IX 2. V	I DAILIO SKSI ZDOKULKA SILLE.	1 1775-1-1, -1-0, januar 2010
Miesto	Je nesprávne	Má byť správne
obálka	199	1993
strana I	Ing. Ároch	doc. Ing. Ároch
strana VI, 2-krát	Ing. Ároch	doc. Ing. Ároch
Vysvetlenie	Na str. 185 výpočtový program	Skutočnosťou je, že v riešenom prípade
	RSTAB dáva hodnotu	$M_z = 0$ kNm a veličina C_{mz} používaná
	faktoru ekvivalentného momentu	na určenie ekvivalentného ohybového
	$C_{mz} = 0.9$ pre prút "ab" aj pre prút	momentu $M_{eqv.z} = C_{mz} M_z$ nemá žiadny
	,,bc".	význam. Možno by sa v takom prípade
	Ručný výpočet dáva pre prút "ab"	mohlo písať $C_{mz} = 0$.
	na str. 193 hodnotu $C_{mz} = 0.747$	
	a pre prút "bc" na str. 210 hodnotu	
	$C_{mz} = 0.747$. V ručnom výpočte je	
	to dôsledok toho, že $\psi_z = 0$ sa	
	určilo tak, aby na str. 187 pri	
	pomere koncových momentov pre	
	prútab", resp. na str. 205 pre prút	
	"bc" nedochádzalo deleniu nulou.	
Strana 18.	v l'avom stĺpce	v ľavom stĺpci
nad [H.1]	·····	·····
strana 66,	Maximum odolnosti prútovej	Maximum pružno-plastickej odolnosti
Poznámka	konštrukcie	prútovej konštrukcie
strana 69	4.3.1.3 Prút začiatočne zakrivený	4.3.1.3 Kĺbovo podoprený prút
	v tvare straty stability	začiatočne zakrivený v tvare straty
		stability
strana 89.	Vlastný tvar vybočenia a	Tvar pretvorenia a priebeh ohybových
Obr. 5.4.1	v prúte z príkladu 2	momentov v ráme z príkladu 1
strany 90 až 97	F	Nahraď priloženými stranami 90-97.
strana 100. tab.	chýbajúca definícia <i>u</i>	V tab. 5.6.1 je na výpočet
5.6.1. (ai	enybajaea definicia μ_m	$\sigma^{II}(x) = \sigma_{II}(x) \text{ použitý vzorec}$
v prednáške)		$O_M(x) = O_{\eta init}(x)$ pouzity vzorec
I i i i i i i i i i i i i i i i i i i i		(5.3.15) v tvare platnom pre $\gamma_{M1} = 1$
		a z neho odvodený násobiteľ
		$f_y = \alpha(\lambda_m - 0, 2)$
		$\mu_m = \frac{1}{\sigma_{\text{parsure}}^{II}} \frac{1}{\overline{\lambda}^2} (\alpha_{-1})$
		H_{cr}
		napätia $\sigma_{\eta cr}^{n}(x)$.
strana 100, tab.	$\lambda_m = 0,8522$	$\overline{\lambda}_m = 0.8522$
5.6.1, (aj	$\mu = 1.2568.10^{-6}$	$\mu = 1.2568 \ 10^{-2}$
v prednáške)		
strana 100, tab.	$\lambda_m = 0,84915$	$\lambda_m = 0,84915$
5.6.1, (aj	$\mu_{\rm m} = 1,2740.10^{-6}$	$\mu = 1.2740.10^{-2}$
v prednáške)		
strana 102,	Upozornenie: na týchto miestach je	Symbol "e" vo vzorci (5.8.2) a vo
vzorec (5.8.2) a	pouzívaný rovnaký symbol "e", aký	vzťahu "1/e" označuje veličinu, ktorá je
niżśie	je na iných miestach používaný pre	definovaná pod týmto vzorcom.
	funkciu definujúcu tvar	
	začiatočného zakrivenia " e",	
	rozumeie(x)	

ERRATA, VYSVETLENIA A FAREBNÉ OBRÁZKY (verzia 10.09.2010) K 2. VYDANIU SKSI ZBORNÍKA STN EN 1993-1-1, -1-8, január 2010

strana 129, A riadok zdola	Účinná výška steny	Výška steny, ktorá sa berie do úvahy
strang 144	V Príklade 3 ab"	V Príklada 3 pra prút ab"
2 riodok zdolo	V FIIKIAUE 5 "ab	V Fliklade 5 pie piut "ab
2. Hauok Zuola	mat'du	matádu
13. riadok zdola	met du	metodu
strana 146,	$h_{w.ab} = h_{ab} - 2(t_{f.ab} + r_{ab}) = 134 \text{ mm}$	$h_{w.ab} = h_{ab} - 2t_{f.ab} = 170 \text{ mm}$
v strede výšky		táto veličina sa ale v príklade ďalej
		nepoužíva
strana 146,	$h_{w.bc} = h_{bc} - 2(t_{f.bc} + r_{bc}) = 134 \text{ mm}$	$h_{w.bc} = h_{bc} - 2t_{f.bc} = 170 \text{ mm}$
7. riadok zdola		táto veličina sa ale v príklade ďalej
		nepoužíva
strana 158,	U = 0,72.	U = 0,7142. Je to prevzaté zo str. 267.
7. riadok zhora		
strana 159,	$h_{w.ab} = h_{ab} - 2(t_{f.ab} + r_{ab}) = 134 \text{ mm}$	$h_{w.ab} = h_{ab} - 2t_{f.ab} = 170 \text{ mm}$
v strede výšky		táto veličina sa ale v príklade ďalej
		nepoužíva
strana 159,	$h_{w.bc} = h_{bc} - 2(t_{f.bc} + r_{bc}) = 134 \text{ mm}$	$h_{w.bc} = h_{bc} - 2t_{f.bc} = 170 \text{ mm}$
7. riadok zdola		táto veličina sa ale v príklade ďalej
		nepoužíva
str. 160,	$h_{w,bd} = h_{bd} - 2(t_{f,bd} + r_{bd}) = 271 \text{ mm}$	$h_{w,bd} = h_{bd} - 2t_{f,bd} = 317 \text{ mm}$
5. riadok zhora		táto veličina sa ale v príklade ďalej
		nepoužíva
strana 180,	pretože	pretože $\kappa_{m} \ge 1$
7. riadok zhora		
strana 180,	pretože	pretože $\kappa_{ut} \ge 1$
9. riadok zhora		
strana 180,	$C_1 = 1,452$ bolo odčítane chybne	Správne malo byť $C_1 = 1,363$, potom sa
7. riadok zhora	z tab. NB.3.2 a to z nižšieho riadku	zmenia nasledujúce hodnoty takto:
strana 180,	= 215.655 kNm	= 202.436 kNm
8. riadok zhora		
strana 180,	= 190.329 kNm	= 183.287 kNm
11. riadok zhora		
strana 180,	= 190.329 kNm	= 183.287 kNm
1. riadok zdola	= 0.98	= 0.944
strana 181,	bola použitý	bol použitý
3. a 14. riadok		
zhora		
strana 181,	$U_{pl.end.bc} = 0.717$	$U_{el.end.bc} = 0.717$
stred výšky		
strany		
strana 186,	Prierez môže byť citlivý	Prút môže byť citlivý
v strede výšky		
strana 187,	$h_w = h - 2(t_f + r) = 134 mm$	$h_w = \overline{h - 2t_f} = 170 \text{ mm}$
v strede výšky		táto veličina sa ale v príklade ďalej
		nepoužíva
strana 187,	tabuľky 6.3 (v prípade	tabuľky 6.4 (v prípade všeobecnom),
6. riadok zdola	všeobecnom), resp. tabuľky 6.4	resp. tabuľky 6.5 (valcovaný I-profil)
	(valcovaný I-profil)	

strana 187, 4. riadok zdola	$h/b \le 2$, $bc_y = "b"$, $bc_z = "c"$,	Tab. 6.2 $h/b \le 1,2$ $t_f \le 100$ mm, $bc_y =$ "b", $bc_z =$ "c", tab. 6.4 $h/b \le 2$
strana 193, 7. riadok zhora	$d_{LT} = 2.a_{LT} \frac{\lambda_{p.0}^2}{0.1 + \lambda_{p.z}^4} \dots$	$d_{LT} = 2.a_{LT} \frac{\lambda_{p.0}}{0.1 + \lambda_{p.z}^4} \dots$
		v tomto príklade, kde $M_z = 0 kNm$, to má nulový vplyv na výsledné numerické výsledky
strana 193, 8. riadok zhora	$e_{LT} = 1,7.a_{LT} \frac{\lambda_{p,0}^2}{0,1+\lambda_{p,z}^4} \dots$	$e_{LT} = 1,7.a_{LT} \frac{\lambda_{p.0}}{0,1 + \lambda_{p.z}^4} \dots$
		v tomto príklade, kde $M_z = 0 kNm$, to má nulový vplyv na výsledné numerické výsledky
strana 193, 5. riadok zdola	$c_{zy} = \dots - c_{LT}]\dots$	$c_{zy} = d_{LT}]$ v tomto príklade to má zanedbateľný vplyv na numerické výsledky
strana 202, 3. riadok zhora	$\lambda_z = \frac{L}{i_z} = 100.364$	$\lambda_z = \frac{L_{z.LT}}{i_z} = 100.364$
strana 202, 2. riadok zhora	vzorec $k_p =0.838$, treba posunúť smerom nadol za vzorec $\lambda_z =$	potom bude $k_p =0.791$ a $\lambda_{LT} =47.716$
strana 202, vzorec pre M _{cr.BS}	treba nahradiť veličinu λ_{LT}^2	vzorcom $\left(\frac{\lambda_{LT}}{\sqrt{\beta_w}}\right)^2$,
strana 202, a) tabuľka posledný riadok	treba nahradiť čísla 174,377 342,533 0,516	potom $M_{cr.BS} =320,056$ kNm číslami 157,772 320,056 0,534. Ak by sme použili presnejší postup podľa BS 5950-1, prílohy B 2.3, dostali by sme: 170,419 354,713 0,514
strana 203, b) tabuľka posledný riadok	treba nahradiť čísla 174,377 342,533 0,516	číslami 157,772 320,056 0,534. Ak by sme použili presnejší postup podľa BS 5950-1, prílohy B 2.3, dostali by sme: 170,419 354,713 0,514
strana 204, 12. riadok zdola	Prierez môže byť citlivý	Prút môže byť citlivý
strana 205, 9. riadok zdola	$h_w = h - 2(t_f + r) = 134 \text{ mm}$	$h_w = h - 2t_f = 170 \text{ mm}$ táto veličina sa ale v príklade ďalej nepoužíva
strana 205, 3. riadok zdola	tabuľky 6.3 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.4 (valcovaný I-profil)	tabuľky 6.4 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.5 (valcovaný I-profil)
strana 205, 1. riadok zdola	$h/b \le 2$, $bc_y = "b"$, $bc_z = "c"$,	Tab. 6.2 $h/b \le 1,2$ $t_f \le 100$ mm, $bc_y =$ "b", $bc_z =$ "c", tab. 6.4 $h/b \le 2$
strana 209, pod riadkom	M _y , resp. môže	$\dots M_y$, resp. M_z môže

Metóda 1		
strana 210,	λ^2	2
2. riadok zdola	$d_{IT} = 2.a_{IT} \frac{n_{p.0}}{2.1 + 10^{-24}} \dots$	$d_{IT} = 2.a_{IT} \frac{n_{p.0}}{n_{p.0}} \dots$
	$0,1+\lambda_{p.z}^{4}$	$0,1+\lambda_{p.z}^{4}$
		v tomto príklade, kde $M_z = 0 kNm$, to
		má nulový vplyv na výsledné
		numerické výsledky
strana 210,	λ^2 o	λ
1. riadok zdola	$e_{LT} = 1,7.a_{LT} \frac{1}{0,1+\lambda_{n_z}^4} \dots$	$e_{LT} = 1,7.a_{LT} \frac{1}{0,1+\lambda_{n_z}^4} \dots$
	F · S	v tomto príklade, kde $M_z = 0 k N m$, to
		má nulový vplyv na výsledné
		numerické výsledky
strana 211,	$c_{zy} = c_{LT}$]	$c_{zv} = d_{LT}$]
3. riadok zhora	2, 21	v tomto príklade to má zanedbateľný
		vplyv na numerické výsledky
strana 218	tlčenei	tlačenej
7 riadok zdola		····ueenoj
strana 220	2 –	2 –
5 riadok zhora	$\lambda_{p,LT} =$	λ_{LT} –
strana 220	troba nahradiť valičinu 12	$\langle \rangle^2$
vzorec pre	treba mainadit vencinu $\lambda_{p,LT}$	λ_{LT}
M pa		$\sqrt{2010011} \left(\frac{1}{\sqrt{\beta}} \right)$
IVI _{Cr.BS}		
		potom $M_{cr,BS} =2/9,083$ kNm
strana 220,	treba nahradit čísla	číslami
a) tabuľka	174,377 308,456 0,544	157,772 279,083 0,572
posledný riadok		Ak by sme použili presnejší postup
		podľa BS 5950-1, prílohy B 2.3,
		dostali by sme:
		170,419 301,455 0,550
strana 220,	treba nahradiť čísla	číslami
b) tabuľka	174,377 308,456 0,544	157,772 279,083 0,572
posledný riadok		Ak by sme použili presnejší postup
		podľa BS 5950-1, prílohy B 2.3,
		dostali by sme:
		170,419 301,455 0,550
strana 222,	STN 73 1401-1-1/NA	STN EN 1993-1-1/NA
9. riadok zdola		
strana 224,		Zrušiť. V STN EN 1993-1-1 je to
číslo tabuľky		tab. 6.7 v čl. 6.3.3.
strana 224,	odolnosť prierezu)	odolnosť prierezu)
8. riadok zdola		
strana 225.	faktor k _{vv}	faktor k _{zv}
3. riadok zhora	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	Ly
strana 226	miery využiteľnosti	miery využitia
7. riadok zdola		
strana 226	Prierez môže byť citlivý	Prút môže byť citlivý
3 riadok zdola	i notez moze byt ciurvy	i rat moze byt entry y
strang 227	$h_{-} - h_{-} 2(t_{c} + r) - 134 \text{ mm}$	$h_{-} - h_{-} 2t_{c} - 170 \text{ mm}$
0 riadoly zdolo	$m_W - m - 2(u_f + 1) - 134 mm$	$n_W - n - 2t_f - 170 \text{ mm}$
7. Hauok Zuola		na u aisie numericke vysleuky to

strana 228, 5. riadok zhora $c_w = 98 \text{ mm}$ $c_w = 134 \text{ mm}$ strana 228, 6. riadok zhora= 15.077= 20.615strana 228, v strede výškytabuľky 6.3 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.4 (valcovaný I-profil)tabuľky 6.4 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.5 (valcovaný I-profil)strana 228, v strede výškybc_y = "b", bc_z = "c", "b", bc_z = "c", tab. 6.2 h/b $\leq 1,2$ t _f ≤ 100 mm, bc_y = "b", bc_z = "c", tab. 6.4 h/b ≤ 2 strana 229, 8. riadok zdolaVýpočet hodnoty kritického momentu pozri v Príklade 2Výpočet hodnôt kritického momentu pozri pre prút "ab" v Príklade 3 na strane 190, 6. riadok zdola a pre prút "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zhorastrana 231, 4. riadok zdolamier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 231, 4. riadok zdolamier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 252, 2. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 254, 2. riadok zhoramier využiteľnostimier využitia
strana 228, 5. riadok zhora $c_w = 98 \text{ mm}$ $c_w = 134 \text{ mm}$ strana 228, 6. riadok zhora= 15.077= 20.615strana 228, v strede výškytabuľky 6.3 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.4 (valcovaný I-profil)tabuľky 6.4 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.5 (valcovaný I-profil)strana 228, v strede výškybc_y = "b", bc_z = "c", w strede výškyTab. 6.2 h/b $\leq 1,2 \text{ tf} \leq 100 \text{ mm}$, bc_y = "b", bc_z = "c", tab. 6.4 h/b ≤ 2 strana 229, 8. riadok zdolaVýpočet hodnoty kritického momentu pozri v Príklade 2Výpočet hodnôt kritického momentu pozri pre prút "ab" v Príklade 3 na strane 190, 6. riadok zdola a pre prút "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zhorastrana 231, 4. riadok zdolamier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 252, 2. riadok zhoraImperfekciímier využitiastrana 252, 2. riadok zhoraImperfekciímier využitia
strana 228, 6. riadok zhora= 15.077= 20.615strana 228, v strede výškytabuľky 6.3 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.4 (valcovaný I-profil)tabuľky 6.4 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.5 (valcovaný I-profil)strana 228, v strede výškybcy = "b", bcz = "c", v strede výškyTab. 6.2 h/b $\leq 1,2$ tf ≤ 100 mm, bcy = "b", bcz = "c", tab. 6.4 h/b ≤ 2 strana 229, 8. riadok zdolaVýpočet hodnoty kritického momentu pozri v Príklade 2Výpočet hodnôt kritického momentu pozri pre prút "ab" v Príklade 3 na strane 190, 6. riadok zdola a pre prút "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zhorastrana 231, 4. riadok zdolamier využiteľnosti strana 232, 9mier využiteľnostimier využitia 9. riadok zhorastrana 252, 2. riadok zhoraImperfekcií 9. riadok zhoramier využiteľnosti 9. riadok zhora
o. Hadok zhoratabuľky 6.3 (v prípade v strede výškytabuľky 6.3 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.4 (valcovaný I-profil)tabuľky 6.4 (v prípade všeobecnom), resp. tabuľky 6.5 (valcovaný I-profil)strana 228, v strede výškybcy = "b", bcz = "c", w strede výškyTab. 6.2 h/b $\leq 1,2$ tf ≤ 100 mm, bcy = "b", bcz = "c", tab. 6.4 h/b ≤ 2 strana 229, 8. riadok zdolaVýpočet hodnoty kritického momentu pozri v Príklade 2Výpočet hodnôt kritického momentu pozri pre prút "ab" v Príklade 3 na strane 190, 6. riadok zdola a pre prút "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zhorastrana 231, 4. riadok zdolamier využiteľnosti strana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnosti strana 252, 2mier využiteľnostiy. riadok zhoramier využiteľnosti strana 252, 2mier zateľnostimier využitia strana 252, 2mier využiteľnostiy. riadok zhoramier využiteľnosti strana 252, 2mier využiteľnostimier využitia 3mier využitay. riadok zhoramier využiteľnosti 3mier využitamier využitia 3mier využitia
strand 220, v strede výškytabuřký 0.5 (v případe všeobecnom), resp. tabuľky 6.4 (valcovaný I-profil)tabuřký 0.5 (valcovaný I-profil)strana 228, v strede výškybcy = "b", bcz = "c", w strede výškyTab. 6.2 h/b \leq 1,2 tf \leq 100 mm, bcy = "b", bcz = "c", tab. 6.4 h/b \leq 2strana 229, 8. riadok zdolaVýpočet hodnoty kritického momentu pozri v Príklade 2Výpočet hodnôt kritického momentu pozri pre prút "ab" v Príklade 3 na strane 190, 6. riadok zdola a pre prút "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zhorastrana 231, 4. riadok zdolamier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 252, 2. riadok zhoraImperfekciíimperfekciíztrana 252, 2. riadok zhoraImperfekciíimperfekcií
strana 228, v strede výškybc_y = "b", bc_z = "c",Tab. 6.2 h/b $\leq 1,2$ t _f ≤ 100 mm, bc_y = "b", bc_z = "c", tab. 6.4 h/b ≤ 2 strana 229, 8. riadok zdolaVýpočet hodnoty kritického momentu pozri v Príklade 2Výpočet hodnôt kritického momentu pozri pre prút "ab" v Príklade 3 na strane 190, 6. riadok zdola a pre prút "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zdolastrana 231, 4. riadok zdolamier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 252, 2. riadok zhoramier využitamier využitia
strana 229, 8. riadok zdolaVýpočet hodnoty kritického momentu pozri v Príklade 2Výpočet hodnôt kritického momentu pozri pre prút "ab" v Príklade 3 na strane 190, 6. riadok zdola a pre prút "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zhorastrana 231, 4. riadok zdolamier využiteľnostimier využitiastrana 232, 9. riadok zhoramier využiteľnostimier využitiastrana 252, 2. riadok zhoramier využiteľnostimier využitia
8. riadok zdola momentu pozri v Príklade 2 pozri pre prút "ab" v Príklade 3 na strane 190, 6. riadok zdola a pre prút "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zhora strana 231, mier využiteľnosti mier využitia 4. riadok zdola mier využiteľnosti mier využitia 9. riadok zhora mier využiteľnosti mier využitia strana 252, Imperfekcií imperfekcií strana 252, Imperfekcií imperfekcií
strane 190, 6. riadok zdola a pre prut "bc" v Príklade 4 na strane 208, 7. riadok zdola strana 231, mier využiteľnosti 4. riadok zdola mier využiteľnosti strana 232, mier využiteľnosti 9. riadok zhora mier využiteľnosti strana 252, Imperfekcií 2. riadok zhora imperfekcií strana 252, Imperfekcií strana 252, Imperfekcií strana 252, Imperfekcií
strana 231, mier využiteľnosti mier využitia 4. riadok zdola mier využiteľnosti mier využitia 9. riadok zhora mier využitia mier využitia 9. riadok zhora Imperfekcií imperfekcií 2. riadok zhora Imperfekcií imperfekcií
strana 231, mier využiteľnosti mier využitia 4. riadok zdola mier využiteľnosti mier využitia strana 232, mier využiteľnosti mier využitia 9. riadok zhora mier využiteľnosti mier využitia strana 252, Imperfekcií imperfekcií z riadok zhora Imperfekcií imperfekcií strana 258 Imperfekcií imperfekcií
strana 251, miler využiteľnosti miler využita 4. riadok zdola mier využiteľnosti mier využitia strana 232, mier využiteľnosti mier využitia 9. riadok zhora Imperfekcií imperfekcií 2. riadok zhora Imperfekcií imperfekcií strana 252, Imperfekcií imperfekcií strana 258 mier využita imperfekcií
strana 232, mier využiteľnosti mier využitia 9. riadok zhora Imperfekcií imperfekcií 2. riadok zhora Imperfekcií imperfekcií strana 252, Imperfekcií imperfekcií strana 258, Imperfekcií imperfekcií
9. riadok zhora Imperfekcií strana 252, Imperfekcií 2. riadok zhora imperfekcií strana 258 imperfekcií
strana 252, Imperfekcií imperfekcií 2. riadok zhora imperfekcií strana 258 imperfekcií
2. riadok zhora
strong 258 prioroz f" na prúta bd" prioroz a" na prúta ab"
[suana 230, $[$ prietez ,, $[$ na prute ,, bu $[$ prietez ,, a na prute ,, ab
odstavec b)
strana 259-267 Príklad 7 je bezchybný a kompletný Kto chce pochopiť metódu použitú
ale nie je napísaný formou, aby sa v Príklade 7 nech si prečíta [6.29],
použitá metóda dala pochopiť. pozri str.140, alebo vzorové príklady
Baláža, publikované v pripravovaných
skriptách.
strana 297,vyjadriť 4 ekvivalentnýchvyjadriť v 4 ekvivalentných
pravý stĺpec
tabuľky
strana 298, $\sigma \leq f_u$ $\sigma \leq 0.9 f_u$
tabuľka pod $U_{\perp} \stackrel{\sim}{=} \frac{\gamma_{\mu\nu}}{\gamma_{\mu\nu}}$
obr. 8.6 na rozdiel od STN 73 1401, ktorá bola táto podmienka v EN 1993-1-1
túto podmienku prevzala od sprísnená použitím faktora 0.9
predbežnej európskej normy ENV
1993-1-1,
strana 298, vo vzorcoch je značka $\gamma_{i,i}$, ktorá v STN EN 1993-1-1 sa namiesto
tabuľka pod sa používa v STN 73 1/01 ktorá to $\gamma_{\mu\nu}$ používa značka $\gamma_{\mu\nu}$
obr. 8.6 prevzala od FNV 1993-1-1
Poznámka V podmienkach ktoré rozbodujú Symbol
k MATHCAD o tom čo bude platiť sa nachádzajú s h
zápisom pre symboly Booleovei algebry (logika) znamená: bude to pravdou ak platí
tých čo s ním
nerobia Symbol
av h
$a \lor U$
a alebo b
Poznámka MATHCAD náide koreň (alebo 1 riadok: odhad hodnoty hľadaného

k MATHCAD	korene) l'ubovol'nej rovnice, napr.	koreňa $\mathbf{x} = \dots$
zápisom pre	procedúrou, ktorá pozostáva z 5	2. riadok: slovo Given
tých čo s ním	riadkov:	3. riadok: zápis rovnice, v ktorej sa
nerobia		vyskytuje x
		4. riadok: Find(x)
		5. riadok: daj vypísať nájdenú hodnotu
		Find (x) =
strana 341,	K0 s HRD len matica	K0 iba s maticou HRD
tabuľka 9.18		
strana 346,	ešte jedna matica (Obr.9.22d).	ešte jedna podložka (Obr.9.22d).
úplne dole		
strany		Nahraď priloženými stranami
365 až 367,		365 až 367, 374 až 377, 380.
374 až 377, 380		
strany 147-149,	sú v zborníku vytlačené čiernobielo	strany 147-149, 153, 160, 161, 163,
153, 160, 161,		164, 167, 171, 177, 237-239, 243-245,
163, 164, 167,		252-255, 261, 262, 265, 266 sú
171, 177, 237-		pripojené bezo zmeny ale sú
239, 243-245,		s farebnými schémami
252-255, 261,		
262, 265, 266		



Obr. 5.4.2 Tvar vybočenia a priebeh ohybových momentov v ráme príkladu 1 od imperfekcií v tvare vybočenia

Rozhodujúci prierez vychádza na hornom konci pravého stĺpa, takže

$$\overline{\lambda}_{\rm m} = \sqrt{\frac{N_{\rm Rk}}{N_{\rm cr}}} = \sqrt{\frac{14,3.10^{-3} \times 355}{2 \times 3,0579}} = 0,9111$$

V rozhodujúcom priereze sa maximálne napätie od imperfekcií vypočíta podľa vzorca (5.3.15), ktorý sa vzhľadom na $x = x_m$ a $\gamma_{M1} = 1,0$ ďalej zjednoduší, takže

$$\sigma_{\eta \text{ init,m}} = \sigma_{\text{M,m}} = f_y \frac{\alpha(\overline{\lambda}_m - 0.2)}{\overline{\lambda}_m^2(\alpha_{\text{cr}} - 1)} = 31,03 \text{ MPa} \approx 32,45 \text{ MPa}$$

5.5 Číselný príklad 2

Na tomto príklade porovnáme výsledky posúdenia odolnosti prútov dvojposchodového jedno loďového rámu podľa obr. 5.5.1 získané postupmi prípustnými podľa (5.2.2(3)). Stĺpy majú po celej výške konštantný prierez HEA 300, priečle sú z IPE 550. Prúty majú otvorený prierez s malou tuhosťou na krútenie, preto je potrebné použiť postup podľa (5.2.2(3)b)) – pozri 4.5.3 alebo postup podľa (5.2.2(3)c)) – pozri 4.5.4).



a) geometrický tvar a zaťaženie, b) až d) imperfekcie podľa (5.3.2(3))

Prierezové charakteristiky prútov:

charakteristiky	A [m ²]	N _{Rk} [kN]	l _y [m ⁴]	W _y [m ³]	i _y [m]	M _{y,Rk,pl} [kNm]
stĺpy	0,01125	3995,75	0,0001826	0,00126	0,1274	491,32
priečle	0,01173		0,0005998			

Prierezy patria do triedy 1, resp. 2, preto sa urobí overenie spoľahlivosti podľa **(6.3)** s využitím plastickej odolnosti. Na určenie vnútorných síl sa použije pružnostná globálna analýza. Súčinitele spoľahlivosti materiálu $\gamma_{M1} = \gamma_{M0} = 1,0$. Konštrukcia je z ocele S355, takže $\lambda_1 = 76,4$.

Zaťaženie:

Sily v uzloch

Zaťaženie	uzol								
[kN]	2	3	5	6	7	8			
F _{V, i}	300	300	210	120	120	210			
F H, i	20	15	20	15	11,25	15			

Zaťaženie na priečľach: $q_2 = q_9 = 60 \text{ kN/m}$ $q_6 = 50 \text{ kN/m}$

Kvôli stručnosti uvedieme zjednodušené overenie vzpernej odolnosti stĺpov:

- len v rovine rámu s použitím vzorca ((6.61))
- bez uvažovania straty stability klopením (χ_{LT} = 1,0).

S uvážením uvedených predpokladov bude mať vzorec ((6.61)) tvar:

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{\chi_y N_{\text{Rd}}} + k_{yy} \frac{M_{y,\text{Ed}}}{M_{y,\text{Rd}}} \le 1$$
(5.5.1)

pričom k_{yy} podľa tabuľky **(B.1)** pre plastické navrhovanie je:

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + \left(\overline{\lambda}_y - 0.2 \right) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right) \le C_{my} \left(1 + 0.8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right)$$

Podľa tabuľky **(B.3)** pre prúty pri strate stability naklonením stĺpov sa má brať do úvahy faktor ekvivalentného ohybového momentu $C_{my} = 0.9$, nezávisle od priebehu ohybových momentov. Preto pre overenie odolnosti podľa vzorca (5.5.1) bude rozhodujúci iba väčší z ohybových momentov na koncoch stĺpov.

5.5.1 Analýza konštrukcie

Na výpočet vnútorných síl potrebných na overenie stability použijeme program IQ 100.

5.5.1.1 Analýza pre metódu overenia stability podľa (5.2.2(3)c))

Pre túto metódu sa vnútorné sily počítajú na základe teórie prvého rádu a použije sa individuálne posúdenie prútov pomocou (5.5.1).

Prvým krokom je výpočet vnútorných síl od návrhovej kombinácie zaťažení na základe teórie prvého rádu. Osové sily a koncové ohybové momenty v stĺpoch sú uvedené v hornej časti tabuľky 5.5.1. Nasleduje výpočet kritického zaťaženia. Použitím príslušného modulu výpočtového programu s uvážením osových síl všetkých prútov určených v prvom kroku sa určí faktor $\alpha_{cr} = 8,4910$. Globálny tvar straty stability analyzovaného rámu je na obrázku 5.5.2.

V ďalšej časti tabuľky 5.5.1 sú uvedené vzperné dĺžky, faktory vzperných dĺžok, pomerné štíhlosti a súčinitele vzperu podľa vzpernej krivky "b" pre stĺpy rámu.

Tabuľka 5.5.1

		Prút číslo							
	1	3	4	5	7	8			
osová sila <i>N</i> _{Ed} [kN]	-1432,56	-1527,44	-860,583	-364,606	-375,394	-899,417			
koncové ohybové	-68,516	-200,852	230,667	215,857	-240,671	-298,995			
momenty <i>M</i> _{Ed} [kNm]	-24,185	236,067	-157,690	-267,815	321,751	273,113			
vzperná dĺžka [mm]	5 780	5 402	7 197 11 056		10 896	7 040			
faktor vzpernej dĺžky eta	1,156	1,080	2,399	3,686	3,632	2,347			
Pomerná štíhlosť $\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{\alpha_{\rm cr}N_{\rm Ed}}}$	0,5730	0,5549	0,7393	1,1358	1,1194	0,7232			
Хь	0,8504	0,8591	0,7611	0,5142	0,5238	0,7705			



Obrázok 5.5.2 Tvar straty stability rámu z príkladu 2

5.5.1.2. Analýza pre metódu overenia stability podľa (5.2.2(3)b)) s jednotnou ekvivalentnou imperfekciou podľa (5.3.2(11))

Pretože α_{cr} < 10, je potrebné počítať vnútorné sily s uvážením účinkov druhého rádu.

V programe IQ 100 sa samostatne počítajú vnútorné sily od návrhovej kombinácie zaťažení a od jednotnej imperfekcie v tvare straty stability.

Tvar pretvorenia a priebeh ohybových momentov M_{Ed}^{II} od zaťažení je na obrázku 5.5.3.



0brázok 5.5.3

Do výpočtu sa ako vstupy použili osové sily vo všetkých prútoch konštrukcie získané výpočtom prvého rádu, uvedeným v 5.5.1.1. Veľkosti osových sil $N_{\rm Ed}^{\rm II}$ a ohybových momentov $M_{\rm Ed}^{\rm II}$ v stĺpoch rámu sú uvedené v hornej časti tabuľky 5.5.2.

Tabuľka	5.5.2
---------	-------

		Prút číslo							
	1	3	4	5	7	8			
osová sila N_{Ed}^{II} [kN]	-1428,28	-1531,72	-859,459	-364,391	-375,609	-900,541			
koncové ohybové	-82,257 -217,683		229,836	216,121	-240,98	-300,665			
momenty M_{Ed}^{II} [kNm]	-6,610	247,572	-153,098	-268,041	324,085	227,558			
osová sila <i>N</i> ^{II} _{η̇init} [kN]	6,104	-6,104	1,165	0,175	-0,175	-1,165			
koncové ohybové	-26,111	-25,703	0,225	0,441	0,434	0,162			
momenty $M_{\eta ext{init}}^{ ext{II}}$ [kNm]	24,955	24,853	5,392	0,853	0,853	5,381			

Postup výpočtu vnútorných síl od jednotnej imperfekcie v tvare straty stability:

1. Hodnota $\alpha_{cr} = 8,4910$ sa preberie zo stabilitného výpočtu urobeného v 5.5.1.1. Prvý vlastný tvar straty stability η_{cr} analyzovaného rámu je na obrázku 5.5.2. Za voliteľný parameter tvaru straty stability (pozri vysvetlivky k vzorcu (5.3.11)) sme vybrali maximálny vodorovný posun uzlov 6 a 7 tak, že $|\eta_{cr}|_{max}$ = 1000 mm a má rovnaký smer ako posun od zaťaženia. Rozhodujúci prierez *m* je v rozhodujúcom prúte 3, pretože pre tento prút je faktor vzpernej dĺžky β najmenší (pozri 4.5.3 a tabuľku 5.5.1). Pomerná štíhlosť je

$$\overline{\lambda}_m = \overline{\lambda}_3 = \sqrt{\frac{11250 \times 355}{8,4910 \times 1527,44.10^3}} = 0,5549$$

Presnejší postup by vyžadoval zopakovať výpočet kritického zaťaženia a faktora α_{cr} s osovými silami od zaťažení vypočítanými na základe teórie druhého rádu. Z porovnania osových síl N_{Ed} (tab. 5.5.1) a N_{Ed}^{II} (tab.5.5.2) v stĺpoch vidieť že v tomto prípade sú rozdiely malé a možno ich zanedbať.

2. Výpočet maximálnej amplitúdy jednotnej imperfekcie $\eta_{\text{init,max}}$ podľa (5.3.11). K tomu potrebné hodnoty $|\eta^{\text{II}}|_{\text{max}}$ a $|M_{\eta cr}^{\text{II}}|_{m}$ sa určia výpočtom účinkov začiatočného pretvorenia η_{cr} konštrukcie so zvolenou amplitudou $|\eta_{cr}|_{\text{max}} = 1000$ mm pomocou príslušného modulu výpočtového programu. Pre náš prípad tieto hodnoty sú:

$$|\eta^{II}|_{max}$$
 = 133,49 mm (správnosť možno overiť, pretože táto hodnota musí byť $|\eta_{cr}|_{max}/(\alpha_{cr}-1))$ a

$$\left| M_{\eta cr}^{\mathsf{II}} \right|_{m} =$$
 704,46 kNm

Pretože pri overovaní spoľahlivosti budeme používať plastickú ohybovú odolnosť M_{y,Rk,pl}, je potrebné túto hodnotu použiť aj v (5.3.11) (pozri Tabuľku.B.1 STN 73 1401).

S uvedenými hodnotami bude

$$\eta_{\text{init,max}} = \frac{0,34(0,554 - 0,2)}{0,554^2} \frac{491,32.10^6 \times 133,494}{704,46.10^6} = 35,50 \text{ mm}$$

3. Vnútorné sily od účinku jednotnej imperfekcie η_{init} s vypočítanou amplitúdou $\eta_{\text{init,max}}$ sa určia prenásobením hodnôt vypočítaných v bode 2 pomernou

amplitúdou
$$\frac{\eta_{\text{init,max}}}{|\eta_{\text{cr}}|_{\text{max}}} = \frac{35,50}{1000} = 0,0355$$

alebo zopakovaním výpočtu vnútorných síl od účinku imperfekcií programom s použitím tejto pomernej amplitúdy. Vypočítané hodnoty sú uvedené v spodných riadkoch tabuľky 5.5.2. Priebeh ohybových momentov od účinku jednotnej imperfekcie η_{init} je znázornený na obrázku 5.5.4. Ich mierka je oproti mierke obrázka 5.5.3 výrazne zväčšená. Pri spoločnom zobrazení by účinok imperfekcií bol nevýrazný. Tvar pretvorenia je zhodný s tvarom straty stability (pozri (4.5.8)).



Obrázok 5.5.4 Priebeh ohybových momentov od imperfekcie v tvare straty stability rámu

5.5.1.3. Analýza pre metódu overenia stability podľa (5.2.2(3)b)) s ekvivalentnou imperfekciou podľa (5.3.2(3))

Pri rámoch s posuvnými uzlami je podľa **(5.3.2(3))** základnou imperfekciou začiatočné naklonenie prútov ϕ dané vzorcom (5.2.1). Podľa **(5.3.2(6))** sa majú v prípade prútových konštrukcií citlivých na účinky druhého rádu v analýze uvážiť aj lokálne začiatočné zakrivenia. Konštrukcia analyzovaná v tomto príklade nie je tohto druhu, pretože aj pre rozhodujúci prút 3 je

$$\overline{\lambda}_3 = \frac{L_3}{i_y \lambda_1} = \frac{5000}{127,4 \times 76,4} = 0,514 < 0,5\sqrt{\frac{Af_y}{N_{Ed}}} = 0,5\sqrt{\frac{11250 \times 355}{1527,44.10^3}} = 0,808$$

Napriek tomu urobíme aj výpočet so súčasným pôsobením lokálneho zakrivenia prútov usporiadaného tak, že v stĺpoch lokálne imperfekcie prútov vytvárajú vlnovú čiaru s tvarom antimetrickým k zvislej osi rámu. Pretože nie je zrejmé, ktorý tvar v kombinácii so začiatočným naklonením stĺpov ϕ naznačeným v obrázku 5.5.1 bude rozhodujúci, urobí sa výpočet pre oba tvary (+e(x)) a (-e(x)) vyznačené v obrázku.

V module programu IQ 100 na analýzu podľa teórie druhého rádu sa umožňuje imperfekcie vyjadrené naklonením stĺpov ϕ a imperfekcie vyjadrené lokálnym zakrivením tlačených prútov e(x) zahrnúť do výpočtu priamo (bez náhradných zaťažení) a súčasne s návrhovým zaťažením.

Osové sily v stĺpoch a rozhodujúce ohybové momenty na koncoch stĺpov boli vypočítané pre kombinácie :

- návrhové zaťaženie a začiatočné naklonenie stĺpov ($F_{Ed} + \phi$)
- návrhové zaťaženie, začiatočné naklonenie stĺpov a začiatočné zakrivenie +e(x)
 (F_{Ed} + \u03c6 + e(x))
- návrhové zaťaženie, začiatočné naklonenie stĺpov a začiatočné zakrivenie –e(x)
 (F_{Ed} + \u03c6 e(x)).

Sily potrebné na overenie odolnosti sú uvedené v tabuľke 5.5.3.

5.5.2 Overenie odolnosti

Overenie odolnosti stĺpov analyzovaného rámu podľa vzorca (5.5.1) je uvedené v tabuľke 5.5.3.

Pri overovaní stability podľa **(5.2.2(3)c))** sa berú do úvahy vzperné dĺžky prislúchajúce ku globálnemu tvaru straty stability a s nimi súvisiace pomerné štíhlosti $\overline{\lambda}$ a súčinitele vzperu χ uvedené v tabuľke 5.5.1.

Pri overovaní stability podľa **(5.2.2(3)b))** sa súčinitele vzperu priraďujú k pomerným štíhlostiam vypočítaným zo systémovej dĺžky prútov (pozri 4.4.3), takže bude:

pre prúty 1 a 3 $\overline{\lambda} = \frac{5,0}{0,1274 \times 76,4} = 0,5137$ a $\chi = 0,8781$

pre prúty 4,5,7,8 $\overline{\lambda} = \frac{3,0}{0,1274 \times 76,4} = 0,3082$ a $\chi = 0,9610$

Poznámky k číselným príkladom 1 a 2

a) Kvôli porovnaniu rozdielov pri použití dvoch rôznych predpokladov o imperfekciách pre globálnu analýzu prútových konštrukcií v **(5.3.2)** boli v príklade 1 vypočítané len napätia od imperfekcií v prierezoch rozhodujúcich z hľadiska účinku imperfekcií.

Pri úplnej analýze prútových sústav je potrebné pri metóde podľa **(5.2.2(3)a))** vypočítať analýzou druhého rádu účinky imperfekcií a priamych zaťažení po celej konštrukcii, aby sa po ich sčítaní mohlo urobiť posúdenie prierezov;

b) Z príkladov 1 a 2 vidieť, že pri pravouhlých rámoch sú rozdiely v účinkoch imperfekcií podľa **(5.3.2(3))** a **(5.3.2(11))** malé. Ak sa pri imperfekciách podľa **5.3.2(3)** (stĺpec $F_{Ed} + \phi$) berú do úvahy len začiatočné naklonenia prútov, v rozhodujúcom prúte konštrukcie dáva predpoklad podľa **(5.3.2(11))** o imperfekciách výsledky mierne bezpečnejšie. Ak sa súčasne uvažujú aj začiatočné zakrivenia prútov (príklad 1, stĺpce ($F_{Ed} + \phi \pm e(x)$) v príklade 2), čo v príklade 2 nie je potrebné, výsledky sú opačné.

Celkovo však možno obidva predpoklady o imperfekciách z hľadiska spoľahlivosti pravouhlých rámových konštrukcií považovať za rovnocenné. Rozhodovať môže prácnosť pri zadávaní vstupov do výpočtového programu. Zadávať náhradné zaťaženia imperfekcií **(5.3.2(3))** (obrázok 5.2.2 **(5.4)**) je prácnejšie ako výpočet amplitúdy $\eta_{init.max}$ jednotnej imperfekcie **(5.3.2(11))**.

c) Imperfekcie podľa **(5.3.2(3))** možno použiť aj pri niektorých ďalších prútových konštrukciách, ale jednotnú imperfekciu podľa **(5.3.2(11))** vždy (prúty s premenným prierezom a/alebo osovou silou (príklad 3) a prútové konštrukcie s takýmito prútmi, tlačené prúty na pružných podporách, oblúkové konštrukcie a pod.).

d) Pri overovaní vzpernej odolnosti sa posudzuje prútová konštrukcia ako celok, nie jednotlivé prúty samostatne (faktor α_{cr} je jednotný pre všetky prúty konštrukcie). Preto začiatočné zakrivenia prútov podľa **(5.3.2(3)b))** treba usporiadať do tvaru blížiaceho sa k tvaru straty stability konštrukcie (obrázok 5.5.1 c) a d)).

	Metóda overovania stability prútových sústav podľa 5.2.2 STN EN 1993-1-1											
		5.2.2	(3)c)	5.2.2 s imperfel (5.3.	2(3)b) kciou podľa 2(11))		5.2.2(3)b) s	imperfekciar	ni φ a e(x) po	dľa (5.3.2(3))		
							F _{Ed} +φ		$F_{\rm Ed} + \phi + e(x)$		$F_{\rm Ed}$ + ϕ - e(x)	
1	$N_{\rm Ed}[\rm kN], M_{\rm v}[\rm kNm]$	1432,56	68,516	1434,38	108,368	1424,14	95,465	1427,92	112,137	1420,36	78,793	
	$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}}, k_{yy} \frac{M_y}{M_{pl,Rd}}$	0,4218	0,1452	0,4090	0,2240	0,4061	0,1971	0,4072	0,2316	0,4050	0,1627	
	využitie	0,5	670	0,6	330	0,6	6032	0,6	5388	0,5	677	
3	$N_{\rm Ed}[\rm kN], M_{\rm v}[\rm kNm]$	1527,44	236,067	1537,82	272,425	1535,86	258,323	1532,08	249,121	1539,64	277,345	
	$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}}, k_{yy} \frac{M_y}{M_{pl,Rd}}$	0,4452	0,5007	0,4385	0,5677	0,4380	0,5382	0,4371	0,5188	0.4391	0,5779	
	využitie	0,9	459	1,0062		0.9762		0,9	9559	1,0	170	
4	$N_{\rm Ed}[\rm kN], M_{\rm v}[\rm kNm]$	860,583	230,667	860,660	230,061	857,893	227,722	857,372	230,799	858,415	224,646	
	$\frac{\overline{N_{Ed}}}{\chi N_{Rk}}, k_{yy} \frac{M_y}{M_{pl,Rd}}$	0,2831	0,4870	0,2242	0,4316	0,2235	0,4273	0,2234	0,4330	0,2237	0,4215	
	vvužitie	0.7	701	0.6	558	0.6	508	0.6	6564	0.6	452	
5	$N_{\rm Ed}[kN]$. $M_{\rm v}[kNm]$	364,606	267,815	364,566	268,894	363,048	265,821	364,325	267,663	363,571	263,979	
	$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Ed}}}{\chi N_{Rk}}, k_{yy} \frac{M_y}{M_{pl,Rd}}$	0,1774	0,5602	0,0950	0,4976	0,0946	0,4919	0,0949	0,4953	0,0947	0,4885	
	vvužitie	0.7	376	0.5	5926	0.5	0.5865		0.5902		0.5832	
7	$N_{\rm Ed}[kN]$, $M_{\rm v}[kNm]$	375,394	321,751	375,784	324,938	376,052	326,29	375,675	324,365	376,429	328,215	
	$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Ed}}}{\chi N_{Rk}}, k_{yy} \frac{M_y}{M_{pl,Rd}}$	0,1794	0,6740	0,0979	0,6015	0,0980	0,6040	0,0979	0,6004	0,0981	0,6076	
	vvužitie	0.8	534	0.6	6994	0.7	7020	0.6	6983	0.7	057	
8	$N_{\rm Ed}[\rm kN], M_{\rm v}[\rm kNm]$	899,417	298,995	901,706	300,828	902,107	302,818	902,628	300,098	901,585	305,537	
	$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Ed}}}{\chi N_{Rk}}, k_{yy} \frac{M_y}{M_{pl,Rd}}$	0,2923	0,6314	0,2349	0,5651	0,2351	0,5688	0,2352	0,5637	0,2349	0,5739	
	využitie	0,9	237	0,8	3000	0,8	3039	0,7	7989	0,8	8088	

Tabuľka 5.5.3 Overenie odolnosti stĺpov rámu z číselného príkladu 2

10.9 Príklad: Posúdenie skrutkovaného uzla s prečnievajúcou čelnou doskou

<u>a. Účinky</u>

$F_{v,Ed}$	=	200.kN
M _{j.Ed}	=	70∙kNm

b. Geometria a materiál

Nosník:	NOSNIK = "IPE330"	NOSNIKMAT = "S235"
Stíp:	STLP = "HE200A"	STLPMAT = "S235"
Čelná doska:	p15x160 - 420	DOSKAMAT = "S235"
Skrutky:	$d = 20 \cdot mm$	SKRUTKAMAT = "10.9"



NOSNÍK

STĹP

Výška profilu	$h_b = 330 \cdot mm$	$h_c = 190 \cdot mm$
Hrúbka steny	$t_{wb} = 7.5 \cdot mm$	$t_{wc} = 6.5 \cdot mm$
Šírka profilu	$b_b = 160 \cdot mm$	$b_c = 200 \cdot mm$
Polomer zaoblenia	$r_b = 18 \cdot mm$	$r_c = 18 \cdot mm$
Hrúbka pásnice	$t_{fb} = 11.5 \cdot mm$	$t_{\text{fc}} = 10 \cdot \text{mm}$
Plocha prierezu	$A_{b} = 6260.6 \cdot \text{mm}^{2}$	$A_{c} = 5383.1 \cdot mm^{2}$
Kvadratický moment plochy	$I_{y,b} = 117.7 \times 10^6 \cdot mm^4$	$I_{y.c} = 36.9 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$
Prierezový modul	$W_{pl.b} = 804.3302 \times 10^3 \cdot mm^3$	
Medza klzu	$f_{yb} = 235 \cdot \frac{N}{mm^2}$	$f_{yc} = 235 \cdot \frac{N}{mm^2}$
Pevnosť v ťahu	$f_{ub} = 360 \cdot \frac{N}{mm^2}$	$f_{uc} = 360 \cdot \frac{N}{mm^2}$

ČELNÁ DOSKA

SKRUTKY

 $\gamma_{MO} = 1.0$

 $\gamma_{M2} = 1.25$

(M1 =

Výška	$h_p = 420 \cdot mm$	Počet skrutiek	$N_{bolts} = 6$
Šírka	$b_p = 160 \cdot mm$	Priemer skrutkv	d – 20.mm
Hrúbka	$t_p = 15 \cdot mm$	Priemer dierv	$d = 20$ mm $d_2 = 22$ mm
Presah čel.dosky nad nosníkom	$h_{nad} = 70 \cdot mm$		u ₀ = 22 mm
Presah čel.dosky pod nosníkom	$h_{pod} = 20 \cdot mm$	Plocha drieku skrutky	$A_{bolt} = 314.2 \cdot mm^2$
Vzdialenost radu 1 od vrchu	$e_1 = 30 \cdot mm$	Plocha jadra skrutky	$A_{s.bolt} = 245 \cdot mm^2$
Rozstup radu 1 a 2 v smere sily	$p_1 = 95 \cdot mm$		N
Rozstup radu 2 a 3 v smere sily	$p_3 = 220 \cdot mm$	Medza klzu	$f_{ybolt} = 900 \cdot \frac{1}{mm^2}$
Vzdialenosť od kraja	$e_2 = 35 \cdot mm$	Peynosť v ťahu	N
Rozstup skrutiek kolmo na smer sily	∕ p ₂ = 90∙mm		$f_{ubolt} = 1000 \cdot \frac{n}{mm^2}$
Medza klzu	$f_{yp} = 235 \cdot \frac{N}{mm^2}$		
	N	ZVARY	
Pevnosť v ťahu	$f_{up} = 360 \cdot \frac{1}{mm^2}$	Účinná hrúbka	$a_f = 8 \cdot mm$
			$a_w = 3 \cdot mm$

PARCIÁLNE SÚČINITELE

pre odolnosť prierezov splastizovaním	

pre odolnosť prútov stratou stability

pre odolnosť ťahaných prierezov v oslabenej časti, odolnosť skrutiek, zvarov, plechov v otlačení

c. Výpočet



• Pole steny stĺpa namáhané šmykom (6.2.6.1 v EN 1993-1-8) Šmyková plocha stĺpa

$$A_{vc} = A_{c} - 2 \cdot b_{c} \cdot t_{fc} + (t_{wc} + 2 \cdot r_{c}) \cdot t_{fc} \qquad A_{vc} = 1808.1 \cdot mm^{2}$$

Návrhová šmyková sila plastickej odolnosti nevystuženého poľa steny stĺpa

$$V_{wp.Rd} = 0.9 \cdot \frac{f_{yc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{vc} \qquad \qquad V_{wp.Rd} = 220.8 \cdot kN$$

Stena stĺpa namáhaná priečnym tlakom (6.2.6.2 v EN 1993-1-8) •

$$\mathbf{s}_{p.nad} \,=\, \mathbf{t}_p \qquad \qquad \mathbf{s}_{p.nad} = 15 \cdot \mathbf{mm}$$

 $s_{p.pod} = h_{pod} - \sqrt{2} \cdot a_f$ $s_{p.pod} = 8.7 \cdot mm$

Účinná šírka steny stĺpa namáhanej tlakom

$$b_{\text{eff.c.wc}} = t_{\text{fb}} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{\text{f}} + 5 \cdot \left(t_{\text{fc}} \right)^{\beta}$$
$$\beta = 1$$
$$\omega_{1} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \cdot \left(b_{\text{eff.c.wc}} \cdot \frac{t_{\text{wc}}}{A_{\text{vc}}}\right)^{2}}}$$
$$\omega_{2} = \frac{1}{\sqrt{1 + 5.2 \cdot \left(b_{\text{eff.c.wc}} \cdot \frac{t_{\text{wc}}}{A_{\text{vc}}}\right)^{2}}}$$

 $\omega = \omega_1$

 $k_{wc} = 1$

 $\mathsf{F}_{c.wc.Rd} = \omega \cdot \mathsf{k}_{wc} \cdot \mathsf{b}_{eff.c.wc} \cdot \mathsf{t}_{wc} \cdot \frac{\mathsf{f}_{yc}}{\gamma_{M0}}$

Vplyv vydúvania steny (vzorce 6.13)

dĺžka roznosu cez čelnú dosku na vnútornej strane dolnej pásnice nosníka

dĺžka roznosu cez čelnú dosku na vonkajšej strane dolnej pásnice nosníka

$$\omega_{1} = 0.777$$

(Tab.6.3 v EN 1993-1-8)

$$\omega_2 = 0.525$$

redukčný faktor pre interakciu so šmykom ak beta=1

redukčný faktor ak normálové napätie v stene stĺpa je menšie ako 0,7fyc

$$F_{c.wc.Rd} = 234.7 \cdot kN$$

$$\begin{split} \mathbf{d}_{wc} &= \mathbf{h}_{c} - 2 \cdot \left(\mathbf{t}_{fc} + \mathbf{r}_{c} \right) & \mathbf{d}_{wc} = 134 \cdot \text{mm} \\ \lambda_{p} &= 0.932 \cdot \sqrt{\frac{\mathbf{b}_{eff.c.wc} \cdot \mathbf{d}_{wc} \cdot \mathbf{f}_{yc}}{\mathbf{E} \cdot \mathbf{t}_{wc}^{2}}} & \lambda_{p} = 0.781 \\ \rho &= \begin{vmatrix} 1 & \text{if } \lambda_{p} \leq 0.72 \\ \frac{\lambda_{p} - 0.2}{\lambda_{p}^{2}} & \text{otherwise} \end{vmatrix} \\ \rho = 0.953 & \text{súčiniteľ vydúvania steny} \end{split}$$

Návrhová odolnosť nevystuženej steny stĺpa namáhanej priečnym tlakom

$$\mathbf{F}_{c.wc.Rd} = \min\left(\mathbf{F}_{c.wc.Rd}, \omega \cdot \mathbf{k}_{wc} \cdot \rho \cdot \mathbf{b}_{eff.c.wc} \cdot \mathbf{t}_{wc} \cdot \frac{\mathbf{f}_{yc}}{\gamma_{M1}}\right) \qquad \mathbf{F}_{c.wc.Rd} = 223.6 \cdot \mathbf{kN}$$

Spôsob porušenia 2: Porušenie skrutiek a splastizovanie pásnice

$$\begin{split} & \text{minl}_{\text{eff.2.ind2}} = I_{\text{eff.nc.2.EPB}} & \text{minl}_{\text{eff.2.ind2}} = 214.23 \cdot \text{mm} & \text{minimum z} \\ & \text{minl}_{\text{eff.2.ind2}} = 0.25 \cdot \text{minl}_{\text{eff.2.ind2}} \cdot t_p^{-2} \cdot f_{yp} \cdot \gamma_{M0}^{-1} & \text{M}_{pl.2.Rd} = 2.832 \cdot \text{kNm} \\ & \text{F}_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ubolt} \cdot A_{s,bolt}}{\gamma_{M2}} & \text{F}_{t,Rd} = 176.4 \cdot \text{kN} \\ & \text{F}_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t,Rd}}{m + n} & \text{F}_{t,2.Rd} = 247.2 \cdot \text{kN} \\ & \text{Spôsob porušenia 3: Porušenie skrutiek} \\ & \text{F}_{t,3,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} & \text{F}_{t,3,Rd} = 352.8 \cdot \text{kN} \end{split}$$

$$F_{t.ep.ind2.Rd} = min(F_{T.1.Rd}, F_{T.2.Rd}, F_{T.3.Rd})$$

$$F_{t.ep.ind2.Rd} = 247.2 \cdot kN$$
návrhová odolnosť
pásnice T-profilu

 Pásnica a stena nosníka namáhaná tlakom (6.2.6.7 v EN 1993-1-8) Návrhový moment odolnosti nosníka

$$M_{c.Rd} = \frac{W_{pl.b} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} \qquad \qquad M_{c.Rd} = 189 \cdot kNm$$

Návrhová tlaková odolnosť pásnice nosníka spolu s priľahlou stenou nosníka

$$F_{c.fb.Rd} = \frac{M_{c.Rd}}{h_b - t_{fb}} \qquad \qquad F_{c.fb.Rd} = 593.5 \cdot kN$$

• Stena nosníka namáhaná ťahom (6.2.6.8 v EN 1993-1-8)

b_{eff.t.wb} = min(l_{eff.cp.2.EPB}, l_{eff.nc.2.EPB}) Návrhová ťahová odolnosť steny nosníka

$$F_{t.wb.Rd} = b_{eff.t.wb} \cdot t_{wb} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} \qquad \qquad F_{t.wb.Rd} = 377.6 \cdot kN$$

Prehľad odolností

Odolnosť radu skrutiek 1 - považovaného za samostatný (6.2.7.2(6) v EN 1993-1-8)

Stena stĺpa namáhaná ťahom:	$F_{t.wc.ind.Rd} = 214.6 \cdot kN$
Pásnica stĺpa namáhaná ohybom:	$\textbf{F}_{t.fc.ind.Rd} = 147.65 \cdot \textbf{kN}$
Čelná doska namáhaná ohybom:	$F_{t.ep.ind1.Rd} = 136.7 \cdot kN$

$$F_{t1.min} = min(F_{t.wc.ind.Rd}, F_{t.fc.ind.Rd}, F_{t.ep.ind1.Rd})$$

b_{eff.t.wb} = 214.2⋅mm

$F_{t1.min} = 136.7 \cdot kN$

Odolnosť radu skrutiek 2 - považovaného za samostatný (6.2.7.2(6) v EN 1993-1-8)

Stena stĺpa namáhaná ťahom:	$F_{t.wc.ind.Rd} = 214.6 \cdot kN$	
Pásnica stĺpa namáhaná ohybom:	$F_{t.fc.ind.Rd} = 147.65 \cdot kN$	
Čelná doska namáhaná ohybom:	$F_{t.ep.ind2.Rd} = 247.2 \cdot kN$	
Stena nosníka namáhaná ťahom:	$F_{t.wb.Rd} = 377.6 \cdot kN$	
$F_{t2.min} = min(F_{t.wc.ind.Rd}, F_{t.fc.ind.Rd}, F_{t.ep.ii})$	nd2.Rd , F _{t.wb.Rd})	$F_{t2.min} = 147.7 \cdot kN$



Redukcia odolnosti radu skrutiek 2 (6.2.7.2(9) v EN 1993-1-8)

$$\begin{split} h_1 &= h_p - e_1 - h_{pod} - 0.5 \cdot t_{fb} & h_1 &= 364.3 \cdot \text{mm} \\ h_2 &= h_1 - p_1 & h_2 &= 269.3 \cdot \text{mm} \\ h_3 &= h_2 - p_3 & h_3 &= 49.2 \cdot \text{mm} \\ \text{Et2.min.} &= if \Biggl[F_{t1.min} > (1.9 \cdot F_{t.Rd}), F_{t1.min} \cdot \frac{h_2}{h_1}, F_{t2.min} \Biggr] & F_{t2.min} &= 147.7 \cdot \text{kN} \end{split}$$

Odolnosť skupiny radov skrutiek 1+2 (6.2.7.2(8) v EN 1993-1-8)

$F_{tension} = F_{t1.min} + F_{t2.min}$	$F_{tension} = 284.3 \cdot kN$
Stena stĺpa namáhaná ťahom:	$F_{t.wc.12.Rd} = 277.94 \cdot kN$
Pásnica stĺpa namáhaná ohybom:	$F_{t.fc.12.Rd} = 234.7 \cdot kN$

Ak je odolnosť skupiny radov skrutiek 1+2 menšia, tak je potrebné prerozdelenie síl v skrutkách. Redukovať sily začneme od najspodnejšieho uvažovaného radu skrutiek.

 $F_{t2.min} = 98 \cdot kN$ 136.7 kN 98 kN

Kontrola podmienok rovnováhy (6.2.7.2(7) v EN 1993-1-8)

$F_{tension} = F_{t1.min} + F_{t2.min}$	F _{tension} = 234.7·kN
Ťahaná oblasť:	$F_{tension} = 234.7 \cdot kN$
Stena stĺpa namáhaná šmykom:	$V_{wp.Rd} \cdot \beta^{-1} = 220.8 \cdot kN$
Stena stĺpa namáhaná tlakom:	$F_{c.wc.Rd} = 223.58 \cdot kN$

Pásnica nosníka namáhaná tlakom:

$$F_{c.fb.Rd} = 593.5 \cdot kN$$

 $F_{glob.min} = 220.8 \cdot kN$

 $F_{2.min.red} = 84.1 \cdot kN$

 $\mathsf{F}_{\mathsf{glob},\mathsf{min}} = \mathsf{min} \ \mathsf{V}_{\mathsf{wp},\mathsf{Rd}} \cdot \boldsymbol{\beta}^{-1}, \mathsf{F}_{\mathsf{c},\mathsf{wc},\mathsf{Rd}}, \mathsf{F}_{\mathsf{c},\mathsf{fb},\mathsf{Rd}}$ Prípadná redukcia odolností ťahanej oblasti

$$\label{eq:F2} \begin{split} F_{2.min.red} \ = \ & F_{t2.min} \quad if \quad F_{glob.min} > F_{tension} \\ & F_{glob.min} - F_{t1.min} \quad otherwise \end{split}$$

$$F_{2,min,red} = if \left(F_{2,min,red} < 0 \cdot kN, 0 \cdot kN, F_{2,min,red} \right)$$



Odolnosť uzla v ohybe (6.2.7.2(1) v EN 1993-1-8) •

$$\begin{split} M_{j,Rd} &= F_{t1,min} \cdot h_1 + F_{2,min,red} \cdot h_2 & M_{j,Rd} = 72.4 \cdot kNm \\ \hline Posudok_6 &= \frac{M_{j,Rd}}{M_{j,Rd}} & Posudok_6 = 0.97 &\leq 1 \\ \hline Odolnost' skrutiek proti strihu (Tab. 3.4 v EN 1993-1-8) \\ \alpha_v &= 0.6 & rovina strihu prechádza driekom bez závitu \\ \hline F_{v,Rd} &= \frac{A_{s,bolt} \cdot \alpha_v \cdot f_{ubolt}}{\gamma_{M2}} & F_{v,Rd} = 117.6 \cdot kN & Odolnost' jednej skrutky proti strihu \\ V_{v,Rd,1} &= 2 \cdot F_{v,Rd} & V_{v,Rd,1} = 235.2 \cdot kN & Odolnost' skrutiek proti strihu (uvažujeme iba dolný rad skrutiek, ktorý nie je využitý na prenos ťahu) \\ \hline Posudok_7 &= \frac{F_{v,Ed}}{V_{v,Rd,1}} & Posudok_7 = 0.85 &\leq 1 \\ \hline Odolnost' skrutiek proti otlačeniu - čelná doska (Tab. 3.4 v EN 1993-1-8) \\ \alpha_b &= min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{P_3}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ubolt}}{f_{up}}, 1 \right) & \alpha_b = 0.45 \\ \hline k_1 &= min \left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) & k_1 = 2.5 \\ \hline F_{b,Rd} &= \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p}{F_{b,Rd}} & F_{b,Rd} = 98.2 \cdot kN & Odolnosť jednej skrutky proti otlačeniu \\ \hline \end{array}$$

1

$$V_{v.Rd.2} = 6 \cdot F_{b.Rd} \qquad V_{v.Rd.2} = 589.1 \cdot kN$$

$$Posudok_8 = \frac{F_{v.Ed}}{V_{v.Rd.2}} \qquad Posudok_8 = 0.34 \qquad \leq$$

 γ_{M2}

376

. ,

• Odolnosť skrutiek proti otlačeniu - pásnica stĺpa (Tab. 3.4 v EN 1993-1-8)

$$k_{5.1} = \frac{0.9 \cdot l_{eff.bolt1} \cdot t_p^{-3}}{m_{x.EPB}^{-3}} \qquad \qquad k_{5.1} = 8.2 \cdot mm$$

 $I_{\text{eff,bolt2}} = \text{min} \left(I_{\text{eff.cp.2.EPB}}, I_{\text{eff.nc.2.EPB}} \right)$

$$k_{5.2} = \frac{0.9 \cdot l_{eff.bolt2} \cdot t_p^{-3}}{m_{EPB}^{-3}} \qquad \qquad k_{5.2} = 12 \cdot m$$

Skrutky namáhané ťahom

$I_{washer} = 4 \cdot mm$	$I_{nut} = 16 \cdot mm$	$I_{head} = 13 \cdot mm$
$L_{b} = t_{fc} + t_{p} + 2 \cdot I_{washer} +$	$0.5 {\cdot} \textbf{I}_{\text{nut}} + 0.5 {\cdot} \textbf{I}_{\text{head}}$	$L_b = 47.5 \cdot mm$
$k_{10} = \frac{1.6 \cdot A_{s.bolt}}{L_b}$		$k_{10} = 8.25 \cdot mm$

Uzly s čelnou doskou s dvoma ťahanými radmi skrutiek

Súčinitele účinnej tuhosti každého radu skrutiek

1

Ekvivalentné rameno vnútorných síl

$$z_{eq} = \frac{k_{eff.1} \cdot h_1^2 + k_{eff.2} \cdot h_2^2 + k_{eff.3} \cdot h_3^2}{k_{eff.1} \cdot h_1 + k_{eff.2} \cdot h_2 + k_{eff.3} \cdot h_3} \qquad z_{eq} = 299.1 \cdot mm$$

Ekvivalentný súčiniteľ tuhosti

$$k_{eq} = \frac{k_{eff.1} \cdot h_1 + k_{eff.2} \cdot h_2 + k_{eff.3} \cdot h_3}{z_{eq}} \qquad \qquad k_{eq} = 3.8 \cdot mm$$

Začiatočná rotačná tuhosť uzla

$$\begin{split} \mu &= 1\\ \textbf{S}_{j,ini} &= \frac{\textbf{E} \cdot \textbf{z}_{eq}^{2}}{\mu \cdot \left(\frac{1}{\textbf{k}_{1}} + \frac{1}{\textbf{k}_{2}} + \frac{1}{\textbf{k}_{eq}}\right)} \\ \end{split} \qquad \qquad \textbf{S}_{j,ini} &= 21471.2 \cdot \frac{\textbf{kNm}}{\textbf{rad}} \end{split}$$

 $I_{eff.bolt2} = 214.23 \cdot mm$

nm

 $I_{eff.bolt3} = 214.23 \cdot mm$

Prierez vodorovného prúta "bd" (nulové vnútorné sily): profil IPE 330:

IPE 330 (ARBED)

 $l_{y.bd} := 11770 \cdot 10^4 \text{mm}^4$

Dĺžky prútov: $L_{ab} := 5 \cdot m$ $L_{bc} := 5 \cdot m$ $L_{bd} := 4 \cdot m$



Výpočet vnútorných síl

N _{bc} ≔ −F _{1.Ed}	$N_{bc} = -500 \cdot kN$
$N_{ab} := -F_{1.Ed} - F_{2.Ed}$	$N_{ab} = -700 \cdot kN$

Výpočet faktorov vzperných dĺžok, vzperných dĺžok, kritických osových síl tlačených prútov rámu: Stabilitné funkcie:

$$\begin{split} \mathsf{L}_{1}(\epsilon) &\coloneqq \left| \begin{array}{c} \frac{\epsilon \cdot \sin(\epsilon) - \epsilon^{2} \cdot \cos(\epsilon)}{2 - 2 \cdot \cos(\epsilon) - \epsilon \cdot \sin(\epsilon)} & \text{if} \quad \epsilon > 0.00095 \\ 4 & \text{otherwise} \end{array} \right. \\ \mathsf{L}_{2}(\epsilon) &\coloneqq \left| \begin{array}{c} \frac{\epsilon^{2} - \epsilon \cdot \sin(\epsilon)}{2 - 2 \cdot \cos(\epsilon) - \epsilon \cdot \sin(\epsilon)} & \text{if} \quad \epsilon > 0.00095 \\ 2 & \text{otherwise} \end{array} \right. \\ \mathsf{L}_{3}(\epsilon) &\coloneqq \left| \begin{array}{c} \frac{\epsilon^{2} \cdot \sin(\epsilon)}{2 \cdot \sin(\epsilon) - \epsilon \cdot \cos(\epsilon) - \epsilon} & \text{if} \quad \epsilon > 0.00095 \\ 6 & \text{otherwise} \end{array} \right. \\ \mathsf{L}_{4}(\epsilon) &\coloneqq \left| \begin{array}{c} \frac{\epsilon^{2} \cdot \sin(\epsilon)}{\sin(\epsilon) - \epsilon \cos(\epsilon)} & \text{if} \quad \epsilon > 0.00095 \\ 3 & \text{otherwise} \end{array} \right. \end{split}$$

$$L_5(\epsilon) := \epsilon \cdot tan(\epsilon)$$

Priebeh stabilitných funkcií: $\epsilon := 0, 0.001...7$



Strata stability v rovine rámu (vybočenie kolmo na os "y-y"). Výpočet deformačnou metódou prútovej sústavy, ktorá je dvakrát tvarovo neurčitá:

Predpoklady výpočtu:

- vplyv stlačenia strednice prútov je zanedbateľný,
- vplyv pretvorenia od priečnych síl je zanedbateľný,
- platnosť teórie malých deformácií (krivosť možno zobrať rovnú druhej derivácii priehybu)
- neobmedzená platnosť zákona Roberta Hooke-ho (vzťah medzi napätím σ a pomerným pretvorením ε je lineárny).

Ďalej si treba uvedomiť:

- princíp superpozície (je založený na lineárnej závislosti medzi zaťažením a pretvorením) v stabilitných úlohách platí za predpokladu rovnakej osovej sily v príslušných prútoch sústavy,
- pôjde o jednoparametrické zaťaženie (všetky zaťaženia sústavy sa budú meniť prenásobením jedným parametrom),
- riešime pravouhlý rám, pre všeobecnejší prípad rámu by postup bolo treba upraviť.

Znamienková dohoda použitá pri výpočte:

smer otáčania koncového momentu na prúte, pootáčanie uzla a pootáčanie osi prúta sa považujú za kladné, ak je zhodný so smerom otáčania hodinových ručičiek.

Výpočet kritickej sily deformačnou metódou. Tvarovú neurčitosť určuje počet pridaných umelých podpier.



EIyal

a

 $L_2(\mathcal{E}_{ab}) \frac{L_{ab}}{L_{ab}}$

Prvý vlastný tvar vybočenia kolmo na rovinu rámu, kolmo na os "z-z"

Prvý vlastný tvar vybočenia v rovine rámu, kolmo na os "y-y"



Strata stability prútov kolmo na rovinu rámu (vybočenie kolmo na os "z-z"). Výpočet deformačnou metódou:

výpočet sme vykonali analogicky ako pre vybočenie kolmo na os "y-y" avšak pre spojitý nosník, ktorý je jedenkrát tvarovo neurčitý. Dostali sme:

Pri zanedbaní spojitosti zvislého prúta "ac" v uzle "b" by sme dostali približné hodnoty vzperných dĺžok:

Prierez vodorovného prúta "bd" (je ohýbaný): profil IPE 330:

IPE 330 (ARBED)

Charakteristiky prierezu vertikálneho prúta "bd":



Výpočet vnútorných síl deformačnou metódou. Rám je dvakrát tvarovo neurčitý. Tvarovú neurčitosť určuje počet pridaných umelých podpier.

Základná tvarovo určitá sústava vytvorená zavedením umelých podpier zabraňujúcich: - posunutiu bodu "d" (umelá podpera č.1) - pootočeniu uzla "b" (umelá podpera č.2)







$$soln = \begin{pmatrix} 5.27 \times 10^{-3} \\ 5.27 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \qquad X_{1} := soln_{0} \cdot m = 5.27 \cdot mm \qquad X_{2} := soln_{1} = 0.0052702$$

Výpočet vnútorných síl teóriou I. rádu (index "F" znamená, že ide o účinok zaťaženia "F"): Výpočet hodnôt ohybových momentov na koncoch prútov:

$$M = M_0 + M_1 \cdot X_1 + M_2 \cdot X_2$$

$$M_{ab,F} := 0 \cdot kN \cdot m - \frac{6 \cdot E \cdot I_{y,ab}}{L_{ab}^2} \cdot X_1 + \frac{2 \cdot E \cdot I_{y,ab}}{L_{ab}} \cdot X_2 = 6.538 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{ba,F} := 0 \cdot kN \cdot m + \frac{6 \cdot E \cdot I_{y,ab}}{L_{ab}^{2}} \cdot X_{1} - \frac{4 \cdot E \cdot I_{y,ab}}{L_{ab}} \cdot X_{2} = -22.882 \, kN \cdot m$$

$$M_{bc,F} := 0 \cdot kN \cdot m + \frac{3 \cdot E \cdot l_{y,bc}}{L_{bc}^{2}} \cdot X_{1} + \frac{3 \cdot E \cdot l_{y,bc}}{L_{bc}} \cdot X_{2} = 29.42 \cdot kN \cdot m$$

 $M_{cb,F} := 0 \cdot kN \cdot m$

$$M_{bd,F} := \frac{-3 \cdot F_{2,Ed} \cdot L_{bd}}{16} + 0 \cdot \frac{E \cdot I_{y,bc}}{L_{bc}^2} \cdot X_1 + \frac{3 \cdot E \cdot I_{y,bd}}{L_{bd}} \cdot X_2 = -52.302 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\mathsf{M}_{\mathsf{f},\mathsf{F}} := \left(\frac{\mathsf{F}_{2}.\mathsf{Ed}^{\mathsf{L}}\mathsf{bd}}{4} - 0.5 \cdot \frac{3 \cdot \mathsf{F}_{2}.\mathsf{Ed}^{\mathsf{L}}\mathsf{bd}}{16}\right) + 0 \cdot \frac{\mathsf{E} \cdot \mathsf{I}_{\mathsf{y},\mathsf{bc}}}{\mathsf{L}_{\mathsf{bc}}^{2}} \cdot \mathsf{X}_{\mathsf{1}} + 0.5 \cdot \frac{3 \cdot \mathsf{E} \cdot \mathsf{I}_{\mathsf{y},\mathsf{bd}}}{\mathsf{L}_{\mathsf{bd}}} \cdot \mathsf{X}_{\mathsf{2}} = 173.849 \,\mathsf{kN} \cdot \mathsf{m}$$

 $M_{db.F} := 0 \cdot kN \cdot m$

$$N_{bc.F} := -F_{1.Ed} = -500 \text{ kN}$$
 $N_{ab.F} := -F_{1.Ed} - \frac{F_{2.Ed}}{2} + \frac{M_{bd.F}}{L_{bd}} = -613.076 \text{ kN}$

Ohybové momenty spôsobené jednotkovými deformáciami: pootočením uzla $\Phi = 1$ a posunutím uzla $\Delta = 1$

Prút votknutý na oboch stranách: index ff

$$m_{\phi,ff}(\xi) := 4 - 6 \cdot \xi$$

$$m_{\Delta,ff}(\xi) := 6 - 12 \cdot \xi$$

$$m_{\Delta,ff}(\xi) := 6 - 12 \cdot \xi$$

prút votknutý na ľavom konci a jednoducho podopretý na pravom konci: index fh



Výpočet priebehov ohybových momentov:

Znamienková dohoda pre hodnotu ohybového momentu: pravý koniec vodorovného alebo dolný koniec zvislého prúta: kladná, ľavý koniec vodorovného alebo horný koniec zvislého prúta: záporná.

 $\xi := 0, 0.01.. 1$

Prút "bc"



 $M_{bc}(1) = 0 \cdot N \cdot m$











V (x)



Strata stability prútov kolmo na rovinu rámu (vybočenie kolmo na os "z-z"). Výpočet deformačnou metódou: výpočet sme vykonali analogicky ako pre vybočenie kolmo na os "y-y" avšak pre spojitý nosník, ktorý je jedenkrát tvarovo neurčitý. Dostali sme:

$$L_{z.ab} := 4.063 \cdot m \qquad k_{z.ab} := \frac{L_{z.ab}}{L_{ab}} = 0.813$$

$$N_{cr.z.ab} := \frac{\pi^2 \cdot (E \cdot I_{z.ab})}{L_{z.ab}^2} = 1.677 \cdot MN \qquad \alpha_{cr.z} = 1.257 \cdot MN \qquad \alpha_{cr.z} = 1.256 \cdot m \qquad k_{z.bc} := \frac{L_{z.bc}}{L_{bc}} = 0.9$$

$$N_{cr.z.bc} := \frac{\pi^2 \cdot (E \cdot I_{z.bc})}{L_{z.bc}^2} = 1.368 \cdot MN \qquad \alpha_{cr.z} = 1.258 \cdot MN$$

$$v_{\text{cr.z}} \coloneqq \frac{N_{\text{cr.z.ab}}}{\left|N_{\text{ab.F}}\right|} = 2.74$$

 $\frac{N_{cr.z.bc}}{|N_{bc.F}|} = 2.74$

Výpočet presnejšej hodnoty kritického momentu pre stanovený tvar priebehu ohybových momentov podľa NA k STN EN 1993-1-1 ani podľa STN 73 1401 nie je možný, pretože taký prípad tam nie je riešený.

Výpočet hodnoty kritického momentu pomocou autorovho programu CalcMcr pomocou bezrozmerných veličín

 $M_{bd,F} = -52.302 \text{ kN} \cdot \text{m}$

 $M_{f,F} = 173.849 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\left|\frac{M_{f,F}}{M_{bd,F}}\right| = 3.324$$

 $\mu_{cr} := 1.23778$

 $M_{cr} := 189.299 \cdot kN \cdot m$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_{z.bd} \cdot G \cdot I_{T.bd}}}{L_{bd}} = 189.34 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

♥ Calc∧	Acr v1.9	×
Load type	0 <u>++</u>	С ши
Boundary cor	nditions C #	
My M1= -1	M0 M1 = 3.324	0 = <u>M2</u> M1
_ _ Definition of t	he beam	
Divut	E, G, Iz, It,	
1.061	-1.101	
	Dimensionless Mcr = 1.23778	

Výpočet hodnoty kritického momentu pomocou autorovho programu CalcMcr pomocou veličín s rozmermi

CalcMcr v1.9 Dialog E = 210000 MPa Load type _++ 0 +C . G = 81000 MPa Boundary conditions L = 4 m · _ _ 4 Iz = 7.88e-006 m⁴ Мu It = 2.83e-007 m⁴ = <u>M2</u> M1 ο M1= -1 lw = 1.991e-007 m⁶ <u>M0</u> M1 = 3.324 zg = 0.165 m Definition of the beam zj = 0 m E, G, Iz, It, ... ΟK Cancel Pkwt Pzgp Pzjp 1.06072 -1.10106 0 Dimensionless Г Mcr = 0.189299 MNm

Výpočet hodnoty kritického momentu pomocou výpočtového programu BTII, ktorý je založený na metóde konečných prvkov

$$\begin{split} \mathsf{L}_{3}(\epsilon) &\coloneqq \left| \begin{array}{c} \frac{\epsilon^{2} \cdot \sin(\epsilon)}{2 \cdot \sin(\epsilon) - \epsilon \cdot \cos(\epsilon) - \epsilon} & \text{if } \epsilon > 0.00095 \\ \\ \frac{\epsilon}{2 \cdot \sin(\epsilon) - \epsilon \cdot \cos(\epsilon)} & \text{if } \epsilon > 0.00095 \\ \\ \mathsf{L}_{4}(\epsilon) &\coloneqq \left| \begin{array}{c} \frac{\epsilon^{2} \cdot \sin(\epsilon)}{\sin(\epsilon) - \epsilon \cos(\epsilon)} & \text{if } \epsilon > 0.00095 \\ \\ \frac{\epsilon}{3} & \text{otherwise} \end{array} \right| \\ \\ \mathsf{L}_{5}(\epsilon) &\coloneqq \epsilon \cdot \tan(\epsilon) \end{split}$$

Priebeh stabilitných funkcií:

$$\epsilon := 0, 0.001...7$$



Výpočet vnútorných síl deformačnou metódou. Rám je dvakrát tvarovo neurčitý. Tvarovú neurčitosť určuje počet pridaných umelých podpier.

Predpoklady výpočtu:

- vplyv stlačenia strednice prútov je zanedbateľný,
- vplyv pretvorenia od priečnych síl je zanedbateľný,
- platnosť teórie malých deformácií (krivosť možno zobrať rovnú druhej derivácii priehybu)
- neobmedzená platnosť zákona Roberta Hooke-ho (vzťah medzi napätím σ a pomerným pretvorením ϵ je lineárny).
- Ďalej si treba uvedomiť:
- princíp superpozície (je založený na lineárnej závislosti medzi zaťažením a pretvorením)
 v stabilitných úlohách platí za predpokladu rovnakej osovej sily v príslušných prútoch sústavy,
- pôjde o jednoparametrické zaťaženie (všetky zaťaženia sústavy sa budú meniť prenásobením jedným parametrom),
- riešime pravouhlý rám, pre všeobecnejší prípad rámu by postup bolo treba upraviť.
- Základná tvarovo určitá sústava vytvorená zavedením umelých podpier zabraňujúcich:
- posunutiu bodu "d" (umelá podpera č.1)
- pootočeniu uzla "b" (umelá podpera č.2)







Znamienková dohoda použitá pri výpočte:

smer otáčania koncového momentu na prúte, pootáčanie uzla a pootáčanie osi prúta sa považujú za kladné, ak je zhodný so smerom otáčania hodinových ručičiek.

Potrebnú hodnotu tlakovej osovej síly v prúte "ab" odhadneme pomocou hodnoty ohybového momentu M_{bd} vypočítanej pomocou teórie I. rádu v príklade 2. Táto hodnota je potrebná na určenie parametra prúta ε_{ab} . V prípade neakceptovateľného rozdielu medzi neskôr vypočítanou hodnotou ε_{ab} a touto odhadnutou hodnotou, budeme výpočet iterovať v potrebnom počte cyklov. N_{bc} := -F_{1.Ed} = -500 kN

$$M_{bd} := -52.302 \cdot kN \cdot m$$

$$N_{ab} := -F_{1.Ed} - \frac{F_{2.Ed}}{2} + \frac{M_{bd}}{L_{bd}} = -613.076 \, kN$$

Úprava vedúca k tomu aby reakcie v pridaných podperách boli funkciou len jedného parametra ε . Za parameter ε zvolíme

Pomerné hodnoty osových síl

$$n_{ab} := \frac{N_{ab}}{N_{bc}} = 1.226$$

pomerné hodnoty dĺžok prútov

$$I_{ab} := \frac{L_{ab}}{L_{bc}} = 1$$

pomerné hodnoty kvadratických momentov prierezov prútov (resp. ohybových tuhostí prierezov prútov EI)

$$i_{ab} := \frac{l_{y.ab}}{l_{y.bc}} = 1$$

Priebehy ohybových momentov spôsobených jednotkovými deformácian i:= 1 a $\Delta := 1$ pre hodnoty parametra $\varepsilon = 0; 1; 2; 3; 4.$

a) na prúte obojstranne votknutom (index f = fixed fixed)



 b) na prúte votknutom na ľavom konci a jednoducho podopretom na ľavom konci (index f h, f = fixed, h = hinged).

$$\begin{split} \textbf{m}_{\boldsymbol{\varphi},\boldsymbol{f}\boldsymbol{h}}\left(\epsilon\,,\xi\right) &\coloneqq \begin{bmatrix} 3\cdot(1-\xi) \end{bmatrix} & \text{if} \quad \epsilon \leq 0.00095 \\ \epsilon^2 \cdot \frac{\cos\left(\epsilon\right)\cdot\sin\left(\epsilon\cdot\xi\right) - \sin\left(\epsilon\right)\cdot\cos\left(\epsilon\cdot\xi\right)}{\epsilon\cdot\cos\left(\epsilon\right) - \sin\left(\epsilon\right)} & \text{otherwise} \\ \end{split}$$





b) na prúte votknutom na l'avom konci a nepodopretom na l'avom konci (index f 0, f = fixed, 0 = free end).

$$\begin{split} \mathsf{m}_{\varphi,\text{f0}} \ (\epsilon \ , \xi) &\coloneqq & 0 \quad \text{if} \quad \epsilon \leq 0.00095 \\ & -\epsilon \cdot \frac{\sin\left(\epsilon\right) \cdot \cos\left(\epsilon \cdot \xi\right) - \cos\left(\epsilon\right) \cdot \sin\left(\epsilon \cdot \xi\right)}{\cos\left(\epsilon\right)} \quad \text{otherwise} \end{split}$$



Výpočet priebehov ohybových momentov na jednotlivých prútoch

Znamienková dohoda pre hodnoty ohybových momentov:

- vynesené vpravo pri zvislých prútoch a dole pri vodorovných prútoch = pozitívna (kladná) hodnota - vynesené vľavo pri zvislých prútoch a hore pri vodorovných prútoch = negatívna (záporná) hodnota. Priebeh ohybového momentu na základnej tvarovo určitej sústave od naklonenia prútov (nulové hodnoty):

 $M_{0,w0,bd}(\xi) := 0 \cdot kN \cdot m$ $\mathsf{M}_{0, \psi 0, \mathsf{bc}}(\xi) := 0 \cdot \mathsf{kN} \cdot \mathsf{m}$ $M_{0,w0,ab}(\xi) := 0 \cdot kN \cdot m$

 -5×10

 -1×10

Priebeh ohybového momentu na základnej tvarovo určitej sústave spôsobeného začiatočným zakrivením prútov s amplitúdou e_0 a rovnomerným zaťažením "q" na prúte obojstranne votknutom (index ff) [funkcia odvodená I. Balážom]

$$\begin{split} \mathsf{M}_{0.\mathrm{ff},\mathrm{e0}} & \left(\varepsilon, \xi, \mathsf{I}, \mathsf{L}, \mathsf{e}_{0}, \mathsf{q} \right) \coloneqq \cos\left(\varepsilon \cdot \xi \right) \cdot \frac{\varepsilon - \sin\left(\varepsilon \right) + 0.5 \cdot \varepsilon \cdot (\cos\left(\varepsilon \right) - 1 \right)}{\sin\left(\varepsilon \right)} \cdot \left(\frac{\mathsf{q} \cdot \mathsf{L}^{2}}{\varepsilon^{2}} + \frac{\mathsf{8} \cdot \mathsf{E} \cdot \mathsf{I} \cdot \mathsf{e}_{0}}{\mathsf{L}^{2}} \right) \dots \\ & + \sin\left(\varepsilon \cdot \xi \right) \cdot \left[\frac{1 - \cos\left(\varepsilon \right)}{\sin\left(\varepsilon \right)} \cdot \frac{\varepsilon - \sin\left(\varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{2} \cdot (\cos\left(\varepsilon \right) - 1 \right)}{\sin\left(\varepsilon \right)} \cdot \left(\frac{\mathsf{q} \cdot \mathsf{L}^{2}}{\varepsilon^{2}} + \frac{\mathsf{8} \cdot \mathsf{E} \cdot \mathsf{I} \cdot \mathsf{e}_{0}}{\mathsf{L}^{2}} \right) \right] \dots \\ & + \left[\sin\left(\varepsilon \cdot \xi \right) \cdot \frac{1 - \cos\left(\varepsilon \right)}{\sin\left(\varepsilon \right)} - \left(1 - \cos\left(\varepsilon \cdot \xi \right) \right) \right] \cdot \left(\frac{\mathsf{q} \cdot \mathsf{L}^{2}}{\varepsilon^{2}} + \frac{\mathsf{8} \cdot \mathsf{E} \cdot \mathsf{I} \cdot \mathsf{e}_{0}}{\mathsf{L}^{2}} \right) \right] \dots \\ & + \left[\sin\left(\varepsilon \cdot \xi \right) \cdot \frac{1 - \cos\left(\varepsilon \right)}{\sin\left(\varepsilon \right)} - \left(1 - \cos\left(\varepsilon \cdot \xi \right) \right) \right] \cdot \left(\frac{\mathsf{q} \cdot \mathsf{L}^{2}}{\varepsilon^{2}} + \frac{\mathsf{8} \cdot \mathsf{E} \cdot \mathsf{I} \cdot \mathsf{e}_{0}}{\mathsf{L}^{2}} \right) \right] \dots \\ & + \left[\sin\left(\varepsilon \cdot \xi \right) \cdot \frac{1 - \cos\left(\varepsilon \right)}{\sin\left(\varepsilon \right)} - \left(1 - \cos\left(\varepsilon \cdot \xi \right) \right) \right] \cdot \left(\frac{\mathsf{q} \cdot \mathsf{L}^{2}}{\varepsilon^{2}} + \frac{\mathsf{8} \cdot \mathsf{E} \cdot \mathsf{I} \cdot \mathsf{e}_{0}}{\mathsf{L}^{2}} \right) \right] \right] \dots$$

0.2

0.4

ξ

0.6

0.8

Vnútorné síly a deformácie stanovené pomocou teórie II. rádu na ráme s takou kombináciou Imperfekcií (ich hodnoty zodpovedajú pružnostnej analýze), ktorá vyvodí najnepriaznivejšie účinky na prúte "ab"



VNÚTORNÉ SILY OD ZAŤAŽOVACÍCH ÚČINKOV PRE PRÚT "ab" ZÍSKANÉ POMOCOU TEÓRIE II. RÁDU





OHYBOVÉ MOMENTY OD ČIASTKOVÝCH ZAŤAŽOVACÍCH ÚČINKOV PRE PRÚT "ab"

Vnútorné síly a deformácie stanovené pomocou teórie II. rádu na ráme s takou kombináciou imperfekcií (ich hodnoty zodpovedajú pružnostnej analýze), ktorá vyvodí najnepriaznivejšie účinky na prúte "bc"



VNÚTORNÉ SILY OD ZAŤAŽOVACÍCH ÚČINKOV PRE PRÚT "be" ZÍSKANÉ POMOCOU TEÓRIE II. RÁDU



OHYBOVÉ MOMENTY OD ČIASTKOVÝCH ZAŤAŽOVACÍCH ÚČINKOV PRE PRÚT "be"

 $M^{II}(x) OD \Phi$

M^{II}(x) OD F₁ A F₂

 $M^{II}(x) OD e_0$



Priebeh aproximácie 1. vlastného tvaru na prúte (a-b) a jeho prvej derivácie:



Posúdenie stability rámu na základe posúdenia rozhodujúceho prierezu s vnútornými silami z analýzy teóriou II rádu s imperfekciou podľa 5.3.2 (11) [1] alebo podľa NB.5.2 [2]

V nasledujúcom postupe sú zadávané jednotlivé veličiny funkčne (napriek tomu že sú v tomto príklade konštantné), čo by bolo nevyhnutné iba v prípade nekonštantného prierezu a/alebo nekonštantnej osovej sily na rozhodujúcom prúte a súčasného "hľadania" rozhodujúceho prierezu. V tomto príklade je poloha rozhodujúceho prierezu vopred známa.

Prierezové charakteristiky prúta (a-b) s prierezom HE200A:

h(x) := 190mm	$I_v(x) := 3692 \cdot 10^4 \text{mm}^4$
	v

b := 200mm

 $W_{y}(x) := \frac{I_{y}(x) \cdot 2}{h(x)}$ $A(x) := 5383 \text{mm}^2$

Materiál prúta: S235: f_V := 235MPa E := 210GPa

Priebeh momentov teórie II. rádu :

Priebeh momentu teórie II. rádu je rovný priebehu súčinu druhej derivácie priebehu prídavnej deformácie vyvolanej osovými silami pôsobiacimi na imperfektnom ráme a funkcie premennej ohybovej tuhosti prúta. Vzhľadom na to, že imperfektný tvar rámu je podľa 5.3.2 (11) [1] alebo podľa NB.5.2 [2] možné odvodiť od 1. vlastného tvaru vybočenia (ktorému je potom afinná prídavná deformácia vyvolávajúca M^{II}) je poloha maximálneho momentu teórie II. rádu totožná s polohou maxima súčinu druhej derivácie funkcie vlastného tvaru vybočenia prúta a funkcie premennej ohybovej tuhosti prúta.

Druhá derivácia vlastného tvaru vybočenia:

Funkcia afinná (maximum je totožné) priebehu momentu teórie II. rádu:



Funkcia afinná priebehu momentov teórie II. rádu:



Nájdenie polohy maximálneho momentu teórie II. rádu:

Určenie maxima súčinu druhej derivácie vlastného tvaru vybočenia a funkcie ohybovej tuhosti prúta:

Prvá derivácia funkcie afinnej priebehu momentov II. rádu:

$$\frac{d}{dx} \left[\eta''_{cr}(x) \cdot \left(E \cdot I_y(x) \right) \right]$$

$$x_{maxM.o} = 1m$$

Given

$$\frac{d}{dx_{\max M.o}} \left[\frac{\sum_{i=0}^{n-1} \left[C_i \cdot i \cdot \frac{i-1}{2} \cdot \left(\frac{x_{\max M.o}}{m} \right)^{i-2} \right]}{\eta(x_{\max})} \text{EI}_y(x_{\max M.o}) \right] = 0$$

$$x_{\max M} := \text{Find}(x_{\max M.o}) \qquad x_{\max M} = -0.398\text{m}$$
262





Priebeh momentov teórie II. rádu je rovný súčinu priebehu druhej derivácie prídavnej deformácie $\eta(x)$ od osových síl na prúte s imperfekciou $\eta_{init}(x)$ a funkcie premennej ohybovej tuhosti:

$$M_{II}(x) := -E \cdot I_{y}(x) \cdot \frac{d^{2}}{dx^{2}} \eta(x) \qquad \text{alebo:} \qquad M_{II}(x) := -E \cdot I_{y}(x) \cdot \left\lfloor n_{0.m} \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \left\lfloor C_{i} \cdot i \cdot \frac{i-1}{m^{2}} \cdot \left(\frac{x}{m}\right)^{i-2} \right\rfloor}{\eta(x_{max})} \right\rfloor$$

Poloha a hodnota max. momentu:

$$x_{maxM} = 1 \times 10^{-8} \text{ m} \qquad M_{II}(x_{maxM}) = -14.686 \text{ kNr} \qquad M_{II}(x_m) = -14.686 \text{ kNr}$$

$$\begin{bmatrix} \text{Nm} \end{bmatrix} & 2 \times 10^4 \\ & \text{M}_{II}(x) & 0 \\ & 0 \\ & -1 \times 10^4 \\ & -2 \times 10^4 \\ & 0 \\ & 1 \\ & 2 \\ & 3 \\ & 4 \\ & 5 \\ \end{bmatrix} \qquad M_{II}(L) = 14.243 \text{ kNr}$$

Moment na náhradnom prúte v strede vzpernej dĺžky (pre kontrolu s momentom $M_{II}(x_{maxM})$):

$$M_{nahr.pr} := N_{Ed} \cdot \left(e_{o.d}(x_m) + \frac{e_{o.d}(x_m)}{\alpha_{cr} - 1} \right) \qquad \qquad M_{nahr.pr} = 14.686 \text{kNn}$$

Jednotkové využitie v jednotlivých rezoch prúta:

$$U(x) := \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}(x)} + \frac{\left|M_{II}(x)\right|}{M_{Rd}(x)} \qquad \qquad U_{N}(x) := \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}(x)} \qquad \qquad U_{M}(x) := \frac{M_{II}(x)}{M_{Rd}(x)}$$

Hľadanie miesta maximálneho využitia:

Miesto rozhodujúceho prierezu:

265



Prut := if
$$(U(x_r) \le 1, "vyhovuje", "nevyhovuje")$$

Napätia:

Priebeh napätia od osovej sily a hodnota napätia v rozhodujúcom priereze:

$$\sigma_{N}(x) := \frac{N_{Ed}}{A(x)}$$
 $\sigma_{N}(x_{m}) = 130.039 \text{MPa}$

 $\begin{aligned} x_{\max \sigma M} &\coloneqq & x_{\max \sigma M} \quad \text{if } 0m \leq x_{\max \sigma M} \leq L \\ L \quad \text{if } x_{\max \sigma M} > L \end{aligned}$

0m otherwise

Priebeh napätia od ohybového momentu teórie II. rádu a hodnota napätia v rozhodujúcom priereze:

$$\sigma_{\mathbf{M}}(\mathbf{x}) \coloneqq \frac{\mathbf{M}_{\mathbf{H}}(\mathbf{x})}{\mathbf{W}_{\mathbf{y}}(\mathbf{x})} \qquad \qquad \sigma_{\mathbf{M}}(\mathbf{x}_{\mathbf{m}}) = -37.789 \,\mathrm{MPa}$$

 $\sigma(\mathbf{x}) := \frac{N_{Ed}}{A(\mathbf{x})} + \frac{\left| M_{II}(\mathbf{x}) \right|}{W_{V}(\mathbf{x})}$

Priebeh celkového napätia:

Prut = "vyhovuje"

Given

 $x_{\sigma M} = 1.0 x_{maxM}$

 $\frac{d}{dx_{\sigma M}} \frac{M_{II}(x_{\sigma M})}{W_{V}(x_{\sigma M})} = 0 \qquad x_{\max \sigma M} := Find(x_{\sigma M})$

 $x_{max\sigma M} = -0.398m$

Poloha maximálneho napätia od momentu teórie II. rádu v rámci prúta (a-b):

 $x_{max\sigma M} = 0 m$

