

Допълнителни пояснения към БДС EN 1993-1-1 - [1]: Проектиране на стоманени конструкции и към Приложение А от БДС EN 1993-6 - [2]

1. Допълнителни пояснения към 6.2.7, от БДС EN 1993-1-1 - [1]

Настоящият текст представлява допълнение към 6.2.7 от [1], със следното съдържание:

- Определяне на $T_{t,Ed}$, $T_{w,Ed}$ и B_{Ed} :

$$T_{t,Ed} = GI_t \phi', \quad (6.28.1)$$

$$T_{w,Ed} = -EI_w \phi''', \quad (6.28.2)$$

$$B_{Ed} = -EI_w \phi'', \quad (6.28.3)$$

където:

G е модула на срязване;

I_t е инерционен момент при усукване по St. Venant;

I_w е инерционен момент при стеснено усукване (**огъвно усукване/"усукване с възпрепятствана деформация"**);

ϕ е ъгъл на завъртане на напречното сечение, вследствие работа на усукване (**ъгъл на усукване**);

ϕ' , ϕ'' и ϕ''' са производни на ϕ .

Определянето на ϕ , ϕ' , ϕ'' и ϕ''' се извършва в зависимост от опорните условия и натоварването на елемента. Комбинации между различни случаи на натоварване и опорни условия са дадени в **таблица 6.0**. От там следва да бъдат ползвани формулите за изчисляване на ъгълът на завъртане (**ъгъл на усукване**) и неговите производни.

- Определяне на $\tau_{t,Ed}$:

$$\tau_{t,Ed} = \frac{T_{t,Ed}}{I_t} t, \quad (6.28.4)$$

където:

t е дебелината на стената, за която се определят напреженията.

- Определяне на $\sigma_{w,Ed}$ за двойносиметрични I сечения:

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{M_{w,Ed}}{W_{f,z}}, \quad (6.28.5)$$

където:

$M_{w,Ed}$ е изчислителна стойност на поясния момент (хоризонтален огъващ момент в поясите на сечението) вследствие на бимоментa B_{Ed} ;

$W_{f,z}$ е съпротивителен момент на отделния пояс спрямо *ос z*. При сечения от класове **1** и **2** може да се използва $W_{pl,f,z}$. При сечения от **клас 3** може да се използва $W_{el,f,z}$. За определяне съпротивителния момент на отделния пояс спрямо *ос z*, може да ползват следните формули:

$$W_{pl,f,z} = \frac{W_{pl,z}}{2} \quad (6.28.6)$$

$$W_{el,f,z} = \frac{W_{el,z}}{2} \quad (6.28.7)$$

където:

$W_{pl,z}$ е пластичен съпротивителен момент на цялото сечение спрямо *ос z*;

$W_{el,z}$ е еластичен съпротивителен момент на цялото сечение спрямо *ос z*.

Определянето на $M_{w,Ed}$ може да се извърши по следната формула:

$$M_{w,Ed} = \frac{B_{Ed}}{h - t_f}, \quad (6.28.8)$$

където:

h е височината на сечението;

t_f е дебелината на пояса.

6.2.7.(13) Определяне на $\sigma_{w,Ed}$ за моносиметрични (разнопоясни) **I** сечения:

$$\sigma_{w,tf,Ed} = \frac{M_{w,Ed}}{W_{tf,z}}, \quad (6.28.9)$$

$$\sigma_{w,bf,Ed} = \frac{M_{w,Ed}}{W_{bf,z}}, \quad (6.28.10)$$

където:

$\sigma_{w,tf,Ed}$ е нормално напрежение в горния пояс вследствие на бимоментa B_{Ed} ;

$\sigma_{w,bf,Ed}$ е нормално напрежение в долния пояс вследствие на бимоментa B_{Ed} ;

$M_{w,Ed}$ е поясен момент (хоризонтален огъващ момент в поясите на сечението) вследствие на бимоента B_{Ed} , определя се по формула (6.28.8);

$W_{tf,z}$ е съпротивителен момент на горния пояс спрямо *ос z*. При сечения от класове 1 и 2 може да се използва $W_{pl,f,z}$. При сечения от *клас 3* може да се използва $W_{el,f,z}$;

$W_{bf,z}$ е съпротивителен момент на долния пояс спрямо *ос z*. При сечения от класове 1 и 2 може да се използва $W_{pl,f,z}$. При сечения от *клас 3* може да се използва $W_{el,f,z}$.

Независимо от факта, че сечението е моносиметрично поясните моменти в двата пояса вследствие на бимоента ще бъдат еднакви по абсолютна стойност, но с противоположни посоки.

- Определяне на I_t при:
 - Двойносиметрични I сечения и U сечения с успоредни пояси:

$$I_t = \frac{2bt_f^3 + (h - 2t_f)t_w^3}{3}, \quad (6.28.11)$$

- Моносиметрични I сечения с еднакви дебелини на поясите:

$$I_t = \frac{(b_t + b_b)t_f^3 + (h - 2t_f)t_w^3}{3}, \quad (6.28.12)$$

където:

b_t е широчина на горен пояс;
 b_b е широчина на долен пояс.

6.2.7.(15) Определяне на I_w при:

- Двойносиметрични I сечения:

$$I_w = \frac{I_z h_s^2}{4}, \quad (6.28.13)$$

където:

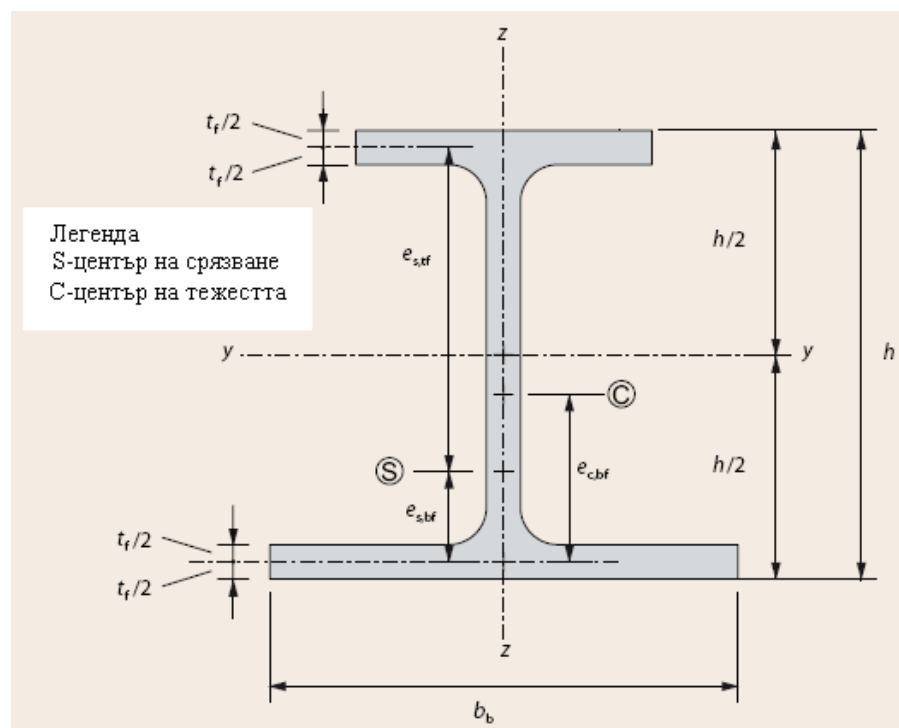
I_z е инерционен момент на сечението спрямо *ос z*;
 h_s е разстоянието между центровете на тежестите на двата пояса.

- Моносиметрични I сечения:

$$I_w = I_{z,bf} e_{s,bf} (h - t_f), \quad (6.28.14)$$

където:

$I_{z,bf}$ е инерционен момент на долния пояс спрямо *ос z*;
 $e_{s,bf}$ е разстоянието от центъра на тежестта на долния пояс до центъра на срязване на сечението.



Фигура 6.3.1 - Размери на моносиметрично I сечение.

$$e_{s,bf} = \frac{(h-t_f)I_{z,tf}}{I_{z,tf} + I_{z,bf}}, \quad (6.28.15)$$

където:

$I_{z,tf}$ е инерционен момент на горния пояс спрямо ос z ;

$I_{z,bf}$ е инерционен момент на долния пояс спрямо ос z .

- U сечения с успоредни пояси:

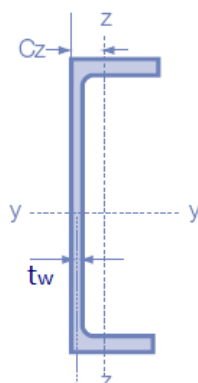
$$I_w = \frac{(h-t_f)^2}{4} \left[I_z - A(c_z - t_w/2)^2 \left(\frac{(h-t_f)^2 A}{4I_y} - 1 \right) \right], \quad (6.28.16)$$

Проф. Рангелов - Формула (6.28.16) се различава от тази, която обикновено се дава в литературата?

- където:

c_z е разстоянието от външния ръб на стеблото до ос z ;

A е площта на сечението.



Фигура 6.3.2 - Означения при U сечение с успоредни пояси.

Таблица 6.0 (лист 1) - Изрази за ϕ , ϕ' , ϕ'' и ϕ'''

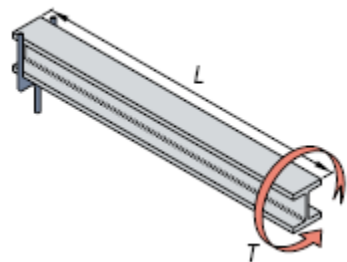
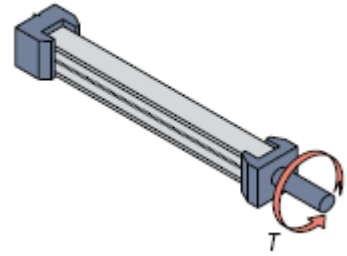
СЛУЧАЙ	ОПИСАНИЕ	ФОРМУЛИ
<p>1</p> 	<p>Налично е укрепване срещу завъртане на напречното сечение само в единия край.</p> <p>Няма укрепления (запъвания) срещу депланиране на напречното сечение.</p>	$\phi = Tx / (GI_t)$ $\phi' = T / (GI_t)$ $\phi'' = 0$ $\phi''' = 0$ <p>Забележка: x е разстоянието от левия край на елемента до сечението, за което определяме ъгъла на завъртане (ъгъла на усукване) или неговите производни.</p>
<p>2</p> 	<p>И двата края са укрепени (запънати) срещу депланиране.</p> <p>Равни по големина и противоположни по посока усукващи моменти T са приложени в двата края.</p>	$\phi = [Ta/(GI_t)] \{th [L/(2a)]ch(x/a)-th[L/(2a)] + x/a-sh(x/a)\}$ $\phi' = [T/(GI_t)] \{th [L/(2a)]sh(x/a) + 1-ch(x/a)\}$ $\phi'' = [Ta/(GI_t a)] \{th [L/(2a)]ch(x/a)- sh(x/a)\}$ $\phi''' = [Ta/(GI_t a^2)] \{th [L/(2a)]sh(x/a) + 1-ch(x/a)\}$ <p>Забележка: a е огъвно-усуквателна характеристика.</p> $a = \sqrt{\frac{EI_w}{GI_T}}$

Таблица 6.0 (лист 2) - Изрази за ϕ , ϕ' , ϕ'' и ϕ'''

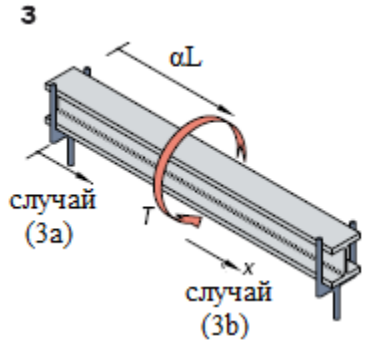
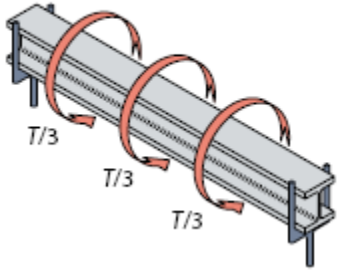
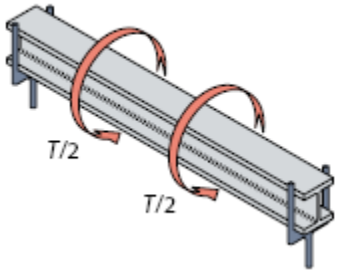
СЛУЧАЙ	ОПИСАНИЕ	ФОРМУЛИ
<p>3</p>   	<p>Налични са срещу завъртане на напречното сечение и в двата края. Няма укрепления (запъвания) срещу депланиране на напречното сечение.</p> <p>Забележка: aL е разстоянието от левия край на елемента до приложената точка на усукващия момент T.</p> <p>Алтернативно: Концентрирани усукващи моменти $T/3$, приложени в четвъртините.</p> <p>Или: Концентрирани усукващи моменти $T/2$, приложени в третините.</p>	<p><u>Случай (а) при $x \leq aL$</u></p> $\phi = [Ta/(GI_t)] \{ (1-a)x/a + [sh(aL/a)/th(L/a) - ch(aL/a)] sh(x/a) \}$ $\phi' = [T/(GI_t)] \{ (1-a) + [sh(aL/a)/th(L/a) - ch(aL/a)] ch(x/a) \}$ $\phi'' = [T/(GI_t a)] [sh(aL/a)/th(L/a) - ch(aL/a)] sh(x/a)$ $\phi''' = [T/(GI_t a^2)] [sh(aL/a)/th(L/a) - ch(aL/a)] ch(x/a)$ <p><u>Случай (b) при $x > aL$</u></p> $\phi = [Ta/(GI_t)] [(L-x)a/a + sh(aL/a)sh(x/a)/th(L/a) - sh(aL/a)ch(x/a)]$ $\phi' = [T/(GI_t)] [-a + sh(aL/a)ch(x/a)/th(L/a) - sh(aL/a)sh(x/a)]$ $\phi'' = [T/(GI_t a)] [sh(aL/a)sh(x/a)/th(L/a) - sh(aL/a)ch(x/a)]$ $\phi''' = [T/(GI_t a^2)] [sh(aL/a)ch(x/a)/th(L/a) - sh(aL/a)sh(x/a)]$ <p><u>Специален случай (с), при който $x = aL = L/2$</u></p> $\phi = [Ta/(GI_t)] [L/(4a) + \{sh[L/(2a)]/th(L/a) - ch[L/(2a)]\} sh(L/(2a))]$ $\phi'' = [T/(GI_t a)] \{sh[L/(2a)]/th(L/a) - ch[L/(2a)]\} sh[L/(2a)]$ <p>За случаите на натоварване в третините и четвъртините да се използват формулите за случая с един концентриран товар, като се сумират резултатите от двата или от трита приложени концентрирани усукващи моменти.</p>

Таблица 6.0 (лист 3) - Изрази за ϕ , ϕ' , ϕ'' и ϕ'''

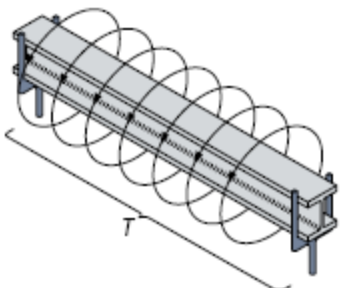
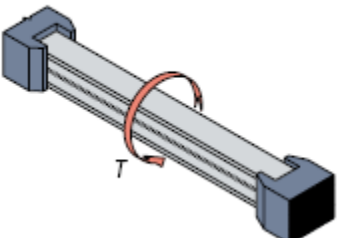
СЛУЧАЙ	ОПИСАНИЕ	ФОРМУЛИ
<p>4</p> 	<p>Налични са укрепвания срещу завъртане на напречното сечение и в двата края.</p> <p>Няма укрепвания (запъвания) срещу депланиране на напречното сечение.</p> <p>Равномерно разпределен усукващ момент T по цялата дължина на елемента.</p>	$\phi = [Ta^2/(GI_tL)] \{ (Lx-x^2)/(2a) + ch(x/a) - th[L/(2a)] sh(x/a) - 1 \}$ $\phi' = [Ta/(GI_tL)] \{ L/(2a) - x/a + sh(x/a) - th[L/(2a)] ch(x/a) \}$ $\phi'' = [T/(GI_tL)] \{ -1 + ch(x/a) - th[L/(2a)] sh(x/a) \}$ $\phi''' = [T/(GI_tLa)] \{ sh(x/a) - th[L/(2a)] ch(x/a) \}$
<p>5</p> 	<p>Както случай 3, но с пълно укрепвания (запъвания) срещу депланиране и завъртане на напречното сечение и при двата края.</p> <p>Забележка: Изразите за K_1 и т.н. са дадени на края на таблицата.</p>	<p><u>(a) при $x \leq aL$</u></p> $\phi = [Ta/(GI_t)] \{ (K_1 - K_3 + K_4) [ch(x/a) - 1] - sh(x/a) + x/a \} / (K_1 + 1)$ $\phi' = [Ta/(GI_t)] \{ (K_1 - K_3 + K_4) sh(x/a) - ch(x/a) + 1 \} / (K_1 + 1)$ $\phi'' = [T/(GI_t a)] \{ (K_1 - K_3 + K_4) ch(x/a) - sh(x/a) \} / (K_1 + 1)$ $\phi''' = [T/(GI_t a^2)] \{ (K_1 - K_3 + K_4) sh(x/a) - ch(x/a) \} / (K_1 + 1)$ <p><u>(b) при $x \geq aL$</u></p> $\phi = Z / (1 + 1/K_1)$ $Z = [Ta/(GI_t)] [K_2 + K_5 ch(x/a) + \{ [ch(aL/a) - 1]/K_1 + ch(aL/a) \} sh(x/a) - x/a]$ $\phi' = Z' / (1 + 1/K_1)$ $Z' = [Ta/(GI_t)] [K_5 sh(x/a) + \{ [ch(aL/a) - 1]/K_1 + ch(aL/a) \} ch(x/a) - 1]$ $\phi'' = Z'' / (1 + 1/K_1)$ $Z'' = [T/(GI_t a)] [K_5 ch(x/a) + \{ [ch(aL/a) - 1]/K_1 + ch(aL/a) \} sh(x/a)]$ $\phi''' = Z''' / (1 + 1/K_1)$ $Z''' = [T/(GI_t a^2)] [K_5 sh(x/a) + \{ [ch(aL/a) - 1]/K_1 + ch(aL/a) \} ch(x/a)]$

Таблица 6.0 (лист 4) - Изрази за ϕ , ϕ' , ϕ'' и ϕ'''

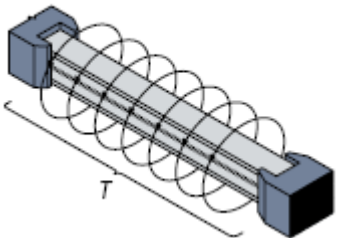
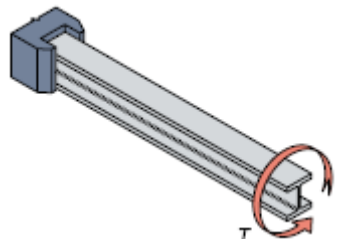
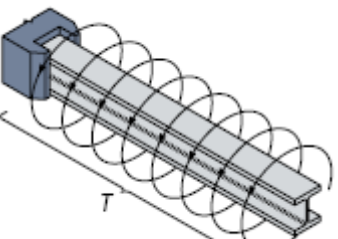
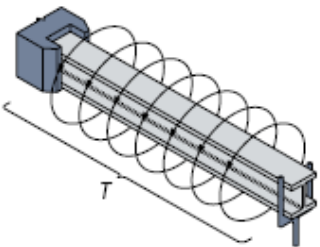
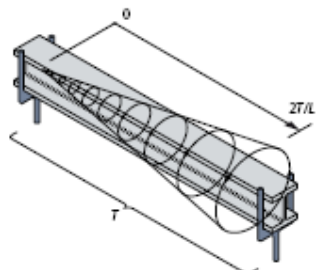
СЛУЧАЙ	ОПИСАНИЕ	ФОРМУЛИ
<p>6</p> 	<p>Както случай 4, но с пълно укрепвания (запъвания) срещу депланиране и завъртане на напречното сечение и при двата края.</p>	$\phi = [Ta/(2GI_t)] \{ [1+ch(L/a)][ch(x/a)-1]/sh(L/a)+(1-x/L)x/a-sh(x/a) \}$ $\phi' = [T/(2GI_t)] \{ [1+ch(L/a)][sh(x/a)/sh(L/a)]+1-2x/L-ch(x/a) \}$ $\phi'' = [T/(2GI_t a)] \{ [1+ch(L/a)][ch(x/a)/sh(L/a)]-2a/L-sh(x/a) \}$ $\phi''' = [T/(2GI_t a^2)] \{ [1+ch(L/a)][sh(x/a)/sh(L/a)]-ch(x/a) \}$
<p>7</p> 	<p>Както случай 1, но единият край е напълно укрепен (запънат) срещу завъртане и усукване.</p> <p>Концентрираният усукващ момент е приложен в свободния край.</p>	$\phi = [Ta/(GI_t)] \{ th(L/a)[ch(x/a)-1]-sh(x/a)+x/a \}$ $\phi' = [T/(GI_t)] [th(L/a)sh(x/a)-ch(x/a)+1]$ $\phi'' = [T/(GI_t a)] [th(L/a)ch(x/a)-sh(x/a)]$ $\phi''' = [T/(GI_t a^2)] [th(L/a)sh(x/a)-ch(x/a)]$
<p>8</p> 	<p>Както случай 6, но единият край е напълно укрепен (запънат) срещу завъртане и усукване.</p> <p>Усукващият момент T е равномерно разпределен по дължината на елемента.</p>	$\phi = [Ta^2/(GI_t L)] \{ K_8[ch(x/a)-1]-(L/a)sh(x/a)+(x/a)[(L/a)-x/(2a)] \}$ $\phi' = [Ta/(GI_t L)] [K_8 sh(x/a)-(L/a)ch(x/a)+(L/a-x/a)]$ $\phi'' = [T/(GI_t L)] [K_8 ch(x/a)-(L/a)sh(x/a)-1]$ $\phi''' = [T/(GI_t La)] [K_8 sh(x/a)-(L/a)ch(x/a)]$

Таблица 6.0 (лист 5) - Изрази за ϕ , ϕ' , ϕ'' и ϕ'''

СЛУЧАЙ	ОПИСАНИЕ	ФОРМУЛИ
<p>9</p> 	<p>Както случай 4, но единия край е напълно укрепен (запънат) срещу депланиране и завъртане на напречното сечение.</p>	$\phi = [Ta^2/(GI_t L)] \{K_{10} [th(L/a) - x/a - th(L/a) ch(x/a) + sh(x/a)] + ch(x/a)/ch(L/a) - 1/ch(L/a) - x^2/(2a^2)\}$ $\phi' = [Ta/(GI_t L)] \{K_{10} [-1 - th(L/a) sh(x/a) + ch(x/a)] + sh(x/a)/ch(L/a) - x/a\}$ $\phi'' = [T/(GI_t L)] \{K_{10} [-th(L/a) ch(x/a) + sh(x/a)] + ch(x/a)/ch(L/a) - 1\}$ $\phi''' = [T/(GI_t La)] \{K_{10} [-th(L/a) sh(x/a) + ch(x/a)] + sh(x/a)/ch(L/a)\}$
<p>10</p> 	<p>Налични са укрепления срещу завъртане и в двата края. Няма укрепления (запъвания) срещу депланиране.</p>	$\phi = [2T/(GI_t)] [x/6 - xa^2/L^2 + (a^2/L) sh(x/a)/sh(L/a) - x^3/(6L^2)]$ $\phi' = [2T/(GI_t)] [1/6 - a^2/L^2 + (a/L) ch(x/a)/sh(L/a) - x^2/(2L^2)]$ $\phi'' = [2T/(GI_t)] [(1/L) sh(x/a)/sh(L/a) - x/L^2]$ $\phi''' = [2T/(GI_t)] \{[1/(aL)] ch(x/a)/sh(L/a) - 1/L^2\}$

$$K_1 = \{[1 - ch(aL/a)]/th(L/a) + [ch(aL/a) - 1]/sh(L/a) + sh(aL/a) - aL/a\} / \{[ch(L/a) + ch(aL/a)ch(L/a) - ch(aL/a) - 1]/sh(L/a) + (a-1)L/a - sh(aL/a)\}$$

$$K_2 = [ch(aL/a) - 1] / [K_1 sh(L/a)] + [ch(aL/a) - ch(L/a) + (L/a)sh(L/a)] / sh(L/a)$$

$$K_3 = [1/sh(L/a) + sh(aL/a) - ch(aL/a)] / th(L/a)$$

$$K_4 = [sh(aL/a) - ch(aL/a)] / th(L/a) + 1/th(L/a)$$

$$K_5 = [1 - ch(aL/a)] / [K_1 th(L/a) + [1 - ch(aL/a)ch(L/a)] / sh(L/a)]$$

$$K_8 = th(L/a) [(L/a) - sh(L/a)] + ch(L/a)$$

$$K_{10} = [(L^2/(2a^2) - 1 + 1/ch(L/a))] / [th(L/a) - (L/a)]$$

Забележка: При всички случаи Т е пълният усукващ момент действащ върху елемента.

2. Допълнителни пояснения към 6.2., от БДС EN 1993-1-1 - [1] за изчисляване на елементи, подложени на усукване и огъване

Настоящият текст представлява допълнение към 6.2. от [1], със следното съдържание:

Огъване и усукване

- Напречни сечения от клас 1 и клас 2
- Отворени сечения (без T , X и L профили)

При отворени напречни сечения срязващата сила в резултат на стеснено (огъвно) усукване (**огъвно усукване/"усукване с възпрепятствана деформация"**) е пренебрежимо малка и може да не бъде отчитана. Необходимо е да бъде изпълнено условието:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right]^2 + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{pl,f,Rd}} \leq 1, \quad (6.45.1)$$

където:

$M_{w,Ed}$ е изчислителен поясен момент вследствие на бимомент B_{Ed} . Поясният момент действа в равнината на всеки от поясите. Поясните моменти са еднакви по големина, но противоположни по посока в двата пояса;

$M_{pl,f,Rd}$ е изчислителната **носеща способност (носимоспособност)** на огъване в пластичен стадий на разглеждания пояс в неговата равнина.

При двойносиметрични и моносиметрични I и H сечения може да се използва следната формула за получаване на поясния момент $M_{w,Ed}$:

$$M_{w,Ed} = \pm \frac{EI_w}{(h - t_f)} \phi'', \quad (6.45.2)$$

където:

I_w е инерционен момент при стеснено (огъвно) усукване (**огъвно усукване / "усукване с възпрепятствана деформация"**);

ϕ'' е втората производна на ъгълът на завъртане (**ъгъл на усукване**) на напречното сечение, за което се извършва проверка. Знаците + и – се отнасят за посоките на въртене на поясните моменти в двата пояса. ϕ'' може да бъде определена по формулите дадени в таблица 6.0 за конкретен случай на натоварване на гредата с усукващ момент при конкретни опорни условия.

При двойносиметрични I и H сечения $M_{pl,f,Rd}$ може да бъде определена по следната формула:

$$M_{pl,f,Rd} = \frac{M_{pl,z,Rd}}{2}, \quad (6.45.3)$$

където:

$M_{pl,f,Rd}$ е **носеща способност (носимоспособност)** на огъване спрямо *ос z* на сечението при работа в пластичен стадий.

Алтернативно при моносиметрични I и H сечения може да бъдат използвани следните формули за получаване на поясния момент $M_{w,Ed}$:

$$M_{w,Ed} = \pm EI_{z,tf} \phi'' e_{s,tf}, \quad (6.45.4)$$

$$M_{w,Ed} = \pm EI_{z,bf} \phi'' e_{s,bf}, \quad (6.45.5)$$

където:

$I_{z,tf}$ е инерционният момент на горния пояс спрямо *ос z*;

$I_{z,bf}$ е инерционният момент на долния пояс спрямо *ос z*;

$e_{s,tf}$ е разстоянието от центъра на срязване на сечението до центъра на тежестта на горния пояс.

$e_{s,bf}$ е разстоянието от центъра на срязване на сечението до центъра на тежестта на долния пояс. Тези разстояния могат да се видят от фигура 6.3.1 - Размери на моносиметрично I сечение.

Разстоянията $e_{s,tf}$ и $e_{s,bf}$ могат да бъдат определени по следните формули:

$$e_{s,tf} = \frac{(h - t_f) I_{z,bf}}{I_{z,tf} + I_{z,bf}}, \quad (6.45.6)$$

$$e_{s,bf} = \frac{(h - t_f) I_{z,tf}}{I_{z,tf} + I_{z,bf}}, \quad (6.45.7)$$

При моносиметрични I и H сечения $M_{pl, f, Rd}$ е различна за горния и долния пояси.

За горния пояс $M_{pl, tf, Rd}$ може да се определи по следната формула:

$$M_{pl, tf, Rd} = \frac{W_{pl, z, tf} f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (6.45.8)$$

където:

$W_{pl, z, tf}$ е пластичния съпротивителен момент на горния пояс спрямо *ос z*.

За долния пояс $M_{pl, bf, Rd}$ може да се определи по следната формула:

$$M_{pl, bf, Rd} = \frac{W_{pl, z, bf} f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (6.45.9)$$

където:

$W_{pl, z, bf}$ е пластичният съпротивителен момент на долния пояс спрямо *ос z*.

- Затворени сечения.

При затворени сечения трябва да бъде отчетено влиянието на срязващите напрежения $\tau_{t, Ed}$ вследствие на усукването по St. Venant. Необходимо е да бъде изпълнено следното условие:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{V,y,Rd}} \right]^{1,66} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{V,z,Rd}} \right]^{1,66} \leq 1, \quad (6.45.10)$$

Проф. Рангелов - Този критерий съвпада с (6.41) при липса на нормално усилие ($n=0$), но само при правоъгълни кутиеобразни сечения. Не е ясно обаче доколко е приложимо тук. Липсва обосновка.

където:

$$M_{V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right], \quad (6.45.11)$$

Проф. Рангелов - Тези изрази предполагат, че при усукване влиянието на срязващите напрежения трябва винаги да се отчита, което противоречи на § 6.2.8(2)?

$$M_{V,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right]. \quad (6.45.12)$$

Определянето на $\tau_{t,Ed}$ може да се извърши по следната формула:

$$\tau_{t,Ed} = \frac{T_{t,Ed}}{I_t} t, \quad (6.45.13)$$

Проф. Рангелов - Това е грешно! Така се определят тангенциалните напрежения при "чисто" усукване на отворени сечения. При затворени сечения приложима е формулата на Bredt.

където:

$T_{t,Ed}$ е изчислителен усукващ момент по St. Venant;

- при кръгли тръбни сечения:

$$T_{t,Ed} = T_{Ed}; \quad T_{w,Ed} = 0; \quad (6.45.13a)$$

- при кутиеобразни тръбни сечения може да се приеме, че:

$$T_{t,Ed} \approx T_{Ed}; \quad T_{w,Ed} \approx 0; \quad (6.45.13b)$$

A_m е площта определена от средната линия на тънкостенното кутиеобразно сечение;

t е дебелината на стената на затвореното сечение.

- **Напречни сечения от клас 3.**
- **Отворени сечения (без T , X и L профили).**

Необходимо е да бъде изпълнено условието:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,el,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,el,Rd}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{f,el,Rd}} \leq 1, \quad (6.45.14)$$

където:

$M_{f,el,Rd}$ е изчислителна ~~носеща способност~~ (носимоспособност) на огъване спрямо *ос z* на разглеждания пояс при работа в еластичен стадий.

При двойносиметрични *I* и *H* сечения $M_{f,el,Rd}$ може да се определи по следната формула:

$$M_{f,el,Rd} = \frac{M_{z,el,Rd}}{2}, \quad (6.45.15)$$

където:

$M_{z,el,Rd}$ е изчислителна ~~носеща способност~~ (носимоспособност) на огъване спрямо *ос z* на сечението при работа в еластичен стадий.

При моносиметрични *I* и *H* сечения $M_{f,el,Rd}$, се определя чрез използване на еластичния съпротивителен момент на разглеждания пояс спрямо *ос z*.

- Затворени сечения.

Необходимо е да бъде изпълнено следното условие:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + 3 \left(\frac{\tau_{t,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1, \quad (6.45.16)$$

където:

$\sigma_{x,Ed}$ е максималното нормално напрежение в сечението вследствие работа на просто или двойно огъване в еластичен стадий;

$\tau_{t,Ed}$ се определя по формула (6.45.13).

Проф. Рангелов - Целесъобразно е да се добави:

а $\tau_{t,Ed}$ се определя по формула (6.45.13), при положение че тя е коригирана с формулата на Bredt за затворени сечения.

3. Допълнителни пояснения към т.6.3.2.2., от БДС EN 1993-1-1 - [1]

Настоящият текст представлява допълнение към 6.3.2.2 от [1] със следното съдържание:

- Определяне на M_{cr} при моносиметрични напречни сечения (симетрични спрямо $os z$):

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\} \quad (6. 65.1)$$

където:

L е дължината на елемента между точките, в които е предвидено укрепване срещу странично преместване;

C_1 , C_2 и C_3 са коефициенти, които зависят от натоварването и от опорните условия в краищата на елемента (таблица 6.1. и таблица 6.2.);

k_z е коефициент на изкълчвателна дължина при измятане отчитащ възможността за завъртане на опорните сечения спрямо $os z$;

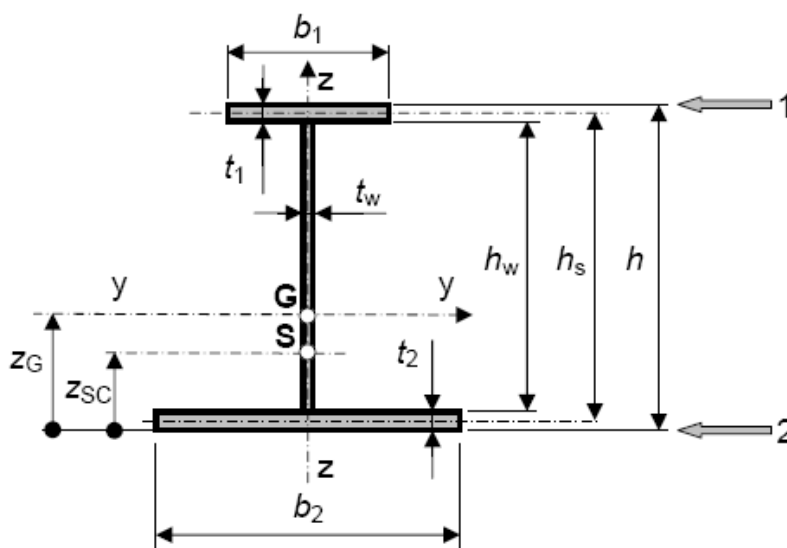
k_z е коефициент на изкълчвателна дължина при измятане отчитащ възможността за депланиране на опорните сечения;

$$z_g = z_a - z_s; \quad (6. 65.1a)$$

$$z_j = z_s - \frac{0,5}{I_y} \int_A z(y^2 + z^2) dA; \quad (6. 65.1b)$$

z_a е ординатата на приложената точка на товара;

z_s е ординатата на центъра на срязване: ($z_s = z_G - z_{SC}$ съгласно означенията, дадени на фигура 6.4.1).



Фигура 6.4.1 - Размери на моносиметрично I сечение.

Легенда:

1 – Горни влакна

G – Център на тежестта

2 – Долни влакна

S – Център на срязване

$$z_{SC} = \frac{t_2}{2} + h_s \frac{b_1^3 t_1}{b_2^3 t_2 + b_1^3 t_1}; \quad (6. 65.1в)$$

I_t е инерционен момент при усукване по St. Venant;

$$I_t = \frac{b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + h_w t_w^3}{3}; \quad (6. 65.1г)$$

I_w е инерционен момент при стеснено (огъвно) усукване (огъвно усукване / "усукване с възпрепятствана деформация");

$$I_w = h_s^2 I_z \frac{b_1^3 t_1 b_2^3 t_2}{(b_1^3 t_1 + b_2^3 t_2)^2}; \quad (6. 65.1д)$$

G е модул на срязване;

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}; \quad (\nu = 0,3 \text{ при стомана}). \quad (6. 65.1е)$$

Коефициентите на изкълчвателна дължина при измятане k_z и k_w се приемат както следва:

- 0,5 пълно запъване и в двата края;
- 0,7 единия край е запънат, а другия е свободен;
- 1,0 няма запъвания.

Нормалните опорни условия при всеки край са:

- $k_z = 1$ възможно е завъртане спрямо *ос z* налично е укрепване срещу странично преместване;
- $k_w = 1$ възможно е депланиране налично е укрепване срещу завъртане спрямо надлъжната ос.

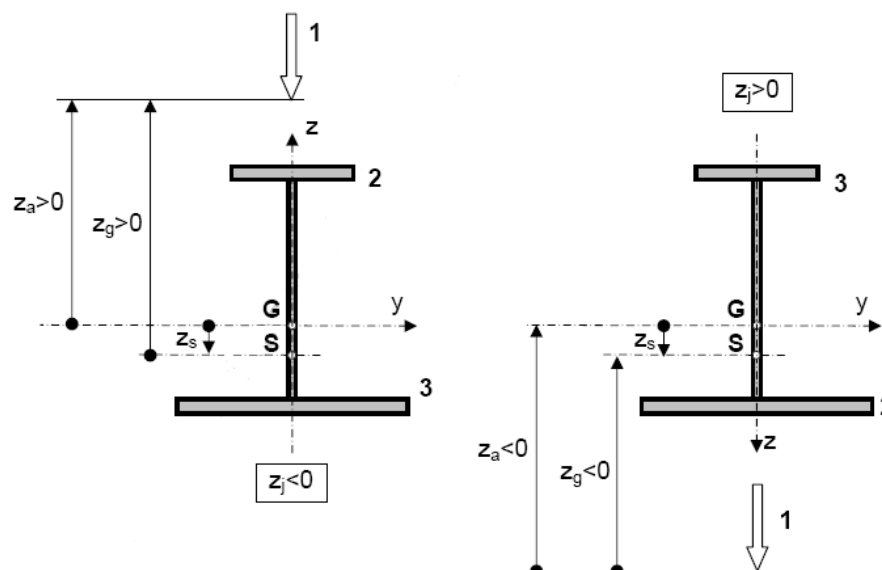
Правила за знаците на z , z_a , z_g и z_j :

Правилата за знаците на z , z_a , z_g и z_j са дадени на фигура 6.4.2. Те са следните:

- z е положително при посока от центъра на тежестта на сечението към натиснатия пояс;
- z_a е положително, когато приложната точка на товара има положителна z координата;
- z_g е положително при товари, действащи в направление от тяхната приложна точка към центъра на срязване;
- z_j е положително, когато поясът с по-голям инерционен момент I_z е натиснат в мястото на максималния огъващ момент.

Приблизително изчисляване на z_j :

- нека с b_c и t_c да бъдат означени размерите на натиснатия пояс;
- нека с b_t и t_t да бъдат означени размерите на опънатия пояс;



Фигура 6.4.2 - Правила за знаците на z , z_a , z_g и z_j .

Легенда: 1 – Посока на натоварване 2 – Натиск 3 – Опън

$$\beta_f = \frac{b_c^3 t_c}{b_c^3 t_c + b_t^3 t_t}; \quad (6. 65.1ж)$$

- При $\beta_f > 0,5$, тогава $z_j = 0,4 h_s (2 \beta_f - 1)$;
- При $\beta_f < 0,5$, тогава $z_j = 0,5 h_s (2 \beta_f - 1)$.

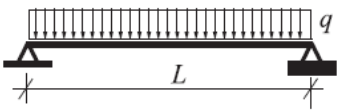

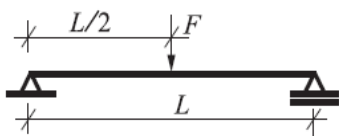

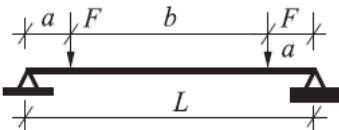

Таблица 6.1. – Стойности на C_1 и C_3 при линейна диаграма на огъващите моменти

Натоварване и опорни условия	Моментова диаграма	$\psi =$	k_z	C_1	C_3	
					$\psi_f \leq 0$	$\psi_f \geq 0$
		1.0	1.0	1.00	1.000	
		= +3/4	1.0	1.14	1.000	
		= +1/2	1.0	1.31	1.000	
		= +1/4	1.0	1.52	1.000	
		= 0	1.0	1.77	1.000	
		= -1/4	1.0	2.06	1.000	0.850
		= -1/2	1.0	2.35	1.000	1.3 - 1.2 ψ_f
		= +3/4	1.0	2.60	1.000	0.55 - ψ_f
		= +1	1.0	2.60	- ψ_f	- ψ_f
		= -1	0.5	2.45	-0.125 - 0.7 ψ_f	-0.125 - 0.7 ψ_f

Пояснения към таблица 6.1:

- При линейна диаграма на огъващите моменти: $C_2 z_g = 0$;
- $\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$, където I_{fc} и I_{ft} са инерционните моменти на натиснатия и опънатия пояс спрямо ос z ;
- C_1 трябва да бъде разделен на 1,05 при $\frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} \leq 1,0$, но $C_1 \geq 1$.

Таблица 6.2. – Стойности на C_1 , C_2 и C_3 за напречно натоварване

Натоварване и опорни условия	Моментова диаграма	k_z	C_1	C_2	C_3
		1.0	1.12	0.45	0.525
		0.5	0.97	0.36	0.478
		1.0	1.35	0.59	0.411
		0.5	1.05	0.48	0.338
		1.0	1.04	0.42	0.562
		0.5	0.95	0.31	0.539

Забележка: $a = 1/4$. При моносиметрични двойно T сечения, таблици 6.1 и 6.2 могат да бъдат използвани само, ако е изпълнено следното условие: $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$.

- Определяне на M_{cr} при двойносиметрични напречни сечения:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}} + (C_2 z_g)^2 - C_2 z_g \right\}. \quad (6. 65.2)$$

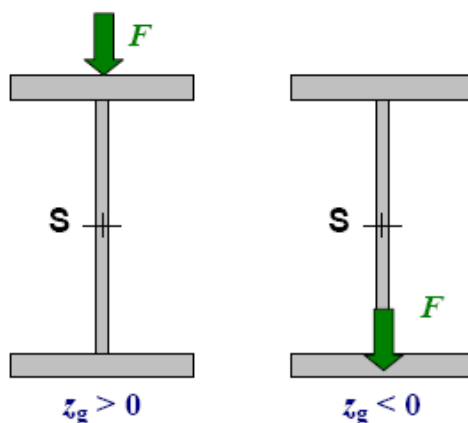
Означенията във формула (6.56.2) са както във формула (6.56.1).

Правило за знака на z_g :

Правилото за знака на z_g е дадено на фигура 6.4.3. То е следното:

- z_g е положително при товари действащи в направление от тяхната приложна точка към центъра на срязване;

Коефициентите C_1 и C_2 , зависещи от натоварването и от опорните условия в краищата на елемента са дадени в таблица 6.1. и таблица 6.2.



Фигура 6.4.3 – Правило за знака на z_g .

- Определяне на M_{cr} при U-сечения:

Проф. Рангелов - В статията

Braham M., Н. Рангелов, „Обща устойчивост на стоманени греди с I-сечение – един коментар върху подхода на Еврокод 3“, Строителство, бр. 1, 2001, стр. 2-9. е направен анализ на произхода на формулата от Аппех F (тук формула (6.65.1)). Тази формула и нейните производни са изведени и съответно валидни само за моносиметрично I-сечение и то при форма на измътане с една полуълна. Предлагането на подобна формула за U-сечение е съмнително и даже опасно.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}. \quad (6. 65.3)$$

Означенията във формула (6.56.3) са както във формула (6.56.1).

Коефициентът C_1 зависи от натоварването и от опорните условия в краищата на елемента е даден в таблица 6.1. и таблица 6.2.

Определянето на χ_{LT} и ϕ_{LT} може да се извърши съгласно клауза 6.3.2.3 (1) от [1].

Коефициентът за несъвършенства α_{LT} е препоръчително да се отчита за крива на измътане „d“.

- Определяне на M_{cr} при конзолни елементи:

Предпоставки:

- елементът е с постоянно двойносиметрично напречно сечение;
- елементът не е укрепен, освен при опорите;
- елементът е укрепен срещу усукване при опорите;
- нормалната сила в елемента е пренебрежително малка;
- товарите са приложени нормално към елемента, предизвикващи огъване спрямо ос y ; Проф. Рангелов - какво значи "нормално"

Не мога да коментирам представеното за конзоли, тъй като не ми е известен източникът и неговата надеждност.

Проф. Рангелов - При един тестов пример по формулите тук в сравнение с програмата 'LTBeam' (на STICM) се получи добро съответствие, но това не е доказателство.

Тъй като предлаганите методики са много отговорни, въпросът ми е как те са тествани?

Критичната стойност M_{cr} на максималния момент M при опората на конзолна греда се определя по следната формула:

$$M_{cr} = C.M_{cr,0}, \quad (6. 65.4)$$

където:

$M_{cr,0}$ е еластичен критичен момент при измятане на греда със статическа схема проста греда (с вилични опорни условия в краищата) с постоянен огъващ момент по цялата дължина на гредата, игнорирайки коравината на гредата срещу деформиране;

C е глобален коефициент, отчитащ влиянието на:

- разпределението на огъващите моменти по дължина на елемента;
- коравината срещу деформиране на елемента;
- положението на приложената точка на товара, под или над центъра на срязване;
- опорните условия при края (деформиране).

$M_{cr,0}$ се определя по следната формула:

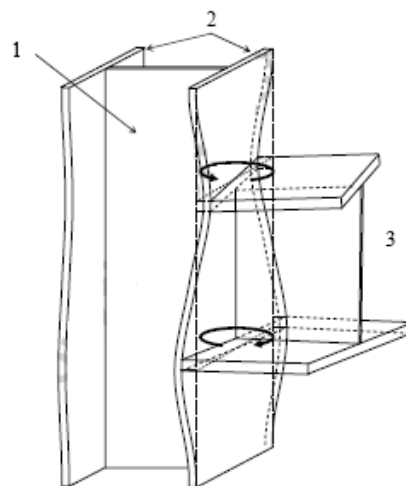
$$M_{cr,0} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_z GI_t}. \quad (6. 65.5)$$

Означенията във формула (6.65.5) са както във формула (6.65.1).

Разгледани са два случая на укрепване срещу деформиране при опората:

- деформирането е абсолютно неограничено;
- деформирането е напълно ограничено.

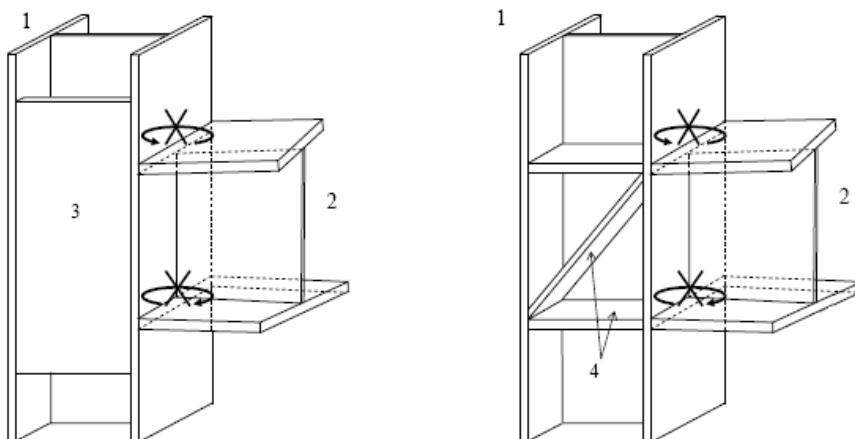
На фигура 6.4.4 е показан случай, при който може да бъде прието, че деформирането е абсолютно неограничено:



Фигура 6.4.4 – Случай на „абсолютно” неограничено депланиране.

Легенда: 1 – Колона 2 – Тънки пояси 3 – Конзола

На фигура 6.4.5 са показани два случая, при които може да бъде прието, че депланирането е напълно ограничено:



Фигура 6.4.5 - Случай на „напълно” ограничено депланиране.

Легенда: 1 – Колона 3 – Укрепващи плочи (двустранно)
 2 – Конзолна греда 4 – Укрепващи ребра (двустранно)

За конкретно натоварване и конкретни опорни условия (касаещи депланирането) коефициентът C може да бъде определен в зависимост от два параметъра:

- параметър k_{wt} - отчитащ коравината при депланиране на гредата;

$$k_{wt} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} \quad (6. 65.5a)$$

- параметър η - отчитащ дестабилизиращия или стабилизиращия ефект от прилагане на товара над или под центъра на срязване;

$$\eta = \frac{z_a}{h_s / 2} \quad (6. 65.5б)$$

където:

z_a е разстоянието от приложената точка на товара до центъра на срязване;

h_s е независимо от формата на сечението и се определя по:

$$h_s = 2 \sqrt{\frac{I_w}{I_z}}. \quad (6. 65.5в)$$

За двойносиметрични I сечения, h_s може да бъде приет като разстояние между центровете на срязване на двата пояса:

$$h_s = h - t_f \quad (6. 65.5г)$$

където:

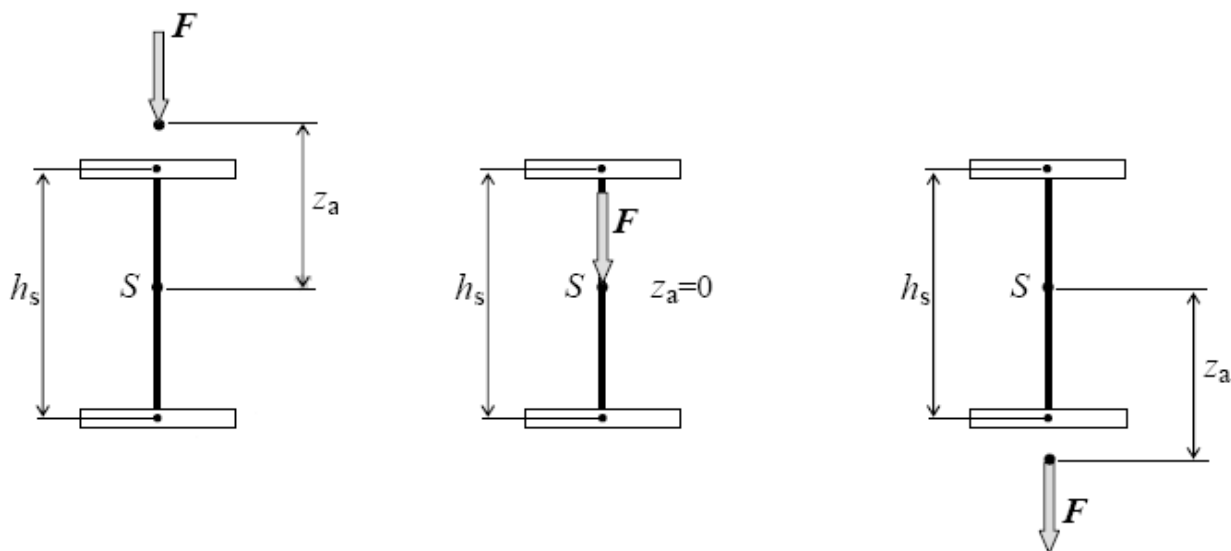
h е общата височина на сечението;

t_f е дебелина на поясите на сечението.

Правила за знака на η

Правилата за знакът на η са илюстрирани на фигура 6.4.6. За товар, приложен в центъра на срязване S на напречното сечение, $z_a = 0$ и $\eta = 0$. В останалите случаи правилата за знак на η са както следва:

- при товар действащ в посока към центъра на срязване S – товара предизвиква дестабилизиращ ефект (фигура 6.4.6 а) и η е положително;
- обратно при товар действащ в обратна посока спрямо центъра на срязване S – товара предизвиква стабилизиращ ефект (фигура 6.4.6 с) и η е отрицателно.



Фигура 6.4.6 - Правила за знакът на η .

Дестабилизиращ ефект

Стабилизиращ ефект

a) $\eta > 0$

b) $\eta = 0$

c) $\eta < 0$

Стойностите за коефициентът C са дадени в табличен вид за следните товарни състояния:

- равномерно разпределен товар q по дължина на конзолата (таблица 6.3.);
- концентрирана сила F , приложена в свободния край на конзолата (таб. 6.4.);
- външен концентриран момент C_M , приложен в свободния край на конзолата (таблица 6.5.).

Стойностите на параметрите k_{wt} и η , за които са съставени таблиците са приети в следните граници:

$$0 \leq k_{wt} \leq 1, \quad (6. 65.5д)$$

$$-2 \leq \eta \leq 3. \quad (6. 65.5е)$$

Таблица 6.3. – Стойности на C при равномерно разпределен товар q .

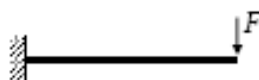


		стабилизиращ ефект * ⇐				η	⇒ дестабилизиращ ефект **									
		Kwt	-2,00	-1,50	-1,00	-0,50	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00
Неограничено депланиране	0		2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
	0,05		2,42	2,34	2,25	2,16	2,06	2,02	1,97	1,92	1,87	1,82	1,77	1,67	1,58	1,49
	0,1		2,87	2,71	2,53	2,34	2,13	2,03	1,92	1,82	1,71	1,61	1,52	1,35	1,20	1,07
	0,15		3,37	3,14	2,87	2,56	2,22	2,05	1,87	1,71	1,56	1,42	1,30	1,09	0,93	0,81
	0,2		3,93	3,62	3,25	2,82	2,32	2,06	1,82	1,60	1,41	1,25	1,12	0,91	0,76	0,65
	0,3		5,13	4,67	4,11	3,39	2,50	2,06	1,69	1,39	1,17	0,99	0,86	0,68	0,55	0,47
	0,4		6,40	5,79	5,04	4,02	2,66	2,02	1,54	1,21	0,98	0,81	0,70	0,54	0,43	0,36
	0,6		9,07	8,16	7,04	5,38	2,88	1,85	1,26	0,92	0,72	0,59	0,50	0,38	0,30	0,25
	0,8		11,8	10,6	9,11	6,82	3,00	1,65	1,03	0,73	0,56	0,46	0,38	0,29	0,23	0,19
	1		14,6	13,1	11,2	8,30	3,08	1,47	0,87	0,61	0,46	0,37	0,31	0,23	0,19	0,16
Ограничено депланиране	0		2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
	0,05		2,81	2,71	2,61	2,50	2,39	2,33	2,27	2,21	2,15	2,09	2,04	1,92	1,81	1,70
	0,1		3,76	3,55	3,33	3,07	2,80	2,65	2,51	2,36	2,22	2,08	1,95	1,72	1,52	1,35
	0,15		4,80	4,50	4,15	3,72	3,23	2,97	2,71	2,47	2,23	2,03	1,84	1,54	1,31	1,13
	0,2		5,91	5,51	5,03	4,42	3,68	3,28	2,89	2,53	2,22	1,96	1,74	1,40	1,17	1,00
	0,3		8,22	7,63	6,91	5,93	4,57	3,82	3,14	2,59	2,16	1,84	1,59	1,24	1,02	0,86
	0,4		10,6	9,82	8,87	7,52	5,45	4,29	3,32	2,62	2,13	1,78	1,52	1,17	0,95	0,79
	0,6		15,5	14,3	12,9	10,8	7,15	5,10	3,65	2,74	2,17	1,78	1,51	1,15	0,92	0,77
	0,8		20,4	18,9	17,0	14,2	8,85	5,92	4,05	2,98	2,33	1,90	1,60	1,22	0,98	0,82
	1		25,4	23,5	21,1	17,6	10,6	6,80	4,54	3,30	2,57	2,09	1,76	1,33	1,07	0,89

* за гравитачни товари, приложени под центъра на срязване

** за гравитачни товари, приложени над центъра на срязване

Таблица 6.4. –
Стойности на C при концентрирана
сила F в свободния край.

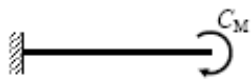


стабилизиращ ефект * ⇐		η		⇒ дестабилизиращ ефект **											
K_{wt}		-2,00	-1,50	-1,00	-0,50	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00
Неограничено депланиране	0	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
	0,05	1,39	1,37	1,34	1,31	1,28	1,26	1,25	1,23	1,21	1,19	1,17	1,13	1,08	1,04
	0,1	1,52	1,48	1,43	1,37	1,30	1,27	1,23	1,18	1,14	1,10	1,05	0,96	0,87	0,79
	0,15	1,65	1,60	1,53	1,45	1,34	1,27	1,21	1,13	1,06	0,99	0,92	0,80	0,69	0,61
	0,2	1,80	1,74	1,66	1,54	1,38	1,28	1,18	1,07	0,97	0,88	0,80	0,67	0,56	0,49
	0,3	2,15	2,07	1,94	1,75	1,45	1,27	1,10	0,94	0,81	0,70	0,61	0,49	0,40	0,34
	0,4	2,54	2,44	2,27	1,99	1,52	1,24	1,00	0,81	0,67	0,56	0,49	0,38	0,31	0,26
	0,6	3,41	3,26	3,01	2,52	1,60	1,14	0,81	0,61	0,49	0,40	0,34	0,26	0,21	0,17
	0,8	4,33	4,14	3,81	3,09	1,65	1,02	0,67	0,49	0,38	0,31	0,26	0,20	0,16	0,13
	1	5,29	5,06	4,63	3,70	1,68	0,91	0,57	0,40	0,31	0,25	0,21	0,16	0,13	0,11
Ограничено депланиране	0	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
	0,05	1,55	1,52	1,49	1,45	1,42	1,40	1,37	1,35	1,33	1,31	1,28	1,24	1,19	1,14
	0,1	1,86	1,81	1,75	1,67	1,58	1,54	1,48	1,43	1,37	1,31	1,25	1,13	1,02	0,92
	0,15	2,20	2,13	2,04	1,93	1,77	1,68	1,58	1,47	1,36	1,26	1,16	0,99	0,85	0,74
	0,2	2,56	2,48	2,37	2,21	1,96	1,81	1,65	1,48	1,32	1,18	1,06	0,86	0,72	0,62
	0,3	3,36	3,26	3,10	2,82	2,35	2,03	1,72	1,44	1,21	1,04	0,90	0,71	0,58	0,49
	0,4	4,21	4,08	3,88	3,49	2,72	2,21	1,75	1,39	1,14	0,95	0,82	0,63	0,51	0,43
	0,6	5,99	5,82	5,52	4,90	3,46	2,53	1,84	1,39	1,10	0,91	0,77	0,59	0,47	0,40
	0,8	7,83	7,61	7,22	6,36	4,20	2,88	2,00	1,48	1,16	0,95	0,80	0,61	0,49	0,41
	1	9,69	9,43	8,94	7,84	4,98	3,27	2,21	1,62	1,26	1,03	0,86	0,66	0,53	0,44

* за гравитачни товари, приложени под центъра на срязване

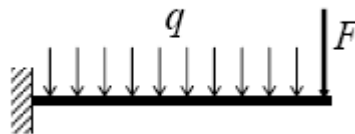
** за гравитачни товари, приложени над центъра на срязване

Таблица 6.5. –
Стойности на C при концентриран
момент C_M в свободния край.



	K_{wt}									
	0	-0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1
Неограничено депланиране	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,54
Ограничено депланиране	0,50	0,50	0,50	0,51	0,52	0,55	0,59	0,68	0,80	0,93

Определяне стойностите на коефициента C при комбинация от q и F .



Фигура 6.4.7 – Комбинация от q и F .

За всяка комбинация от:

- равномерно разпределен товар q по дължина на конзолата;
- концентрирана сила F , приложена в свободния край на конзолата удовлетворяващи следните условия:
 - и двата товара действат в една и съща посока;
 - когато са приложени извън центъра на срязване знаците на η са еднакви за двата товара без да е необходимо разстоянията от приложната точка на всеки товар до центъра на срязване да са еднакви.

Коефициентът C може да бъде изчислен по следната формула:

$$C = \frac{M_q + M_F}{\frac{M_q}{C_q} + \frac{M_F}{C_F}}, \quad (6. 65.5e)$$

където:

- M_q е огъващият момент при опората в резултат на разпределения товар q ;
- M_F е огъващият момент при опората в резултат на концентрираната сила F ;
- C_q е коефициентът C , определен за разпределения товар q (от табл. 6.3.);
- C_F е коефициентът C , определен за концентрираната сила F (от табл. 6.4.).

4. Допълнителни пояснения към формула A1, към приложение А от БДС EN 1993-6 - [2]

Настоящият текст представлява допълнение към приложение А от [2] със следното съдържание:

- Алтернативно на формула A.1 за проверка на устойчивост на елементи работещи на двойно огъване и усукване могат да се използват следните условия, изразени чрез формули A.2 и A.3:

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{C_{mz} M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{k_w k_{zw} k_a B_{Ed}}{B_{Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1, \quad (A.2)$$

където:

k_w е резултат от:

$$k_w = 0,7 - \frac{0,2 B_{Ed}}{B_{Rk} / \gamma_{M1}}; \quad (A.2a)$$

B_{Ed} е изчислителната стойност на бимоментата;

B_{Rk} е характеристикната ~~носеца способност~~ (носимоспособност) на бимоментата на сечението на гредата.

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{C_{mz} M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{k_w k_{zw} k_a M_{w,Ed}}{M_{f,z,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1, \quad (A.3)$$

където:

k_w е резултат от:

$$k_w = 0,7 - \frac{0,2 M_{w,Ed}}{M_{f,z,Rk} / \gamma_{M1}}; \quad (A.3a)$$

$M_{w,Ed}$ е изчислителна стойност на поясния момент (хоризонтален огъващ момент в поясите на сечението) вследствие на бимоментата B_{Ed} ;

$M_{f,z,Rk}$ е характеристикна ~~носеца способност~~ (носимоспособност) на огъване спрямо ос z на пояс, при който е приложено хоризонталното въздействие от кран.

- B_{Ed} може да бъде изчислено по формула (6.28.3) от точка 6.2.7.(10) на БДС EN 1993-1-1:2005.

- B_{Rk} може да бъде изчислено по следната формула:

$$B_{Rk} = M_{\min, f, z, Rk} (h - t_f), \quad (\text{A.4})$$

където:

$M_{\min, f, z, Rk}$ е равна на $M_{f, z, Rk}$ при двойносиметрични I сечения;

$M_{\min, f, z, Rk}$ е по-малката от характеристичните ~~носещи—способности~~ (носимоспособности) на огъване на поясите на сечението спрямо *ос z* при моносиметрични I сечения.

- $M_{w,Ed}$ и $M_{w,Rd}$ могат да бъдат изчислени, съгласно посоченото в Допълнителни пояснения към т.6.2., от БДС EN 1993-1-1:2005 от настоящето.