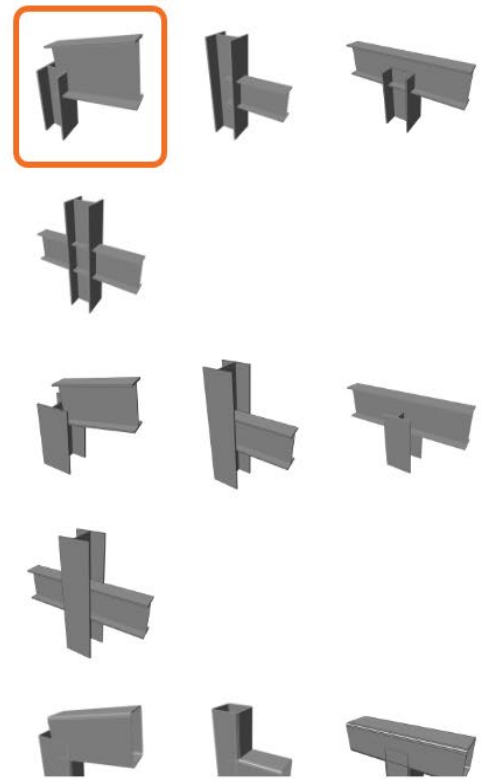
Close

Exit

1. Class

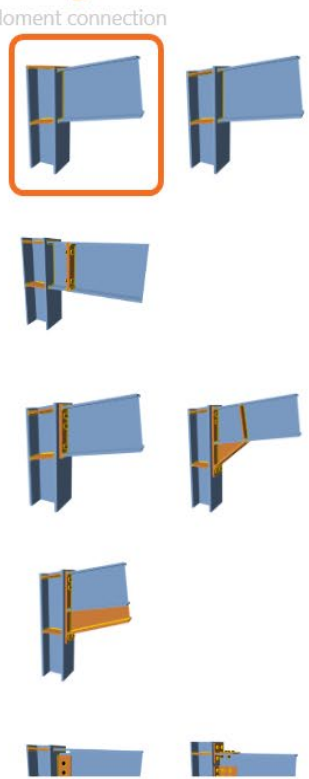


2. Geometry




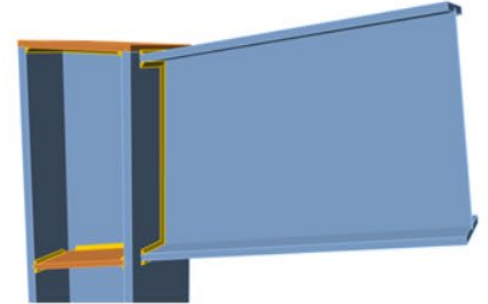
3. Design

Moment connection



4. Parameters

| | |
|----------------|---|
| Name | <input type="text"/> |
| Description | <input type="text"/> |
| Steel grade | S 355 <input type="button" value="↺"/> |
| Bolt assembly | M24 10.9 <input type="button" value="↺"/> |
| Concrete grade | C25/30 <input type="button" value="↺"/> |
| Design code |  ▼ |



Create project

РЕЗУЛЬТАТИ – ЗАГАЛЬНІ ПЕРЕВІРКИ

IDEA StatiCa CONNECTION Фланець.ideaCon

Calculate yesterday's estimates

Project Design Check Report Materials

Презентація УЛСБ

New Copy Undo Redo Save

Members Plates LCS New Gallery Code Calculate Overall Strain Buckling setup check check shape

LE1 For extreme

Equivalent Plastic Stress Bolt Mesh Deformed stress strain in contacts forces

10,00

FE analysis

Project items

Home Find Rotate Copy Paste

Solid Transparent Wireframe

Analysis Plates Preloaded bolts Welds Buckling

Production cost - 803 €

Status of FE analysis

| Status | Loads | Applied [%] |
|--------|-------|-------------|
| > | LE1 | 100,0 |

Analysis ✓ 100,0%

Plates ✓ 0,0 < 5,0%

Preloaded bolts ✓ 99,2 < 100%

Welds ✓ 72,6 < 100%

Buckling 3,97

Analysis ✓ 100,0%

Plates ✓ 0,0 < 5,0%

Preloaded bolts ✓ 99,2 < 100%

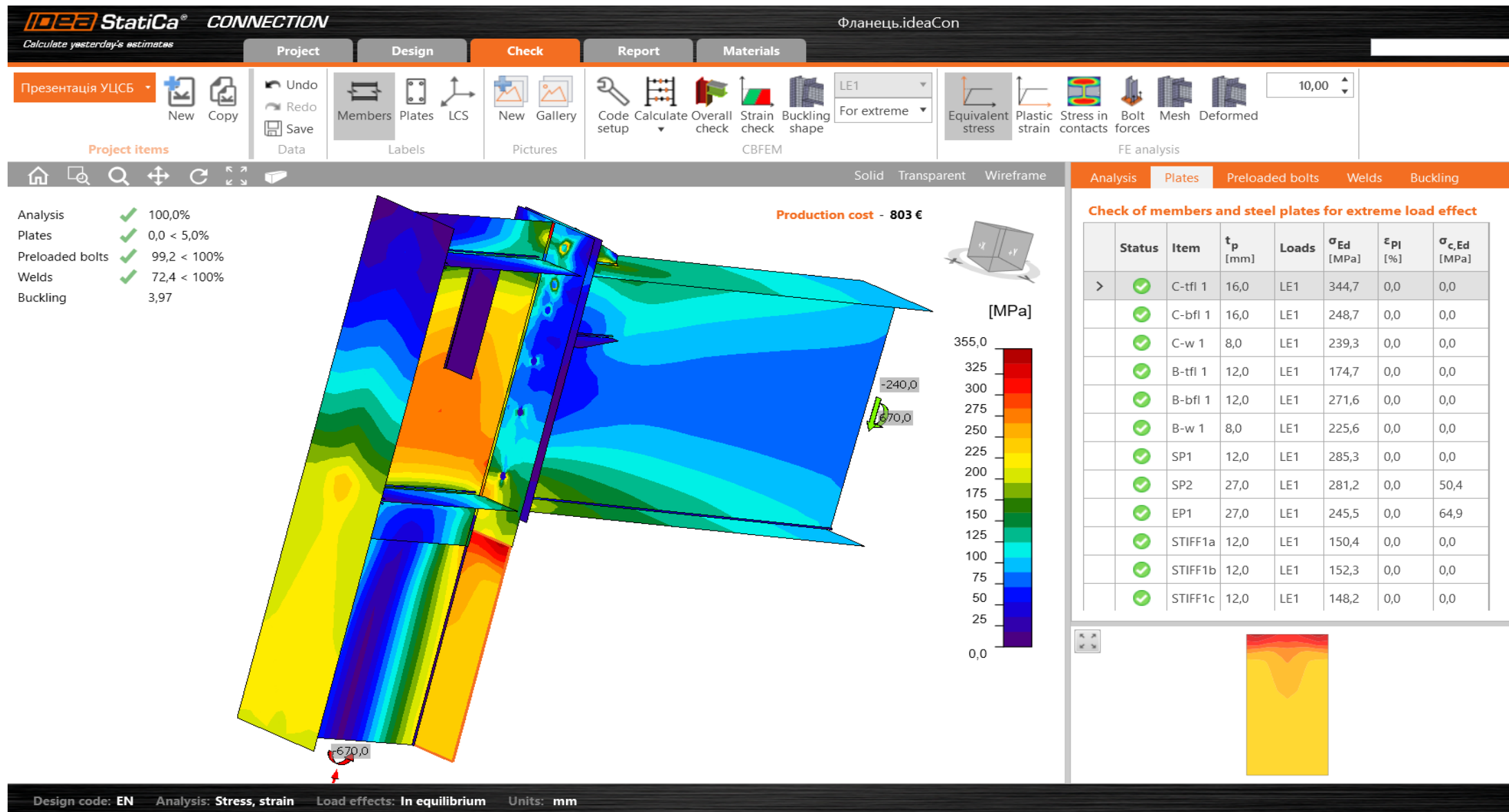
Welds ✓ 72,6 < 100%

Buckling 3,97

Design code: EN Analysis: Stress, strain Load effects: In equilibrium Units: mm

www.ideastatica.com

РЕЗУЛЬТАТИ – НАПРУЖЕННЯ В ПЛАСТИНАХ



StatiCa CONNECTION Calculate yesterday's estimates Фланець.ideaCon

Project | Design | **Check** | Report | Materials

Презентація УЛСБ | New | Copy | Undo | Redo | Save | Data | Members | Plates | LCS | New | Gallery | Code setup | Calculate | Overall check | Strain check | Buckling shape | LE1 | For extreme | Equivalent stress | Plastic strain | Stress in contacts | Bolt forces | Mesh | Deformed | 10,00

Project items | Solid | Transparent | Wireframe

Analysis ✓ 100,0%

Plates ✓ 0,0 < 5,0%

Preloaded bolts ✓ 99,2 < 100%

Welds ✓ 72,6 < 100%

Buckling 3,97

Production cost - 803 €

B1: 194,5
B2: 194,5
B4: 139,1
B6: 60,5
B8: 42,3

B

Analysis | Plates | **Preloaded bolts** | Welds | Buckling

Check of preloaded bolts for extreme load effect

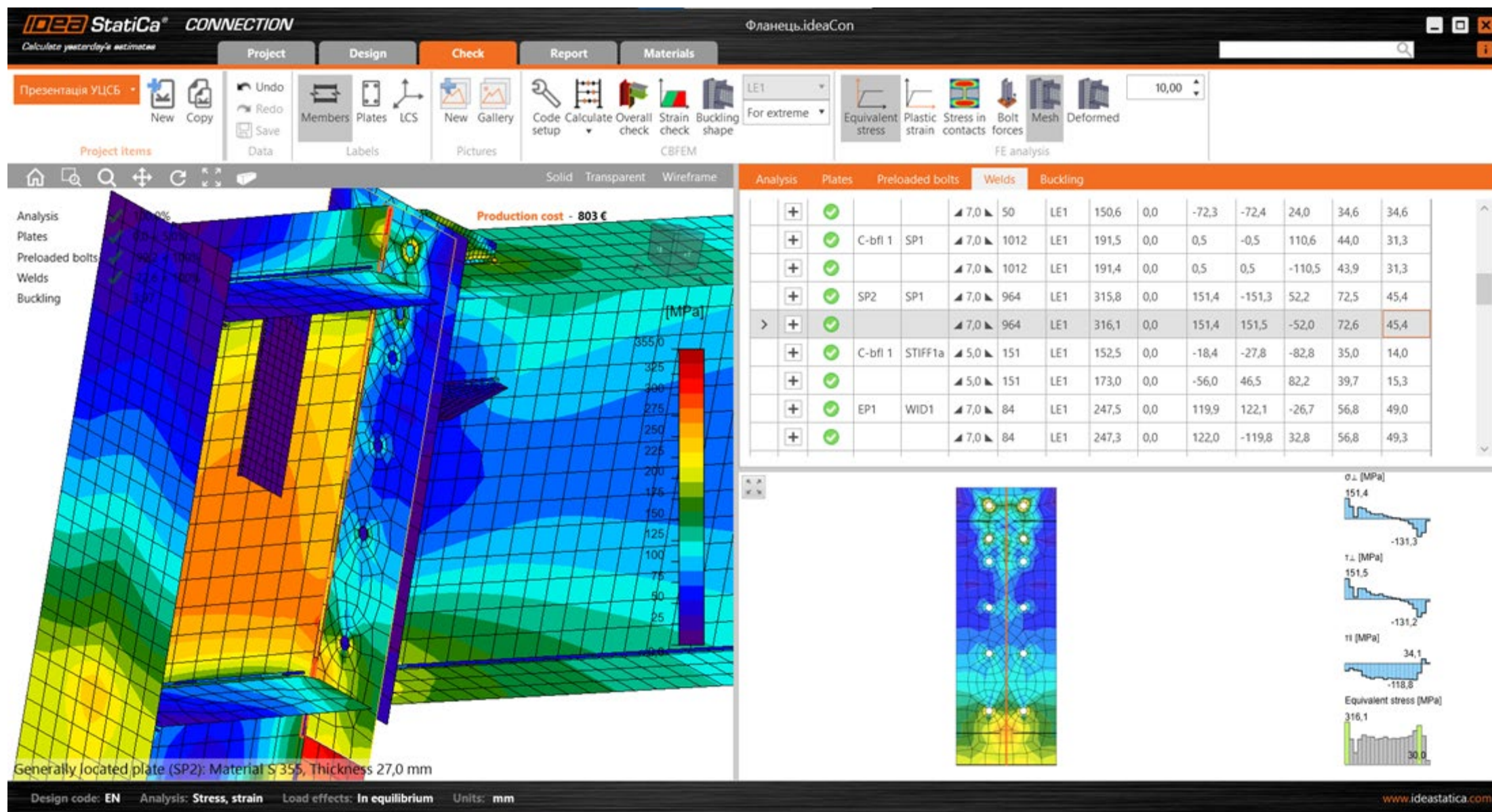
| | Status | Item | Grade | Loads | $F_{t,Ed}$ [kN] | $F_{v,Ed}$ [kN] | $B_{p,Rd}$ [kN] | $F_{s,Rd}$ [kN] | $U_{t,t}$ [%] | $U_{t,s}$ [%] |
|-----|--------|------|----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| > + | ✓ | B1 | M24 10.9 | LE1 | 194,5 | 21,5 | 757,9 | 22,0 | 76,5 | 98,0 |
| + + | ✓ | B2 | M24 10.9 | LE1 | 194,5 | 21,5 | 757,9 | 22,0 | 76,5 | 98,0 |
| + + | ✓ | B3 | M24 10.9 | LE1 | 138,9 | 22,9 | 757,9 | 32,6 | 54,7 | 70,2 |
| + + | ✓ | B4 | M24 10.9 | LE1 | 139,1 | 21,7 | 757,9 | 32,6 | 54,7 | 66,6 |
| + + | ✓ | B5 | M24 10.9 | LE1 | 60,5 | 20,5 | 757,9 | 47,7 | 23,8 | 42,9 |
| + + | ✓ | B6 | M24 10.9 | LE1 | 60,5 | 20,9 | 757,9 | 47,7 | 23,8 | 43,8 |
| + + | ✓ | B7 | M24 10.9 | LE1 | 42,1 | 17,2 | 757,9 | 51,2 | 16,6 | 33,6 |
| + + | ✓ | B8 | M24 10.9 | LE1 | 42,3 | 17,8 | 757,9 | 51,2 | 16,6 | 34,7 |
| + + | ✓ | B9 | M24 10.9 | LE1 | 10,1 | 56,3 | 757,9 | 57,4 | 4,0 | 98,2 |
| + + | ✓ | B10 | M24 10.9 | LE1 | 9,9 | 56,4 | 757,9 | 57,4 | 3,9 | 98,2 |
| + + | ✓ | B11 | M24 10.9 | LE1 | 0,9 | 58,7 | 757,9 | 59,1 | 0,4 | 99,2 |
| + + | ✓ | B12 | M24 10.9 | LE1 | 0,9 | 58,7 | 757,9 | 59,1 | 0,3 | 99,2 |

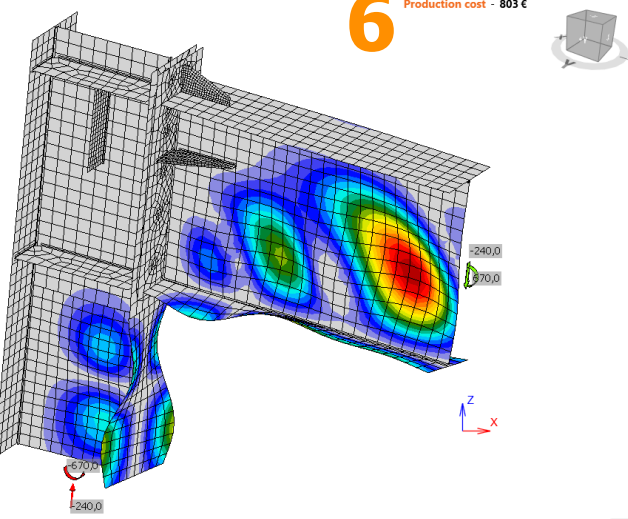
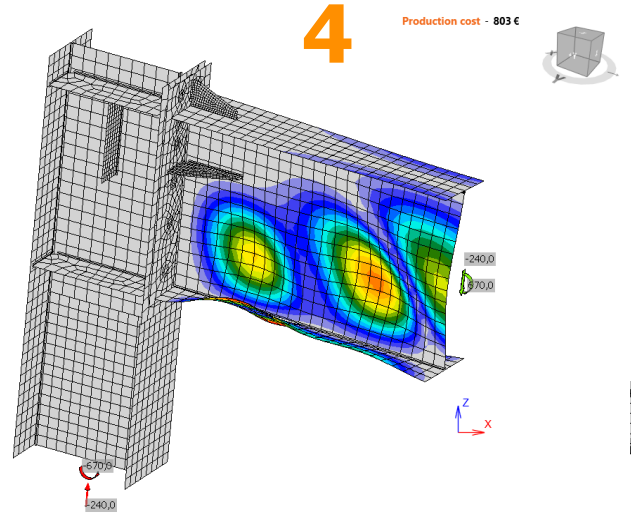
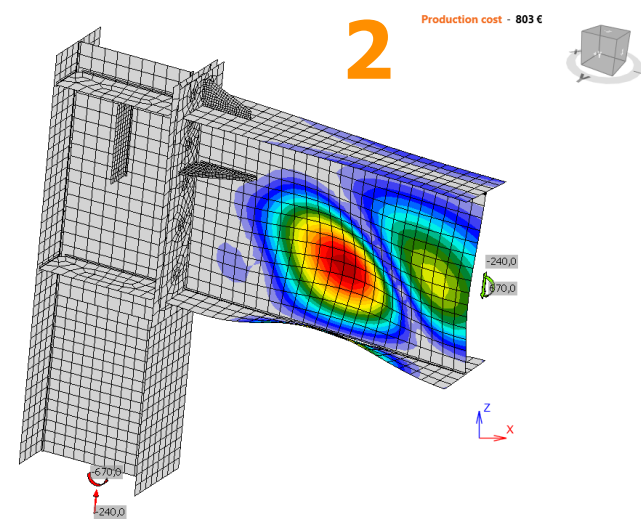
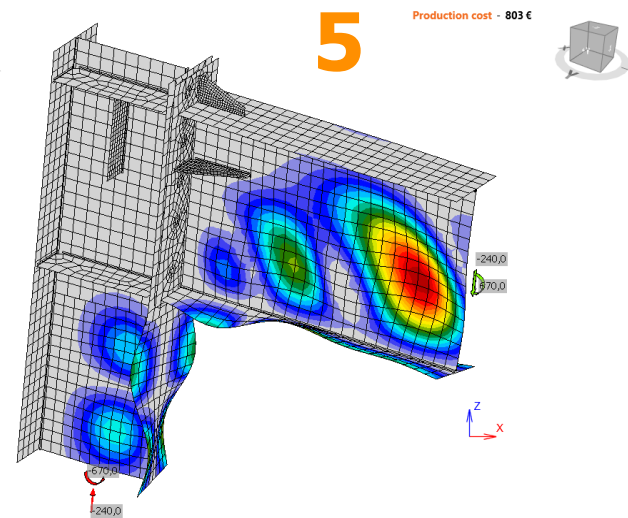
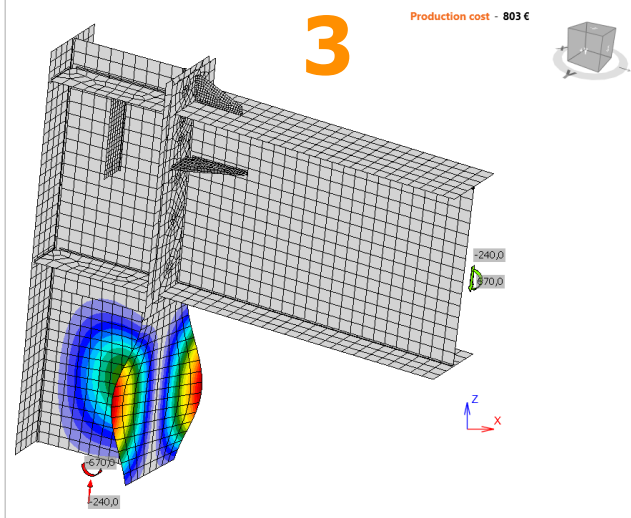
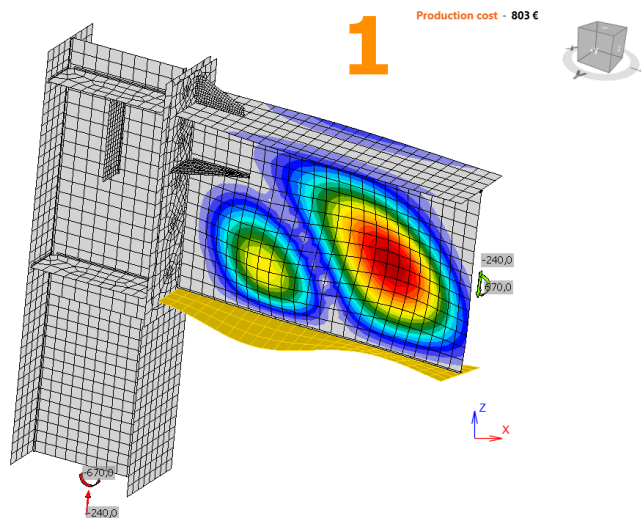
Design data

| Grade | $F_{t,Rd}$ [kN] | μ [-] |
|------------|-----------------|-----------|
| > M24 10.9 | 254,2 | 0,30 |

Stiffener (STIFF1b): Material S 355, Thickness 12,0 mm

Design code: EN | Analysis: Stress, strain | Load effects: In equilibrium | Units: mm www.ideastatica.com





Форми втрати стійкості

Local buckling of joint

| | Loads | Shape | Factor |
|---|-------|-------|--------|
| | LE1 | 1 | 3,97 |
| | | 2 | 4,13 |
| | | 3 | 4,63 |
| | | 4 | 5,22 |
| | | 5 | 5,69 |
| > | | 6 | 5,71 |

EN 1993-1-1

5.2.1 Вплив деформації конструкції

(1) Внутрішні сили і моменти у загальному випадку можуть бути визначені з використанням:

– розрахунку першого порядку з використанням початкової геометрії конструкції;

– розрахунку другого порядку з урахуванням впливу деформацій конструкції.

(2) Впливи деформації (впливи другого порядку) необхідно розглядати, якщо вони значно збільшують зусилля або значно змінюють роботу конструкції.

(3) Розрахунок першого порядку може бути використаний для конструкції, якщо зростання відповідних внутрішніх сил або моментів, або будь-якою іншою зміною роботи конструкції, викликаню її деформаціями, можна знехтувати. Ця умова може вважатися виконаною, якщо задовольняються такі критерії:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10$$

для розрахунку
в пружній стадії

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15$$

для розрахунку
в пластичній стадії

де:

α_{cr} – коефіцієнт, на який розрахункове навантаження повинно бути збільшене для досягнення загальної втрати стійкості у пружній стадії;

F_{Ed} – розрахункове навантаження на конструкцію;

F_{cr} – критичне навантаження при втраті загальної стійкості у пружній стадії, визначене на основі початкових пружних жорсткостей.

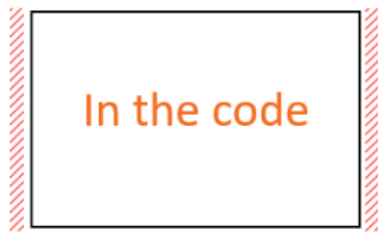
| | Loads | Shape | Factor |
|---|-------|-------|--------|
| | LE1 | 1 | 3,97 |
| | | 2 | 4,13 |
| | | 3 | 4,63 |
| | | 4 | 5,22 |
| | | 5 | 5,69 |
| > | | 6 | 5,71 |

< 15

ПЕРЕВІРКА СТІЙКОСТІ



$$\alpha_{CR} \geq 2$$



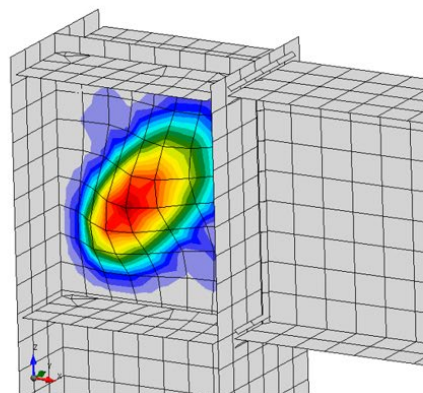
$$\alpha_{CR} \geq 15$$



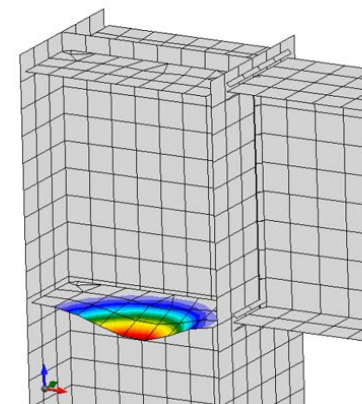
$$\alpha_{CR} \geq 3$$



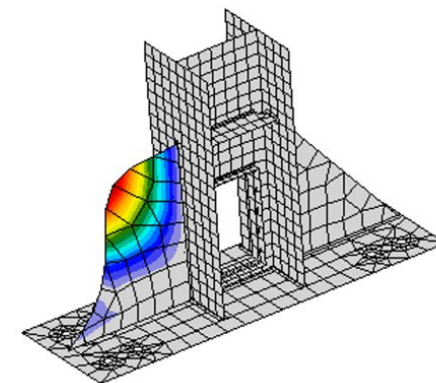
$$\alpha_{CR} \geq 4$$



$$\alpha_{CR} \geq 2$$



$$\alpha_{CR} \geq 3$$

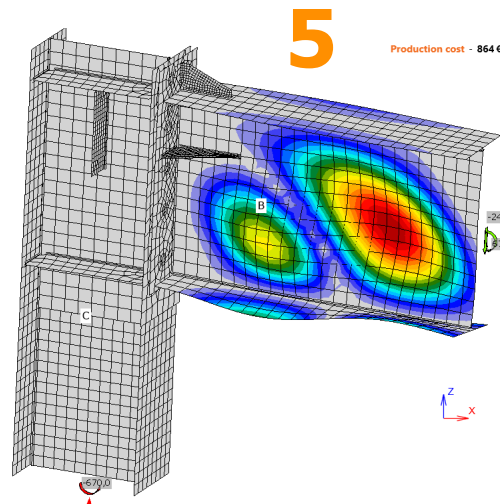
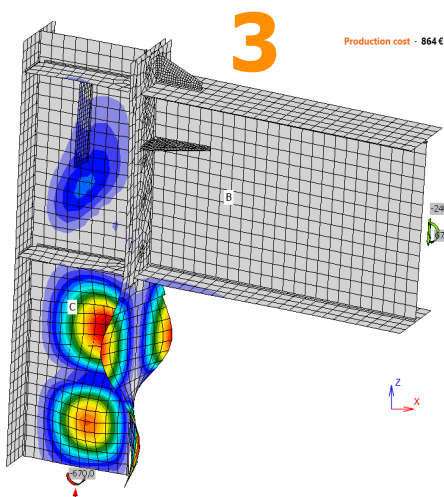
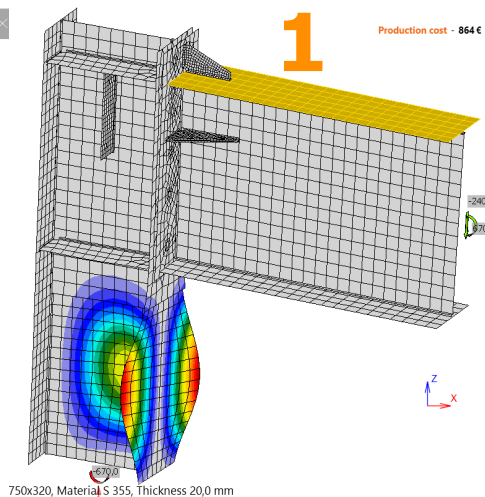
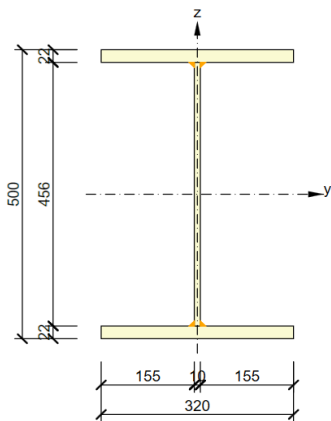


$$\alpha_{CR} \geq 4$$

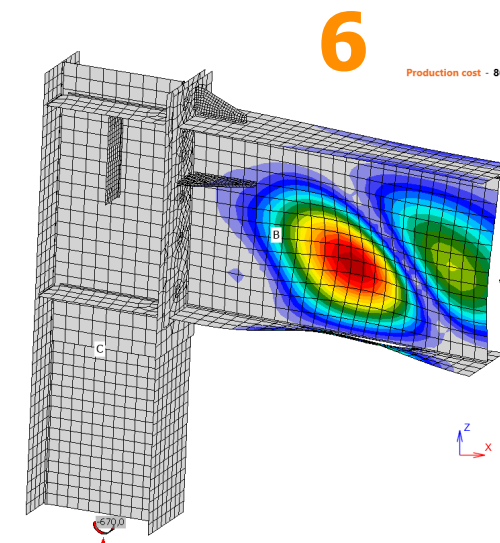
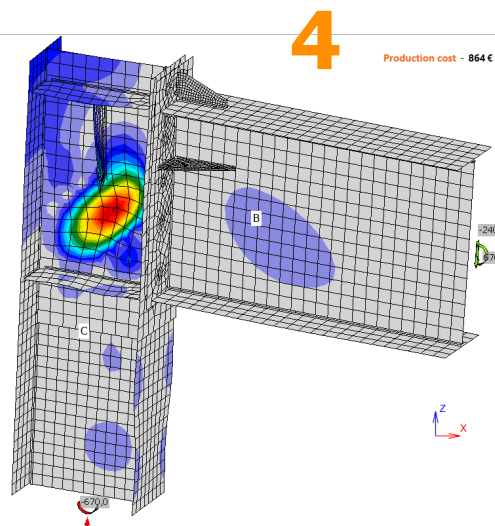
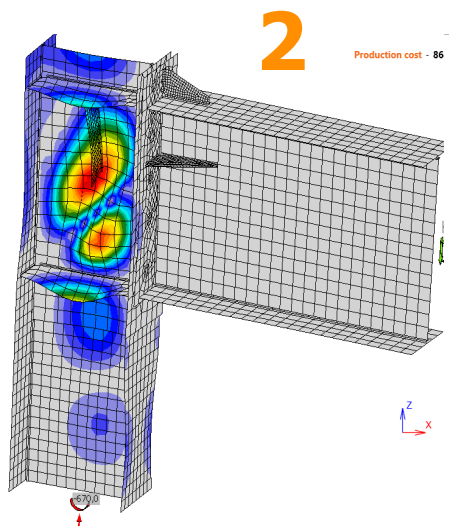
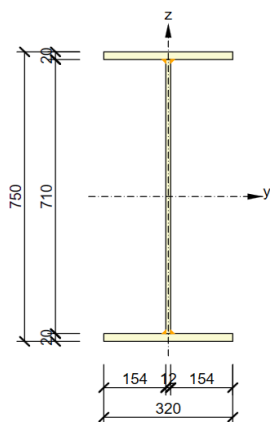
- ≥ 2 - у разі 4-сторонньої опорної плити
- ≥ 3 - у разі 3-сторонньої опорної плити
- ≥ 4 - у разі 2-сторонньої (сусідньої) опорної плити
- ≥ 15 - у разі 2-сторонньої (протилежної) опори пластини

ЗБІЛЬШУЄМО ПЕРЕРІЗИ ЕЛЕМЕНТІВ

Колона



Ригель

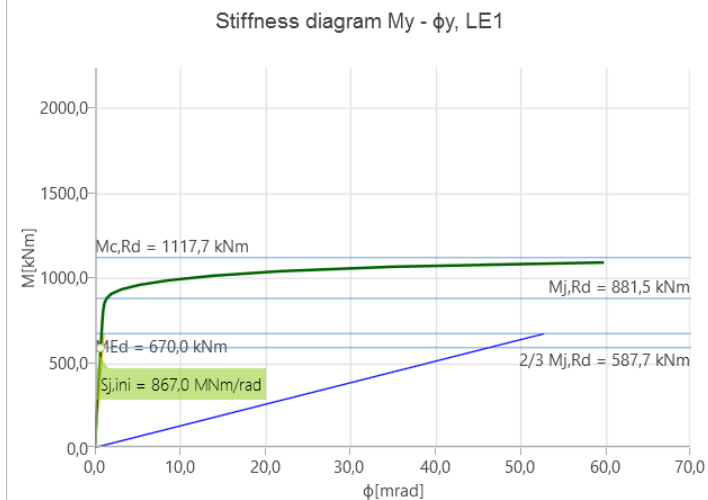


Local buckling of joint

| | Loads | Shape | Factor |
|---|-------|-------|--------|
| | LE1 | 1 | 11,40 |
| | | 2 | 11,97 |
| | | 3 | 13,02 |
| | | 4 | 13,37 |
| | | 5 | 14,79 |
| > | | 6 | 15,09 |

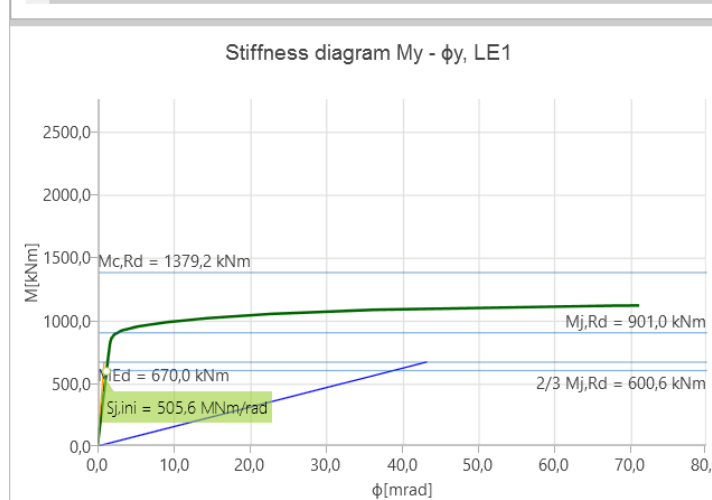
До підсилення- жорсткий

| Analysis | | Rotational stiffness | | Axial stiffness | | | | | | | | | |
|---|-------|----------------------|-----------|-----------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|-------|----------------|----------------|-------|-------|
| Rotational stiffness of joint component | | | | | | | | | | | | | Class |
| Item | Comp. | Loads | MEd [kNm] | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Sjs [MNm/rad] | ϕ [mrad] | ϕ_c [mrad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | | |
| > C | My | LE1 | -670,0 | -881,5 | 867,0 | 859,5 | 0,8 | 1,4 | 6,00 | 633,9 | 12,7 | Rigid | |



Після підсилення- напівжорсткий

| Analysis | | Rotational stiffness | | Axial stiffness | | | | | | | | | |
|---|-------|----------------------|-----------|-----------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|-------|----------------|----------------|------------|-------|
| Rotational stiffness of joint component | | | | | | | | | | | | | Class |
| Item | Comp. | Loads | MEd [kNm] | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Sjs [MNm/rad] | ϕ [mrad] | ϕ_c [mrad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | | |
| > C | My | LE1 | -670,0 | -901,0 | 505,6 | 503,5 | 1,3 | 2,5 | 6,00 | 773,4 | 15,5 | Semi-rigid | |



EN 1993-1-8

(3) У випадку напівжорсткого вузла в статичному розрахунку потрібно приймати поворотну жорсткість S_j , що відповідає згинальному моменту $M_{j,Ed}$. Якщо $M_{j,Ed}$ не перевищує $2/3 M_{j,Rd}$, то в статичному розрахунку можна прийняти початкову поворотну жорсткість $S_{j,ini}$ див. рисунок 5.1 (а).

Project: 
Project no:
Author:

Project item Презентація УЦБ

Design

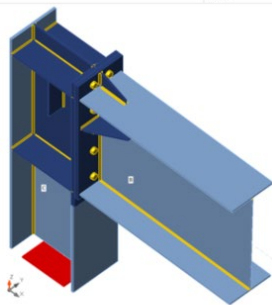
Name Презентація УЦБ
Description
Analysis Stress, strain/ loads in equilibrium

Members

| Geometry | Name | Cross-section | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - Rotation [°] | Offset ex [mm] | Offset ey [mm] | Offset ez [mm] |
|----------|------|---------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|
| C | 3 | Iw500x350 | 0,0 | -90,0 | 0,0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 4 | Iw750x320 | 0,0 | -1,4 | 0,0 | 0 | 0 | 0 |

Supports and forces

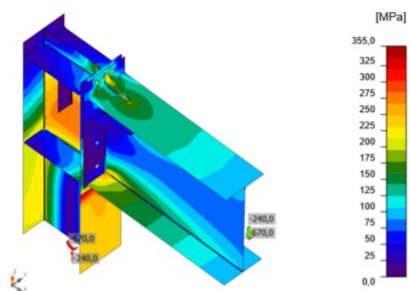
| Name | Support | Forces in | X [mm] |
|---------|------------------|-----------|--------|
| C / end | N-Vy-Vz-Mx-My-Mz | Node | 0 |
| B / end | | Node | 0 |



Cross-sections

| Name | Material |
|---------------|----------|
| 3 - Iw500x350 | S 355 |
| 4 - Iw750x320 | S 355 |

Project: 
Project no:
Author:



Equivalent stress, LE1

Preloaded bolts

| Shape | Item | Grade | Loads | $F_{x,Rd}$ [kN] | $F_{y,Rd}$ [kN] | $F_{z,Rd}$ [kN] | $B_{y,Rd}$ [kN] | $F_{x,Rd}$ [kN] | U_t [%] | U_t [%] | Status |
|-------|----------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|--------|
| B1 | M24 10.9 | LE1 | 194.5 | 21.5 | 254.2 | 757.9 | 22.0 | 76.5 | 98.0 | OK | |
| B2 | M24 10.9 | LE1 | 194.5 | 21.5 | 254.2 | 757.9 | 22.0 | 76.5 | 98.0 | OK | |
| B3 | M24 10.9 | LE1 | 138.9 | 22.9 | 254.2 | 757.9 | 32.6 | 54.7 | 70.2 | OK | |
| B4 | M24 10.9 | LE1 | 138.1 | 21.7 | 254.2 | 757.9 | 32.6 | 54.7 | 66.6 | OK | |
| B5 | M24 10.9 | LE1 | 60.5 | 20.5 | 254.2 | 757.9 | 47.7 | 23.8 | 42.9 | OK | |
| B6 | M24 10.9 | LE1 | 60.5 | 20.9 | 254.2 | 757.9 | 47.7 | 23.8 | 43.8 | OK | |
| B7 | M24 10.9 | LE1 | 42.1 | 17.2 | 254.2 | 757.9 | 51.2 | 16.6 | 33.6 | OK | |
| B8 | M24 10.9 | LE1 | 42.3 | 17.8 | 254.2 | 757.9 | 51.2 | 16.6 | 34.7 | OK | |
| B9 | M24 10.9 | LE1 | 10.1 | 56.3 | 254.2 | 757.9 | 57.4 | 4.0 | 98.2 | OK | |
| B10 | M24 10.9 | LE1 | 9.9 | 56.4 | 254.2 | 757.9 | 57.4 | 3.9 | 98.2 | OK | |
| B11 | M24 10.9 | LE1 | 0.9 | 58.7 | 254.2 | 757.9 | 59.1 | 0.4 | 99.2 | OK | |
| B12 | M24 10.9 | LE1 | 0.9 | 58.7 | 254.2 | 757.9 | 59.1 | 0.3 | 99.2 | OK | |

Project: 
Project no:
Author:

Plates

| Name | t_p [mm] | Loads | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{pl} [%] | $\sigma_{c,Ed}$ [MPa] | Status |
|---------|------------|-------|---------------------|---------------------|-----------------------|--------|
| C-tfl 1 | 16.0 | LE1 | 344.8 | 0.0 | 0.0 | OK |
| C-bfl 1 | 16.0 | LE1 | 248.6 | 0.0 | 0.0 | OK |
| C-w 1 | 8.0 | LE1 | 239.4 | 0.0 | 0.0 | OK |
| B-tfl 1 | 12.0 | LE1 | 182.1 | 0.0 | 0.0 | OK |
| B-bfl 1 | 12.0 | LE1 | 277.7 | 0.0 | 0.0 | OK |
| B-w 1 | 8.0 | LE1 | 226.6 | 0.0 | 0.0 | OK |
| SP1 | 12.0 | LE1 | 285.2 | 0.0 | 0.0 | OK |
| SP2 | 27.0 | LE1 | 292.7 | 0.0 | 47.8 | OK |
| EP1 | 27.0 | LE1 | 246.7 | 0.0 | 66.8 | OK |
| STIFF1a | 12.0 | LE1 | 151.0 | 0.0 | 0.0 | OK |
| STIFF1b | 12.0 | LE1 | 150.9 | 0.0 | 0.0 | OK |
| STIFF1c | 12.0 | LE1 | 146.6 | 0.0 | 0.0 | OK |
| STIFF1d | 12.0 | LE1 | 150.3 | 0.0 | 0.0 | OK |
| WID1 | 10.0 | LE1 | 260.2 | 0.0 | 0.0 | OK |
| RIB1a | 10.0 | LE1 | 84.6 | 0.0 | 0.0 | OK |
| RIB1b | 10.0 | LE1 | 84.6 | 0.0 | 0.0 | OK |
| SP3 | 10.0 | LE1 | 56.4 | 0.0 | 0.0 | OK |
| SP4 | 10.0 | LE1 | 56.4 | 0.0 | 0.0 | OK |

Design data

| Material | f_y [MPa] | f_{lim} [%] |
|----------|-------------|---------------|
| S 355 | 355.0 | 5.0 |

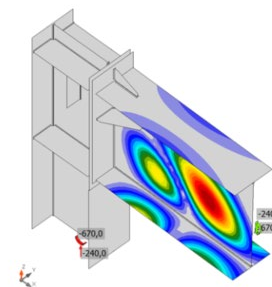
Symbol explanation

| | |
|-----------------|-------------------------|
| t_p | Plate thickness |
| σ_{Ed} | Equivalent stress |
| ϵ_{pl} | Plastic strain |
| $\sigma_{c,Ed}$ | Contact stress |
| f_y | Yield strength |
| f_{lim} | Limit of plastic strain |

Project: 
Project no:
Author:

Buckling

| Loads | Shape | Factor [-] |
|-------|-------|------------|
| LE1 | 1 | 3.97 |
| | 2 | 4.13 |
| | 3 | 4.63 |
| | 4 | 5.22 |
| | 5 | 5.69 |
| | 6 | 5.71 |



First buckling mode shape, LE1



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЕВОГО
БУДІВНИЦТВА

Дякую за увагу!