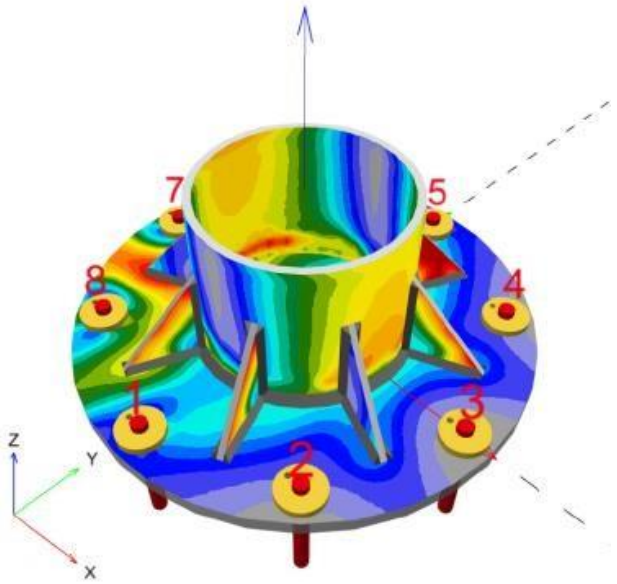
Проєктування плити баз з урахуванням піддатливості металу



Зміст:

1) Вступ

2) Проєктування плити бази як непіддатливого/жорсткого елемента

1.1 Проєктування крок за кроком

1.2 Обмеження розрахунку плити баз як непіддатливого/жорсткого елементу

1.3 В чому різниця?

2) Проєктування плити бази з урахуванням піддатливості металу

2.1 Як змоделювати реальну поведінку плити бази

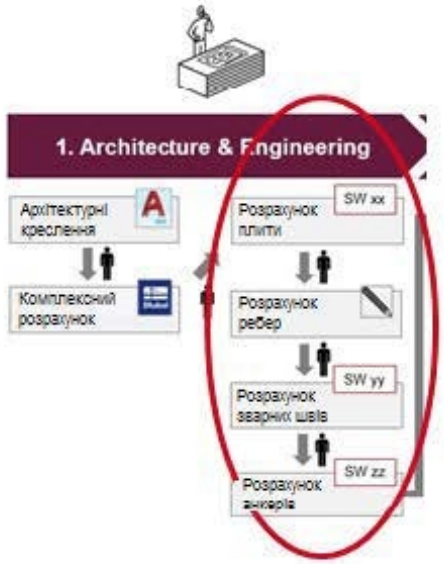
2.2 Проектування піддатливості в програмному забезпечені «PROFIS Engineering»

2.2.1 Рівномірно-розподілене навантаження по «CBFEM»

2.2.2 Відповідність Єврокоду

2.2.3 Інтерфейс користувача

СЛАБКЕ МІСЦЕ: Необхідність різноманітних інструментів для повного моделювання вузла

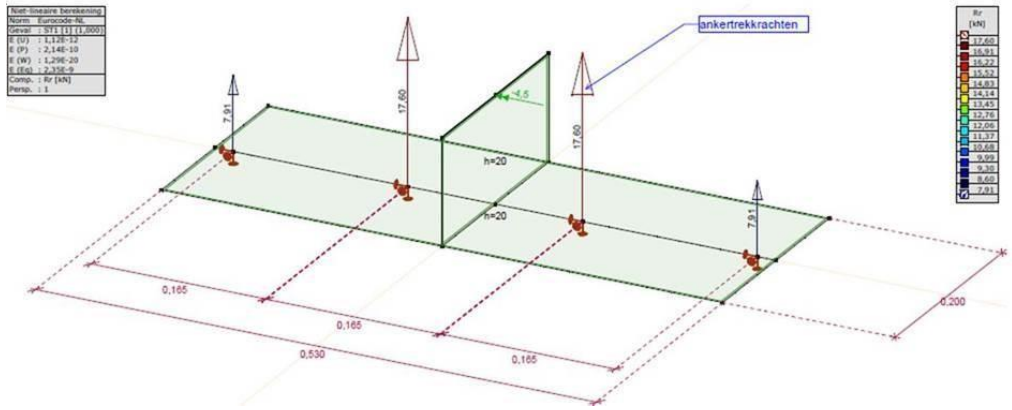


Слабке місце: різноманітні пакети ПЗ, листи Excel та / або обчислення вручну, необхідні для повного проєктування з'єднання (вхідні дані та результати потрібно передавати один одному вручну)

Рішення: програма «PROFIS Engineering» включає в собі повний розрахунок вузла бази (плита, ребра, зв.шви, анкери)!

MYTH

Приклад



Розміри плити: 530 x 200 x 20 mm

Максимальні зусилля в анкерах:

AXIS VM: 17.60 kN

PROFIS: 12.3 kN

Різниця зусиль в анкерах становить **+43%**

Проблема: опорна пластина не є жорсткою!

Розміри плити: 1000 x 800 x 30 mm

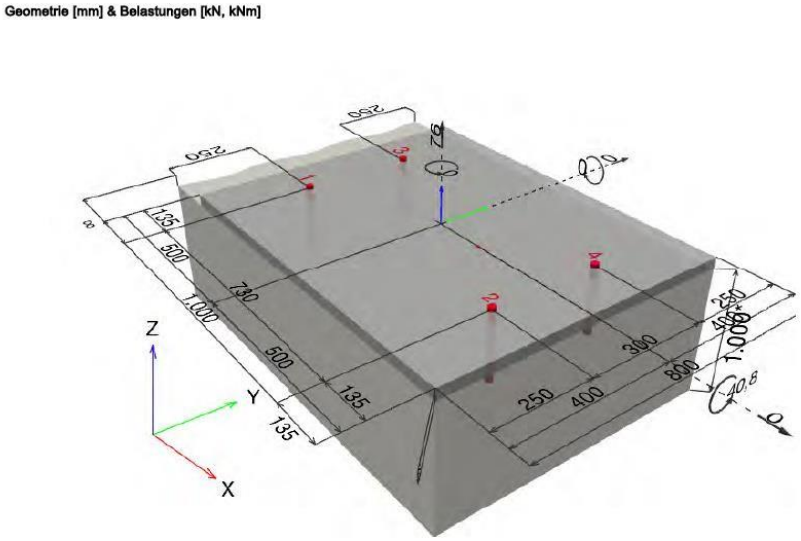
Максимальні зусилля в анкерах:

RFEM: 215.29 kN

PROFIS: 55.73 kN

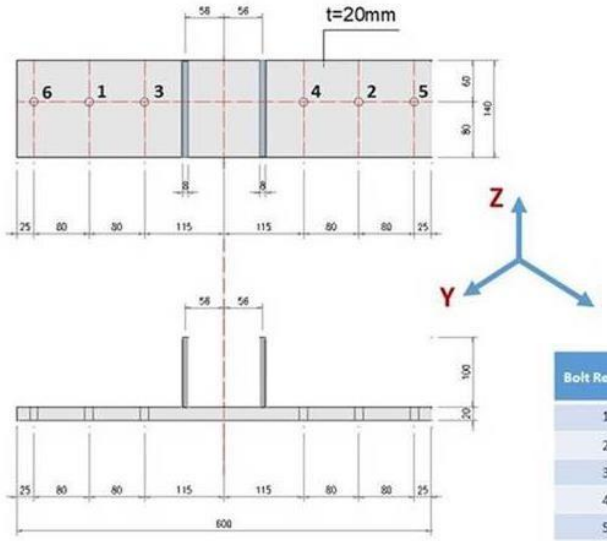
Різниця зусиль в анкерах становить +286%

Проблема: опорна пластина не є жорсткою!



MYTH

Приклад



Bolt Reaction	F_z (kN)	F_y (kN)
1	-2.19	0.43
2	-2.19	0.05
3	17.44	-4.24
4	17.44	-4.24
5	0.15	0.05
6	0.15	0.43

Розміри плити: 600 x 140 x 20 mm

Максимальні зусилля в анкерах:

FEM: 17.44 kN

PROFIS Anchor: 5.9 kN

Різниця зусиль в анкерах становить: +195%

Проблема: опорна пластина не є жорсткою!

Розміри плити: 2850 x 2120 x 75 mm

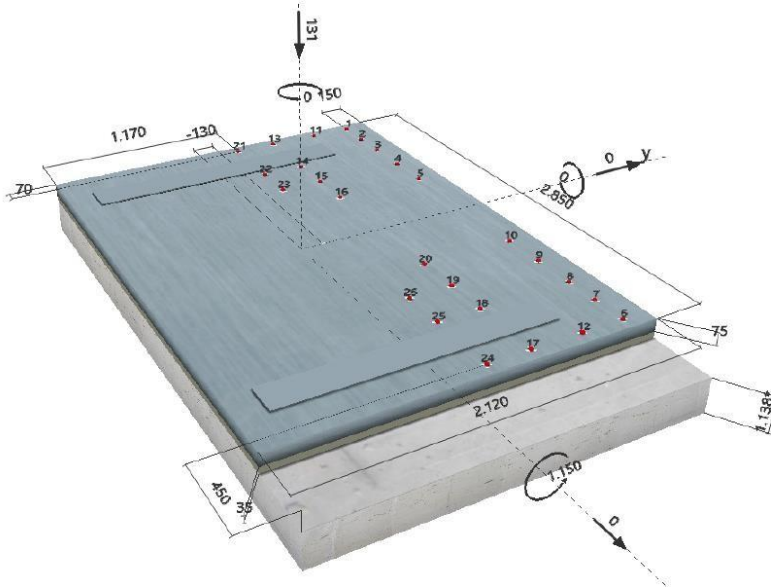
Максимальні зусилля в анкерах:

Sofistik: 53.9 kN

PROFIS: 27.48 kN

Різниця зусиль в анкерах становить: +96%

Проблема: опорна пластина не є жорсткою!



Приклад

MYTH

Жорстка

(без піддатливості металу)

Розміри плити: 800x400x30 mm

Максимальні зусилля в анкерах:

RFEM: 21.15 kN

PROFIS: 16.78 kN

Різниця зусиль: +26%, але дуже різний розподіл сили

Проблема: опорна пластина не є жорсткою!

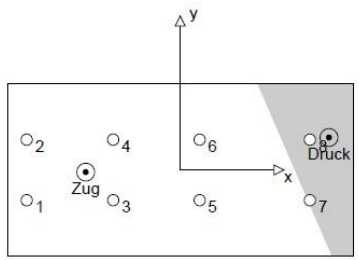
2 Lastfall/Resultierende Dübelkräfte

Lastfall: Design Lasten

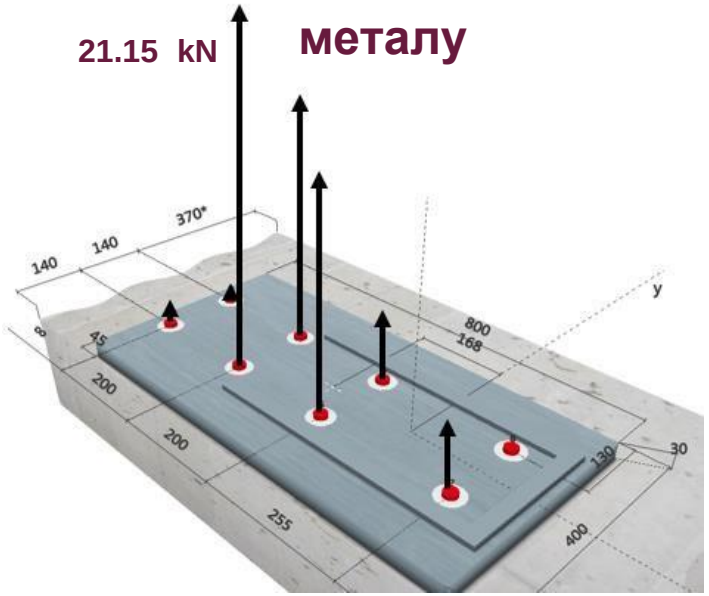
Resultierende Dübelkräfte [kN]
Normalkraft: +Zug -Druck

Dübel	Normalkraft	Querkraft	Querkraft x	Querkraft y
1	16.779	25.007	25.007	-0.084
2	15.219	23.743	23.743	-0.084
3	11.616	25.066	25.007	1.723
4	10.057	23.805	23.743	1.723
5	6.454	25.255	25.007	3.529
6	4.895	24.004	23.743	3.529
7	0.000	25.678	25.007	5.832
8	0.000	24.449	23.743	5.832

Maximale Betonstauchung: 0.08 [‰]
Maximale Betondruckspannung: 2.43 [N/mm²]
resultierende Zugkraft in (x/y)=(-219/-5): 65.020 [kN]
resultierende Druckkraft in (x/y)=(344/75): 45.520 [kN]



З піддатливістю металу

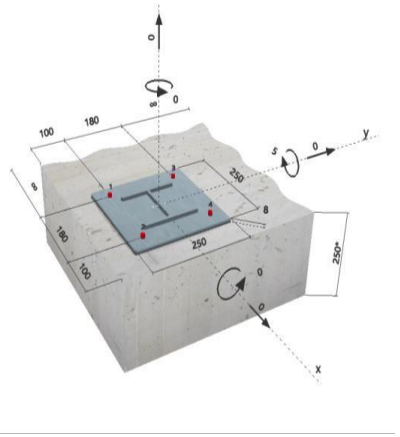


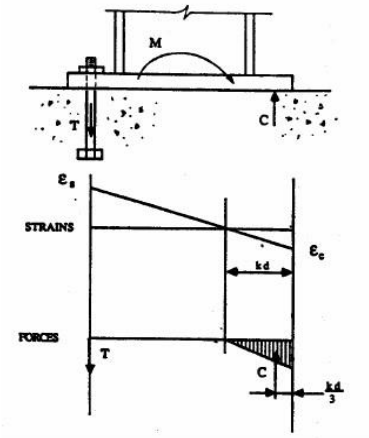
В минулому всі розрахунки проводилися з припущення: "плита працює як абсолютно жорсткий елемент"

Програми «PROFIS Anchor / PROFIS Engineering» виводить **зусилля в анкерах, що діють на окремі місця кріплення** від **прикладеного вантажу до анкерних зусиль**. (Тобто зусилля в анкерах, як від анкерного сполучення зусиль, так і від плитного)

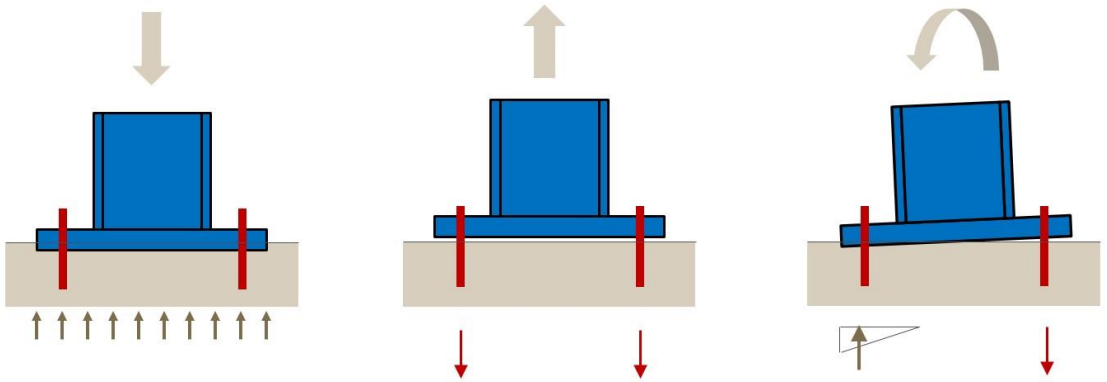
Припущення щодо розподілу зусиль відповідно до <u>жорсткої роботи елементу</u> від стискаючої/розтягуючої/згинаючої сили:

- Відсутність деформації плити (пласкі поверхні залишаються незмінними)
- Зусилля розподіляється лінійно, через поперечний переріз опорної плити (відповідає "Гіпотезі Бернуллі" у залізобетоні)
- Відповідні механічні властивості розрахунку закріплення: поперечний переріз (A_s) та модуль пружності (E_s)
- Жорсткість бетону характеризується його модулем пружності





Розрахунок опорної плити як жорсткого елементу:

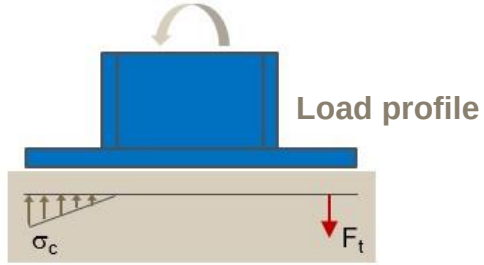


Розрахунок опорної плити як жорсткого елементу

За допомогою розрахункової програми «**PROFIS Engineering**» виконуємно розрахунок жорсткого елементу з 1 по 3 етапи.
Етап 4 не виконується програмою.

Перевірте, чи вибрана товщина основної пластини достатня і чи вірно визначені зусилля в анкерах (згідно припущення жорсткості опорної плити, етап 1)

Визначення зусиль в анкерах відповідно припущенню **жорсткості** опорної плити

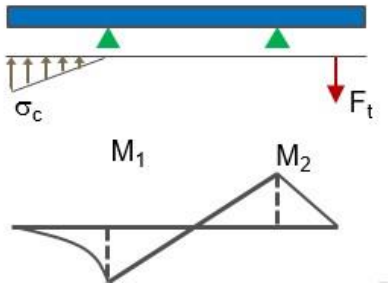


Розрахунок напруження в пластині на основі **пружньої (еластичної)** роботи металу.

Визначення несучої здатності отвору.

Визначення мінімальної товщини плити.

Визначаємо моменти в опорній плиті.

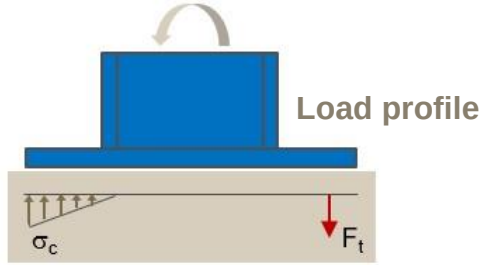


Визначення анкерних зусиль

За допомогою розрахункової програми «**PROFIS Engineering**» виконуємо розрахунок жорсткого елементу з 1 по 3 етапи.
Етап 4 не виконується програмою.

Перевірте, чи вибрана товщина основної пластини достатня і чи вірно визначені зусилля в анкерах (згідно припущення жорсткості опорної плити, етап 1)

Визначення зусиль в анкерах відповідно припущенню **жорсткості** опорної плити

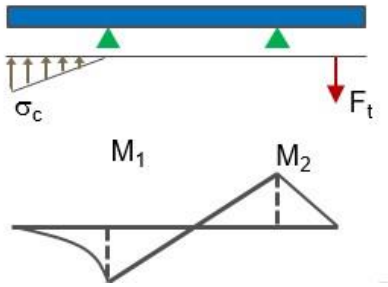


Розрахунок напруження в пластині на основі **пружньої (еластичної)** роботи металу.

Визначення несучої здатності отвору.

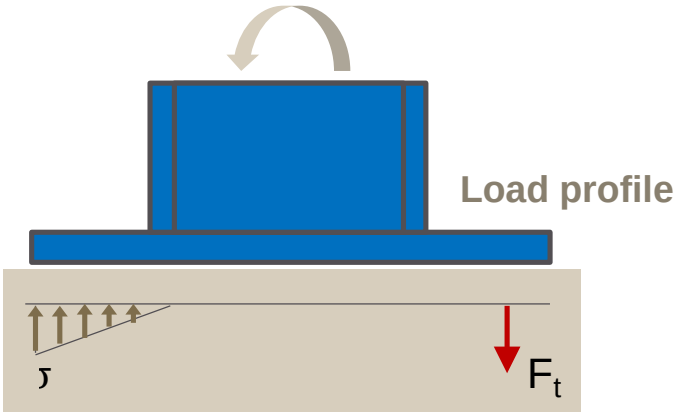
Визначення мінімальної товщини плити.

Визначаємо моменти в опорній плиті.



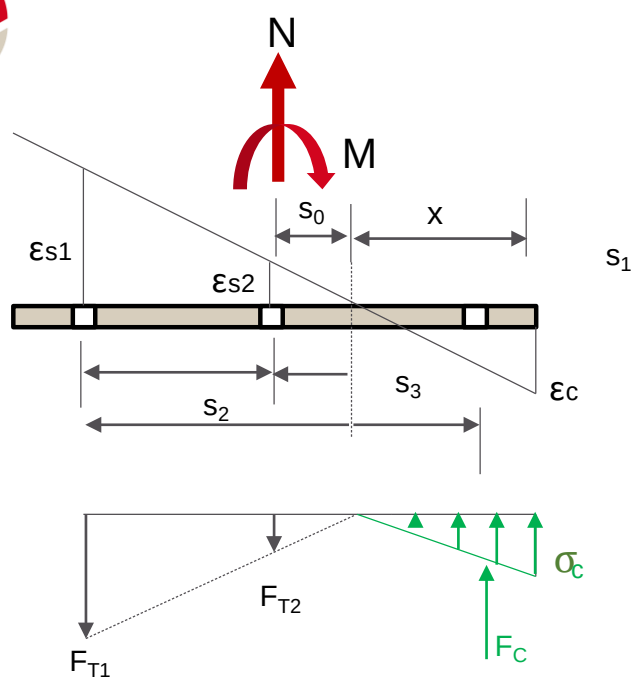
Визначення анкерних зусиль / Напруження в бетоні

Метод жорсткої основи (одноосні напруги)



Обчисліть результуючі сили і напруження
Напруження в анкері
Напруження стиску в бетоні
На основі припущення: абсолютна жорсткість опорної плити!

Звичайний розподіл навантаження



Умови рівноваги:

$F = 0 \qquad N + F_{T1} + F_{T2} + F_c = 0$

$M = 0 \qquad M + N \cdot s_0 + F_{T1} \cdot s_1 + F_{T2} \cdot s_2 + F_c \cdot s_3 = 0$

Розрахунки:

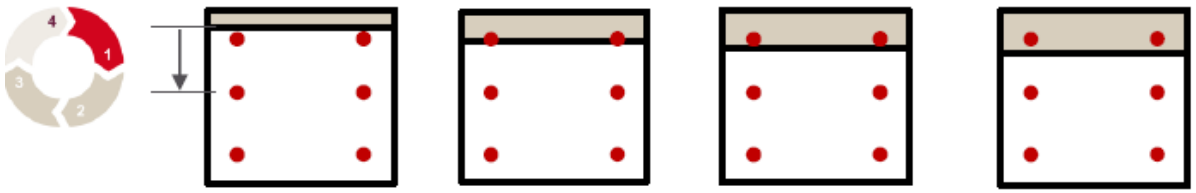
$F_{T1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s \cdot A_{s1} \qquad \frac{\varepsilon_c \cdot (d-x)}{x} \cdot \alpha_E \cdot E_c \cdot A_s$

$F_{T2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s \cdot A_{s2} \qquad \frac{\varepsilon_c \cdot (d-s-x)}{x} \cdot \alpha_E \cdot E_c \cdot A_s$

$F_{T2} \qquad \frac{\sigma_c \cdot x}{2} \cdot b \qquad \frac{1}{2} \varepsilon_c \cdot E_c \cdot x \cdot b$

- Відсутність деформації плити (пласкі поверхні залишаються незмінними)
- Основне спрощення приймається для того, щоб можна було виконати розрахунки вручну (як залізобетона) – воно було запроваджено ще у 1960-х роках і залишалося єдиним способом проєктування опорних плит (Блоджетт опублікував цей метод у 1966 році)

Метод визначення навантаження



- Ітераційно збільшуйте зону стиснення, змінюючи нейтральну вісь x, і для кожного кроку виконайте наступне… ..

Метал

Бетон

$$I_y = \sum [I_{y,s,i} + \alpha_E \cdot A_{s,i} \cdot s_i^2] + \frac{b \cdot x^3}{12} + \frac{b \cdot x^2}{2}$$

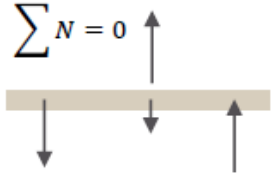
- Обчисліть 2-й момент площі

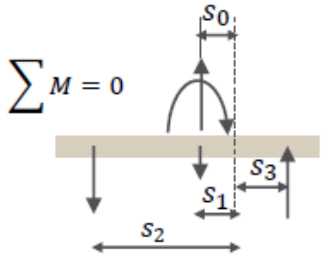
$$\sigma_s = \alpha_E * \left[\frac{M^*}{I_y} * s_i\right] \qquad \sigma_{c.max} = \left[\frac{M^*}{I_{y,}} * x\right]$$

- Визначте напруження в бетоні та анкерах

$$N_{s,i} = \sigma_{s,i} * A_{s,i} \qquad F_c = \sigma_{c.max} \cdot \frac{b \cdot x}{2}$$

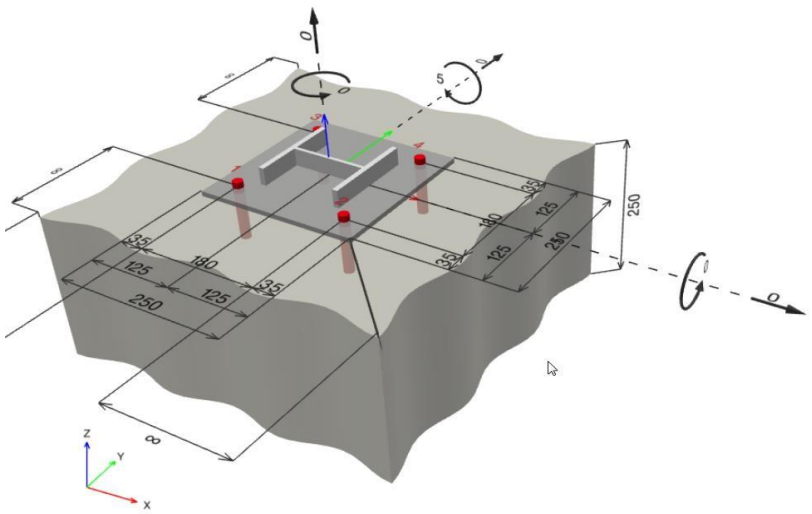
- Визначте результуючі сили





- Порівняйте навантаження на опір

Приклад 1: прямокутна плита з 4 анкерами, одновісне згинання



Hilti PROFIS Engineering 3.0.17

www.hilti.com

Company:
Address:
Phone I Fax:
Design: Case 1
Fastening point:

Page: 2
Specifier: GONCMARC
E-Mail:
Date: 10/20/2017

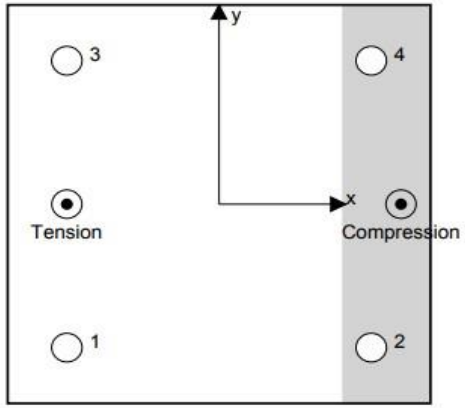
2 Load case/Resulting anchor forces

Load case: Design loads

Anchor reactions [kN]
Tension force: (+Tension, -Compression)

Anchor	Tension force	Shear force	Shear force x	Shear force y
1	12.652	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
3	12.652	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000

max. concrete compressive strain: 0.13 [‰]
max. concrete compressive stress: 3.88 [N/mm²]
resulting tension force in (x/y)=(-90.0/0.0): 25.304 [kN]
resulting compression force in (x/y)=(107.6/0.0): 25.304 [kN]



Приклад 1: результати незалежного розрахунку

Незалежний розрахунок, також, враховує, що пласкі поверхні залишаються незмінними (припущення про жорстку основу)

Plate and anchor arrangement

h	250	mm
b	250	mm
s1	180	mm
s2	180	mm
c1	35	mm
d_{nom}	16	mm
Asp	157	mm²
dsp	14.14	mm
Es	210000	N/mm²
Ec	30000	N/mm²

Concrete data

Druckzonenhöhe

x	53.30	mm
Ac	13325	mm²
Ic	12618286	mm^4

533

Max. Beton Spannung

$\sigma_{c,max}$	3.80	N/mm²
ε_c	0.13	‰
Fc	25323	N
Fc * zi	899807	Nmm
z°	107.23	mm

$$\alpha_E = \frac{E_s}{E_c}$$

$$x' = \max\{x_i - x\,;0\}$$

$$I_{y,s} = I_{y,i} + \alpha_E \cdot A_{s,i} \cdot x'^2$$

$$\sigma_s = \alpha_E * \left[\frac{M^*}{I_{y,c+s}} * x_i'\right]$$

$$N_{s,i} = \sigma_{s,i} * A_{s,i}$$

$$\varepsilon_{s,i} = \frac{\sigma_{s,i}}{E_s}$$

Anchor data

#	x_i	ds	Es	Ec	α_E	As	α_E*As	Iy,s,i	α_E*Iy,i	x'	$I_{y,s}$	σ_s	$N_{s,i}$	N_s*x_i	ε_s
1	35	14.14	2E+05	30000	7	157	1099	0	0	0	0	0	0	0	0.000
2	35	14.14	2E+05	30000	7	157	1099	0	0	0	0	0	0	0	0.000
3	215	14.14	2E+05	30000	7	157	1099	1962.31	13736	161.7	28749168	80.72	12672	2049117	0.384
4	215	14.14	2E+05	30000	7	157	1099	1962.31	13736	161.7	28749168	80.72	12672	2049117	0.384

$$\sigma_{c.max} = \left[\frac{M^*}{I_{y,c+s}} * x\right]$$

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}$$

$$F_c = \sigma_{c.max} \cdot \frac{b \cdot x}{2}$$

	Stahl	Σ $I_{y,s}$	57498337	Σ $N_{s,i}$	25345 N
	Beton	Ic	12618286	Σ $N_{s,i}$ * x_i'	4098234
		Iy, c+s	70116623 mm^4	Total stiffness	

Loading

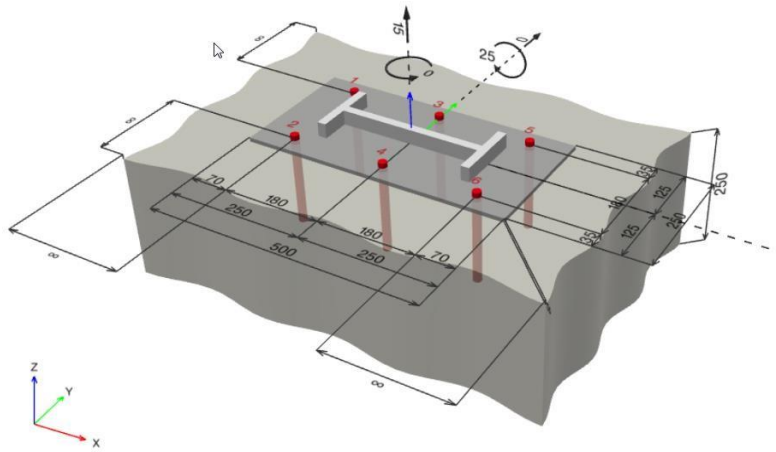
N	0	kN
M	5	kNm
*M**	*5000000*	*Nmm*

(Moment around zero - axis))

Equilibrium

Σ N	-0.022	kN
Σ M	0.002	kNm

Приклад 2: визначення анкерного зусилля.
Прямокутна плита із 6 анкерами, одновісне згинання



Hilti PROFIS Engineering 3.0.17

www.hilti.com

Company:		Page:	2
Address:		Specifier:	GONCMARC
Phone I Fax:		E-Mail:	
Design:	Case 2	Date:	10/20/2017
Fastening point:			

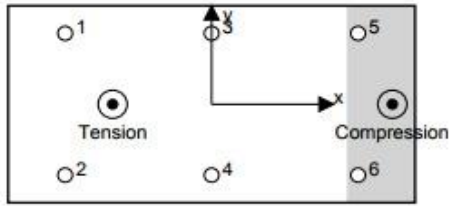
2 Load case/Resulting anchor forces

Load case: Design loads

Anchor reactions [kN]

Tension force: (+Tension, -Compression)

Anchor	Tension force	Shear force	Shear force x	Shear force y
1	27.847	0.000	0.000	0.000
2	27.847	0.000	0.000	0.000
3	13.369	0.000	0.000	0.000
4	13.369	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000



max. concrete compressive strain:	0.21 [‰]
max. concrete compressive stress:	6.44 [N/mm²]
resulting tension force in (x/y)=(-121.6/0.0):	82.433 [kN]
resulting compression force in (x/y)=(222.1/0.0):	67.433 [kN]

Приклад 2: результати незалежного розрахунку

Незалежний розрахунок, також, враховує, що пласкі поверхні залишаються незмінними (припущення про жорстку основу)

Plate and anchor arrangement

h	500	mm
b	250	mm
s1	180	mm
s2	180	mm
c1	70	mm
d_{nom}	16	mm
Asp	157	mm²
dsp	14.14	mm
Es	210000	N/mm²
Ec	30000	N/mm²

Concrete data

Druckzonenhöhe

x	85.60	mm
Ac	21400	mm²
Ic	52268501	mm^4

Max. Beton Spannung

$\sigma_{c,max}$	6.31	N/mm²
ε_c	0.21	‰
Fc	67546	N
Fc * zi	3854626	Nmm
z°	221.47	mm

$$\alpha_E = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\sigma_{c.max} = \left[\frac{M^*}{I_{y,\,c+s}} * x\right]$$

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}$$

$$F_c = \sigma_{c.max} \cdot \frac{b \cdot x}{2}$$

$$x' = \max\{x_i - x\,;0\}$$

$$I_{y,s} = I_{y,i} + \alpha_E \cdot A_{s,i} \cdot x'^2$$

$$\sigma_s = \alpha_E * \left[\frac{M^*}{I_{y,\,c+s}} * x_i'\right]$$

$$N_{s,i} = \sigma_{s,i} * A_{s,i}$$

$$\varepsilon_{s,i} = \frac{\sigma_{s,i}}{E_s}$$

Anchor data

#	x_i	ds	Es	Ec	α_E	As	α_E*As	$I_{y,s,i}$	α_E*$I_{y,i}$	x'	$I_{y,s}$	σ_s	$N_{s,i}$	N_s*x_i	ε_s
1	70	14.14	210000	30000	7	157	1099	0	0	0	0	0	0	0	0.000
2	70	14.14	210000	30000	7	157	1099	0	0	0	0	0	0	0	0.000
3	250	14.14	210000	30000	7	157	1099	1962.31	13736	164.4	29716805	84.87	13324	2190501	0.404
4	250	14.14	210000	30000	7	157	1099	1962.31	13736	164.4	29716805	84.87	13324	2190501	0.404
5	430	14.14	210000	30000	7	157	1099	1962.31	13736	344.4	130367621	177.79	27913	9613160	0.847
6	430	14.14	210000	30000	7	157	1099	1962.31	13736	344.4	130367621	177.79	27913	9613160	0.847

Stahl	Σ $I_{y,s}$	320168851	Σ $N_{s,i}$	82474 N	Σ $N_{s,i}$ * x_i' 23607322
Beton	Ic	52268501			
	Iy, c+s	372437353 mm^4	Total stiffness		

Belastung

N	15	kN
M	25	kNm
*M**	*27466000*	*Nmm*

(Moment around zero - axis)

Gleichgewichtsprüfung

Σ N	0.072	kN
Σ M	0.004	kNm

Розрахунок моменту в опорній плиті

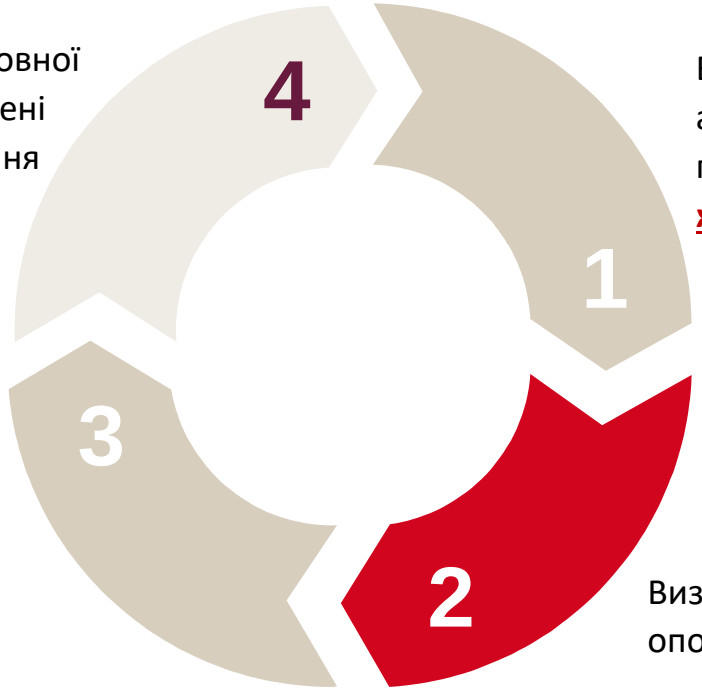
За допомогою розрахункової програми «**PROFIS Engineering**» виконуємо розрахунок жорсткого елементу з 1 по 3 етапи.
Етап 4 не виконується програмою.

Перевірте, чи вибрана товщина основної пластини достатня і чи вірно визначені зусилля в анкерах (згідно припущення жорсткості опорної плити, етап 1)

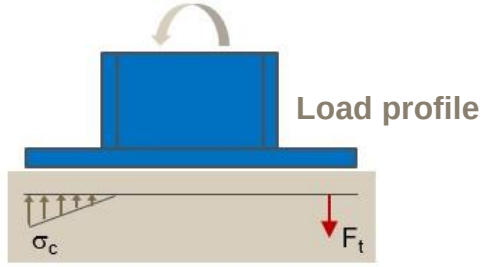
Розрахунок напруження в пластині на основі **пружньої (еластичної)** роботи металу.

Визначення несучої здатності отвору.

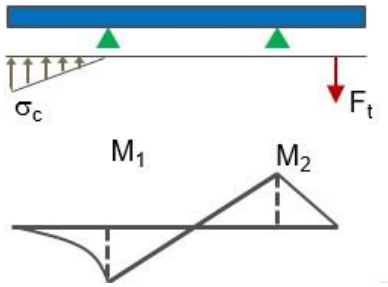
Визначення мінімальної товщини плити.



Визначення зусиль в анкерах відповідно припущенню **жорсткості** опорної плити

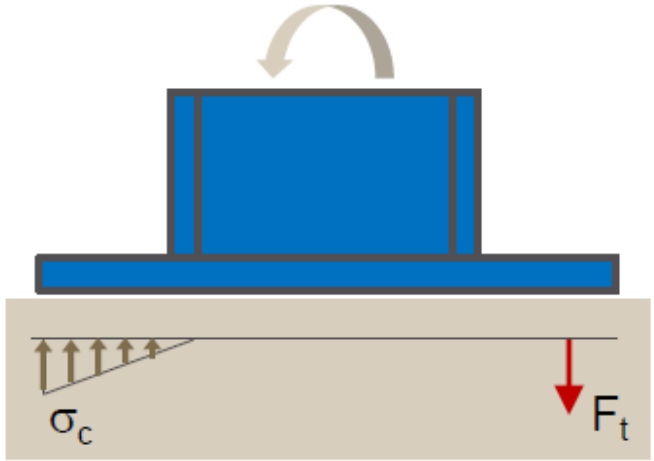


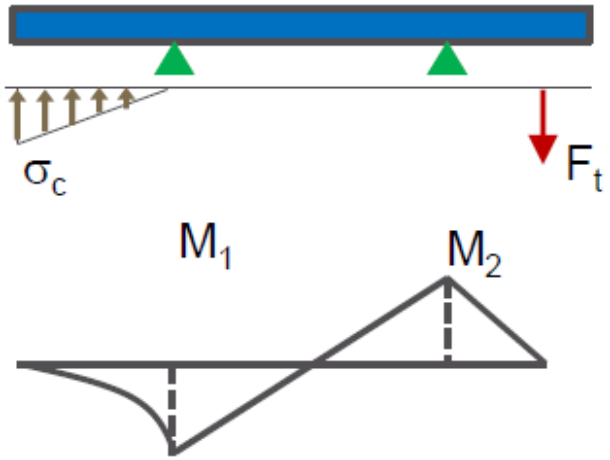
Визначаємо моменти в опорній плиті.



Як ми розраховуємо моменти в плиті?

- Ми перетворюємо результуючі сили натягу та напруги бетону (виходячи з припущення про жорстку опорну плиту) у навантажувальні вектори та застосовуємо їх до опорної плити.
- Опору надає лінія по периметру сталевого профілю.





Розрахунок напруження в плиті

За допомогою розрахункової програми «**PROFIS Engineering**» виконуємо розрахунок жорсткого елементу з 1 по 3 етапи.
Етап 4 не виконується програмою.

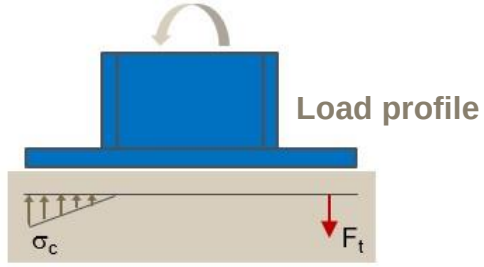
Перевірте, чи вибрана товщина основної пластини достатня і чи вірно визначені зусилля в анкерах (згідно припущення жорсткості опорної плити, етап 1)

Розрахунок напруження в пластині на основі **пружньої (еластичної)** роботи металу.

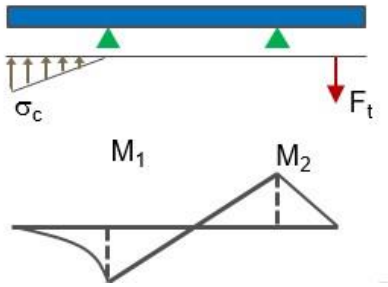
Визначення несучої здатності отвору.

Визначення мінімальної товщини плити.

Визначення зусиль в анкерах відповідно припущенню **жорсткості** опорної плити



Визначаємо моменти в опорній плиті.



Як ми розраховуємо необхідну товщину опорної плити, щоб витримати нормальні напруження

Напруження (σ)

$$\text{Напруження } (\sigma) = \frac{\text{Момент } (M)}{\text{Момент опору } (W)} \qquad \sigma = \frac{M}{W}$$

Момент опору (W) в пружній роботі матеріалу

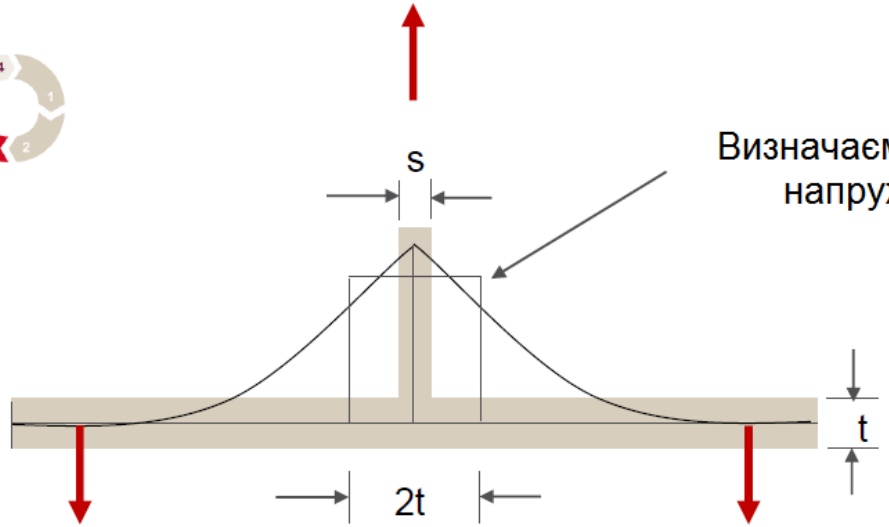
$$W = \frac{b * t^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{6 * M}{b * t^2}$$

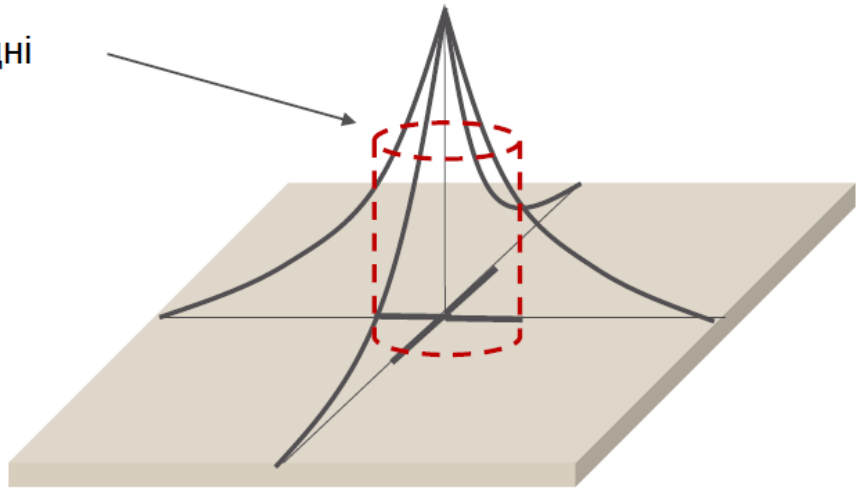
$$t_{req} = \sqrt{\frac{6\,M_{max}}{b\frac{f_{yd}}{\gamma_{Ms}}}}$$

Все ґрунтується на припущенні про жорстку роботу опорної плити!!!

Розрахунок напруження: розподіл пікових значень напруження



Визначаємо середні напруження



Документи (джерело)

Кріплення анкерних плит дюбелями

Вклад у необхідну товщину анкерної плити

Бетоні та залізобетоні конструкції 94 (1999), №12

Розрахунок середнього напруження

→ (t + s) → Занадто консервативний

→ (2t + s) → Використовували в минулому

2t

→ Для забезпечення реалістичних результатів розмір елементів вибирається приблизно в два рази більше за товщину пластини. Це означає, що напруги на відстані t / 2 від краю зварного профілю приймаються визначальними.

«PROFIS ENGINEERING» розрахунок плити, як жорсткого елементу

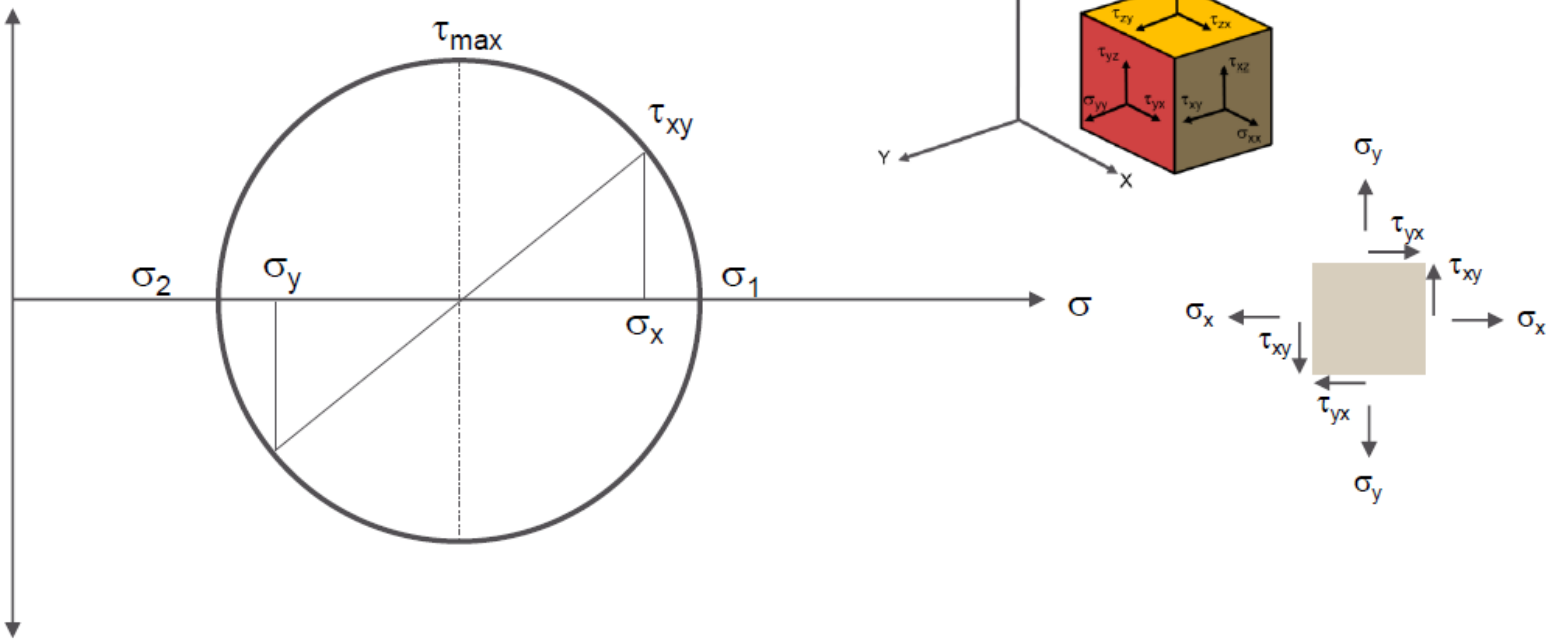
"PROFIS Engineering" розподіл напружень в плиті як у жорсткому елементі

Основні напруження

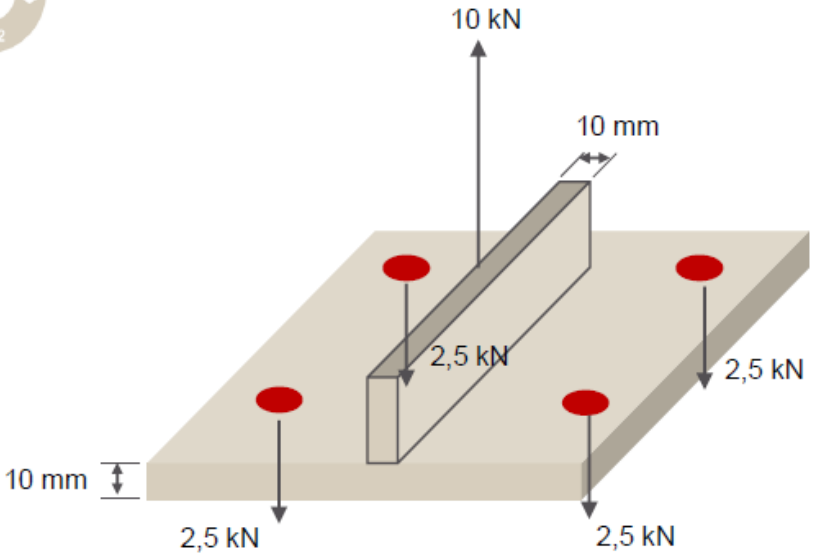
$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + {\tau_{xy}}^2}$$

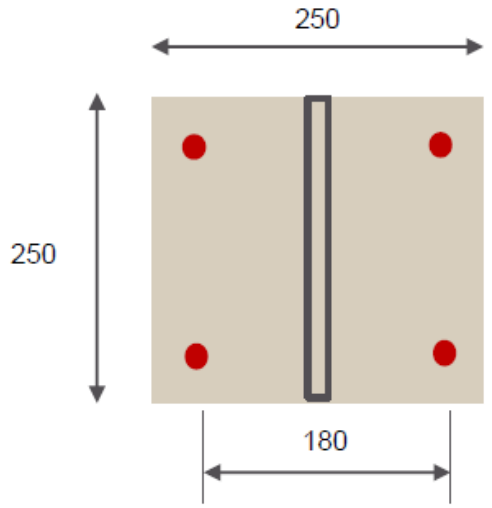
$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + {\tau_{xy}}^2}$$

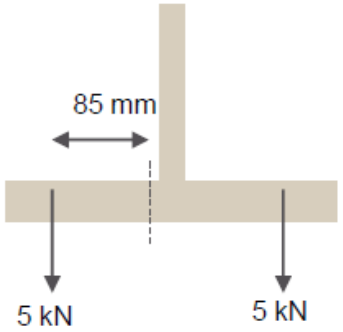
$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_x}{2}\right)^2 + {\tau_{xy}}^2}$$



Приклад 3: спрощений односторонній підхід до згинання





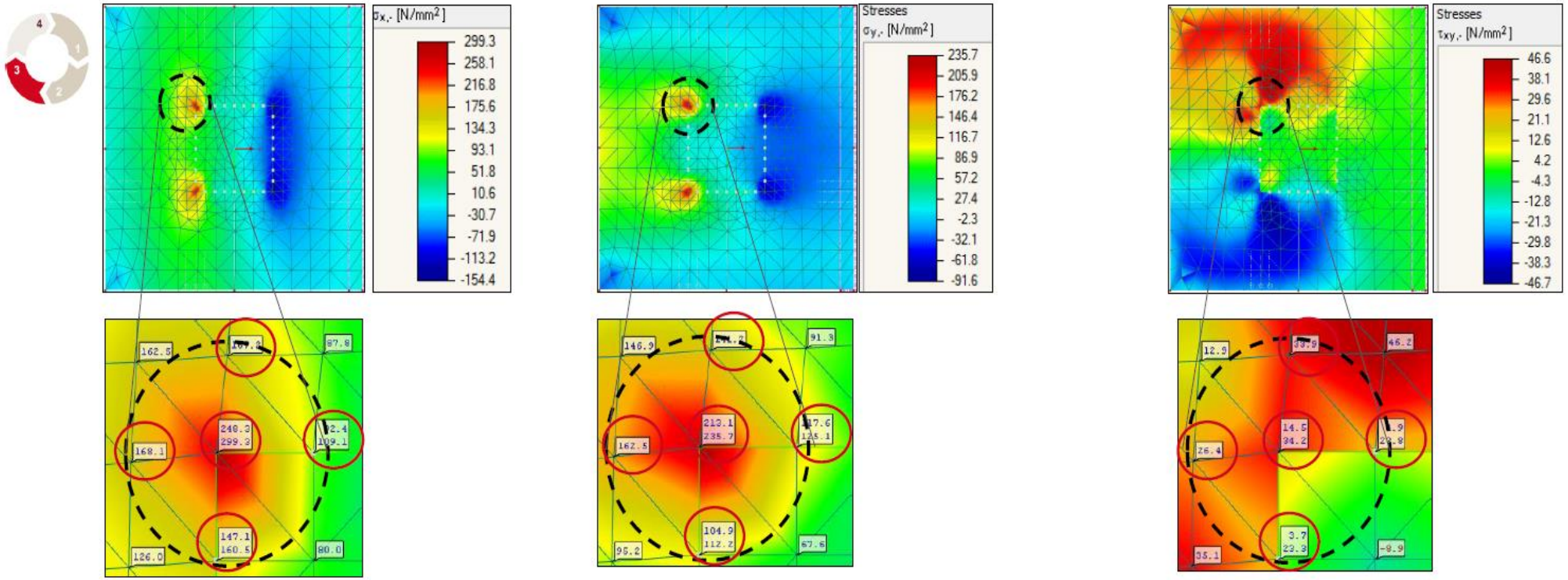


M = 5000 N * 85 mm = 425.000 Nmm

W = 250 * 10² / 6 = 4.167 mm³

σ = 425000 / 4167 = 102 N/mm²

Приклад 3: розподіл пікових значень напруження



Point	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_v	σ1	σ2
1	168.10	162.50	26.40	171.60	191.85	138.75
2	167.20	141.20	33.90	166.50	190.51	117.89
3	109.10	125.10	23.80	124.90	142.21	91.99
4	160.50	112.20	23.30	148.20	169.91	102.79
5	299.30	235.70	34.20	279.50	314.20	220.80
	180.84	155.34	28.32	178.14	201.73	134.45

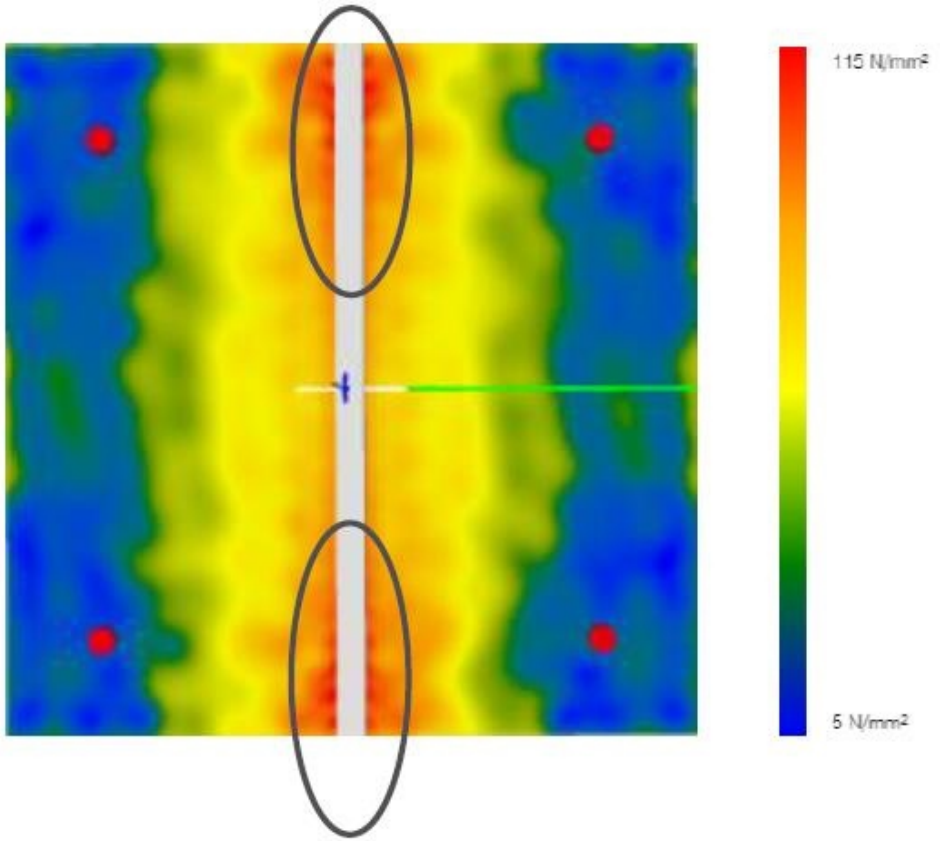
$$\sigma_v = \sqrt{{\sigma_{xx}}^2 - \sigma_{xx} * \sigma_{yy} + {\sigma_{yy}}^2 + 3 * {\tau_{xz}}^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + {\tau_{xy}}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + {\tau_{xy}}^2}$$

$\sigma_1 < f_{yd}$

Приклад 3: порівняння з «PROFIS ENGINEERING»

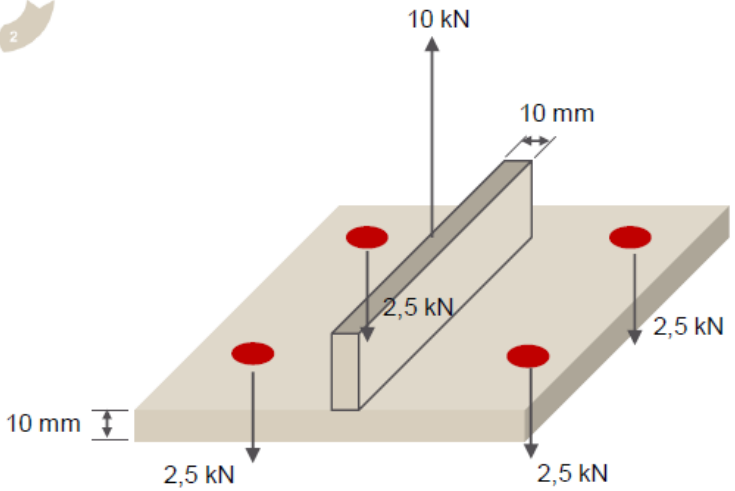


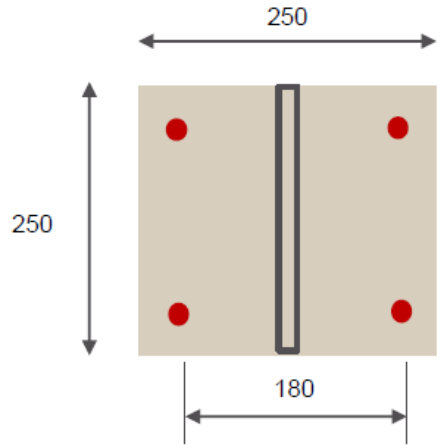
115 N/mm² : 102 N/mm² (Δ =12%)

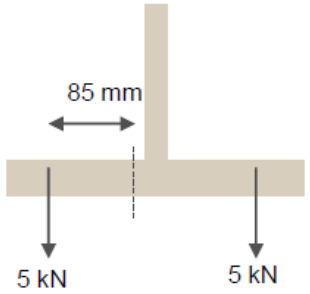
Нерівномірний розподіл напружень

Рівномірний розподіл напружень по всій ширині

Приклад 3: товщина опорної плити зводиться до простого ручного розрахунку(*)







M = 5000 N * 85 mm = 425.000 Nmm

$$t_{req} = \sqrt{\frac{6\,Mmax}{b\frac{f_{yd}}{\gamma_{Ms}}}} = \sqrt{\frac{6*425000}{250*\frac{235}{1}}} = 7 \text{ mm}$$

PE (FEM) : 8 mm

Література, згідно якої виконано розрахунок плити, як жорсткого елементу

Hilti PROFIS Engineering 3.0.17

www.hilti.de

Company:		Page:	6
Address:		Specifier:	
Phone I Fax:	|	E-Mail:	
Design:	Example_Rob_Only6kNTension	Date:	10/23/2017
Fastening point:			

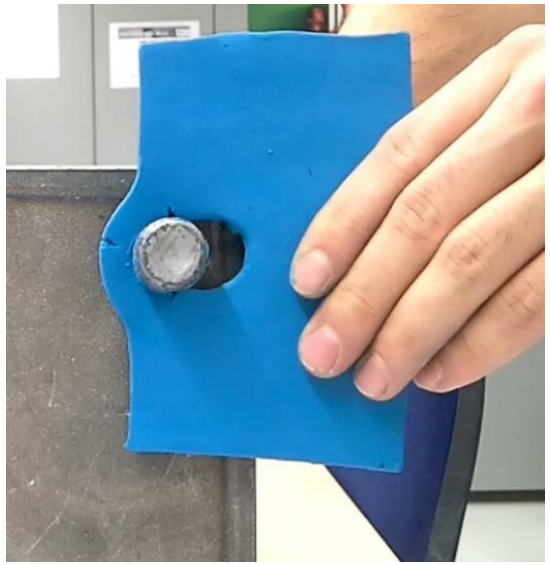
8 Anchor plate stress check

Scope: For the user input and the handrail load combinations (see section 2 and 3 of this report, respectively) an anchor plate stress check is performed (based on the results of a FE calculation). This stress check contains normal stresses resulting from bending moments in two directions. The user is responsible to select an anchor plate thickness that meets the requirement per guideline for a rigid anchor plate (to ensure that the assumed load distribution is correct). A detailed description can be found in Mallée. (1)

(1) Mallée, R.; Riemann, H. (1990): Ankerplattenbefestigungen mit Hinterschnittdübeln, Bauingenieur 65 (1990), S. 49 - 57, Springer VDI-Verlag, 1990
Mallée, R.; Burkhardt, F. (1999): Befestigungen von Ankerplatten mit Dübeln, Beton und Stahlbetonbau 94, Heft 12, S. 502 - 511, Ernst & Sohn Verlag, 1999

Мінімальна товщина на зсув – спрощена перевірка опорного отвору (зминання)

- Поточна модель FEM охоплює лише напруження, що виникають внаслідок згинальних моментів або сили натягу / стиску
- Зсувні зусилля та моменти кручення не є частиною використовуваної в даний час моделі FEM
- Щоб уникнути небезпечної конструкції для цих випадків, ми робимо спрощену перевірку, щоб визначити товщину основної пластини для зсувних навантажень



- Розрах. програма завжди показує мінімальний результат обох розрахунків → min (t_{FEM}, $t_{bearing}$)

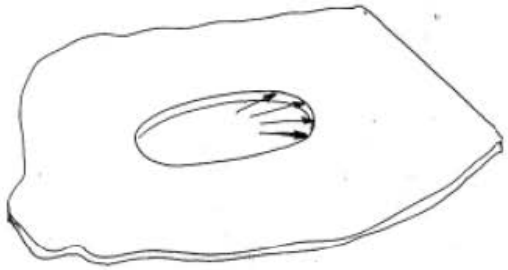
Мінімальна товщина на зсув – спрощена перевірка опорного отвору (зминання)

- $V_d = t\ d_l\ f_{yd}$
- $t_{min} = \frac{V_d}{d_l\ f_{yd}}$

V_d … Розрахункова зсувна сила від анкеру

d_l … Діаметр отвору в опорній плиті

f_{yd} … проектна міцність сталі

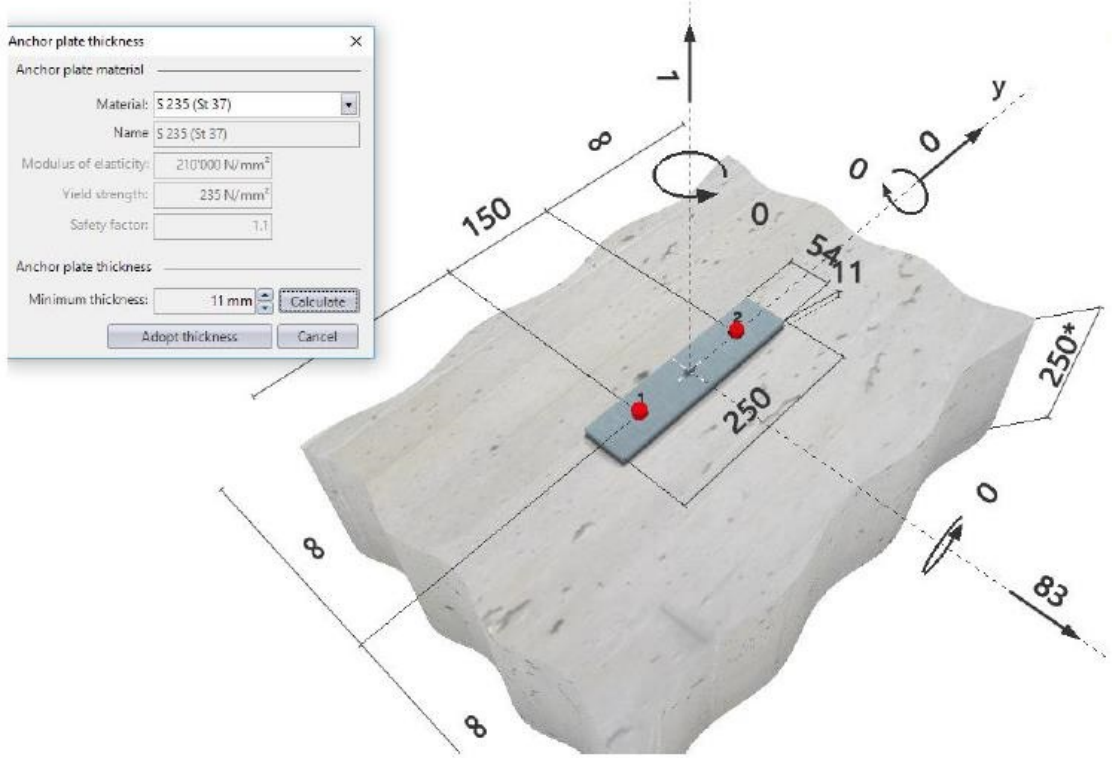


Aufweiten des Loches durch Fließen in der Leibung

Das Material beginnt vor der Schraube „wegzufließen"
Die aufnehmbare Kraft beträgt:
F,d = t * d,L * fy

Hinweis:
die beiden genannten Versagensmechanismen weist man mit dem „Lochleibungs-nachweis" (bearing) nach.

Приклад 4: товщина від зсуву за програмою «PROFIS ENGINEERING» при жорсткій роботі опорної плити



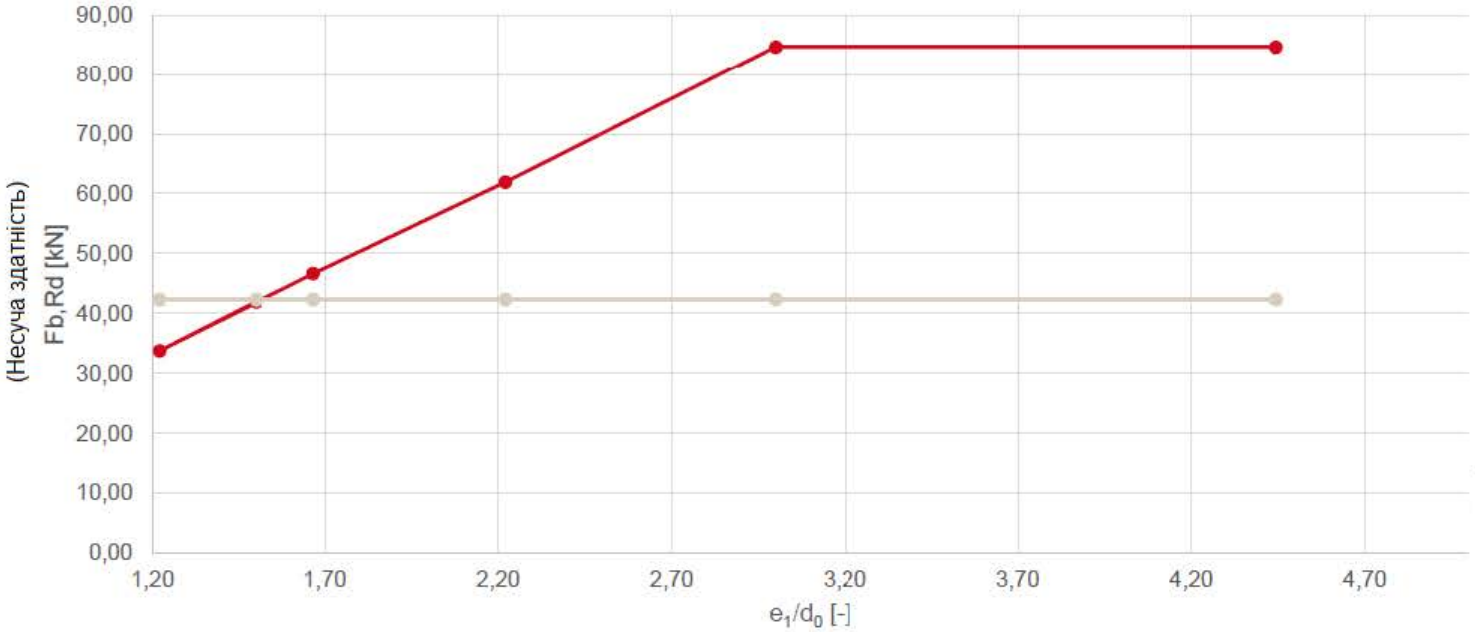
- $V_d = t\ d_l\ f_{yd}$
- $t_{min} = \frac{V_d}{d_l\ f_{yd}} = \frac{41500\ N}{18\ mm\ {}^{235\ N/mm2}/_{1.1}} = 10.8\ mm$

V_d … розрахункова зсувна сила від анкеру - 83/2=41.5kN

d_l … діаметр отвору в опорній пластині - 18mm

f_{yd} … проєктна міцність сталі - 235 N/mm²

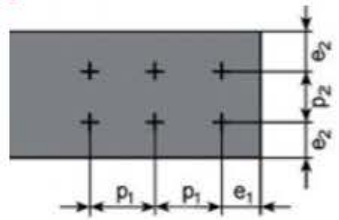
Приклад 4: спрощений розрахунок Hilti порівняно з розрахунком по Eurocode



Параметри:

- t = 11 mm;
- e_2 = 50 mm (як в прикладі)
- p_1 = 40 mm
- p_2 = 43 mm
- d = 16 mm
- d_0 = 18 mm
- S235

EC3



(Несуча здатність)

Bearing resistance:

$$F_{b.Rd} = \frac{2{,}5\ \alpha\ f_u\ d\ t}{\gamma_{Mb}}$$

where α is the smallest of:

де α найменше значення серед:

$$\frac{e_1}{3d_0};\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4};\ \frac{f_{ub}}{f_u}\ \text{or } 1{,}0.$$

При e1/do>1,5 ми отримуємо результати в сторону запасу несучої здатності по спрощеному розрахунку Hilti відносно Eurocode

4. Припущення жорсткості

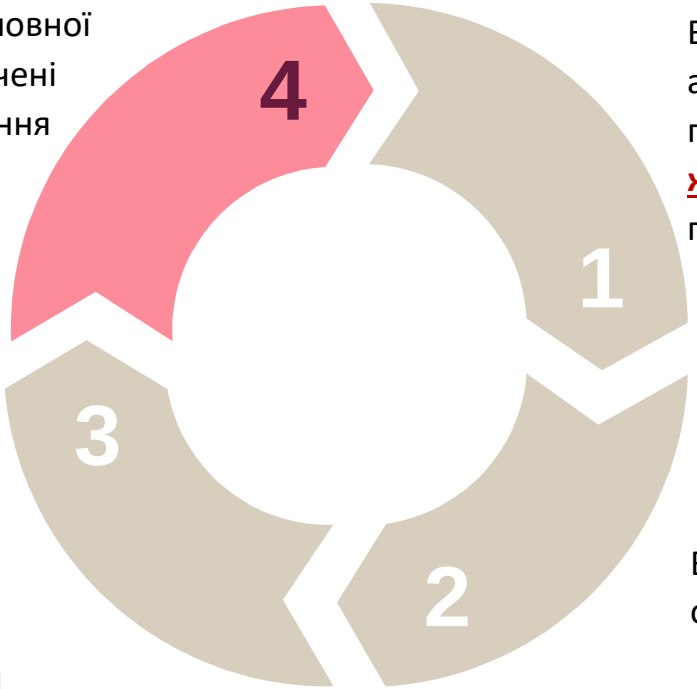
За допомогою розрахункової програми «**PROFIS Engineering**» виконуємо розрахунок жорсткого елементу з 1 по 3 етапи.
Етап 4 не виконується програмою.

Перевірте, чи вибрана товщина основної пластини достатня і чи вірно визначені зусилля в анкерах (згідно припущення жорсткості опорної плити, етап 1)

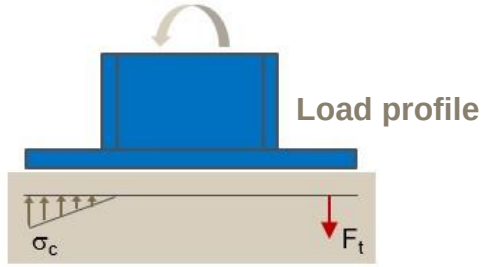
Розрахунок напруження в пластині на основі **пружньої (еластичної)** роботи металу.

Визначення несучої здатності отвору.

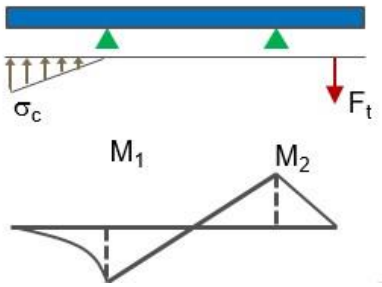
Визначення мінімальної товщини плити.



Визначення зусиль в анкерах відповідно припущенню **жорсткості** опорної плити



Визначаємо моменти в опорній плиті.



Доказ того, що при необхідній товщині опорної плити її можна вважати жорсткою

- У літературі немає визначення, коли опорну плиту можна вважати жорсткою
- Якщо опорну плиту не можна вважати жорсткою, тоді зусилля в анкерах, напруження в плиті та її товщина були б визначені невірно (оскільки, вони визначені за припущенням абсолютно жорсткої роботи опорної плити)

Питання що часто задаються: "Виконані та видані мною розрахунки за старим методом тепер небезпечні?"

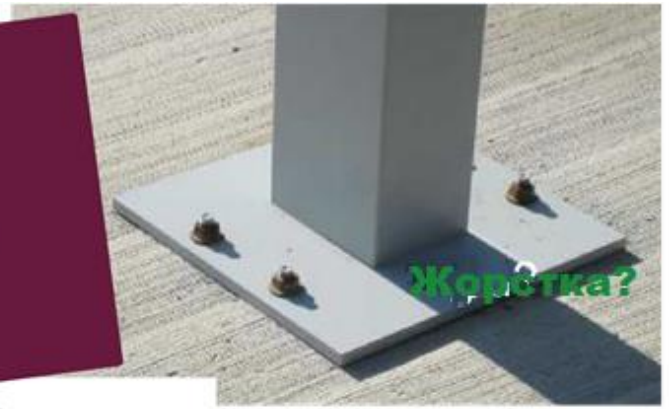
Ні, доки припущення про жорстку роботу опорної плити, прийняте проєктувальником, відповідає дійсності. В такому випадку виконані розрахунки за «PROFIS Engineering Rigid Baseplate Design» безпечні.

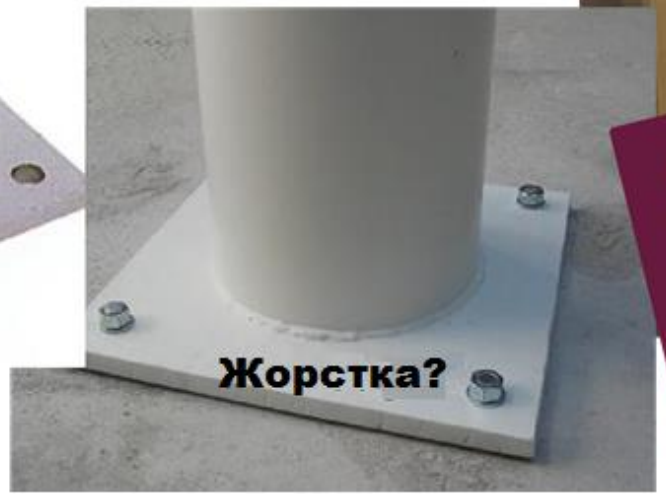
Застереження

Методи проєктування анкерів в «PROFIS Anchor» вимагають жорсткої опорної пластини відповідно до поточного регулювання (ETAG 001 / Додаток C, EOTA TR029, тощо). Це означає, що перерозподіл навантаження не відбувається в анкерах від пружних деформацій в опорній пластині – опорна пластина вважається достатньо жорсткою, щоб не деформуватися під час проектного навантаження. «PROFIS Anchor» обчислює мінімально необхідну товщину опорної пластини за допомогою FEM для обмеження напруги опорної плити на основі припущень, пояснених вище. Програма «PROFIS Anchor» не перевіряє і не підтверджує правильність припущення, що опорна плита працює як абсолютно жорсткий елемент. Вхідні дані та отримані результати повинні бути перевірені на відповідність існуючим умовам та на правдоподібність!

Питання: "Коли я можу вважати опорну плиту жорсткою?"

Правила прив'язки вимагають жорсткої основи...

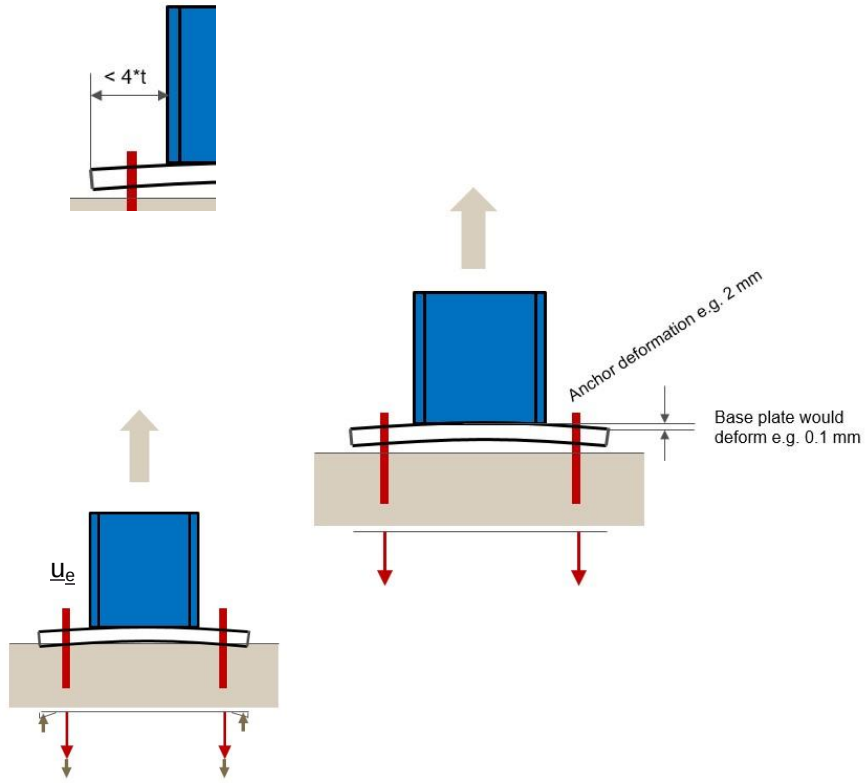




Деякі з цих плит жорсткими вважати не можна!

Ознаки опорної плити як жорсткої

- Профіль, що охоплює більшість базової пластини (настанова США «TVA Civil Design Standard DS-C1.7.1» – відстань між поверхнею профілю та краєм основи максимум 4*товщина основної плити)
- Деформація опорної плити незначна порівняно з переміщенням анкера (вимога від EC 2-4 вважати опорну пластину жорсткою)
- Напруження < несуча здатність (крім незначної локальної пластифікації) – дотримуючись підходу Маллі
- Використання ребер жорсткості у відповідному напрямку
- Розміщення анкерів не дуже далеко від країв опорної пластини



Остаточної відповіді дати неможливо. Необхідно перевіряти **кожен випадок!**

Обмеження в проектуванні опорної пластини як жорсткого елементу

1. Програмне забезпечення підходить лише для розрахунку анкерів.

Програма не вирішить усіх питань поставлених замовником:

- Розрахунок ребер жорсткості – відсутній
- Розрахунок зварних швів – відсутній

2. А чи насправді моя опорна плити жорстка?

Розгляд жорсткої пластини у випадку, коли основна плита не є насправді жорсткою, може призвести до значної зміни анкерних навантажень.

3. Як щодо зсуву в опорній плиті?

Поточний метод не враховує можливе згинання через зсувні навантаження
(дивись приклад 2.1 або 2.2)

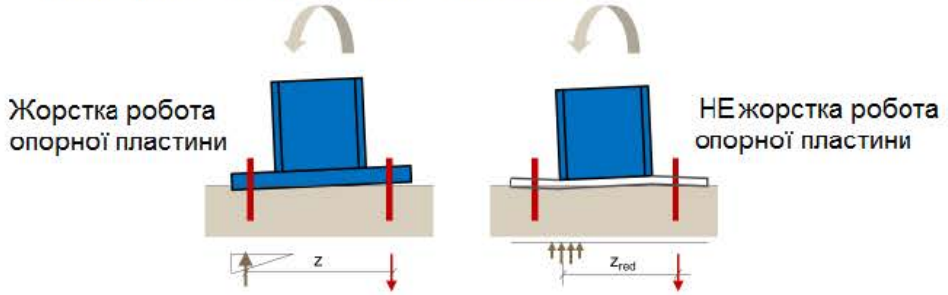
Результат роботи опорної пластини як нежорсткого елементу

- Розрахунок анкерів:

  Європейські регламенти (ETAG 001, Додаток C, EOTA) TR029, Єврокод 2-4) дозволяють використовувати нежорсткі основи для завантаження на анкери. **Але рівняння опору для групи анкерів базуються лише на припущені жорсткої роботи опорної пластини.** Тому анкери нежорстких опорних плит не можуть бути розраховані за цими вказівками.

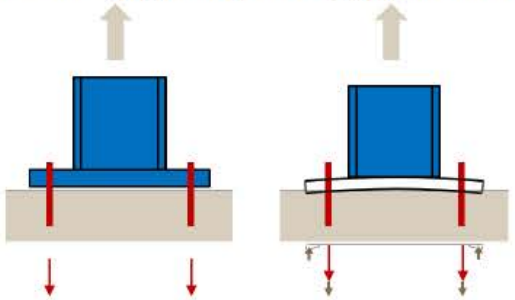
- Зменшення робочого плеча при згинані:

  Зменшений плеча веде до більшої сили в анкері порівнянні з жорсткою опрною плитою!



- Збільшення зусиль в анкері від додаткового "плечового ефекту"

"Плечовий ефект" може додати суттєве додаткове напруження в анкері

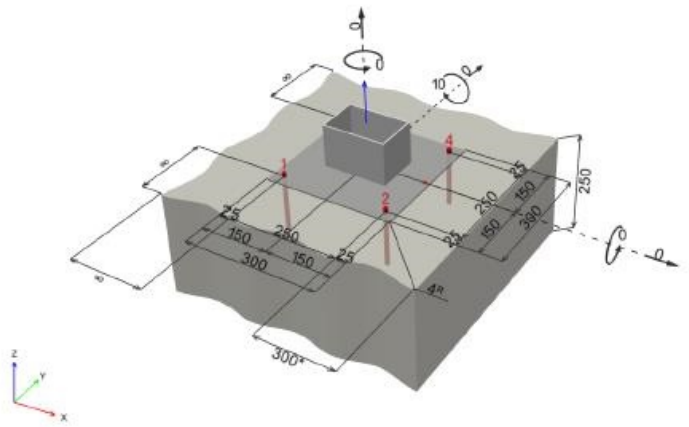


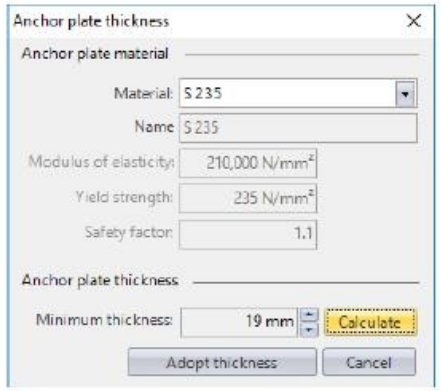
- SLS обережність

  Нежорсткі опорні пластини мають тенденцію проявляти більше відхилення, ніж жорсткі опорні плити. Інженери повинні врахувати це для оцінки SLS

  Приклад: консольний виступ

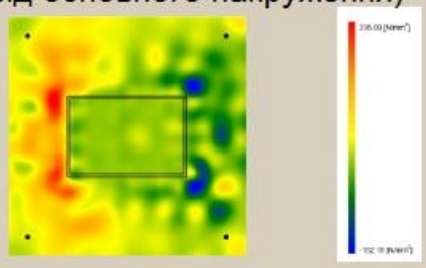
Приклад 1: Напруження від моменту. Розрахунок з урахуванням піддатливості: більш коректний розподіл навантаження



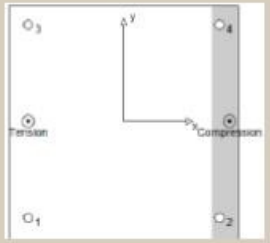


Розрахунок опорної пластини як жорсткого елементу:

Розподіл навантаження (від основного напруження)



Тиск під опорною пластиною



Тиск на бетон

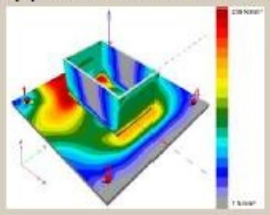
"Плечового ефекту" не виявлено

Зусилля в анкерах

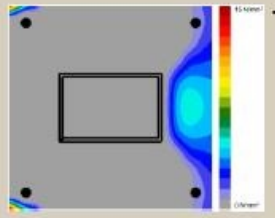
Анкера	Напруження
1	19.152
2	0.000
3	19.152
4	0.000

Розрахунок опорної пластини з урахуванням піддатливсті матеріалу:

Розподіл навантаження (від еквівалентного напруження)



Тиск під опорною пластиною



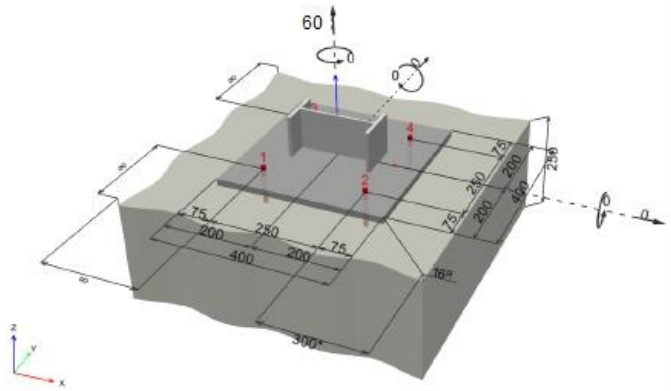
Тиск на бетон

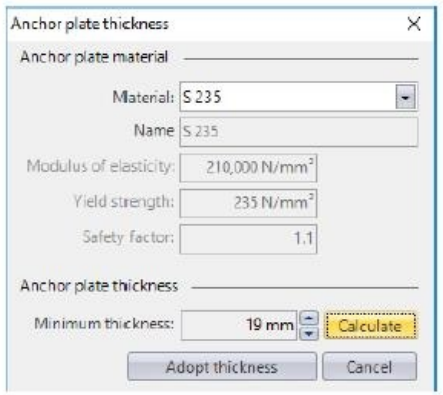
Виявлено "Плечовий ефект"

Зусилля в анкерах

Анкера	Напруження	Зсув
1	21.936	0.134
2	-0.001	0.018
3	21.935	0.134
4	-0.001	0.018

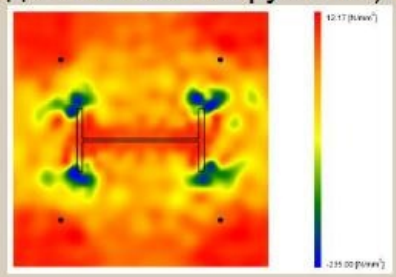
Приклад 1.2: Розтяг
Розрахунок з урахуванням піддатливості: «Плечовий ефект»



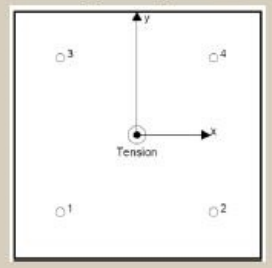


Розрахунок опорної пластини як жорсткого елементу:

Розподіл навантаження (від основного напруження)



Тиск під опорною пластиною



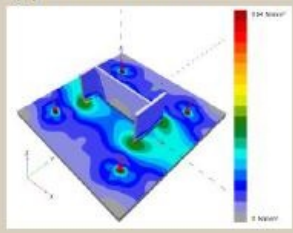
"Плечового ефекту" не виявлено

Зусилля в анкерах

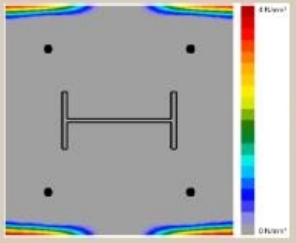
Anchor	Tension force
1	15.000
2	15.000
3	15.000
4	15.000

Розрахунок опорної пластини з урахуванням піддатливсті матеріалу:

Розподіл навантаження (від еквівалентного напруження)



Тиск під опорною пластиною



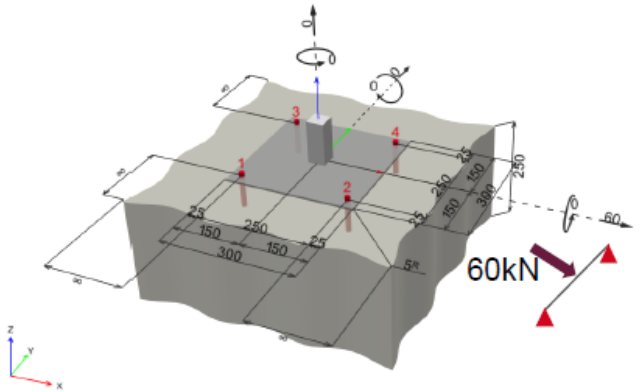
Виявлено "Плечовий ефект"

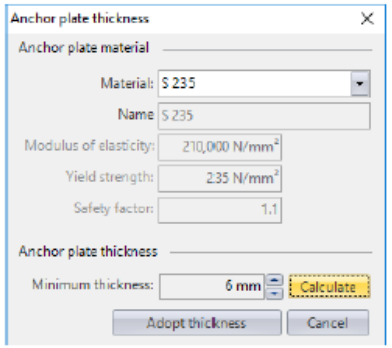
Зусилля в анкерах

Anchor	Tension force	Shear force
1	19.500	0.066
2	19.499	0.066
3	19.499	0.066
4	19.499	0.066

Зусилля в анкерах збільшились

Приклад 2.1: Зсув
Розрахунок з урахуванням піддатливості:
Видимий (наочний) розподіл зусиль





Розрахунок опорної пластини як жорсткого елементу:

Розрахунок товщини пластини:

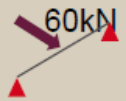
$$V_d = t\, d_l\, f_{yd}$$

$$t_{min} = \frac{V_{Ed}}{d_f\, f_{yd}} = \frac{15kN}{14\ mm\ \frac{235Mpa}{1.1}} = 5.02mm$$

Якщо ми хочемо обчислити напругу в базовій плиті у поздовжньому напрямку, виконуємо наступні розрахунки:

$$M_{max} = \frac{PL}{4} = \frac{60 \cdot 0.25}{4} = 3.75kNm$$

$$w = \frac{bh^2}{6} = \frac{t \cdot 300^2}{6}$$



$$\sigma = \frac{M}{w} = \frac{3.75}{\frac{t \cdot 300^2}{6}}$$

Приймаємо: $t = 6mm$

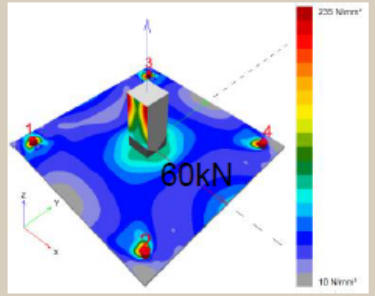
$$\sigma = 22.2MPa \ll 235MPa$$

Взагалі зсувні зусилля розподіляються по усій площі опорної пластини і проводиться перевірка зсувних навантажень поруч з отвором.

Розрахунок опорної пластини з урахуванням піддатливсті матеріалу:

Приймаємо: $t = 6mm$

Для розрахунку з урахуванням піддатливості опорної пластини можна побачити напругу в області анкерів. Це тому, що зсувне навантаження повинно переходити до анкерів.



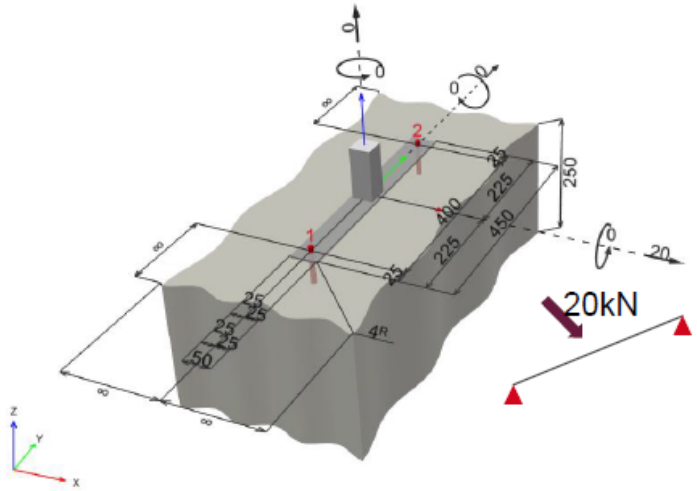
Несуча здатність отвору розраховується відповідно до EC2:

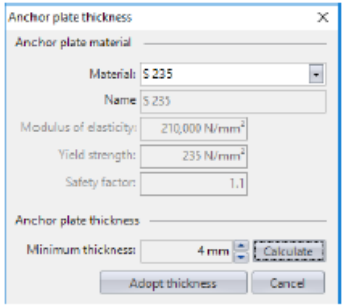
$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}} =$ 51.8 kN

where:

k_1 = 2.50	EN 1993-1-8 Table 3.4	
α_b = 1.00		– Factor
f_u = 360.0 MPa		– Ultimate strength
d = 12 mm		– Nominal diameter of the fastener
t = 6 mm		– Thickness
γ_{M2} = 1.25		– Safety factor

Приклад 2.2: Зсув
Розрахунок з урахуванням піддатливості: вузька опорна плита





Розрахунок опорної пластини як жорсткого елементу:

Розрахунок товщини пластини:

$V_d = t\, d_l\, f_{yd}$

$$t_{min} = \frac{V_{Ed}}{d_f\, f_{yd}} = \frac{10kN}{14\ mm\ \frac{235Mpa}{1.1}} = 3.34\ mm$$

Якщо ми хочемо обчислити напругу в базовій плиті у поздовжньому напрямку, виконуємо наступні розрахунки:

$$M_{max} = \frac{PL}{4} = \frac{20 \cdot 0.4}{4} = 2kNm$$

$$w = \frac{bh^2}{6} = \frac{t \cdot 50^2}{6} \qquad \sigma = \frac{M}{w} = \frac{2}{\frac{t \cdot 50^2}{6}}$$

Приймаємо: $t = 4mm$

$\sigma = 1200Mpa > 235MPa$

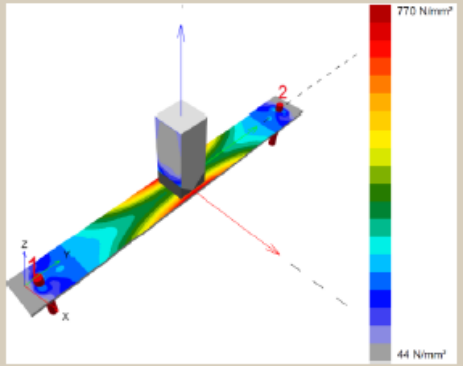
Наданий результат програмою «PROFIS» було отримано не враховуючи жорсткість опорної пластини.

Приймаємо: $t = 20mm$

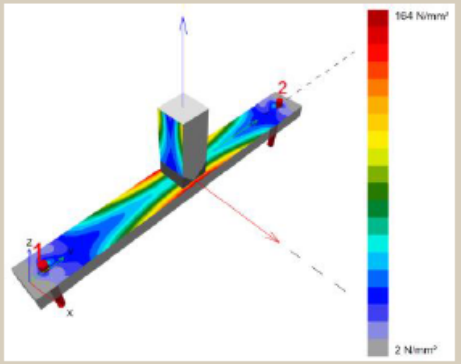
$\sigma = 240MPa$

Розрахунок опорної пластини з урахуванням піддатливсті матеріалу:

$t = 4mm$ $\qquad \sigma_{max,PROFIS} = 916MPa$



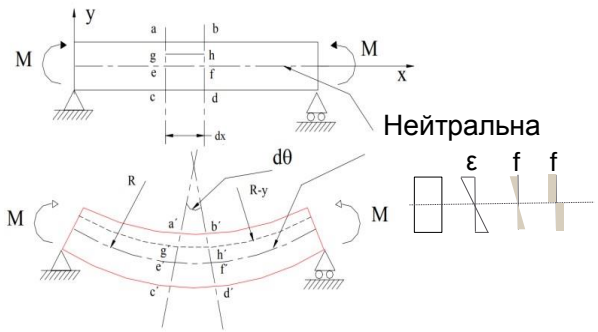
$t = 20mm$ $\qquad \sigma_{max,PROFIS} = 213MPa$



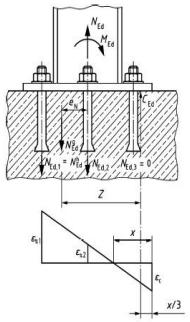
Жорстка опорна пластина – це теорія

Історично, під час розрахунку анкерів в опорних пластинах, використовувався розподіл навантажень, аналогічний спрощеній теорії балок. Припущенням для формул розподілу навантаження вважається жорстка деформація плити по відношенню до її головної осі.

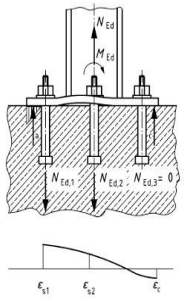
Спрощена теорія балки, заснована на рівнянні Бернуллі, передбачає, що поперечний переріз балки не деформується при згинанні і балка жорстко обертається відносно поздовжньої осі (x). Спрощена теорія балки добре прийнята інженерами-будівельниками, головним чином тому, що можна довести, що для елементів балок з малими розмірами поперечного перерізу по відношенню до поздовжнього розміру поперечний переріз не деформується.



Спрощена теорія балки, заснована на рівнянні Бернуллі



Жорстка поведінка опорної пластини [EN1992-4]



Не жорстка поведінка опорної пластини [EN1992-4]

«Anchor regulations ETAG 001 Annex C, EOTA TR029, fib design bulletin 58 and EN1992-4» також пропонують розподіл навантаження анкерів, передбачаючи жорстку поведінку аналогічно рівнянню Бернуллі для розподілу навантаження від опорної пластини до анкера. Однак у літературі та нормативно-правових документах не існує загальновизнаного методу, як перевірити, чи припущення є дійсним.

Більшість Програмних Забезпечень (надалі ПЗ) з розрахунку анкерів, наприклад «PROFIS», дотримуються заданих алгоритмів. Тому під програми розрахунку анкера також передбачають, що опорна пластина **не деформується** при згинанні. ПЗ не проводить підтвердження припущення про те, що опорна пластина насправді **жорстка** (не деформується при згинанні). Користувачі ПЗ несуть відповідальність за перевірку цього припущення самостійно.

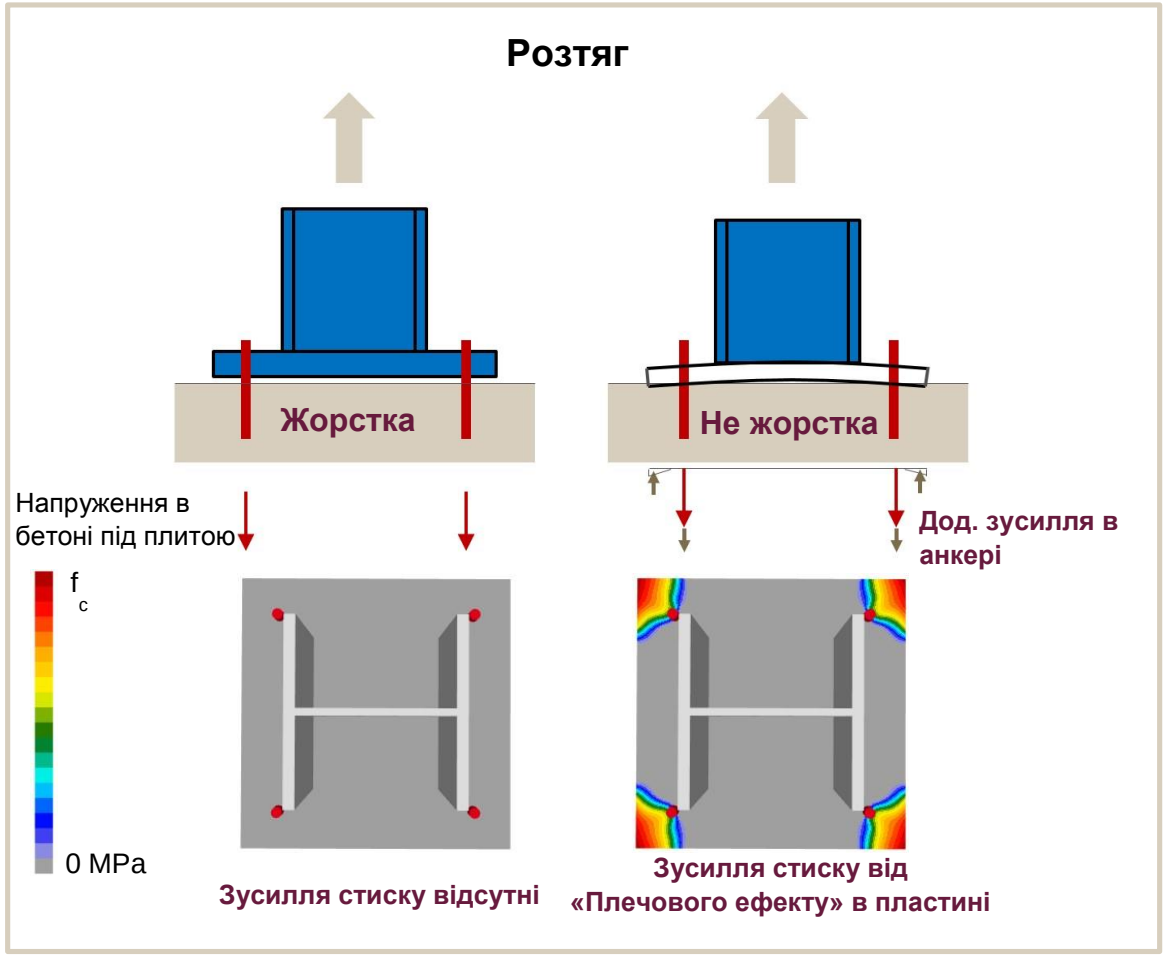
Чому важлива поведінка опорної плити?

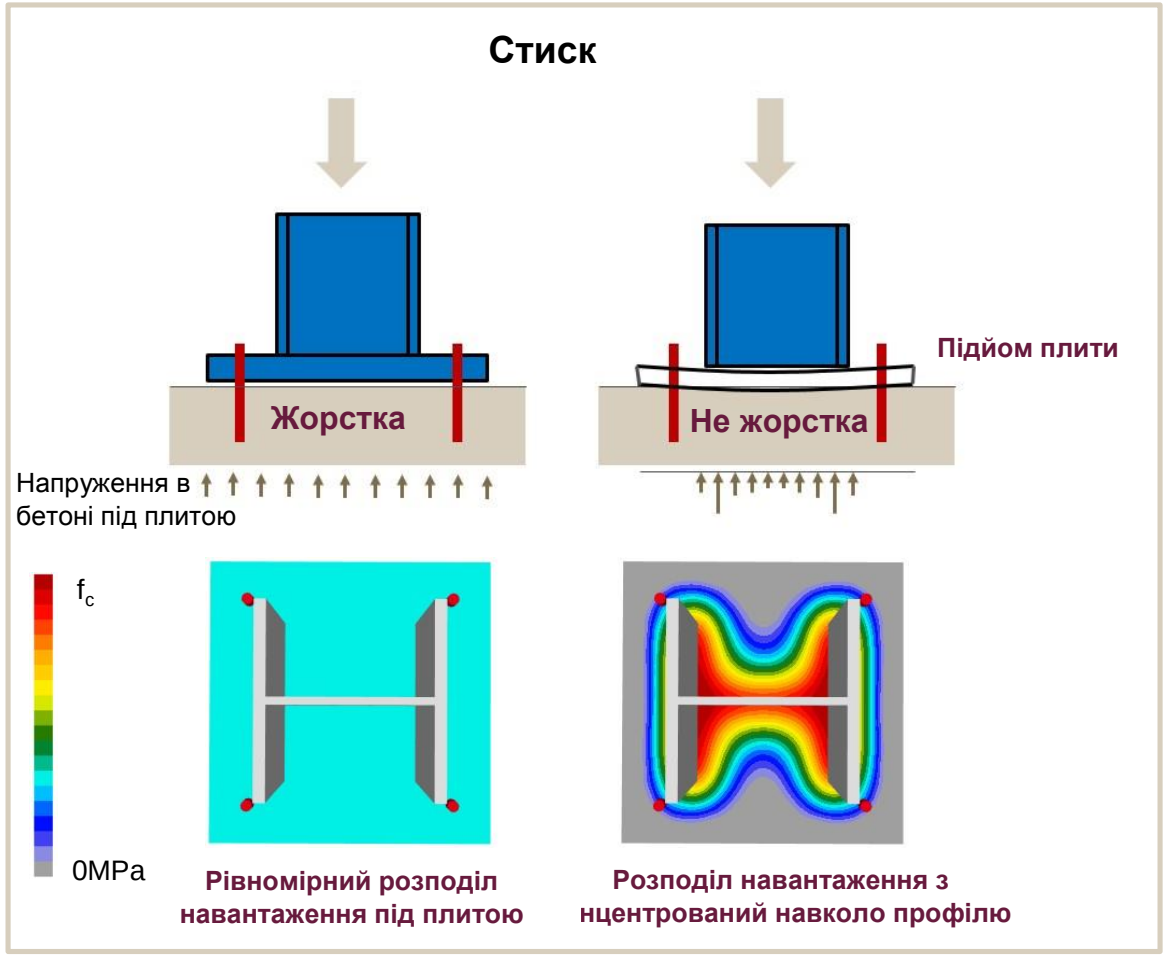
Жорстка опорна пластина - це теоретичне припущення, яке використовується для спрощення розрахунку. Однак, насправді, на розподіл навантаження на анкери сильно впливають такі фактори, як навантаження, профіль, анкер, бетон та плита.

Враховуючи, що переміщення опорної пластини обмежене, колоною (профілем) та анкерами (або закладними деталями), знехтування реальною жорсткістю пластини, у випадках коли цієї жорсткості недостатньо, щоб вважати її як абсолютний жорсткий елемент - може призвести до переміщення за рахунок деформації самої пластини та, як наслідок, **перерозподілу навантаження в усій розрахунковій схемі.**

Реальна "поведінка" опорної пластини

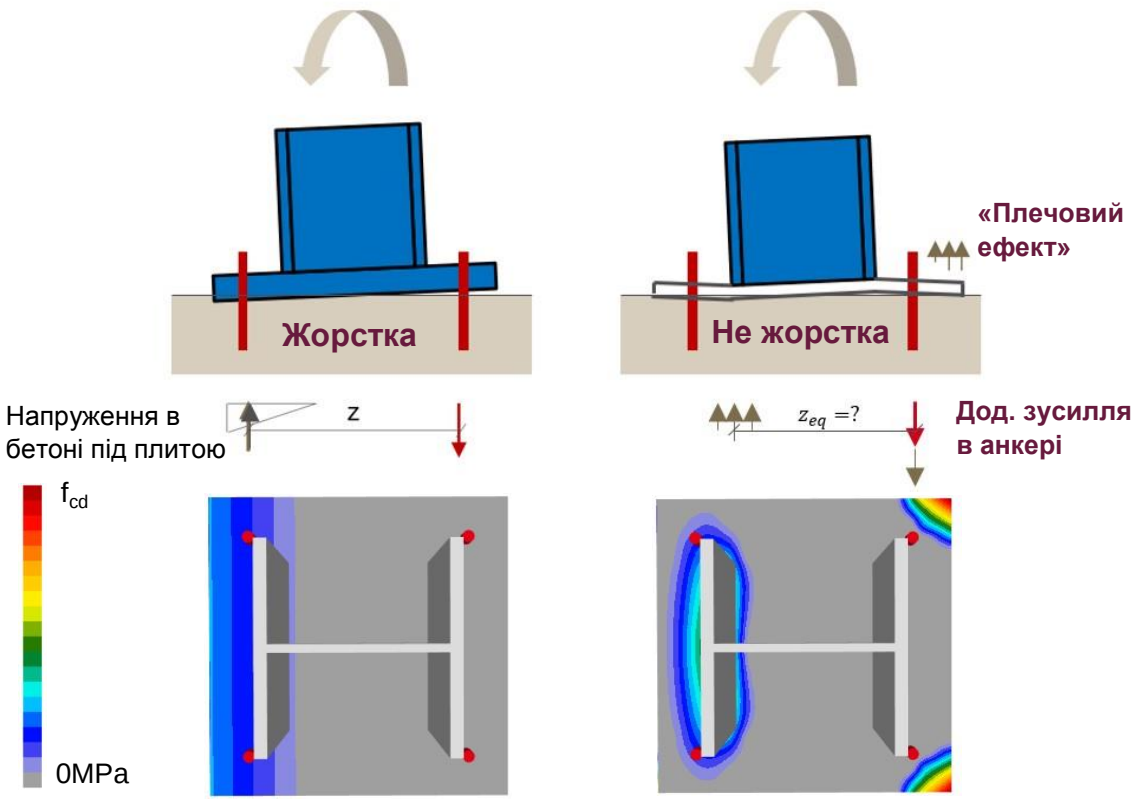
Як було описано раніше, традиційно, розподіл навантаження на анкери передбачає, що плита **жорстка**. Насправді поведінка може бути жорсткою або нежорсткою. Нижче наведено два приклади граничних станів плити **без деформацій (жорсткі)** та в противагу з великими **деформаціями (нежорсткі)**.





Реальна "поведінка" опорної пластини

Як було описано раніше, традиційно, розподіл навантаження на анкери передбачає, що плита **жорстка**. Насправді поведінка може бути жорсткою або нежорсткою. Нижче наведено два приклади граничних станів плити **без деформацій (жорсткі)** та в противагу з великими **деформаціями (нежорсткі)**.



Жорстка поведінка опорної плити:

Розподіл навантаження спрощений та заснований на припущенні, що опорна пластина не деформується.

Перевірка цього припущення не проводиться в «PROFIS Anchor».

Реальна поведінка опорної плити:

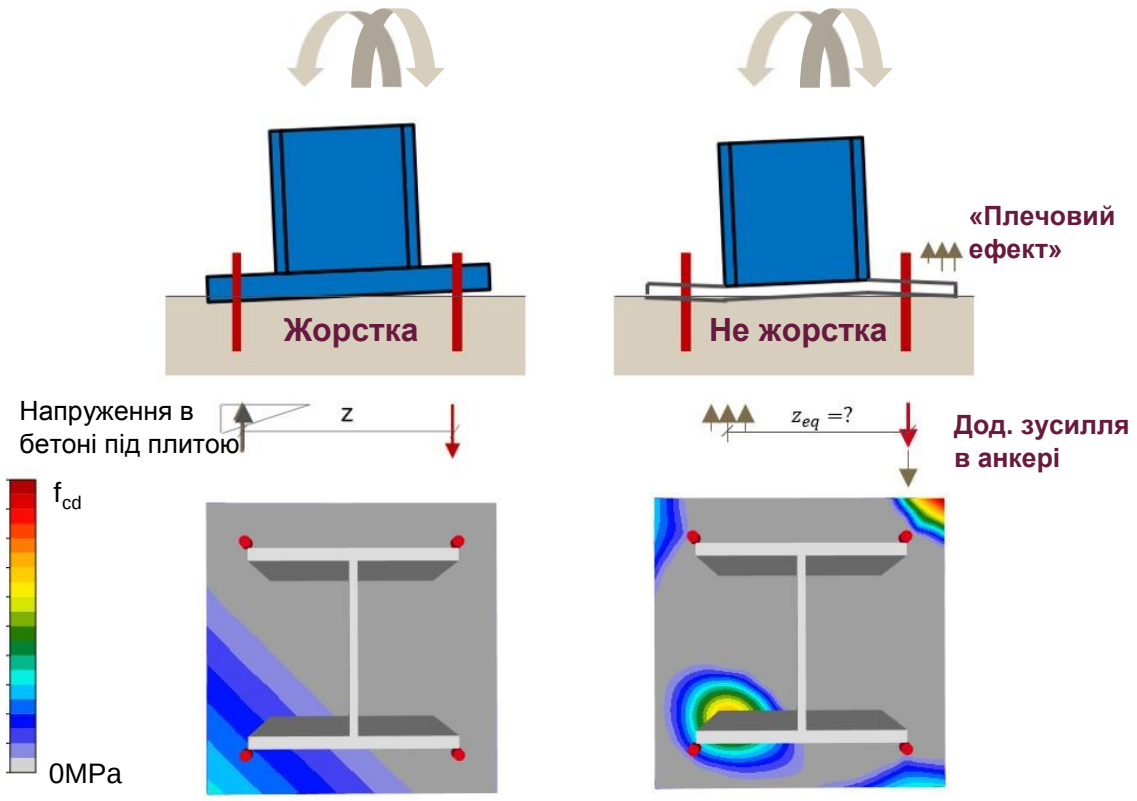
Усі геометричні та механічні властивості компонентів впливають на розподіл навантаження:

- **Профіль (та ребра)**
- **Зварні шви**
- **Опорна плита**
- **Анкер**
- **Бетон**

Реальна "поведінка" опорної пластини

Як було описано раніше, традиційно, розподіл навантаження на анкери передбачає, що плита **жорстка**. Насправді поведінка може бути жорсткою або нежорсткою. Нижче наведено два приклади граничних станів плити **без деформацій (жорсткі)** та в противагу з великими **деформаціями (нежорсткі)**.

Згинання в 2 напрямках



Жорстка поведінка опорної плити:

Розподіл навантаження спрощений та заснований на припущенні, що опорна пластина не деформується.

Перевірка цього припущення не проводиться в «PROFIS Anchor».

Реальна поведінка опорної плити:

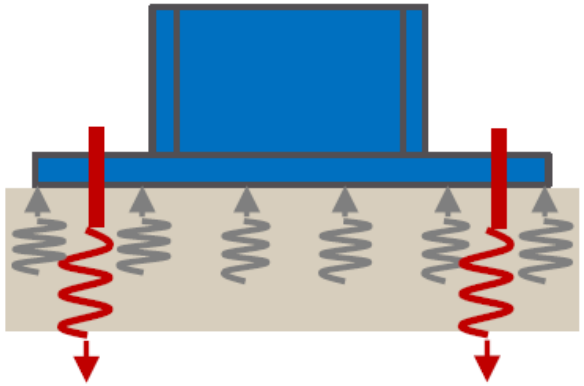
Усі геометричні та механічні властивості компонентів впливають на розподіл навантаження:

- **Профіль (та ребра)**
- **Зварні шви**
- **Анкер**
- **Бетон**

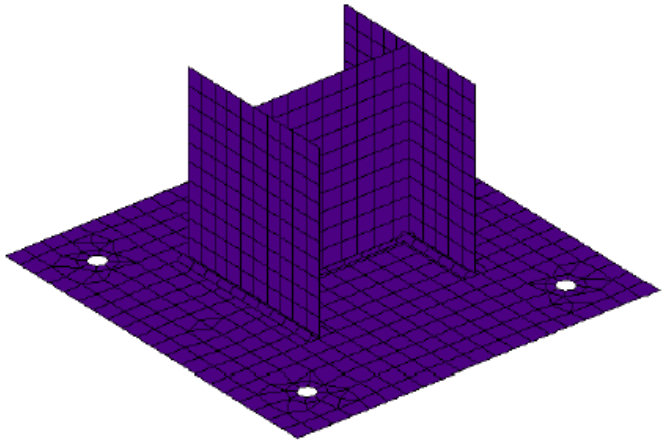
Симулювання справжньої "поведінки": Модель FEM

Справжню "поведінку" опорної пластини не можна розглядати звичайною балочною схемою. Сучасним способом моделювання складних інженерних завдань є використання аналізу кінцевих елементів (FEA або FEM).

Схематична модель опори



Сітка **М**етоду **К**інцевих **Е**лементів
Finite **E**lement **M**esh (**FEM**)



Бетон моделюється стисненою пружиною

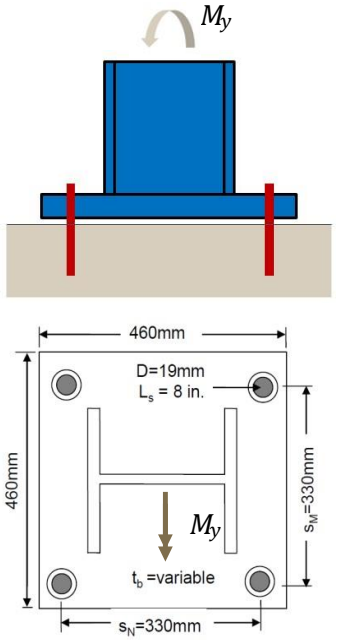
Анкер, змодельований натяжною пружиною

Метал, змодельовано пластинами кінцевої моделі

Метод, який застосовує «PROFIS» для моделювання "поведінки" реальних базових пластин - це метод кінцевих елементів на основі компонентів CBFEM (аналогічно EN1993-1-8, розділ 6).

Вузол розділяється на складові: **основний профіль**, **ребра**, **зварні шви**, **опорна плита**, **бетон** та **анкери**.
Ці складові змодельовані по методу кінцевих елементів в програмі «PROFIS».

Справжня "поведінка" – як товщина плити впливає на її поведінку

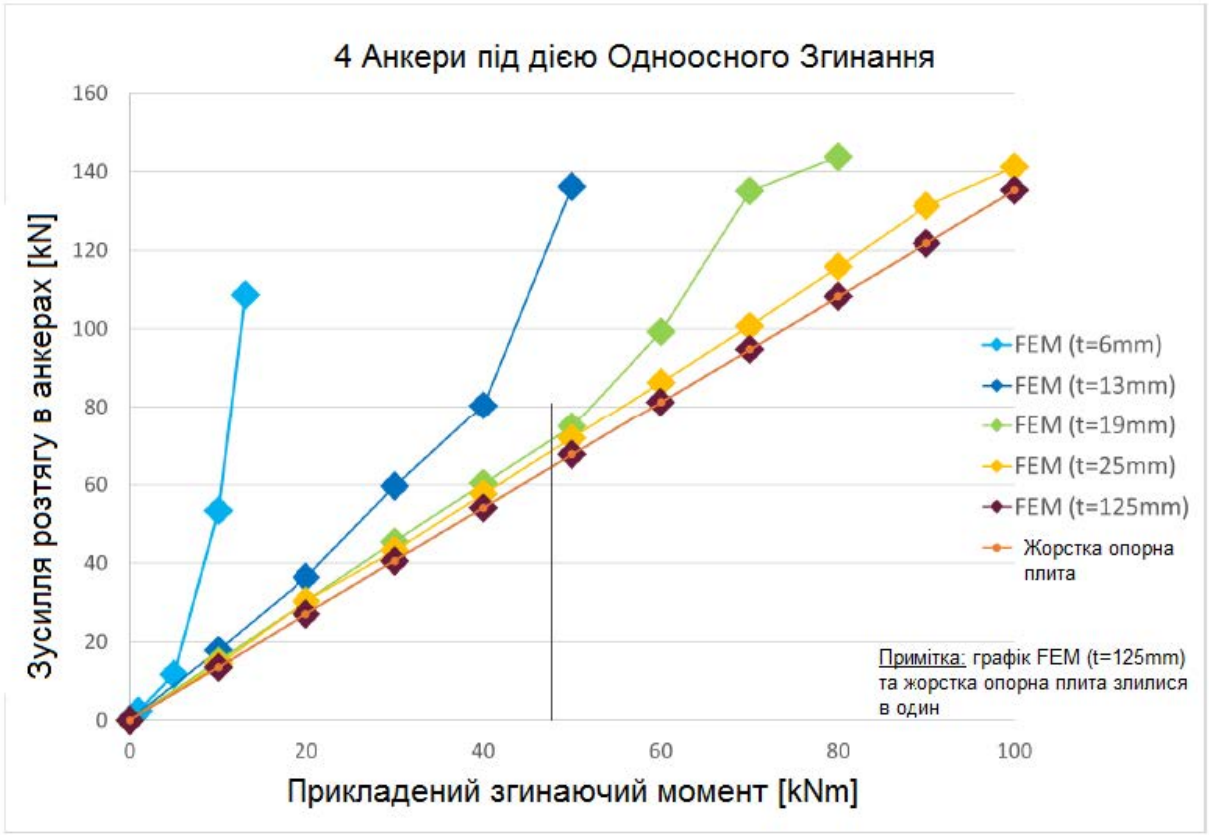


Профіль (осн. переріз): HEA 240, S235

Опорна плита: 460x460mm, t= перемінна, S235

Анкер: HIT-HY 200 + 19mm різьбовий стержень

Бетон: до краю бетону ∞, Товщина 420mm, C20/25



В залежності від геометричних параметрів та величини навантаження "поведінка" опорної плити проявляється ближче як до жорсткого або нежорсткого елементу!

Оновлений «PROFIS ENGINEERING» розрахунок опорної плити з урахуванням піддатливості

Після розгляду розрахунку анкерів за простим жорстким припущенням, розрахуємо повністю з'єднання металу з бетоном!

Повний розрахунок опорної плити відповідно до CBFEM!

Елементи що розглядаються:

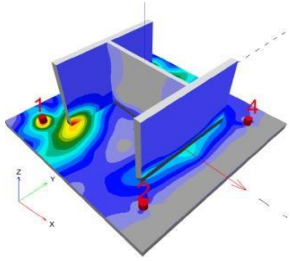
Профіль (та ребра)

Плита

Зварні шви

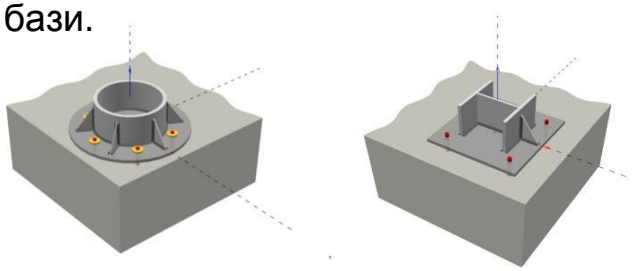
Анкера

Бетон



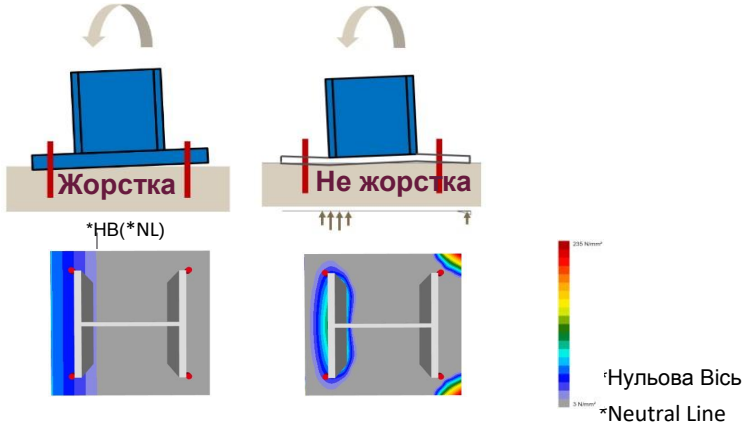
Задайте ребра і зварні шви

Повний розрахунок бази.

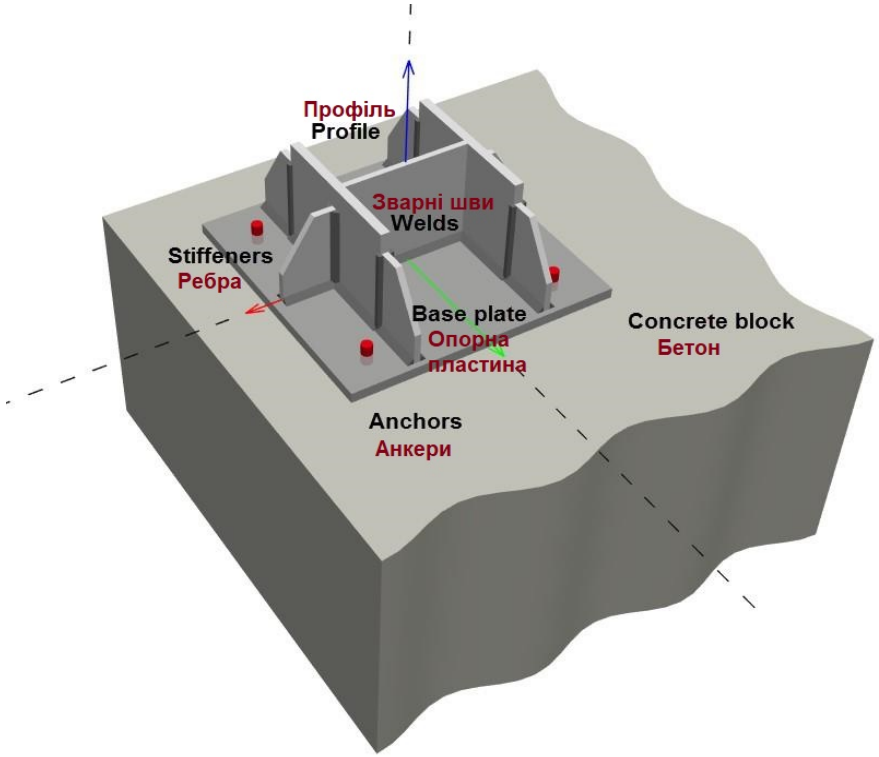


Запроектуйте опорну плиту та орієнтуйтесь на розраховану, а не припущену, "поведінку" плити, як жорсткого елементу.

Як вже було згадано, розрахунок плити, як жорсткої, необхідний для розрахунку анкерів згідно «нормативу» (ETAG 001, Додаток C та EOTA TR029). Для жорсткої "поведінки" плити може знадобитись додаткові ребра, збільшення товщини плити або внесення інших змін.



Оновлений «PROFIS ENGINEERING» розрахунок опорної плити з урахуванням піддатливості



Але як розрахувати **з'єднання металу з бетоном (база)?**

Як і в більшості програм цивільного будівництва, розрахунки діляться на два етапи:

1. Розподіл навантаження

2. Перевірка розрахунків:

Напруження в кожному елементі ≤ Несуча здатність кожного елементу

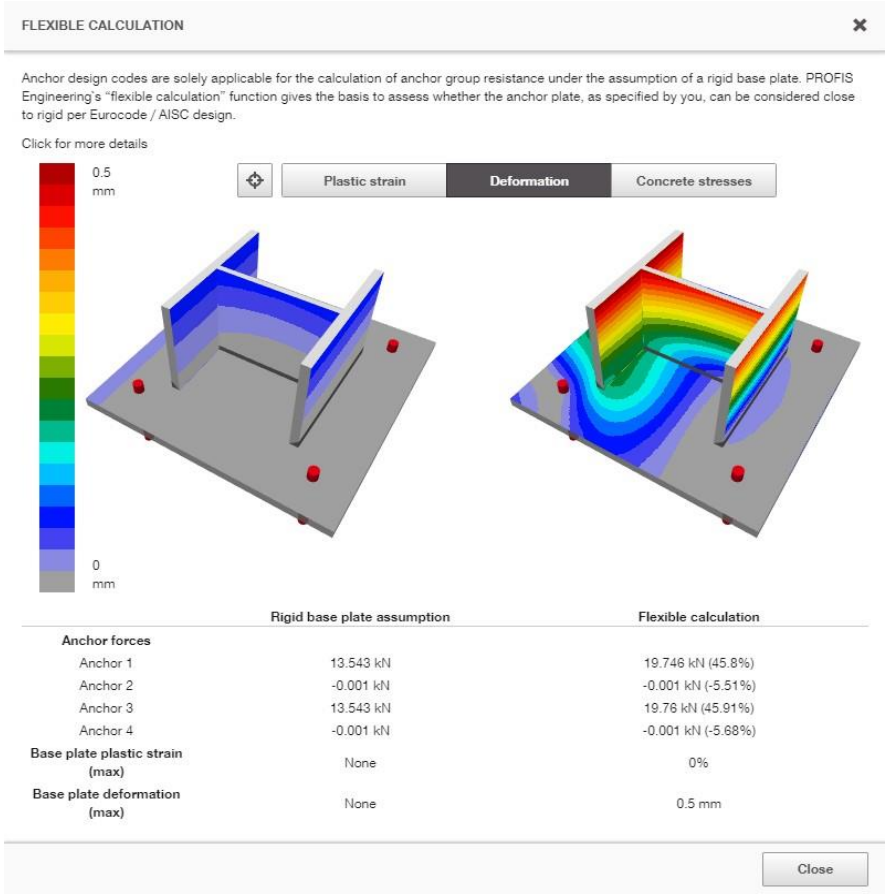
…і пам'ятайте про жорстку роботу плити!

«PROFIS ENGINEERING FLEXIBLE BASEPLATE DESIGN» допомагає більш чітко визначити жорстку роботу плити

«PROFIS Engineering Flexible Baseplate Design» допоможе користувачам зрозуміти чи відповідає "поведінка" опорної плити жорсткому елементу – згідно з нормативними регулюваннями та рекомендаціями – поставивши три основні питання:

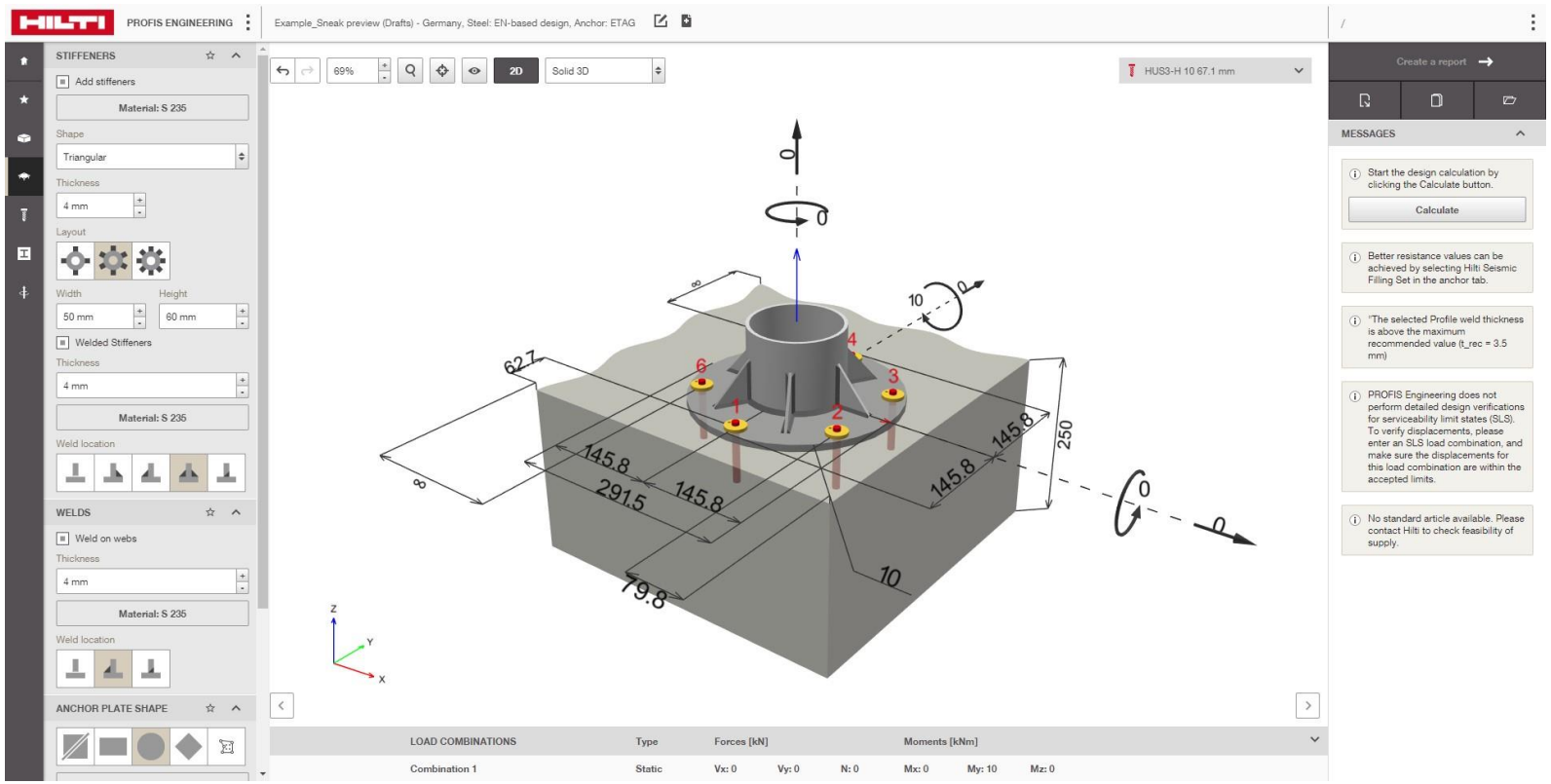
- Чи **зусилля в анкерах** схожі до зусиль в жорсткій моделі?
- Чи виникає «**Плечовий ефект**»?
- Яка **максимальна деформація** опорної плити?

(докладніше про це далі…)



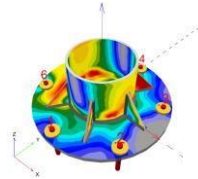
Попереднє ознайомлення: Розподіл навантаження

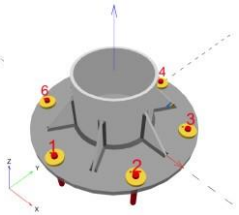
Розподіл навантаження на усі компоненти: профіль (осн. переріз), зварні шви, ребра, плита, анкери та бетон



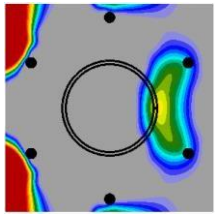
Наочність розподілу навантаження

Еквівалентне напруження в металі та деформації

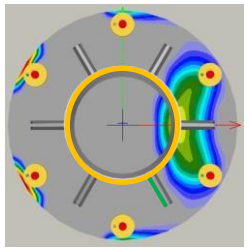


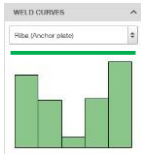


Стиск та розтяг



Напруження в зварних швах



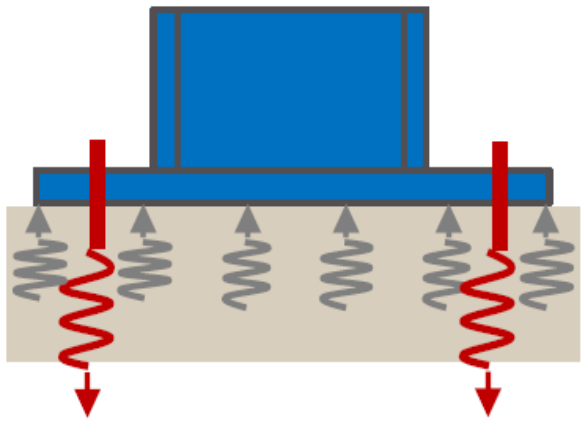


Розподіл навантаження: аналіз розрахунку моделі «CBFEM*» опорної плити

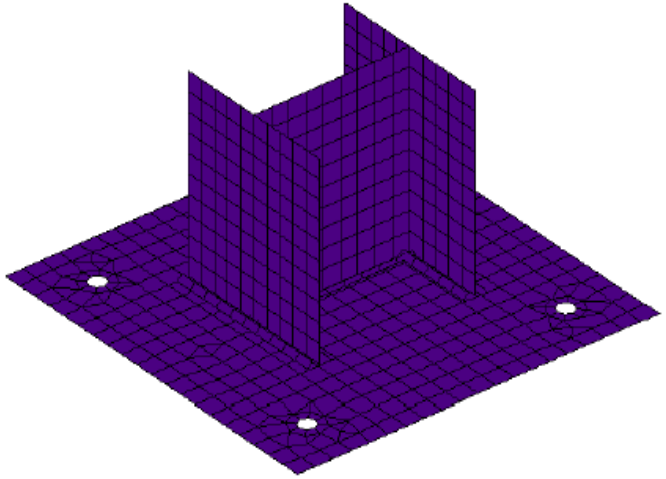
*Component Based Finite Element Model (Компонент моделі кінцевих елементів)

Програма «PROFIS Engineering» використовує модель плити CBFEM – **Метод кінцевих елементів на основі компонентів та нелінійний аналіз**. Складові – осн. переріз, ребра, зварні шви, плита, анкера та бетон– змодельовано як вказано нижче:

Схематична модель опори



Сітка Методу Кінцевих Елементів
Finite Element Mesh (FEM)



Бетон моделюється стисненою пружиною

Анкер, змодельований натяжною пружиною

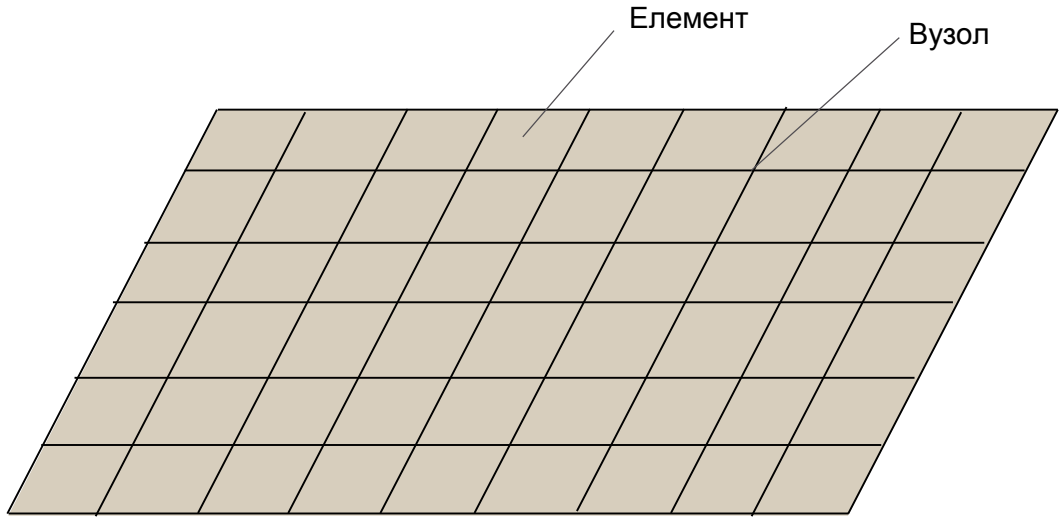
Метал, змодельовано пластинами кінцевої моделі

Не хвилюйтесь щодо визначення сітки:
• Сітку кінцевих елементів «PROFIS Engineering» розрахує в автоматичному режими з додатковим уточненням в місцях розташування анкерів
• Якщо користувач хоче, він може вдосконалити елементи

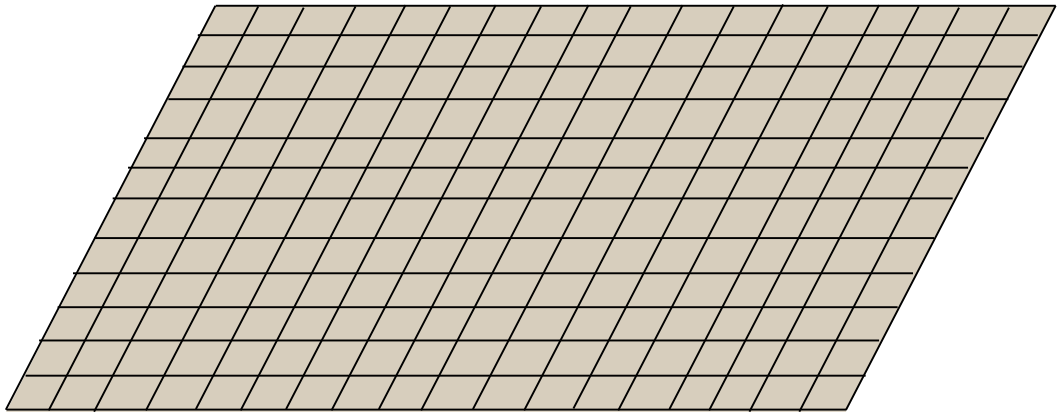
Механічні властивості окремих компонентів визначаються за:
•**Бетон**: EN1992
•**Метал**: EN1993
•**Анкер**: «Hilti» технічні дані, засновані на лабораторних дослідженнях

Питання, що часто задають: Що таке «FEM»? Основні поняття

Метод кінцевих елементів є потужним інструментом проектування конструкцій. Розподіл навантаження, аналіз напруги та переміщень можна здійснити за допомогою FEM (FEM – кінцево-елементна сітка).



Сітка



Сітка із збільшеною кількістю елементів

Сітка із меншою кількістю елементів

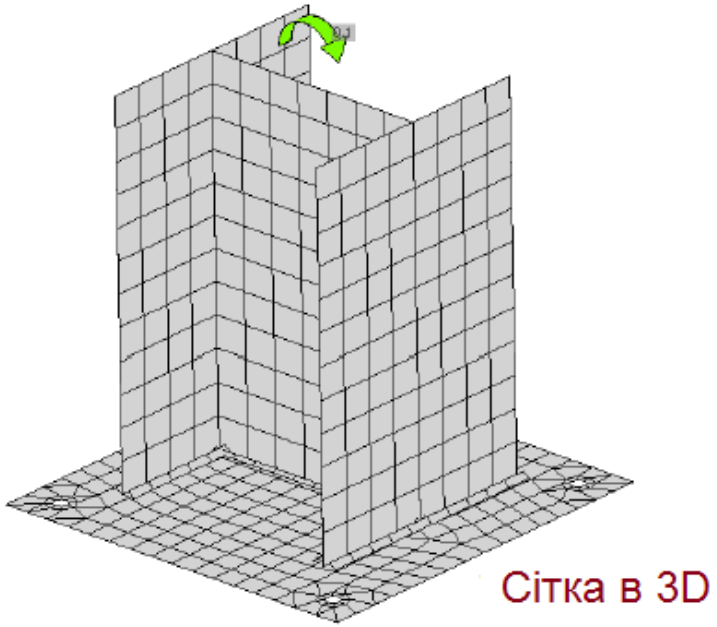
- Менше часу на розрахунок
- Менш точний результат

Детальніша сітка

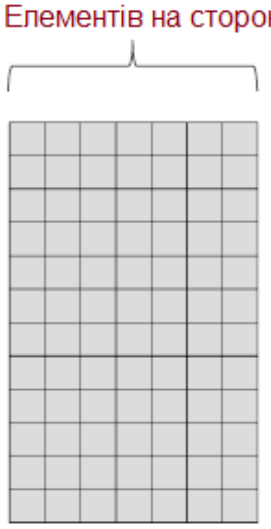
- Більше часу на розрахунок
- Більш точний результат

Розподіл навантаження: Розмір сітки

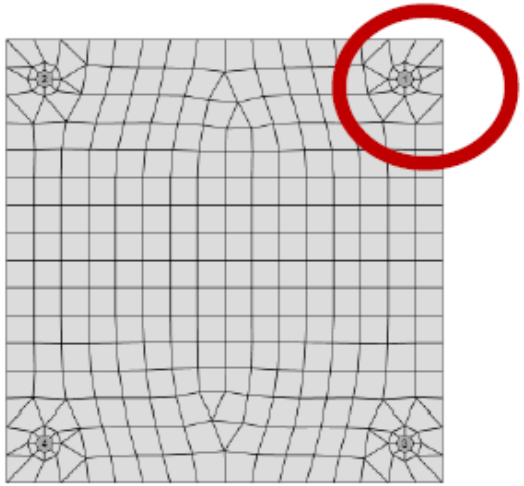
- При аналізі кінцевих елементів зазвичай потрібно перевірити конвергенцію (подібність, схожість) рішення, оскільки різні розміри сітки можуть призвести до різниці в результатах розрахунку.
- Користувачам програми «PROFIS Engineering» не потрібно хвилюватися за сітку.
- Достатній розмір сітки буде підібрано автоматично програмою «PROFIS Engineering».
- Зазвичай автоматичний розмір становить 8 елементів на найбільшу сторону профілю та 2 * 8 елементів на сторони пластини.
- Сітка збільшує свою щільність поблизу вузлів.
- Швидкість розрахунку зменшуються при збільшені щільності сітки та внесення в неї власних змін.



Сітка в 3D



Найбільша сторона профілю



Плита

Сітка автоматично уточнюється в районі біля вузлів

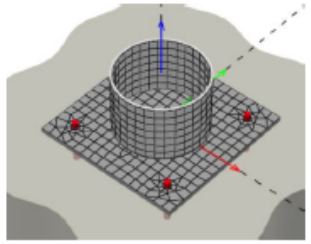
Розподіл навантаження: Розмір сітки

Сітка

поділ поверхні CHS

32

Круглий переріз розділений на 32 елементи



$$r = 150mm$$
$$P = 2\pi r = 942mm$$
$$element = \frac{942}{32} = 29mm$$

Мінамальний розмір елементу

10 mm

Максимальний розмір елементу

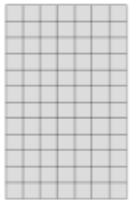
50 mm

Кожний елемент має бути розміром не менше 10мм та небільше 50мм (включно) → OK

Кількість елементів на сторону

8

Найбільша сторона профілю діліться на 8 елементів



Сторона профілю

$$b = 100mm$$
$$element = \frac{100}{8} = 12.5mm$$

Мінамальний розмір елементу

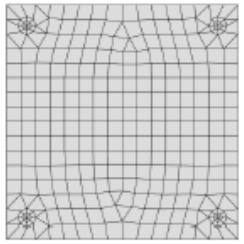
10 mm

Максимальний розмір елементу

50 mm

Кожний елемент має бути розміром не менше 10мм та небільше 50мм (включно) → OK

Найбільша сторона плити розділена на 2x8 елементи



Плита

$$b = 250mm$$
$$element = \frac{250}{16} = 15mm$$

Мінамальний розмір елементу

10 mm

Максимальний розмір елементу

50 mm

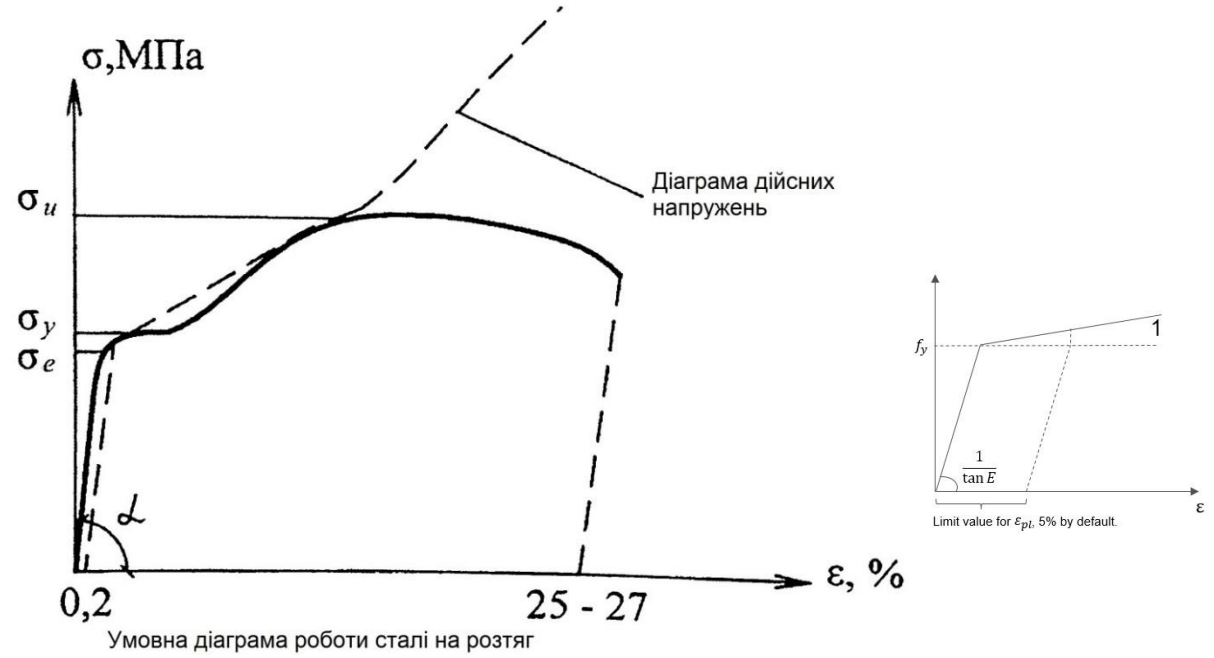
Кожний елемент має бути розміром не менше 10мм та небільше 50мм (включно) → OK

Якщо поділ профілю створює елементи менше 10 мм, то профіль слід розділити на елементи 10 мм

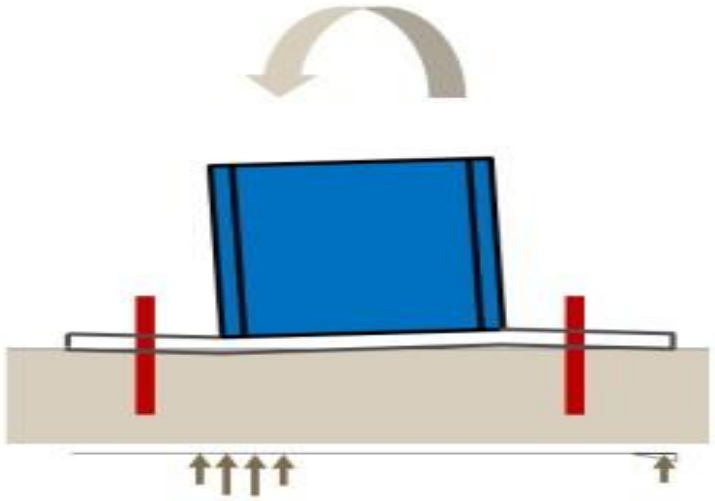
Якщо поділ профілю створює елементи розміром більше 50 мм, то профіль слід розділити на елементи 10 мм

Модель «CBFEM» – метал: профіль, плита (та ребра)

- Метал визначається відповідно до місцевих норм, включаючи fy (σ_y) та fu (σ_u).
- Сталеві пластини, змодельовані елементами оболонки з 4 вузлами.
- Характер роботи в напружено-деформованому стані можна спостерігати згідно умовної діаграми. Матеріал поводиться лінійно-еластичним до тих пір, поки не перевищує fy (σ_y міцність на розтяг). Після цього відбудеться перерозподіл напруги, а при збільшені навантаження продовжуватимуться здебільшого пластичні деформації.



Умовна діаграма роботи сталі на розтяг



Модель «CBFEM» – метал: профіль, плита (та ребра)

Приклад

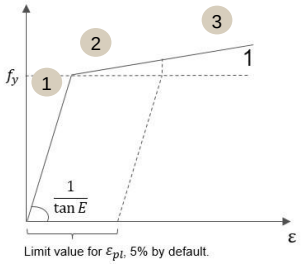
1 Навантаження в пружній роботі металу

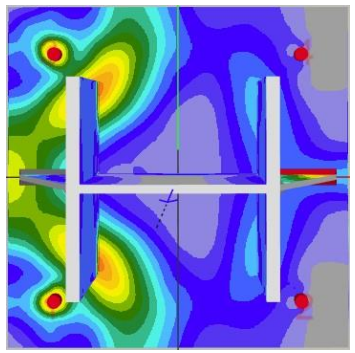
2 На межі розвитку пластичних деформацій

3 За межею несучої здатності металу

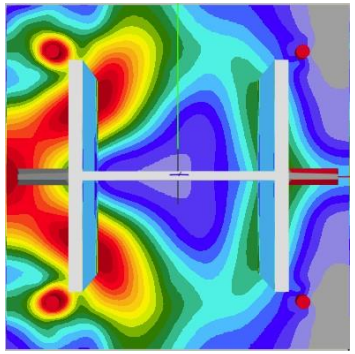
50kNm | 75kNm | 100kNm | 125kNm | 150kNm

Еквівалентне напруження в металі

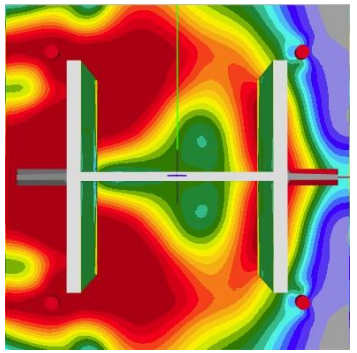




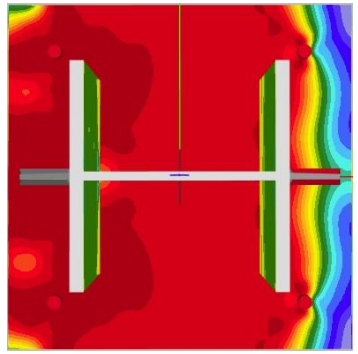
σ_{max} = 304MPa √



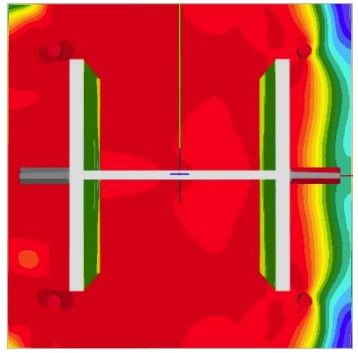
σ_{max} = 355MPa √



σ_{max} = 355.1MPa √

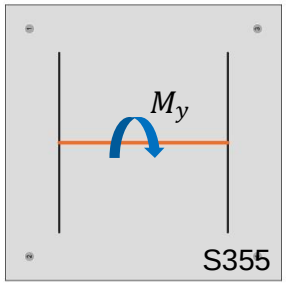


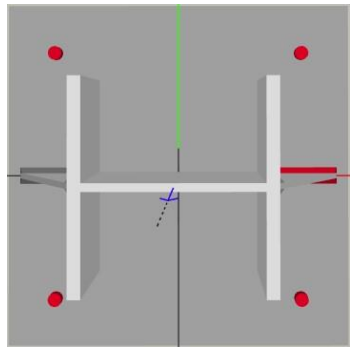
σ_{max} = 370.7MPa X



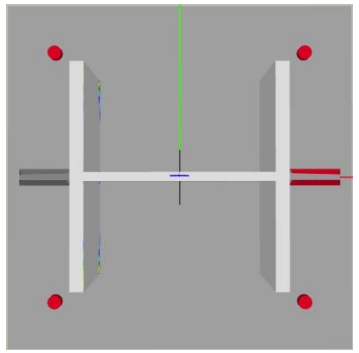
σ_{max} = 394.9MPa X

Розвиток пластичних деформацій

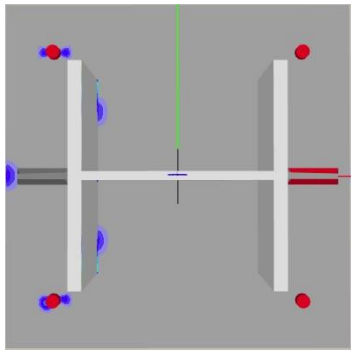




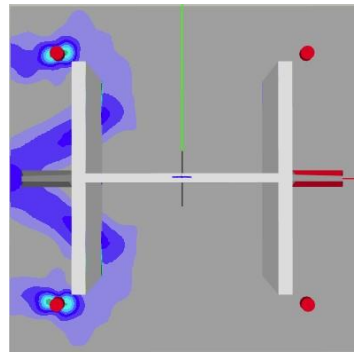
$\varepsilon_{pl,max}$ = 0% √



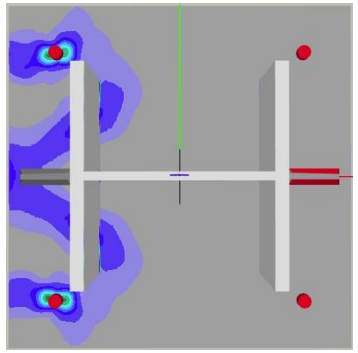
$\varepsilon_{pl,max}$ = 0.1% √



$\varepsilon_{pl,max}$ = 0.4% √



$\varepsilon_{pl,max}$ = 7.5% X



$\varepsilon_{pl,max}$ = 19% X

Модель «CBFEM» – бетон

- Бетонні матеріали визначені згідно з EN1992-1-1, розділ 3.1.3

Strength classes for concrete															Analytical relation / Explanation
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck}+8$(MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm}=0,30\times f_{ck}^{(2/3)} \le$C50/60 $f_{ctm}=2,12\cdot\ln(1+(f_{cm}/10))$ > C50/60
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05} = 0,7\times f_{ctm}$ 5% fractile
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95} = 1,3\times f_{ctm}$ 95% fractile
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} in MPa)
ε_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	see Figure 3.2 $\varepsilon_{c1}(^0/_{00}) = 0,7\, f_{cm}^{0,31} < 2.8$
ε_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 for $f_{ck} \ge 50$ Mpa $\varepsilon_{cu1}(^0/_{00})=2,8+27[(98-f_{cm})/100]^4$
ε_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2, 5	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \ge 50$ Mpa $\varepsilon_{c2}(^0/_{00})=2,0+0,085(f_{ck}-50)^{0,53}$
ε_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \ge 50$ Mpa $\varepsilon_{cu2}(^0/_{00})=2,6+35[(90-f_{ck})/100]^4$
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	for $f_{ck} \ge 50$ Mpa $n=1,4+23,4[(90-f_{ck})/100]^4$
ε_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	see Figure 3.4 for $f_{ck} \ge 50$ Mpa $\varepsilon_{c3}(^0/_{00})=1,75+0,55[(f_{ck}-50)/40]$
ε_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.4 for $f_{ck} \ge 50$ Mpa $\varepsilon_{cu3}(^0/_{00})=2,6+35[(90-f_{ck})/100]^4$

Concrete design values [EN1992-1-1]

(4) Poisson's ratio may be taken equal to 0,2 for uncracked concrete and 0 for cracked concrete.

(5) Unless more accurate information is available, the linear coefficient of thermal expansion may be taken equal to $10 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$.

Concrete design values [EN1992-1-1]

(4) Коефіцієнт Пуассона можна прийняти рівним 0,2 для бетона без тріщин і 0 для бетону з тріщинами.

(5) За відсутності більш точної інформації, лінійний коефіцієнт теплового розширення можна прийняти рівним $10*10^{-6}\ K^{-1}$.

Модель «CBFEM» – бетон

- Бетонні матеріали визначені згідно з EN1992-1-1, розділ 3.1.3.
- Бетон, що моделюється як пружини, що стискаються тільки при стисненні. Жорсткість бетонних пружин, що застосовуються в FEM, визначається всередині PROFIS.

Жорсткість бетонної пружини, обчислена PROFIS, розраховується на основі **моделі надр ґрунтів Вінклера Пастернака**.

Підхід зазвичай використовується для спрощеного розрахунку фундаментів. Жорсткість надр визначається згідно:

$$k = \frac{E_c}{(\alpha_1 + \vartheta)\sqrt{\frac{A_{eff}}{A_{ref}}}} \cdot \left(\frac{1}{\frac{h}{\alpha_2 \cdot d}} + \alpha_4\right)$$

Складові формули:

- це жорсткість бетону при стисненні

E_c - модуль пружності бетону

ϑ - коефіцієнт Пуассона бетону

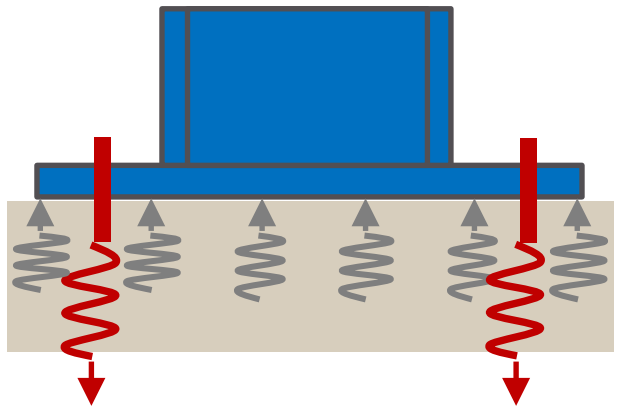
A_{ref} - еталона область, 10m^2

A_{eff} - площа базової панелі

h - висота основи стовпчика

α_i - коефіцієнти

Модель опори



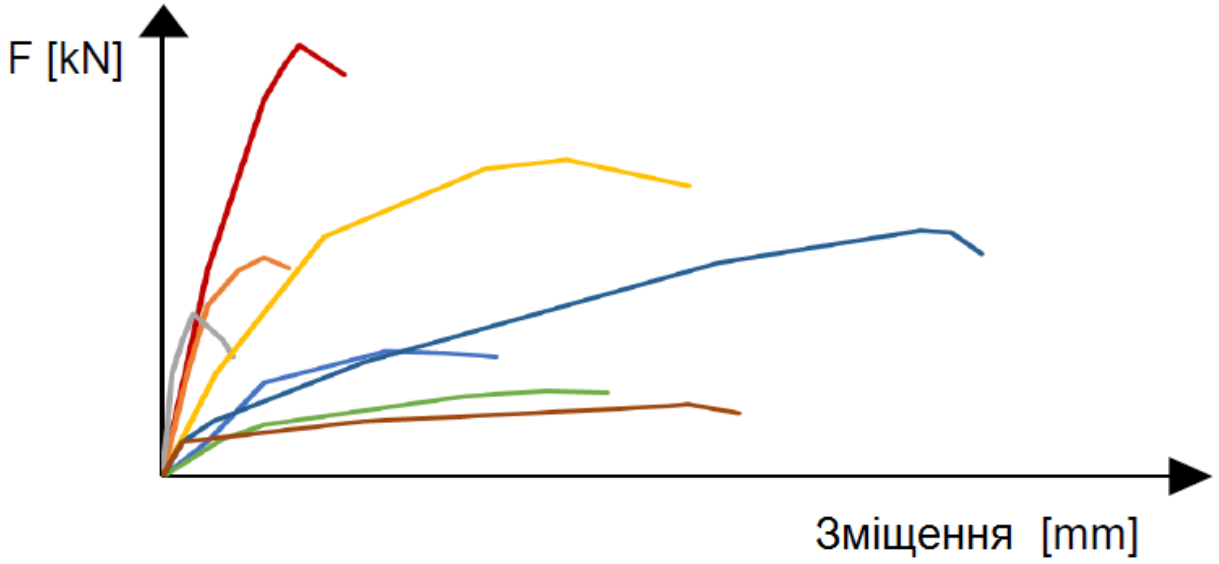
Бетон змодельований як пружини що працюють на стиск

Модель «CBFEM» – Анкера

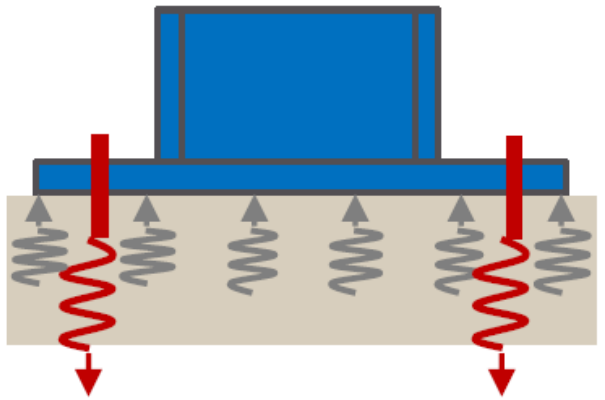
Властивості матеріалу анкера засновані на експериментальних дослідженнях «Hilti» для оцінки продукту.

Жорсткість анкера - це особливість продукту, яка відрізняється залежно від обраного продукту.

Схематична крива навантаження - зміщення / Жорсткість різних кріпильних систем [1)]



Схематична модель



Анкер змодельовано як пружину що працює на розтяг

Питання що часто задають: Чому "Hilti" розглядає технічні дані як джерело сталевих жорсткостей?

- **Чи не було б краще врахувати жорсткість сталі EA/L або з формул EN1993?**

Жорсткість пружини визначається з даних випробувань витягування для встановлених в бетон анкерів «Hilti». Розглянута жорсткість є наближенням до реальної поведінки з переміщенням навантажень анкерів «Hilti» в бетоні протягом усього життя.

- **Чому б не використовувати погоджені значення жорсткості анкерів?**

Погоджені значення мають на меті дати замовнику відчуття максимального переміщення, очікуваного протягом експлуатації. Ці значення не слід враховувати в розрахунках, оскільки вони призведуть (загалом) до дуже низької жорсткості.

Розглянута жорсткість є наближенням до реальної поведінки з переміщенням навантажень анкерів "Hilti".

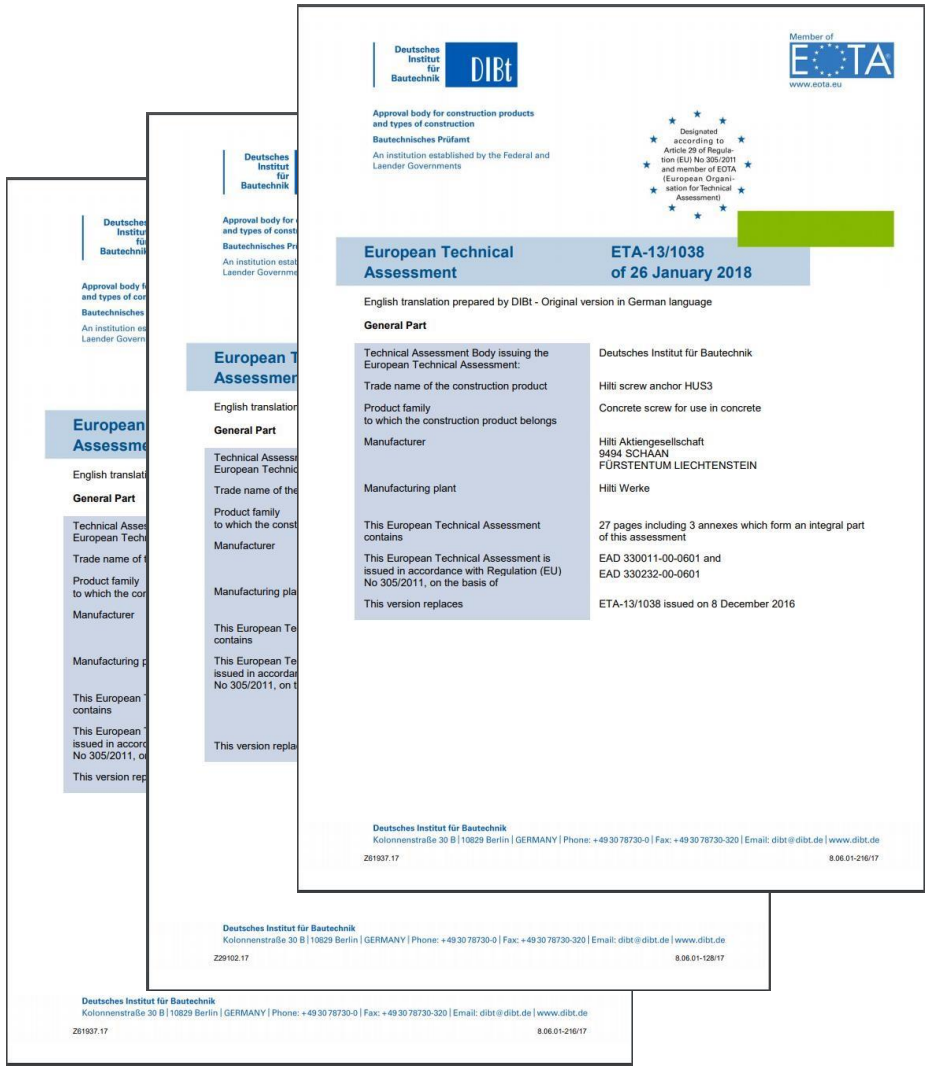
Питання що часто задають: «PROFIS» все ще використовує дані нормативних документів?

- **Розподіл навантаження**

Жорсткість пружини згідно з технічними даними Hilti

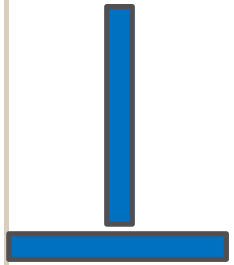
- **Розрахунковий опір**

Згідно з Європейським технічним свідотством product ETA (approval)



Модель «CBFEM» – зварні шви

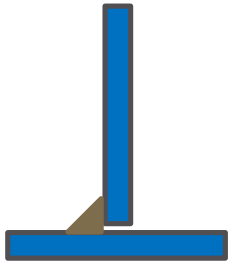
- Модель враховує матеріали зварювання відповідно до EN 1991-1-1.
- Існують різні варіанти зварних швів: користувач може вибрати для моделювання з'єднання між профілем / ребром та пластиною. (зварні шви моделюються інакше, ніж, наприклад, стик).



Зварні шви відсутні

Якщо сталеві компоненти не зварюються між собою, то передбачається, що між ними немає перенесення навантажень.

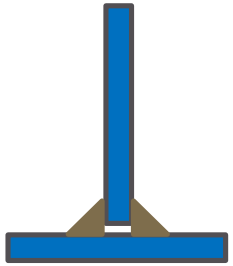
Відсутність зварних швів означає відсутність з’єднання вузлів плити і профілю між собою в розрахунковій моделі.



Односторонній зварний шов

Всі навантаження передаються через шви.

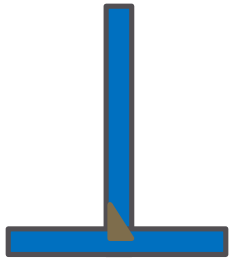
Зварний шов моделюється як спеціальний зварювальний елемент, який має еквівалентну площу поперечного перерізу, як і шва.



Двосторонній кутовий зварний шов

Всі навантаження передаються через шви.

Зварний шов моделюється як спеціальний зварювальний елемент, який має еквівалентну площу поперечного перерізу, як і шва.



Стикове зварювання

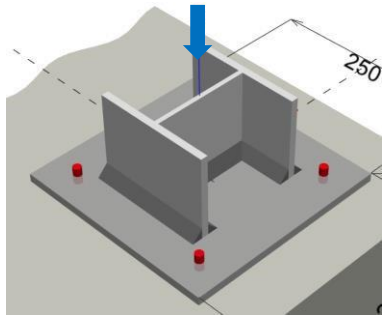
Усі навантаження переносяться безпосередньо з профілю на опорну пластину.

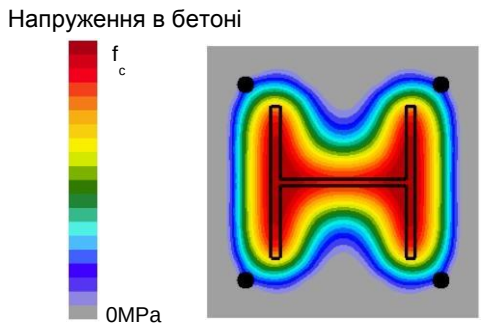
У цьому випадку зварний шов не моделюється.

Металеві елементи моделюються разом

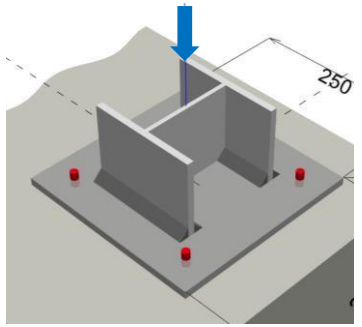
Модель «CBFEM» – зварні шви
Приклад:

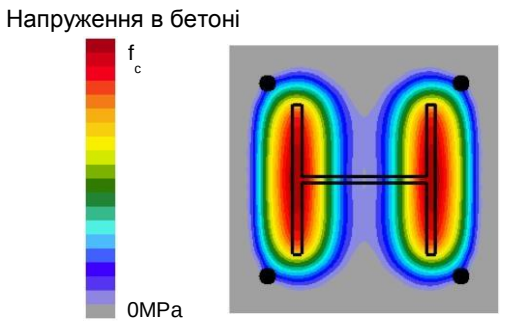
Профіль обварений кутовими швами до плити



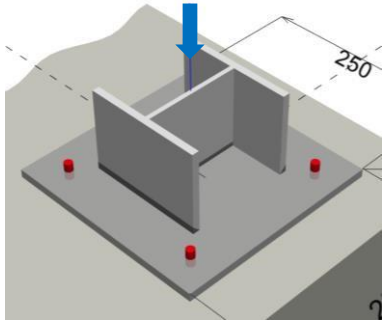


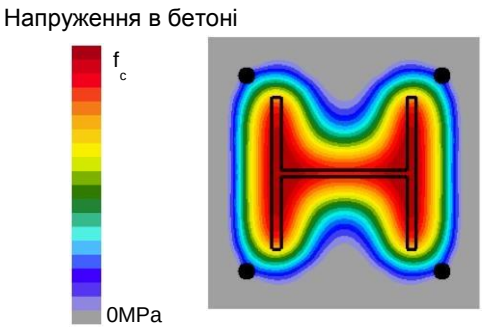
Полички профілю обварені кутовими швами до плити



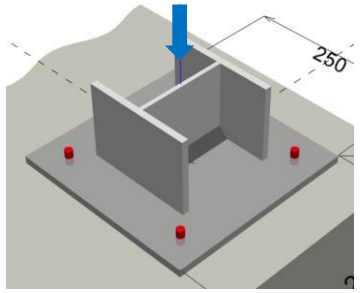


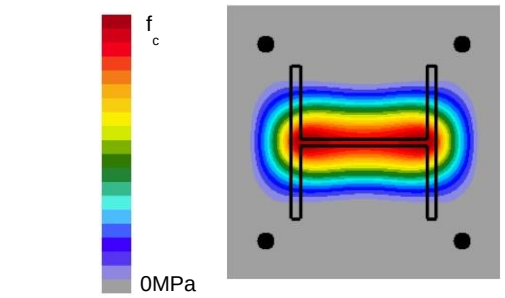
Профіль приварений стиковим швом до плити





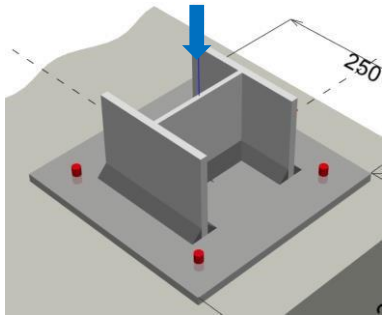
Стінка профілю обварена кутовими швами до плити

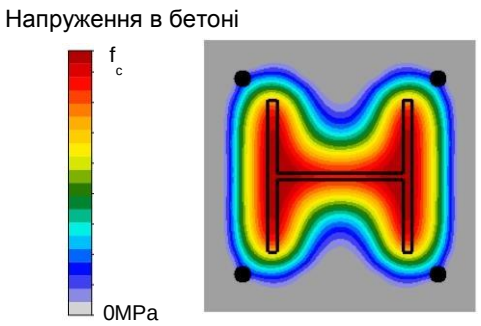




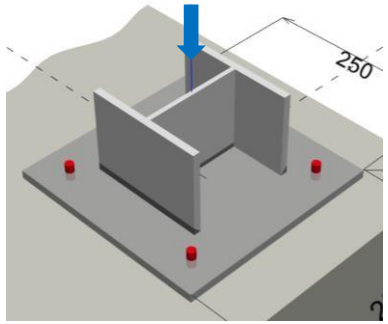
Модель «CBFEM» – зварні шви
Приклад:

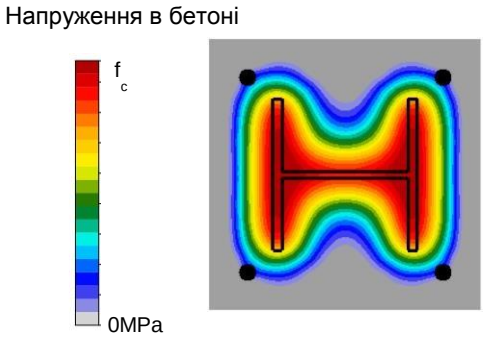
Профіль обварений кутовими швами до плити





Профіль приварений стиковим швом до плити



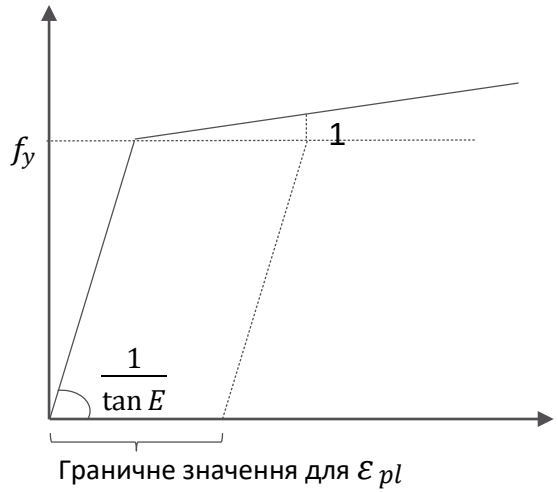


- Визначення властивостей FEM для кутових зварних швів та стикових швів є різними.
- Є невеликі відмінності в розподілі навантаження при кутових і стикових швах.

Модель «CBFEM» – зварні шви

- Модель FEM розглядає матеріали для зварювання відповідно до EN1991-1-1.
- Існують різні варіанти зварних швів, які користувач може вибрати для моделювання з'єднання між профілем / ребрами та пластиною. Модель кутових зварних швів відрізняється від моделі стикових швів.
- Крива напружених деформацій зі зварюваного сталевого матеріалу відповідає ідеальній пластичній моделі, описаній в EN1993-1-1, розділ 5.8. Допускається перерозподіл навантажень уздовж катету зварного шва.

Графік відношення напруження до деформації [EN1993-1-1]



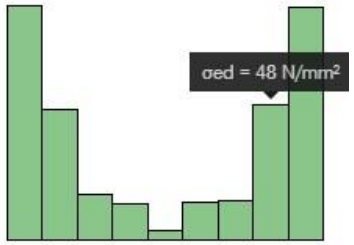
Ідеальна еластично-пластична поведінка

Саме собою максимальне напруження 5% застосовується також для зварних швів.

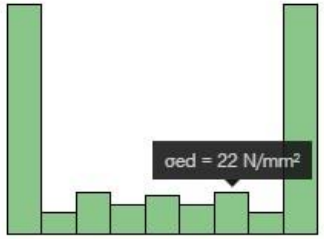
Розподіл навантаження в зварних швах

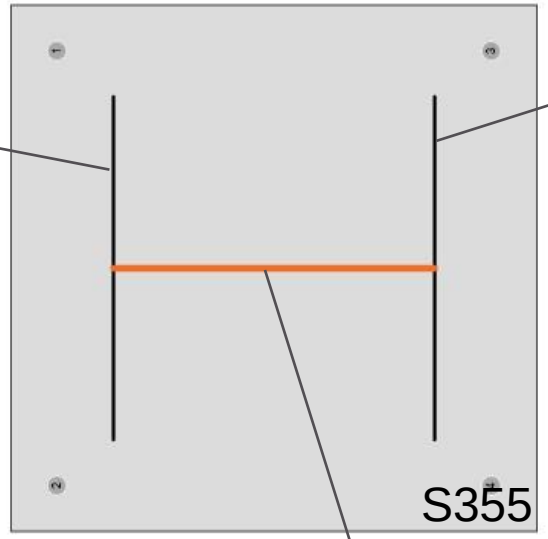
Ліва поличка

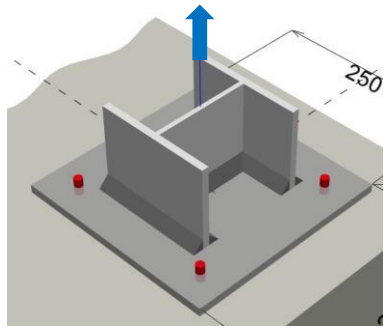
Внутрішні шви



Зовнішні шви

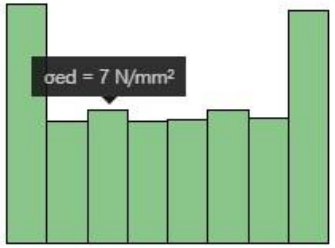




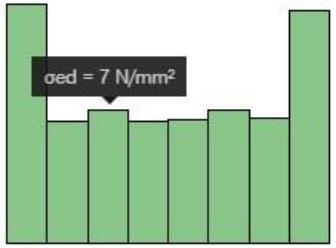


Стінка

Верхній шов

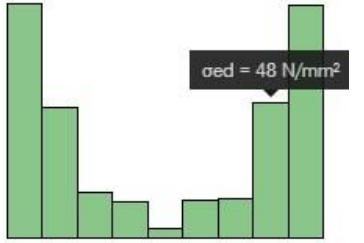


Нижній шов

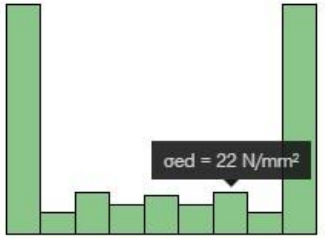


Права поличка

Внутрішні шви

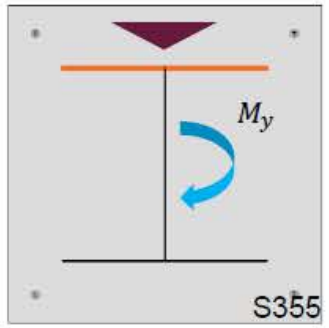


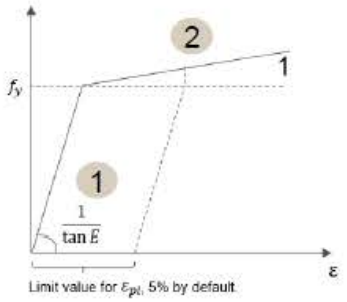
Зовнішні шви

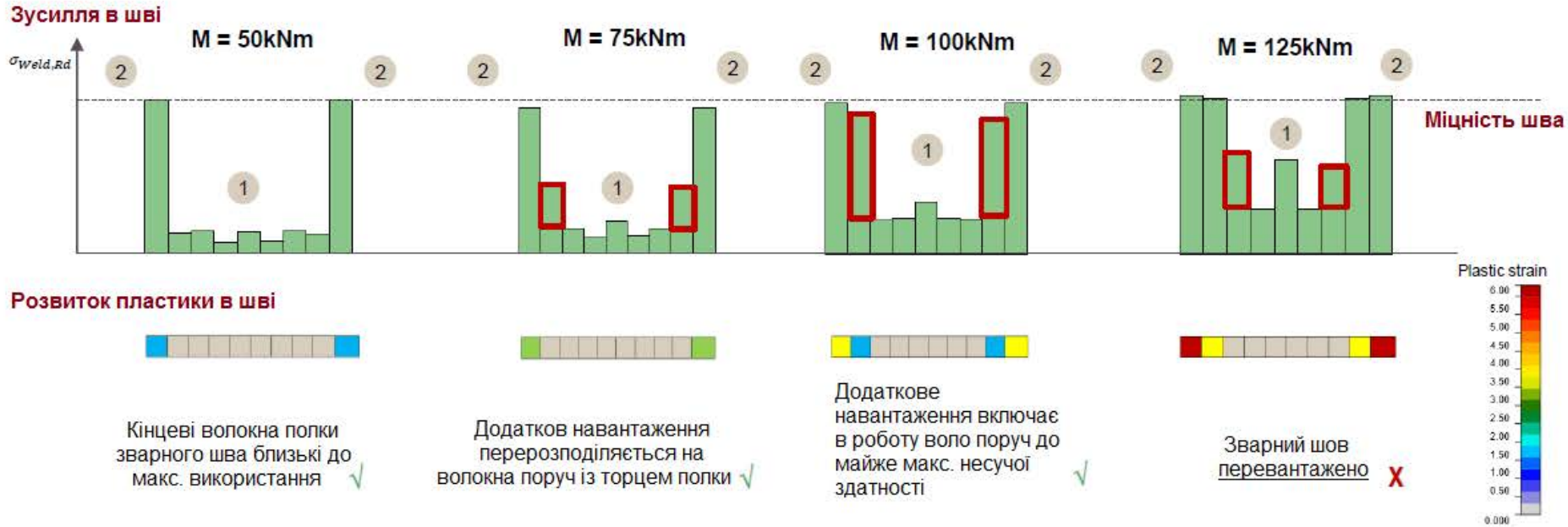


Модель «CBFEM» – зварні шви
Перерозподіл зусиль в зварному шві

Приклад роботи зварного зовнішнього шва полки під одноосьовим згином







Кінцеві волокна полки зварного шва близькі до макс. використання √

Додатков навантаження перерозподіляється на волокна поруч із торцем полки √

Додаткове навантаження включає в роботу воло поруч до майже макс. несучої здатності √

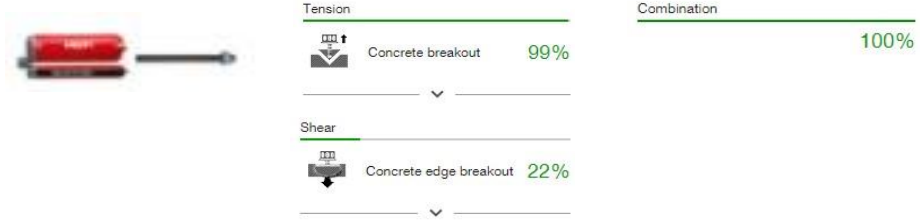
Зварний шов перевантажено X

1. Пружня робота: низький рівень напруження
2. Пластичний стан: високий рівень напруження та перерозподіл навантаження. Відбувається перерозподіл зусиль (ε).

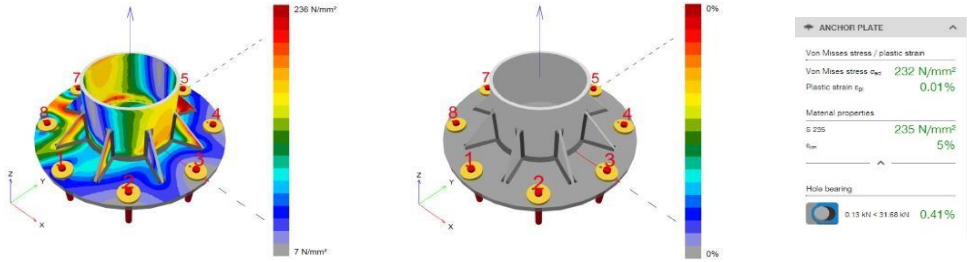
Попередній перегляд - нове підтвердження розрахунків

Усі необхідні перевірки розрахунку проводяться відповідно до правил та відображаються в інтерфейсі та в звіті користувача.

- **Розрахунок анкерів:**
  Європейські регламенти (ETAG 001, Додаток C, EOTA TR029) – передбачені на сьогодні. Регламент щодо розрахунку анкерів вимагають жорсткої пластини.

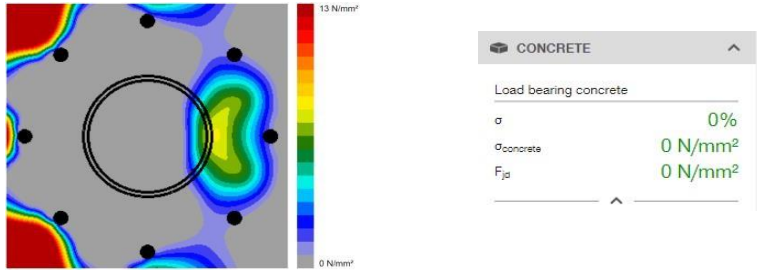


- **Розрахунок опорної плити, основного перерізу та ребер:**
  Розрахунок плити та ребер відповідно до Eurocode 3.

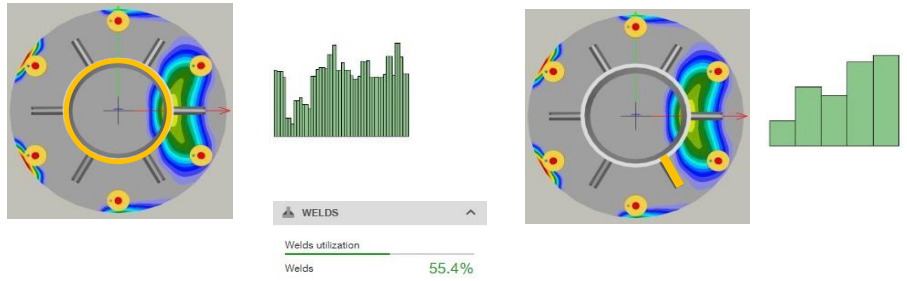


Жорстка пластина потрібна в зв'язку з правилами анкерування

- **Перевірка бетону під опорною плитою**
  Руйнування бетону під опорною плитою перевірено відповідно до Eurocode 2 і 3



- **Розрахунок зварних швів**
  Розрахунок зварних швів виконується відповідно до Eurocode 3.

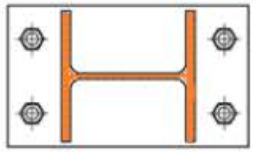


Перевірка розрахунків програмою «PROFIS ENGINEERING»

Перевірка розрахунків для усіх компонентів вузла відповідно до вимог Eurocode:

- EN1993 and EN1992 - основні положення що розглядоються
- Розрахунок анкерів як і було вказано раніше по ETAG / EOTA TR029

Основний переріз та ребра

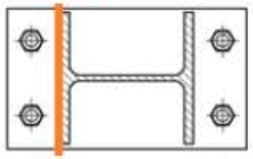


Перевірка міцності/напруження перерізу та ребер, не розглядається конструкцію сталевих каркасів.

Еквівалентні напруження Мізеса $\sigma_{Ed,eq,max} \leq f_{yd}$ EN1993-1-6, section 6.2

Межа міцності $\varepsilon_{pl,max} \leq 0.05$ EN1993-1-5, EN1993-1-5, C8 Note 1

Опорна плита



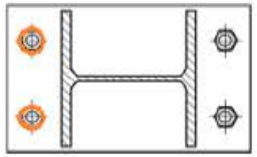
Еквівалентні напруження Мізеса $\sigma_{Ed,eq,max} \leq f_{yd}$ EN1993-1-6, section 6.2

Межа міцності $\varepsilon_{pl,max} \leq 0.05$ EN1993-1-5, EN1993-1-5, C8 Note 1

За розсудом інженера робота плита визначається як жорстка

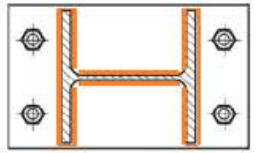
Несуча здотність (на зминання) отвору під болт $V_{Ed} \leq F_{b,Rd}$, EN1993-1-8 section 3.6.1

Анкери



Несуча здотність анкера, ETAG 001 Annex C / EOTA TR029

Зварні шви

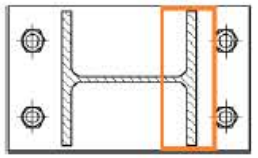


Зварні шви перевіряються відповідно методе описаного в EN 1993-1-8 4.5.3.2(6)

$$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3\left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)\right]^{0,5} \leq f_u/(\beta_w \gamma_{M2})$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0{,}9 f_u/\gamma_{M2}$$

Бетон під плитою



$\sigma_{c,Ed} \leq f_{jd} = \beta_j k_j f_{ck}/\gamma_c$ EN1993-1-8, section 6.2.5 and EN1992-1, section 6.7

Питання: Чи "PROFIS ENGINEERING" дотримується методу спільних розрахунків у EN 1993-1-8?

Як відрізняється розрахунок за компонентом (що створено за методом кінцевих елементів), який використовується в «Profis», від методу в розділі 6 EN1993-1-8?

Спосіб у розділі 6 EN1993-1-8 стосується конструкції перерізу I та H (включаючи з'єднання сталь-бетон).

- Вказівки не пропонують подібний конкретний метод для обчислення інших типів профілю (круговий, прямокутний тощо);
- «PROFIS Engineering» пропонує розрахунок сталі до бетону для всіх типів профілю та розглядає різні геометрії;

«PROFIS Engineering» дотримується тих же принципів, що і в розділі 6 EN1993-1-8.

- Перевірки в «PROFIS» виконуються за EN1993-1-8 кожний компонент з’єднання розглядається окремо. Кожен компонент розрахований в «PROFIS» відповідає EN1993-1-8 або інших відповідних інструкцій;
- Розподіл навантаження в кожному елементі відповідає методу кінцевих елементів;

Підсумок: CBFEM поєднує аналіз сил кінцевих елементів разом із компонентним методом, згідно з EN1993-1-8.

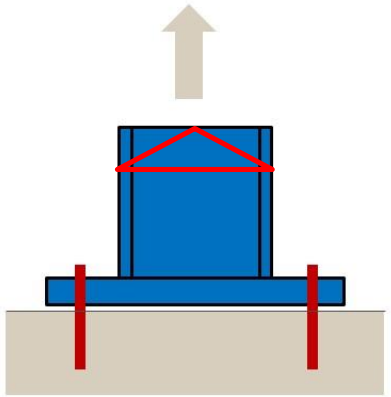
Питання: Чому моделюється профіль і чому не перевіряється вся колона?

Чому моделюється лише частина профілю?

Це робиться для більш коректного розподілу напружень та передачі їх на зварні шви.

Приклад:

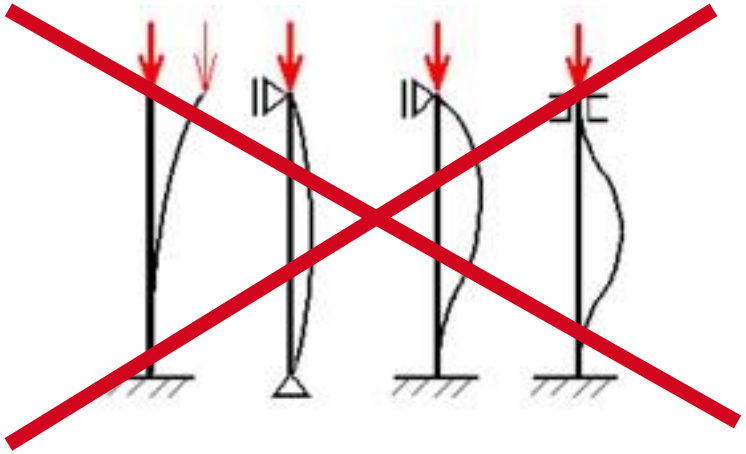
- Зосереджена сила розтягу що діє на профіль
- Згинальні зусилля



Для розподілу навантаження потрібна деяка довжина профілю

Чи робить програмне забезпечення повну перевірку колони?

Програмне забезпечення перевіряє напруження та міцність в певній частині профілю але не робить ніяких розрахунків або оцінки стійкості, що є ключовими в розрахунку колони!



Питання: Який метод використовується в розрахунках вузлів за EN1993-1-8, частина 6?

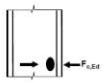
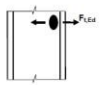
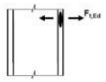
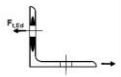
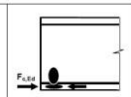
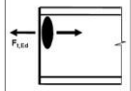
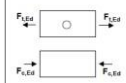
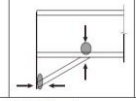
6 Structural joints connecting H or I sections

6.1.3 Basic components of a joint

(1) The design moment-rotation characteristic of a joint should depend on the properties of its basic components, which should be among those identified in 6.1.3(2).

(2) The basic joint components should be those identified in Table 6.1, together with the reference to the application rules which should be used for the evaluation of their structural properties.

Table 6.1: Basic joint components

	Component		Reference to application rules: Design Resistance	Stiffness coefficient	Rotation capacity
1	Column web panel in shear		6.2.6.1	6.3.2	6.4.2 and 6.4.3
2	Column web In transverse compression		6.2.6.2	6.3.2	6.4.2 and 6.4.3
3	Column web in transverse tension		6.2.6.3	6.3.2	6.4.2 and 6.4.3
4	Column flange in bending		6.2.6.4	6.3.2	6.4.2 and 6.4.3
5	End-plate in bending		6.2.6.5	6.3.2	6.4.2
6	Flange cleat in bending		6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
7	Beam or column flange and web in compression		6.2.6.7	6.3.2	*)
8	Beam web in tension		6.2.6.8	6.3.2	*)
9	Plate in tension or compression		in tension: - EN 1993-1-1; in compression: - EN 1993-1-1	6.3.2	*)
10	Bolts in tension		With column flange: - 6.2.6.4; with end-plate: - 6.2.6.5; with flange cleat: - 6.2.6.6	6.3.2	6.4.2 (a) (b)
11	Bolts in shear		3.6	6.3.2	6.4.2
12	Bolts in bearing (on beam flange, column flange, end-plate or cleat)		3.6	6.3.2	*)
13	Concrete in compression including grout		6.2.6.9	6.3.2	*)
14	Base plate in bending under compression		6.2.6.10	6.3.2	*)
15	Base plate in bending under tension		6.2.6.11	6.3.2	*)
16	Anchor bolts in tension		6.2.6.12	6.3.2	*)
17	Anchor bolts in shear		6.2.2	*)	*)
18	Anchor bolts in bearing		6.2.2	*)	*)
19	Welds		4	6.3.2	*)
20	Haunched beam		6.2.6.7	6.3.2	*)

*) No information available in this part.

6 Конструкції швів для з'єднання H або I профілів

6.1.3 Основні компоненти шва

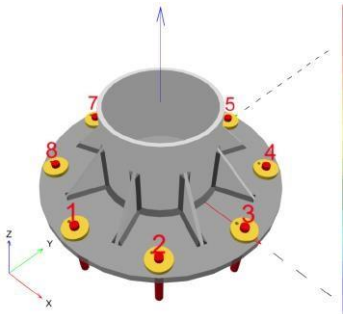
(1) Характеристика проєктного моменту обертання шва, повинна залежати від властивостей його основних компонентів, що мають бути серед тих, що визначені в 6.1.3(2)

(2) Основними компонентами швів повинні бути ті, котрі вказані в таблиці 6.1 разом з посиланням на правила застосування, які слід використовувати для оцінки їх структурних властивостей.

Критерії розрахунку профілю

Подібно до компонентів пластини та ребер, PROFIS Engineering перевіряє еквівалентну напругу на профіль (або напругу Фон Мізеса) та пластичну деформацію. Ця перевірка не замінює розрахунок усього елементу, який потрібен для сталевих конструкцій.

Міцність металу



Міцність:

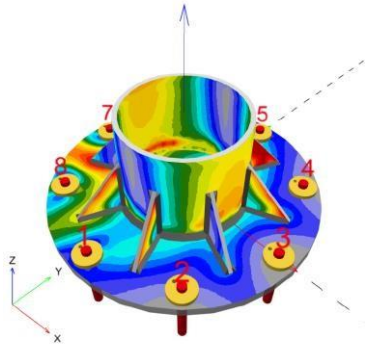
Кінцеві граничні критерії стану для покритих конструктивних елементів, повинні перевірити основні мембранні деформації щодо граничного значення деформації (ε).

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{lim}$$ згідно EN1993-1-5, розділ C8

Де ε_{lim} визначається користувачем. PROFIS Engineering представляє значення за замовчуванням εlim з урахуванням макс. значення 5% (EN1993-1-5, C8 Примітка 1).

Інженер несе відповідальність за перевірку максимальної межі міцності, а також якщо є якісь національні норми щодо εlim на конкретних ринках. Ця інформація міститиметься в NA за EN1993-1-5.

Еквівалентні напруження в металі



Напруження:

Використання напруги Фон Мізеса також показано для визначення максимального рівня напруги в поперечному перерізі.

$$\sigma_{Ed,} \leq f_{yd}$$ EN1993-1-6, розділ 6.2

Важливо: Як «PROFIS Engineering», так і EN1993-1-5 дозволяють напругу трохи перевищувати fyd.

Це пояснюється тим, що рівень напруги, що дає сталь, не є постійним на 100%. Під час цієї фази спостерігається дуже невелике збільшення напруження.

Критерії розрахунку ребер

Подібно до компонентів пластини та профілю, PROFIS Engineering перевіряє на ребрах еквівалентну напругу (або напругу Фон Мізеса) та пластичну деформацію. Ця перевірка не замінює розрахунок усього елементу, яка потрібна для сталевих конструкцій.

Міцність металу **Міцність:**

Кінцеві граничні критерії стану для покритих конструктивних елементів повинні перевірити основні мембранні деформації щодо граничного значення деформації (ε).

$\varepsilon \leq$ згідно EN1993-1-5, розділ C8

Де ε_{lim} визначається користувачем. PROFIS Engineering представляє значення за замовчуванням εlim з урахуванням макс. значення 5% (EN1993-1-5, C8 Примітка 1).

Інженер несе відповідальність за перевірку максимальної межі міцності, а також якщо є якісь національні норми щодо εlim на конкретних ринках. Ця інформація міститиметься в NA за EN1993-1-5.

Еквівалентні напруження в металі **Напруження:**

Використання напруги Фон Мізеса також показано для визначення максимального рівня напруги в поперечному перерізі.

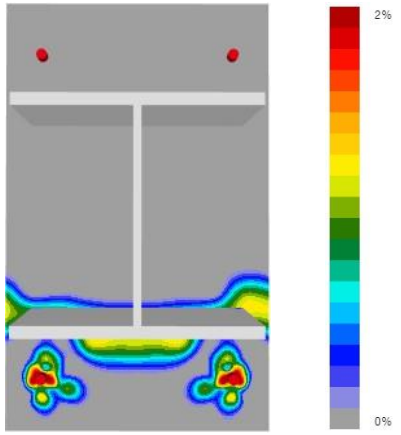
$\sigma_{Ed,} \leq f_{yd}$ EN1993-1-6, розділ 6.2

Важливо: Як «PROFIS Engineering», так і EN1993-1-5 дозволяють напругу трохи перевищувати fyd.

Це пояснюється тим, що рівень напруги, що дає сталь, не є постійним на 100%. Під час цієї фази спостерігається дуже невелике збільшення напруження.

Критерії розрахунку опорної плити

Вихідний розрахунок PROFIS Engineering - це еквівалентне напруження (або напруга Фон Мізеса) і пластичне напруження на опорній плиті.



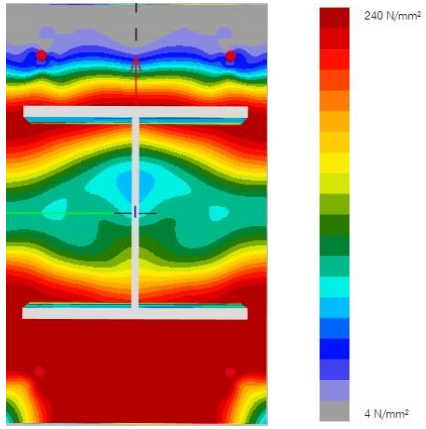
Міцність:

Кінцеві граничні критерії стану для покритих конструктивних елементів повинні перевірити основні мембранні деформації щодо граничного значення деформації (ε).

$\varepsilon \leq$ згідно EN1993-1-5, розділу C8

Де ε_{lim} визначається користувачем. PROFIS Engineering представляє значення за замовчуванням εlim з урахуванням макс. значення 5% (EN1993-1-5, C8 Примітка 1).

Інженер несе відповідальність за перевірку максимальної межі міцності, а також якщо є якісь національні норми щодо εlim на конкретних ринках. Ця інформація міститиметься в NA за EN1993-1-5.



Напруження:

Використання напруги Фон Мізеса також показано для визначення максимального рівня напруги в поперечному перерізі.

$\sigma_{Ed,} \leq f_{yd}$ EN1993-1-6, розділ 6.2

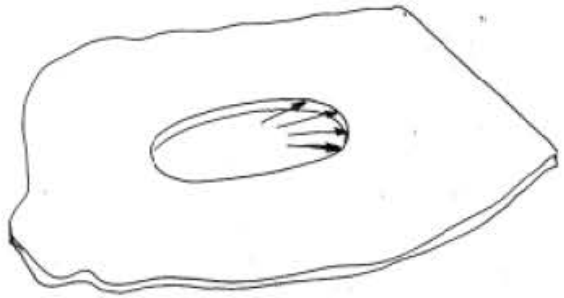
Важливо: Як «PROFIS Engineering», так і EN1993-1-5 дозволяють напругу трохи перевищувати fyd.

Це пояснюється тим, що рівень напруги, що дає сталь, не є постійним на 100%. Під час цієї фази спостерігається дуже невелике збільшення напруження.

Критерії розрахунку опорної плити – несуча здатність анкерного отвору

Несуча здатність анкерного отвору в опорній плиті описана в EN1993-1-8 табл.3.4:

$$V_{s,Ed} \leq F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d\, t}{\gamma_{M2}}$$



Несуча здатність анкерного отвору в плиті на зсув

Де компоненти ф-ли:

k_1 визначається як: Зовнішні болти: k_1 найменше значення серед наступних розрахунків: $2{,}8\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7$; $1{,}4\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7$ або $2{,}5$

Внутрішні болти: k_1 найменше значення серед наступних розрахунків: $1{,}4\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7$ або $2{,}5$

a_b найменше значення: $\frac{f_{ub}}{f_u}$ або $1{,}0$

f_u максимальна міцність металу плити на розтяг

d діаметр отвору

t товщина опорної плити

γ_{M2} коеф. безпеки відповідно до EN1993-1-1 становить 1,25 або він може бути змінений відповідно до Національних Додатків.

Питання: ЧИ ВПЛИВАЄ ДИНАМІЧНИЙ НАБІР НА ЗРІЗАЮЧІ ЗУСИЛЛЯ (ЗМИНАННЯ ОТВОРУ)? ЧИ ЗМІНЮЄТЬСЯ ЗАВДЯКИ НЬОМУ ТОВЩИНА ОСНОВИ ПЛИТИ?

Динамічний набір слугує для рівномірного розподілення навантаження між усіма анкерами та впливає на руйнування бетону та його здатність, однак це не допомагає зменшити товщину основи плити, оскільки ми перевіряємо стійкість сталі, а при руйнуванні сталі ми завжди ділимо зсув на кількість анкерів (згідно ETAG)

Питання: Еквівалентні напруження Фон Мізеса порівняно зі звичайними напруженнями

Чому «PROFIS Engineering» при жорсткому розрахунку використовує звичайний вигляд напруження, а при врахуванні піддатливості використовує еквівалентне напруження Фон Мізеса?

Згідно до EN 1993-1-6, еквівалентні напруження Фон Мізеса можуть бути безпосередньо порівняні з звичайними напруженнями.

$$\sigma_{Ed,eq} \leq f_{eq,Rd} = f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_0}$$

Якби там не було, відношення звичайних напружень ($\sigma_{12} = \sigma_{13} = \sigma_{32} = \sigma_3 = 0$) до напружень Фон Мізеса виглядають наступним чином:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

Які ознаки того, що ваша плита наближена до жорсткої?

Розрахунок анкерів дійсний лише при жорсткій опорній плиті

Методи розрахунку дійсні для окремих анкерів та анкерних груп. У випадку анкерної групи навантаження прикладаються до окремих анкерних груп через **жорсткий елемент**.
В групах анкерів мають використовуватися тільки анкери одного типу, товщини та довжини.

[ETAG 001 Annex C, section 1]

В літературі нема точного визначеня, що можна вважати жорсткою опорною плитою.

"Hilti" пропонує метод оцінки жорсткості, давши відповідь на три простих питання:

- **Зусилля в анкерах** які виникли після розрахунку **схожі** з зусиллями отриманими при розрахунку анкерів **при жорсткій плиті**?

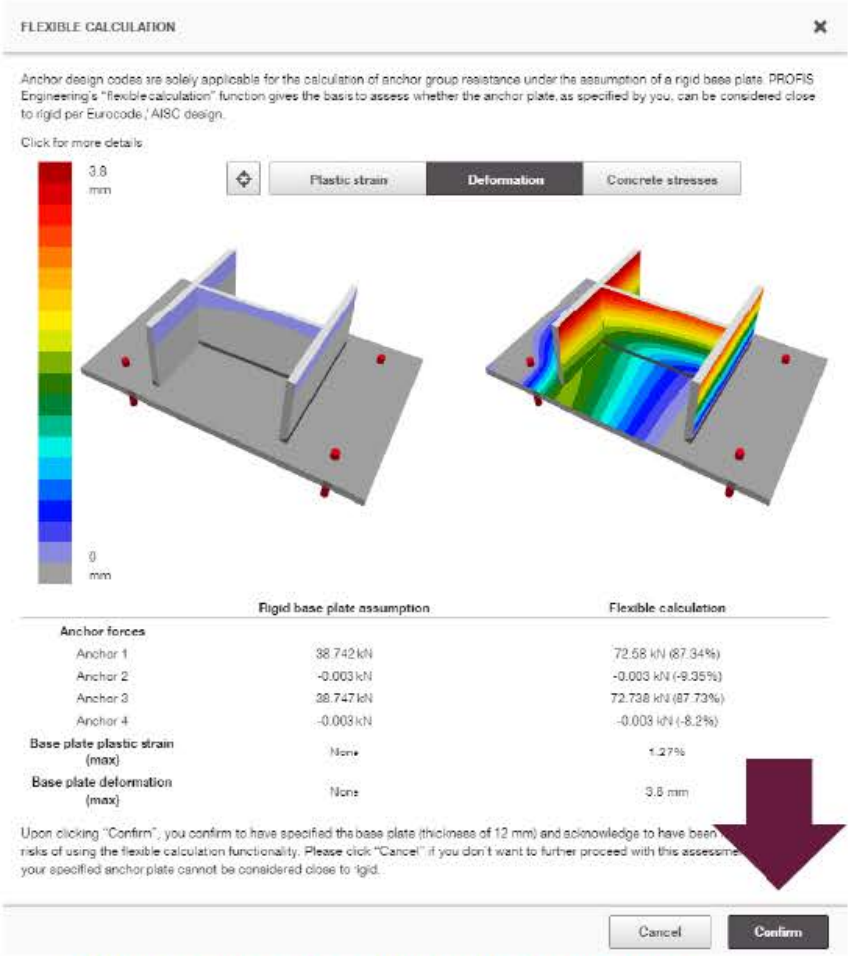
Необхідно **порівняти зусилля в анкерах** отримані після розрахунку з урахуванням піддатливості металу **з зусилями в анкерах** отриманими після розрахунку анкерів як при жорсткій плиті.

- Чи спостерігається "плечовий" ефект?

Виникнення прижимних зусиль в бетоні поряд з анкерами та/або виникнення "плечового" ефекту в опорній плиті по краям, поряд з анкерами
При виникнені "плечового" ефекту, зусилля в анкерах будуть вищі, ніж у розрахунку при жорсткій плиті

- Яка **максимальна деформація** плити?

Як вихідна умова, деформація плити буде обмежена до 5%/ x (мм)



Лише за розсудом інженера може бути прийняте рішення відповідності поведінки плити як жорсткого елементу

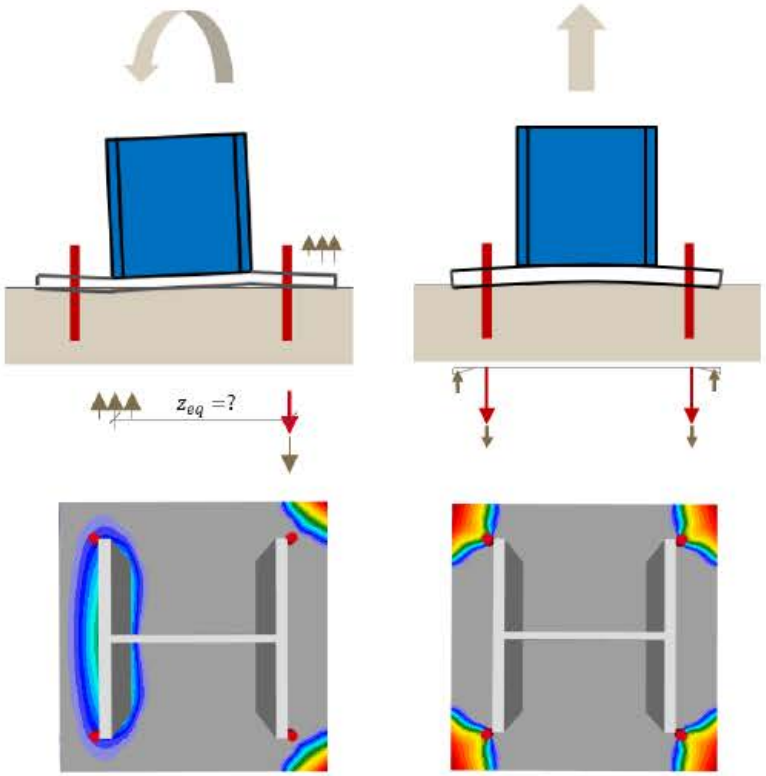
Питання: Після розрахунків плита не є жорсткою, чи можу я продовжувати розрахунок?

Загалом, було б краще переробити геометрію з'єднання сталь-бетон, щоб після перерахунку опорна плита відповідала жорсткому елементу

Hilti не рекомендує обчислювати нежорсткі базові плити. Для статичної конструкції діючі правила анкерування не дозволяють розраховувати анкери на нежорстких базових плитах.

Методи розрахунку дійсні для окремих анкерів та анкерних груп. У випадку анкерної групи навантаження прикладаються до окремих анкерних груп через **жорсткий елемент**.
В групах анкерів мають використовуватися тільки анкери одного типу, товщини та довжини.

[ETAG 001 Annex C, section 1]



Основою цього обмеження є те, що колони конструкційні моделі для опорних плит були розроблені при випробуванні жорстких плит. Конструкція може бути недійсною для нежорстких базових плит.

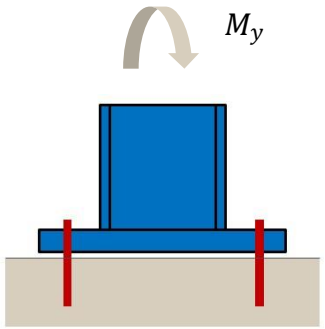
Крім того, для деяких стійких факторів, які використовуються в конструкції анкера, наприклад, фактор групи бетонних конусів $\psi_{ec,N}$, необхідне плече між зусиллями натягу та стиску. Незрозуміло, як визначити це плече, якщо напр. спостерігається "плечевий" ефект біля анкерів.

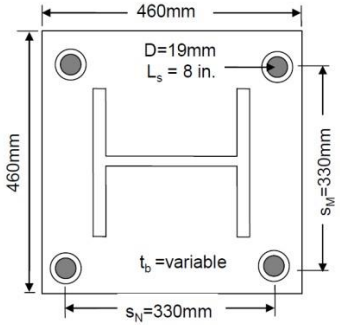
$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \cdot e_N / s_{cr,N}} \leq 1 \text{ [–]} \qquad (7.6)$$

Якщо є ексцентриситет в двох напрямках, $\psi_{ec,N}$ має бути визначений окремо для кожного напрямку отримані результати від обох факторів мають бути враховані в рівнянні (7.1)

Питання: Після розрахунків плита не є жорсткою що робити?

Яка товщина плити?



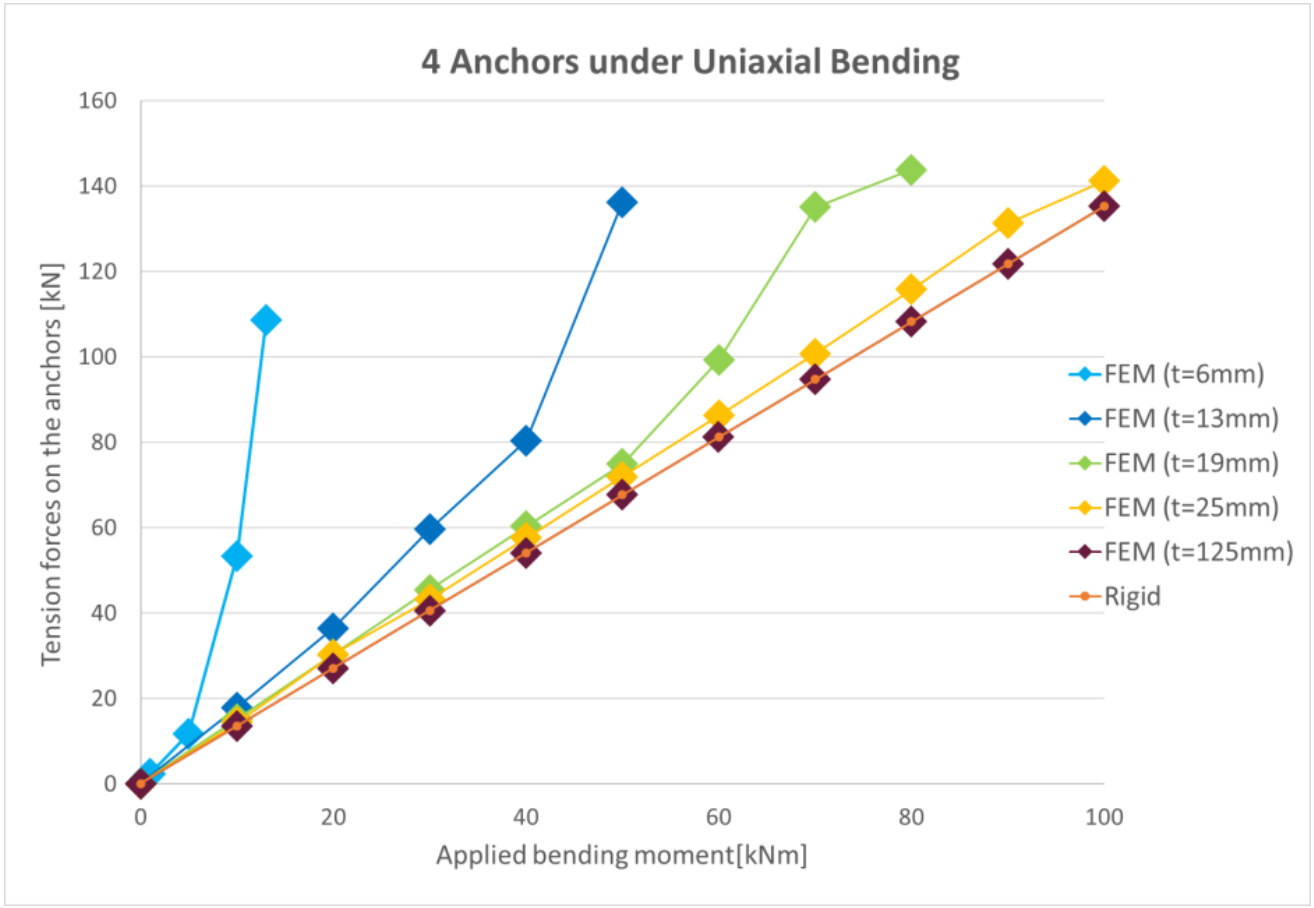


Профіль (переріз колони): HEA 240, S235

Опорна плита: 460x460мм, $t_{зміна}$, S235

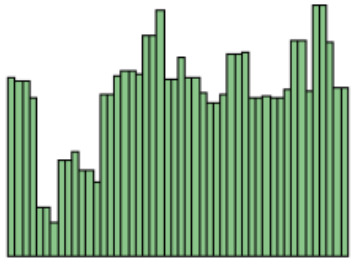
Анкера: HIT-HY200 + 19мм шпильки

Бетон: до країв ∞, товщина 420мм, C20/25



Критерії розрахунку зварних швів – кутові шви

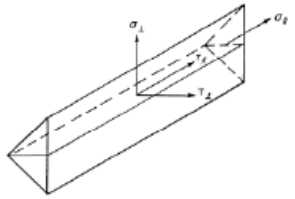
PROFIS Engineering визначає напруги на зварні шви відповідно до методу описаного в EN1993-1-8 для кожного елемента FEM



Розрахунок який описаний в EN 1993-1-8 4.5.3.2 (6) також виконується в PROFIS Engineering, формула наведена нижче

$$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3\left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)\right]^{0,5} \leq f_u/(\beta_w \gamma_{M2})$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0{,}9 f_u/\gamma_{M2}$$



$\sigma_{\perp}$ нормальне напруження, перпендикулярне до перерізу зварного шва

$\sigma_{\parallel}$ нормальне напруження, паралельне поздовжній осі зварного шва

$\tau_{\perp}$ дотичне напруження (у площині перерізу зварного шва), перпендикулярне до поздовжньої осі зварного шва

$\tau_{\parallel}$ дотичне напруження (у площині перерізу зварного шва), паралельне поздовжній осі зварного шва

f_u номінальне значення міцності на розтяг у граничному стані за несучою здатністю більш слабкого елемента, що з'єднується

β_w коригуючий коефіцієнт, що приймається за EN1993-1-8 з таблиці 4.1

Табл. 4.1: коригуючий коефіцієнт β_w для кутових зварних швів

Стандарт та клас сталі			корегуючий коеф. β_w
EN 10025	**EN 10210**	**EN 10219**	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

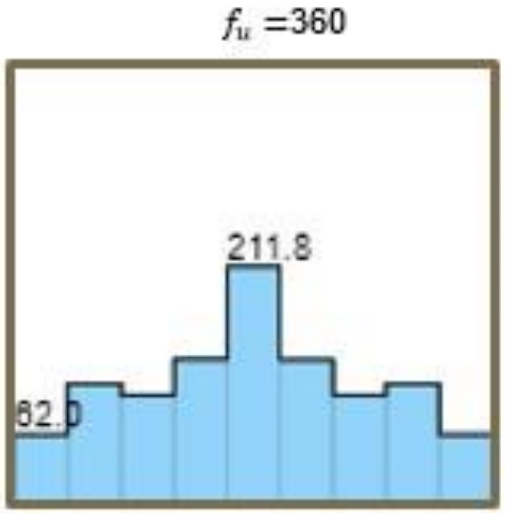
γ_2 коеф. безпеки для зварних швів відповідно до EN1993-1-1 та EN1993-1-8 становить 1,25 для вуглицевої сталі. Цей коеф. може бути змінений Національними Додатками

Подібно до сталевих матеріалів, пластичні деформації в зварних швах також обмежені 5%.

Критерії розрахунку зварних швів – кутові шви: Пластика зварних швів

Для інформування користувача «PROFIS Engineering» визначає ступінь загальної пластики кутового шва.

Ця перевірка ніколи не регулює розрахунок, а лише являє собою коефіцієнт між площею розрахованого зварного шва та загальною можливою площею зварного шва, вважаючи, що останній є пружнім.



$$Utc = \frac{A_{\sigma_w}}{A_{f_u}}$$

Критерії розрахунку зварних швів – стикові шви

Відповідно до EN1993-1-8, у стикових зварних швах PROFIS Engineering автоматично перевіряється, якщо профіль, ребра і опорна плита відповідають критеріям розрахунку.

4.7.1 Стиковий зварний шов з повним проваром

(1) Розрахунковий опір стикового зварного шва з повним проваром необхідно приймати рівним розрахунковому опору більш слабкого елементу цього вузла, при умові, що зварний шов виконано підходящим матеріалом, в результаті якого будуть отримані зразки для зварювання усього зварного шва, за якого мінімальна межа текучості та мінімальна межа міцності на розтяг не менше тих, що вказано для основного металу.

4.7.1 Full penetration butt welds

(1) The design resistance of a full penetration butt weld should be taken as equal to the design resistance of the weaker of the parts connected, provided that the weld is made with a suitable consumable which will produce all-weld tensile specimens having both a minimum yield strength and a minimum tensile strength not less than those specified for the parent metal.

Перевірки анкера

Розподіл анкерного навантаження:

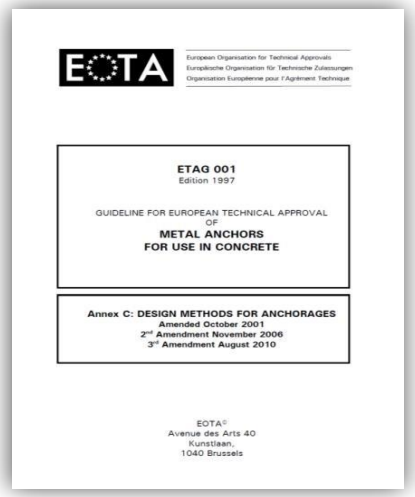
Розподіл зусиль в анкерах відбувається згідно моделі CBFEM з аналізом жорсткості самих анкерів. Використання цього аналізу не підтверджує припущення жорсткої роботи опорної плити, тому отримані результати можуть відрізнятися від розрахунку з урахуванням піддатливості наприклад в «PROFIS Anchor».

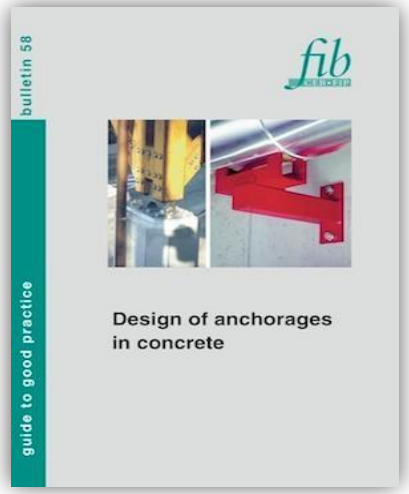
Розрахунок несучої здатності анкера:

Розрахунок несучої здатності відповідає тим же принципам що і «PROFIS Anchor» на сьогодні – використовуючи **затверджені технічні дані**. Немає змін у «PROFIS Anchor».

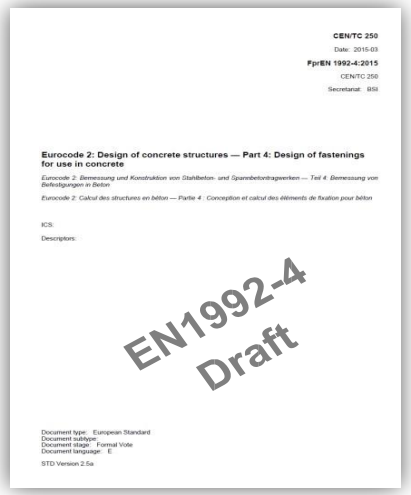
Майте на увазі - EN1992-4, що опублікований в 2018, починає перехідний період між правилами, EN1992-4 став новим стандартом для проєктування анкерів.

Сьогоднішні якісні рекомендації в Європі:



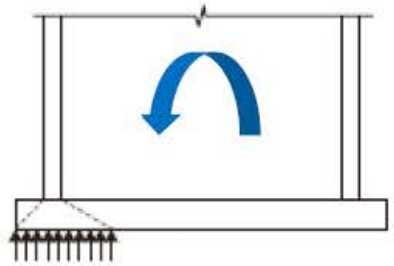


Оновлені анкерні вказівки:



Критерії розрахунку тиску в бетоні

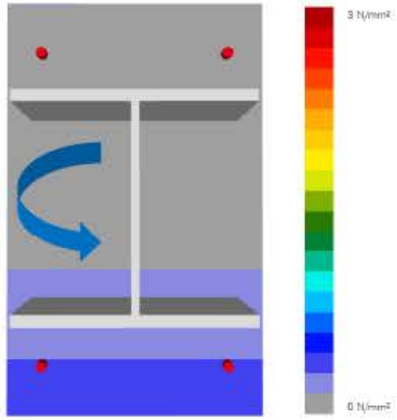
Опір в бетоні під опорною плитою з використанням еквівалентного Т-подібного профілю відповідно до EN1993-1-8, розділ 6.2.5 та EN1992-1, розділ 6.7



PROFIS Engineering перевіряє бетон під плитою відповідно до:

$$\sigma_{c,Ed} \leq f_{jd} = \beta_j k_j f_{ck}/\gamma_c \text{ [Mpa]}$$

Тиск в бетоні

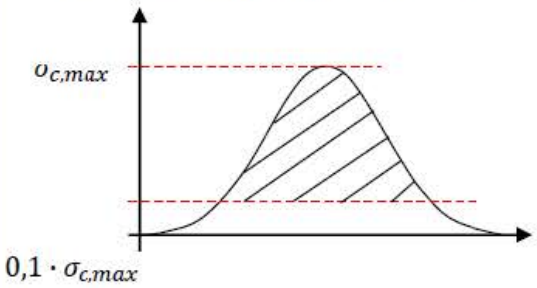


Де складові формули це:

$$\sigma_{c,Ed} = \frac{N}{A_{eff}}$$

N - розрахункова нормальна сила, що відповідає загальній стиснутій площі

A_{eff} в PROFIS розглядається як:



β_j коеф. опирання. Частіше всього це значення рівне 0.667 (EN 1993-8 6.2.8.3(3))

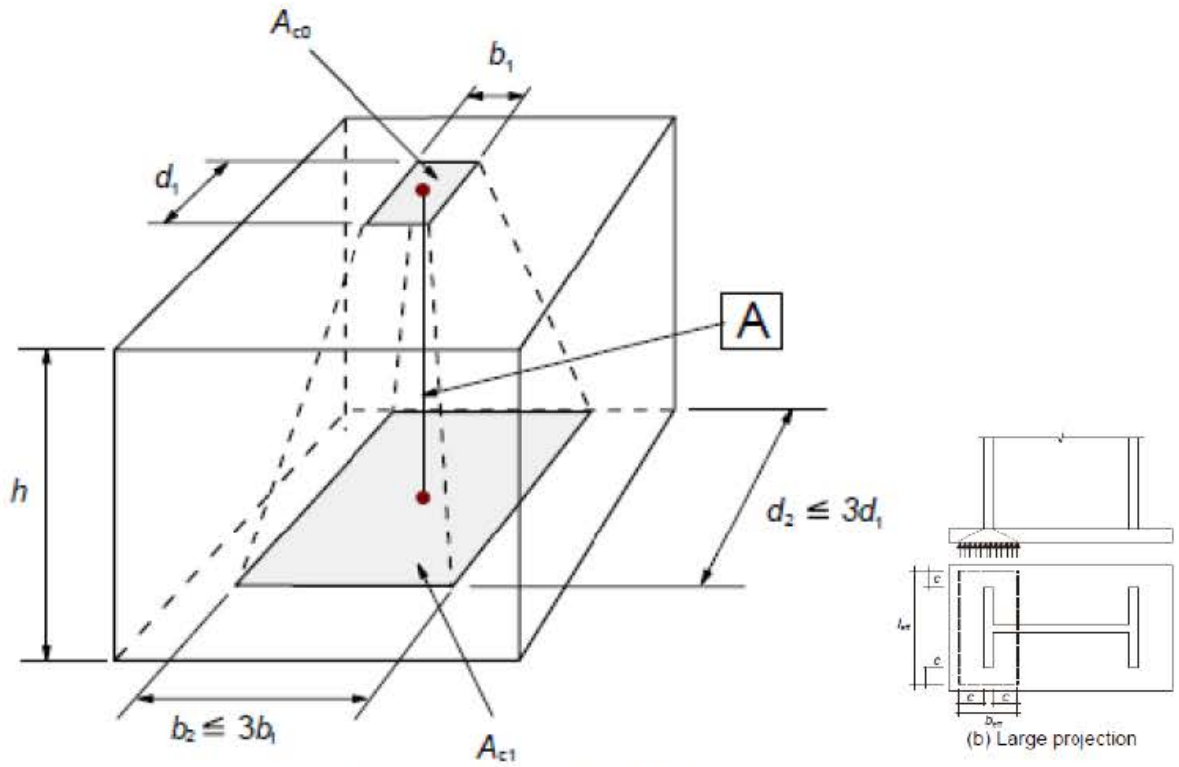
k_j коеф. концентрації, найменше значення з розрахунку $\min(\sqrt{A_{c1}/A_{c0}}, 3)$ (виведено з 6.63 EN 1992-1)

f_{ck} сила тиску

γ_c коеф. безпеки в бетоні

Питання: Де я можу знайти формулу опору бетону під опорною плитою в нормах?

Виведення для "PROFIS Engineering" формули розрахунку бетона по EN1992 та EN1993:



(b) Large projection

[EN1993-1-8, section 6.2.5]

$$f_{jd} = \beta_j \frac{F_{rd,u}}{l_{eff} b_{eff}}$$

$$f_{jd} = \beta_j \frac{l_{eff} b_{eff} f_{cd} \cdot \min(\sqrt{A_{c1}/A_{c0}}, 3)}{l_{eff} b_{eff}}$$

$$f_{jd} = \beta_j f_{cd} \cdot \min(\sqrt{A_{c1}/A_{c0}}, 3)$$

$$f_{jd} = \beta_j f_{cd} \cdot \min(\sqrt{A_{c1}/A_{c0}}, 3) \rightarrow k_j = \min(\sqrt{A_{c1}/A_{c0}}, 3)$$

$$\boldsymbol{f_{jd} = \beta_j k_j \frac{f_{ck}}{\gamma_c}}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{id} \cdot \gamma_{M0}}}$$ ...(6.5)

Де складові формули це:

t товщина полки Т-подібного перерізу;

fy розрахунковий опір сталі розтягу, стиску і згину за межею текучості полки Т-подібного перерізу

(5) Якщо проекція фізичної довжини основного складового з'єднання, представлене Т-подібним перерізом, менше ніж c ефективна площа має бути взята згідно мал.6.4(а)

(6) Якщо проекція фізичної довжини основного складового з'єднання, представленне Т-подібним перерізом, перевищує c на будь-яку сторону, частиною додаткового виступу за межею ширини c варто знехтувати див мал.6.4(b)

ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА

https://profisengineering.hilti.com