

Praktické porovnanie výpočtu podľa STN, EC2 a DIN pre betónové konštrukcie

Uvedme si dva praktické príklady na porovnanie výsledkov výpočtov podľa uvedených noriem z pozície bežného rutinného postupu. Výsledky nie je možné zovšeobecniť, lebo prístup jednotlivých noriem je odlišný vo výklade zaťaženia, koeficientov pre úpravu materiálových charakteristík, definícií jednotlivých tried betónu a ocele, výpočtových postupov a ich teoretických predpokladov, požiadaviek na bezpečnosť a trvanlivosť konštrukcie, ako aj rozmiestnenie výstuže. Napriek tomu sa jednotlivé veličiny a postupy niekedy prelínajú.

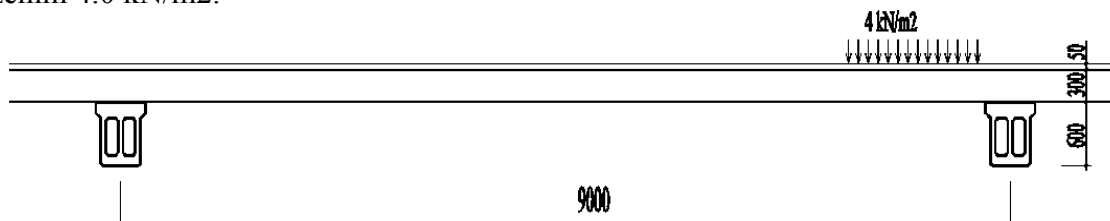
V príkladoch nie sú zohľadnené národné aplikačné dokumenty, resp. ich návrh. Aj v prípade, že by sme mali k dispozícii širšie štatistické údaje napr. spotreby ocele pri výpočte podľa jednotlivých noriem, nemôžeme jednoznačne tvrdiť, že budova je navrhnutá lepšie, lebo sme minuli menej ocele ako keby sme postupovali napr. podľa DIN. Budova s ušetrou ocelou bude mať určite nižší stupeň bezpečnosti a bude náchylnejšia k tvorbe trhlin. Na druhej strane vývoj konštrukcií postupuje k stále presvedčivejšiemu vystihnutiu skutočného pôsobenia materiálov a navrhovanému účelu budovy.

V protiklade k úvodným slovám je v nasledujúcich príkladoch snaha o čo najrovnakejšie vstupné údaje, ktoré budú vzhľadom k názornosti aj čo najjednoduchšie, pri zachovaní praktickej dostupnosti materiálu.

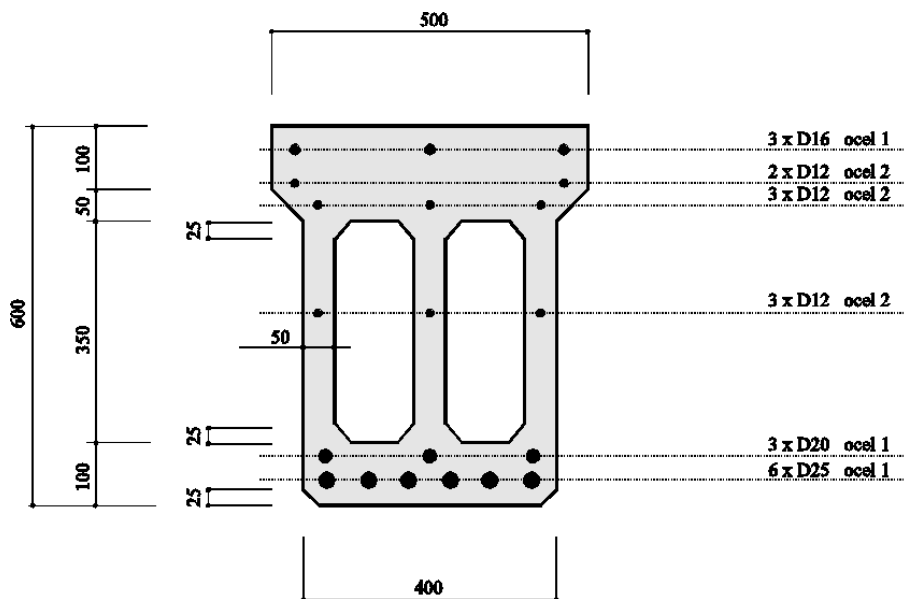
Materiál :

	STN	DIN	EC2
Betón	B25	B25	C20/25
Oceľ 1	R	BSt500	S500
Oceľ 2	V	BSt420	S400
γ_b	1.0	-	-
γ_s	1.0	-	1.15
γ_c	-	-	1.5
α	-	-	0.85
γ	-	1.75	-
$\gamma_{Sprödbruch}$	-	1.20	-

Prvý príklad predstavuje prefabrikovaný proste uložený nosník namáhaný na čistý ohyb s presne určenými rozmermi a výstužou. Zaťaženie preberá zo stropu šírky 9 m (Obr.1,2). Ako porovnávaciu hodnotu budeme používať premenlivé rozpätie nosníka, ktoré bude schopné nosník preklenúť. Strop bude zaťažený užitočným náhodilým krátkodobým zaťažením 4.0 kN/m².



Obr. 2 Rozmery stropnej konštrukcie s uvažovaným nosníkom



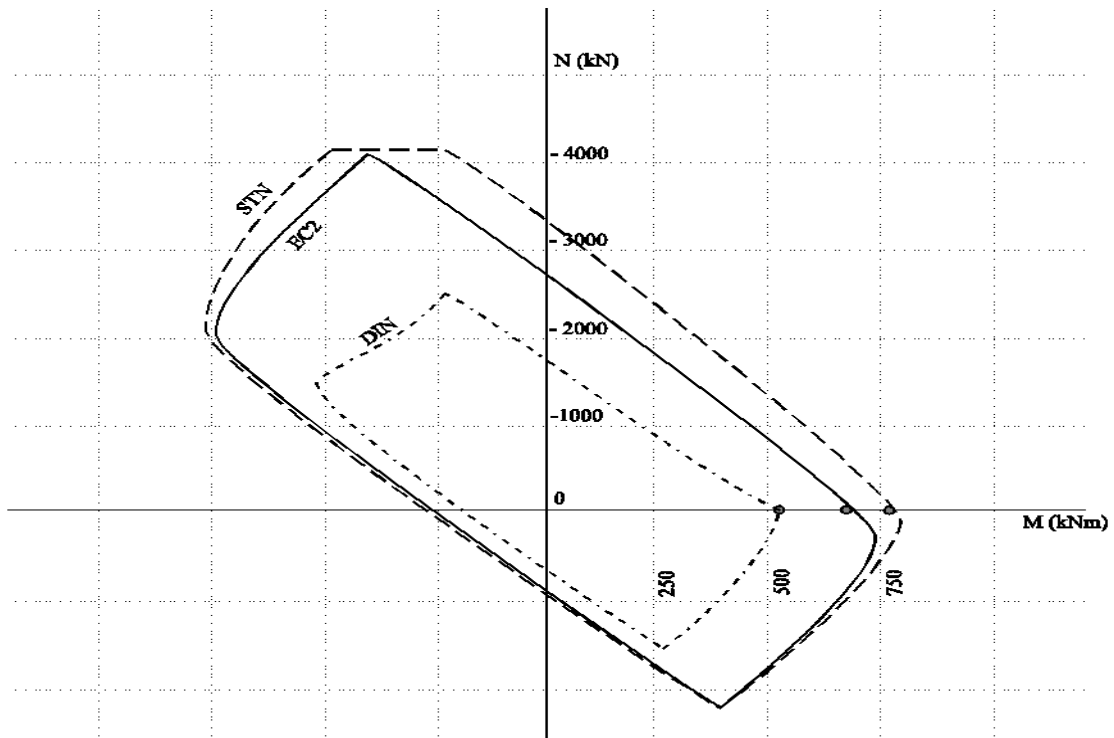
Obr. 1 Geometria prierezu nosníka

Tab.1 Zaťaženia

Zaťaženie :	DIN normové	STN súč. výpočtové	EC2 súč. výpočtové
užitočné	4.0	1.3 5.2	1.5 6
podlaha 0.05 x 23	1.15	1.1 1.265	1.35 1.55
doska 0.3 x 25	7.5	1.1 8.25	1.35 10.125
	12.65	14.715	17.675 kN/m ²
zo šírky 9 m			
kN/m	113.85	132.46	159.58 kN/m
vlastná tiaž nosníka	4.172	1.1 4.59	1.35 5.63
q	118	137	165 kN/m

Obr.3 predstavuje interakčné diagramy železobetónového prierezu podľa jednotlivých noriem. V nasledujúcej tabuľke (Tab.2) je zostavený moment únosnosti pri $N = 0$ a k nemu vypočítané prislúchajúce rozpätie nosníka podľa výpočtového zaťaženia. Porovnávacia hodnota nie je moment únosnosti, ale až rozpätie, vzhľadom na definíciu zaťaženia.

Z uvedených výsledkov vidieť, že podľa STN by sme navrhli najekonomickejší nosník. Ako však uvidíme ďalej, výsledok nemusí byť v konečnej fáze taký jednoznačný. Výsledný nosník musíme posúdiť aj podľa medzného stavu pretvorenia. V Tab.3 sú uvedené výsledky výpočtu priehybu nosníka z normového zaťaženia podľa STN 1201, z ktorých vyplýva previazanosť návrhu na konečný účel určenia konštrukcie. V Tab.4 je výpočet podľa nemeckej normy podľa metodiky uvedenej v Heft 240. Pomocné nomogramy tejto metodiky obsahujú len obdĺžnikový prierez a prierez „T“. Výpočet v Tab.4 je aproximovaný T-prierez z nášho príkladu. Kvôli porovnaniu je v Tab.3 v riadku 4. tiež výpočet T-prierezu, tu vidíme, že výsledky celkom dobre konvergujú.



Obr. 3 Interakčné diagramy prierezu nosníka

Tab.2 Momenty únosnosti a rozpätia (Príklad č.1)

	STN	DIN	EC2	
moment únosnosti	793	522	703	kNm
rozpätie $l = \sqrt{8 \times M_u/q}$	6.80	5.95	5.84	m

Tab.3 Priehyb nosníka podľa STN 1201

riadok č.	tvar	(m)	(kNm)			priehyb (cm)			w / L
		L	M _{celk}	M _{porovn.}	M _r	začiatočný	reologický	celkový	
1.	I	6.80	682	474 *	85	1.00	1.00	2.00	1/340
2.	I	6.80	682	682	85	1.42	1.36	2.78	1/244
3.	I	5.95	522	522	85	0.91	0.70	1.61	1/369
4.	T	5.95	522	522	61	1.11	0.86	1.97	1/302

* bez užitočného zaťaženia

Priehyby sú vypočítané pre $t_1 = 28$ dní, $t_2 = 10000$ dní v bežnom prostredí pre betón B25

M_r je moment pri vzniku trhlin

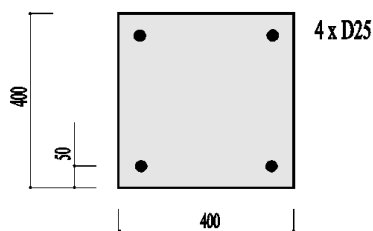
Tab.4 Priehyb nosníka podľa DIN 1045 (Heft 240)

tvar	L (m)	(kNm)		začiatkový priehyb (cm)			priehyb v čase $t = \infty$ (cm)			w / L
				dolná hranica	horná hranica	pravdep. hodnota	dolná hranica	horná hranica	pravdep. hodnota	
T	5.95	522	54	0.84	1.09	1.05	1.81	2.04	2.02	1/295

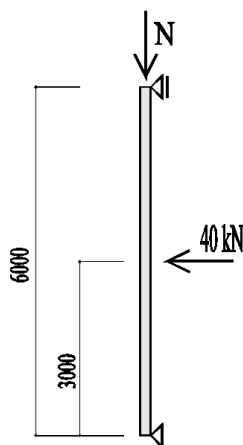
Priehyby vypočítané pre „Kriechzahl“ 2.5 a pre „Schwindmaß“ 20e-5

Poznámka : Pre uvažovaný prípad nosník nevyhoví na priečnu silu. V konečnej realizácii by bol potrebný betón min. triedy B30, alebo nábehy v uložení.

Druhý príklad je tlačný štíhly stĺp, zaťažený kombináciou normálovej sily a momentu. Mimostredné namáhanie stĺpa dĺžky 6 m je vyvolané priečnou silou 40 kN v strede rozpätia (Obr.4) ako krátkodobým náhodilým zaťažením v rovine symetrie prierezu, ktorá pretína



Obr. 5 Geometria prierezu stĺpa

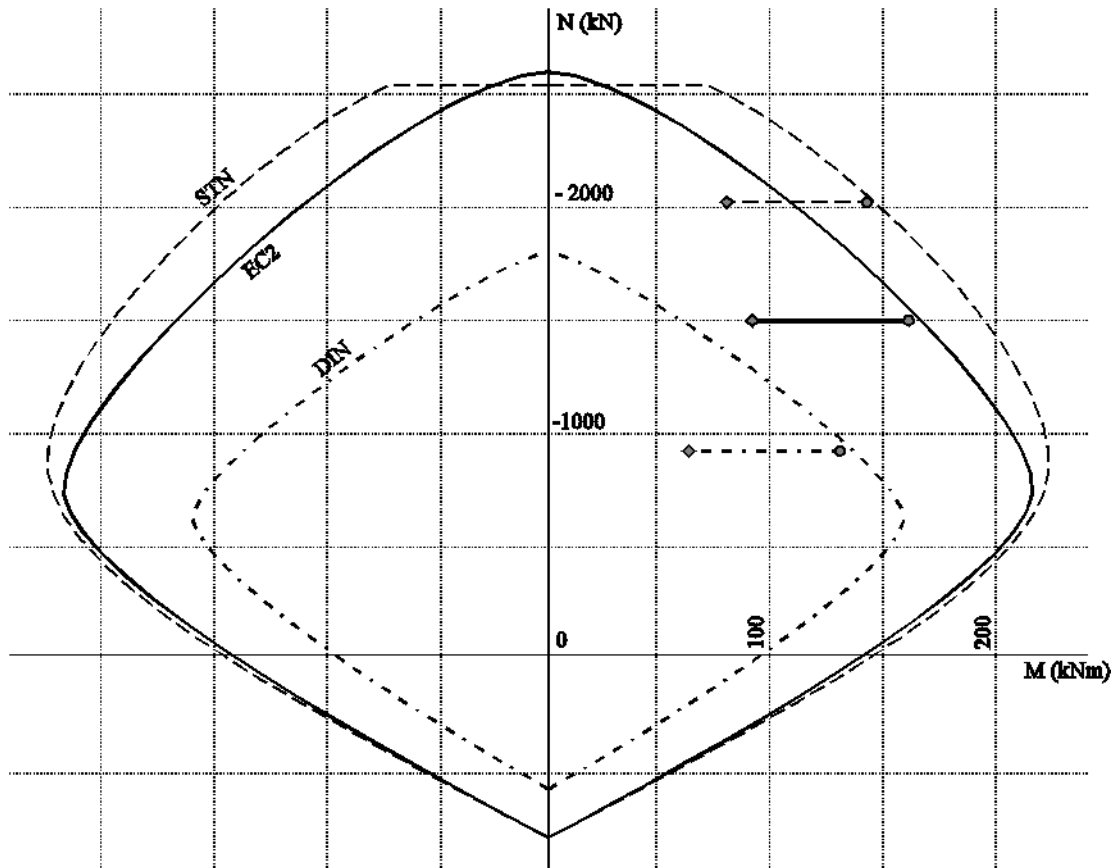


Obr. 4 Statická schéma stĺpa

stranu štvorca. Uvažujme obojstranne klbové uloženie stĺpa s vodorovne tuhým stropom zabezpečeným nezávislými výstužnými stenami. Skladba a zaťaženie stropu je rovnaké ako v prvom príklade. Ako porovnávaci faktor zavedieme veľkosť stropnej plochy, ktorú bude stĺp schopný preniesť. Ak budeme predpokladať, že vyšetrovaný stĺp pôsobí v štvorcovej sieti stĺpov, porovnávacia hodnota sa nám zjednoduší na osovú vzdialenosť stĺpov.

Materiál bude rovnaký ako v prvom príklade, prierez stĺpa je zrejmy z Obr. č.5, s rozmermi 400 x 400 mm vystužený oceľou I (4 x $\phi 25$).

Na Obr.č.6 sú znázornené interakčné diagramy prierezu podľa jednotlivých noriem, pričom vzperné posúdenie stĺpa (znázornené ako nárast momentu vplyvom vzperu) je vypočítané podľa metodík (vyčerpávajúco) uvedených v jednotlivých normách. Tieto postupy však zďaleka nezohľadňujú všetky prípady, ktoré sa môžu vyskytnúť v praxi. Najskúpejšia je v tomto prípade EC2 v podmienkach okliešťujúcich použitie metódy modelového stĺpa.



Obr. 6 Interakčné diagramy prierezu stĺpa

Normy nám ponúkajú tieto štandardné zjednodušené spôsoby riešenia :

STN - výpočet pomocou kritickej normálovej sily

DIN - zjednodušená metóda podľa dodatočnej excentricity tzv. „f-Werte“

EC2 - metóda osamelého modelového stĺpa

Praktický inžinier siahne vždy po metóde, ktorá je jednoznačne algoritmicke definovaná, a ak vyšetovaná konštrukcia nezapadne do intervalu riešenia, tak upraví okrajové podmienky úlohy tak (zmení konštrukčné riešenie), aby sa do intervalu riešenia vmestili. Nie všetky bežne dostupné počítačové programy zahŕňajú aj zložitejšie riešenia, a ak áno, je to aj na úkor zväčšenia vstupného súboru a času potrebného na riešenie úlohy.

Pre zložitejšie prípady každá norma aspoň okrajovo naznačí smer riešenia, pričom si pripomeňme oblúbený výraz typu „ak sa nepoužije výstižnejšie riešenie“ v STN. EC2 sa priam hemží podobnými zahmlenými výrazmi napr.:

- vyžaduje sa presnejší výpočet
- treba používať vhodné návrhové pomôcky
- podmienky je treba vhodným spôsobom zaviesť do výpočtu
- pokiaľ nie je stanovené inak
- postupuje sa podľa vhodnej literatúry
- použije sa iná vhodná metóda

čo je zase pochopiteľné pri koncipovaní nadnárodného dokumentu. V EC2 sú pomerne podrobne rozpracované zásadné teoretické predpoklady (napr. určenie krivosti), ktoré však pre potreby bežnej praxe vyžadujú ďalšie spracovanie. Nemci, ktorí majú radi presnosť a jednoznačnosť, sa takýmto výrazom radšej vyhýbajú a dajú prednosť formulácii „tento dôkaz

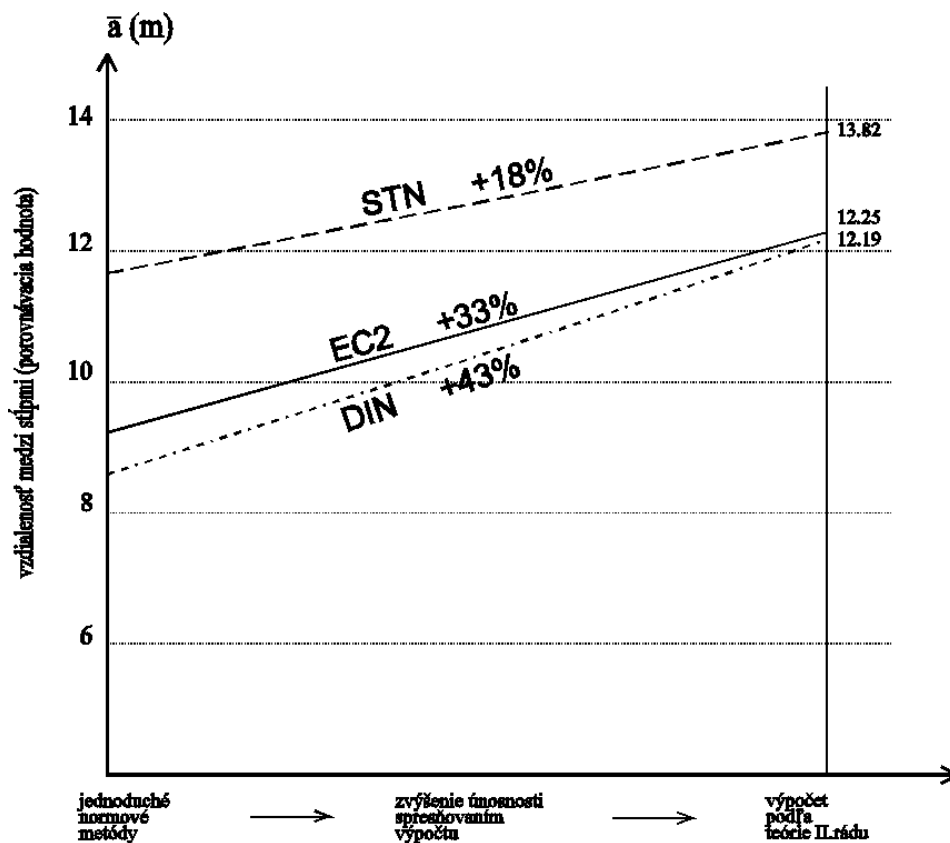
môže odpadnúť, ak sa dodrží“, alebo presne citujú dokument rozširujúci možnosti článkov normy. To vyplýva aj z dlhoročnej prepracovanosti a naviazaní sa na fungujúci právny systém.

V Tab.č.5 sú prehľadne uvedené výsledky v závislosti na tvorbe zaťaženia vo vyústení do porovnávacej hodnoty.

Tab.5 Sumarizácia výsledkov tlačeneho stĺpa

	STN	DIN	EC2
Priečna sila (normová hodnota) Q_n (kN)	40	40	40
Výpočtový súčiniteľ	1.3	-	1.5
Výpočtová hodnota priechnej sily Q_r (kN)	52	40	60
Moment od priechnej sily $Q_r \times L / 4$ (kNm)	78	60	90
Maximálna možná zvislá sila N pri danom momente (kN)	2020	920	1500
Plošné zaťaženie stropu q_r z Tab.1 (kN/m ²)	14.715	12.65	17.765
Plocha A , ktorú unesie stĺp N / q_r (m ²)	137.27	72.72	84.86
Osová vzdialenosť stĺpov \sqrt{A} (m)	11.72	8.53	9.21

V ďalšom postupe boli prevedené zložitejšie výpočty, ktoré by mali viesť k spresneniu uvedených výsledkov. Použité boli približné nelineárne výpočty II.rádu, v ktorých sa iteračnými postupmi stanovili geometrické zmeny polohy osi prúta a zmeny tuhosti prierezov.



Obr. 7 Vzperné posúdenie stĺpov

V dôsledku nejednoznačnosti vstupných údajov pre typ riešeného problému boli použité viaceré metódy, z ktorých sa potom spriemerovali výsledné hodnoty. Výpočty prebiehali v intervalových hodnotách vstupov. Výsledky boli porovnávané s výstupmi dostupných komerčných programov, ktorých modelovanie nelineárnych parametrov tvorí pre bežného užívateľa čiernu skrinku. Zníženie tuhosti prierezu sa pohybovalo od cca 60 do 90 % pre danú kombináciu namáhania. Zo zvýšenej normálovej sily, ktorú bol schopný prierez prenieť (jednalo sa vždy o zvýšenie únosnosti), sa znova prepočítala osová vzdialenosť stĺpov. Výsledky vidieť na Obr.č.7, kde zo smeru priamok badať určitú konvergenciu k ideálnemu riešeniu. Najplochejšia priamka je pre STN, ktorá má pri najväčšom rozpätí stĺpov najmenší nárast únosnosti smerom k presnejšiemu riešeniu (+18%).

Na záver ešte zopakujem, že článok nemá za cieľ zovšeobecňovať uvedené výsledky, ani vynášať porovnávajúce verdikty. Pre iný konštrukčný prípad a iné spôsoby namáhania by mohli byť výsledky možno celkom iné. Článok len informuje o spôsobe časti výpočtov, s ktorými sa môžeme dnes stretnúť v stredoeurópskom regióne.

Ing. Vladimír Budinský

Literatúra :

STN 73 1201 Navrhovanie betónových konštrukcií

DIN 1045 Beton und Stahlbeton

DAfStb - Heft 240 Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderung
von Stahlbetontragwerken

Eurocode No.2 Design of Concrete Structures

Programy :

PRET10 - Posúdenie žb prierezov podľa ČSN, DIN a EC © SSK 1991

RAMX - Výpočet rámových konštrukcií podľa teórie II.rádu © SSK 1990-93

PRIEHYB - Priehyb žb nosníkov podľa ČSN © SSK 1989