

Vzorový příklad předběžného návrhu konstrukce z předpjatého betonu

Řešený příklad se zabývá předem předpjatým vazníkem „T“ průřezu. Důraz je kladen na pochopení specifik předpjatého betonu.

Kurzivou jsou označeny texty vysvětlující postup výpočtu. Tyto texty by se v běžném statickém výpočtu neobjevovaly.

1 Zadání

Předem předpjatý vazník „T“ průřezu délky L_v je zatížen panely výšky 0,24m, délky L_p zatíženými zatížením od panelu $g_{ost,p}+q_p$.

$$L_v=12\text{m} \quad L_p = 5,5 \text{ m} \quad g_{ost,p} = 5,51 \text{ kN/m}^2 \quad q_p = 1,83 \text{ kN/m}^2$$

Beton **C40/50** ($f_{ck} = 40 \text{ MPa}$, $E_{cm} = 35 \text{ GPa}$, $f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$), třída prostředí XC2, třída cementu R, betonářská výztuž B500B. Prvky jsou součástí běžné administrativní budovy (kancelářské plochy: kategorie zatížení B dle ČSN EN 1990).

Vazník bude předepnutý předpínací výztuží **Y1770S7-15,7** s nízkou relaxací (předpínací lano složené ze 7mi drátů o jmenovitém průměru **15,5mm** a ploše **140mm²**, pevnost v tahu $f_p = 1770 \text{ MPa}$, smluvní mez kluzu $f_{p0,2k} = 1570 \text{ MPa}$ a $f_{p0,1k} = f_{p0,2k} \cdot 0,95 = 1570 \cdot 0,95 = 1491,5 \text{ MPa}$), $E_p = 200 \text{ GPa}$.

Předpětí bude do vazníku vneseno **3dny** po napnutí předpínací výztuže. Prvek bude ošetřován **5dni** po betonáži, předpětí bude do vazníku vneseno **3dny** po jeho betonáži.

Vazník je uložen, tak, že je v podporách zabráněno jeho vybočení.

1.1 Stanovení rozměrů vazníku

Výška vazníku:

$$h = ((1/8) - (1/10)) \cdot L_v = 1,5 - 1,2 \text{ m} \Rightarrow h = 1,5 \text{ m}$$

Délka konzoly „T“:

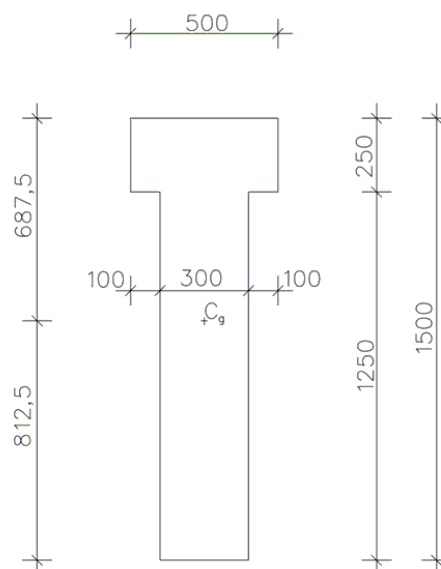
$$k_t = \min((1/15) \cdot h; 80 \text{ mm}) = 0,1 \text{ m}$$

Šířka stojiny vazníku:

$$b_v = \min((1/5) \cdot h; 220 \text{ mm}) = 0,3 \text{ m}$$

Výška horní příruby:

$$h_p = \min((1/6) \cdot h; 200 \text{ mm}) = 0,25 \text{ m}$$



1.2 Průřezové charakteristiky vazníku

Plocha průřezu $A_c = 0,3 \cdot 1,25 + 0,25 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ m}^2$

Poloha těžiště (od spodních vláken) $e_d = 0,8125 \text{ m}$

Poloha těžiště (od horních vláken) $e_h = 0,6875 \text{ m}$

Moment setrvačnosti	$I_c = 0,1022\text{m}^4$
Průřezový modul horní	$W_h = I_c / y_h = 0,1022 / (1,5 - 0,8125) = 0,1487\text{m}^3$
Průřezový modul dolní	$W_d = I_c / y_d = 0,1022 / 0,8125 = 0,1258\text{m}^3$
Velikost jádra horní	$r_h = W_d / A_c = 0,2516\text{m}$
Velikost jádra dolní	$r_d = W_h / A_c = 0,2974\text{m}$

1.3 Materiálové charakteristiky

1.3.1 Ověření indikativní pevnostní třídy betonu z hlediska trvanlivosti

Minimální požadovaná třída betonu pro stupeň vlivu prostředí podle Tab. E.1N v ČSN EN 1992-1-1 (viz níže) je **C25/30**. Požadavek je splněn.

Stupně vlivu prostředí										
Koroze										
	koroze vyvolaná karbonatací				koroze vyvolaná chloridy			koroze vyvolaná chloridy z mořské vody		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Indikativní pevnostní třída	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Poškození betonu										
	bez rizika	střídané působení mrazu a rozmrzávání				chemické napadení				
	X0	XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3			
Indikativní pevnostní třída	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37		C35/45		C35/45	

1.3.2 Stanovení krytí betonářské a předpínací výztuže

Hodnota krytí betonářské výztuže je hodnota tzv. minimální betonové krycí vrstvy c_{min} , která ještě musí být pro další užití zvýšena o návrhový přírůstek na odchylku Δc_{dev} (10mm pro monolitické konstrukce, 0-5mm pro prefabrikáty). Výsledná hodnota, tzv. nominální krycí vrstva, se pak vypočte jako $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

Stanovení minimální hodnoty betonové krycí vrstvy

Při stanovení tloušťky krycí vrstvy betonu se nejprve určí indikativní třída betonu v závislosti na stupni prostředí. Toto je nejmenší třída betonu, kterou lze v uvažovaném stupni prostředí použít. Dále se uvažuje základní třída konstrukce S4, a to pro návrhovou životnost 50let. Opravy této základní třídy konstrukce lze najít v tabulce níže, např. pro monumentální stavby, mosty a inženýrské konstrukce a se podle ustanovení ČSN EN 1990 požaduje životnost 100let. Po úpravě třídy konstrukce se výsledná hodnota minimální krycí vrstvy pro betonářskou výztuž z hlediska podmínek prostředí $c_{min,dur}$ stanoví z Tab. 4.4N z ČSN EN 1992-1-1, resp. z tabulky 4.5N pro předpínací výztuž.

Předpokládá se výztuž průměru 12mm, hodnota $c_{min,b}$, minimální krycí vrstvy z hlediska soudržnosti, je tedy 12mm.

Předpínací výztuž se předpokládá průměru 15,5mm, hodnota $c_{min,b}$, minimální krycí vrstvy z hlediska soudržnosti je $1,5 \cdot \text{průměr lana} = 1,5 \cdot 15,5 = 23,3\text{mm}$.

Třída konstrukce							
Kritérium	Stupeň vlivu prostředí						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
návrhová životnost 100 let	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2
pevnostní třída ^{1) 2)}	$\geq C30/37$ zmenšit třídu o 1	$\geq C30/37$ zmenšit třídu o 1	$\geq C35/45$ zmenšit třídu o 1	$\geq C40/50$ zmenšit třídu o 1	$\geq C40/50$ zmenšit třídu o 1	$\geq C40/50$ zmenšit třídu o 1	$\geq C45/55$ zmenšit třídu o 1
deskové konstrukce (poloha výztuže není ovlivněna výrobním postupem)	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1
zajištěna zvláštní kontrola kvality výroby betonu	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1

Výsledná třída konstrukce se stanoví podle tabulky výše jako: $S4 + 0 - 1 - 0 + 0 = S3$

Výsledná hodnota minimální krycí vrstvy pro betonářskou výztuž $c_{min,b}$ požadované z hlediska trvanlivosti pro třídu konstrukce S3 a třídu prostředí XC2 se určí z následující tabulky.

$c_{min,dur}$ (mm) požadované z hlediska podmínek prostředí pro betonářskou výztuž							
Třída konstrukce	Stupeň vlivu prostředí						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Výsledná hodnota minimální krycí vrstvy pro předpínací výztuž $c_{min,b}$ požadované z hlediska trvanlivosti pro třídu konstrukce S3 a třídu prostředí XC2 se určí obdobným způsobem s použitím následující tabulky.

$c_{min,dur}$ (mm) požadované z hlediska podmínek prostředí pro předpínací výztuž							
Třída konstrukce	Stupeň vlivu prostředí						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

Není požadována přídatná hodnota z hlediska spolehlivosti prvku, nebude užitá nerezová výztuž ani zajištěná přídatná ochrana betonářské či předpínací výztuže.

$$c_{\min} = \max \{c_{\min,b}; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{\min,s} = \max \{12; 20 + 0 - 0 - 0; 10\} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\min,p} = \max \{15,5; 30 + 0 - 0 - 0; 10\} = 30 \text{ mm}$$

Návrhový přírůstek na odchylku

Ve výrobě jsou podniknuta základní opatření pro kontrolu tloušťky krycí vrstvy, základní hodnota $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ může být redukována na **5 mm**.

Nominální krycí vrstva

Výsledná hodnota, tzv. nominální krycí vrstva, se pak vypočte pro betonářskou i předpínací výztuž jako:

$$c_{\text{nom},s} = c_{\min,s} + \Delta c_{dev} = 20 + 5 = \mathbf{25 \text{ mm}}$$

$$c_{\text{nom},p} = c_{\min,p} + \Delta c_{dev} = 30 + 5 = \mathbf{35 \text{ mm}}$$

Tato hodnota se užije v následujícím statickém výpočtu.

1.3.3 Stanovení maximální šířky trhliny

Maximální šířka trhliny pro dané prostředí se zjistí z tabulky 7.1N v ČSN EN 1992-1-1 (níže). Pro danou třídu prostředí (XC2) se šířka trhliny w_{\max} prvku předpjatého soudržnou výztuží omezuje pro **častou kombinaci** zatížení na hodnotu **0,2 mm**. Kromě toho má být posouzena **dekomprese** (vymizení tlakové rezervy v betonu) pro **kvazi-stálou kombinaci** zatížení.

Stupeň vlivu prostředí	Železobetonové prvky a prvky předpjaté nesoudržnou výztuží	Prvky předpjaté soudržnou výztuží
	Kvazi-stálá kombinace zatížení	Častá kombinace zatížení
X0, XC1	0,4 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3		dekomprese
POZNÁMKA 1 Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a uvedená hodnota má zajistit přijatelný vzhled. Pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit. POZNÁMKA 2 Pro tyto stupně vlivu prostředí má být kromě toho posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.		

1.3.4 Návrhová pevnost betonu

$$f_{cd} = \frac{40}{1,5} = 26,66 \text{ MPa}$$

1.3.5 Návrhová pevnost betonářské výztuže

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

1.3.6 Návrhová pevnost předpínací výztuže

$$f_{pd} = \frac{0,95 \cdot 1570}{1,15} = 1297 \text{ MPa}$$

2 Zatížení vazníku

	f_{sk} (KN/m)	γ_F	f_{sd} (KN/m)
Stálé			
- vl. tíha vazníku 0,5.25	12,5	1,35	16,9
- vl. tíha panelu 0,24.25.5,5	33	1,35	44,4
- ostatní $g_{ost,p}$ 5,51*5,5	30,3	1,35	40,9
Nahodilé			
- q_p 1,83*5,5	10,07	1,5	15,1
	<u>85,87 kN/m</u>		<u>117,4 kN/m</u>

3 Kontrola rozměrů vazníku

Kontrola rozměrů je empirický způsob ověření, že vazník navržených rozměrů vyhoví z hlediska MSP i MSÚ.

Pro kontrolu rozměrů vazníku se užije charakteristická kombinace pro MSP a kombinace 6.10 pro MSÚ.

3.1 Kontrola MSP, omezení napětí

$$M_{Sk} = (1/8) \cdot f_{sk} \cdot L_1^2 = (1/8) \cdot 85,87 \cdot 12^2 = 1545,66 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{ck,h} = (M_{Sk}/I_c) \cdot e_h = (1545,66/0,1022) \cdot -0,6875 = -10,4 \text{ MPa} < 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$$

$$\text{a } 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 40 = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ck,d} = (M_{Sk}/I_c) \cdot e_d = (1545,66/0,1022) \cdot 0,8125 = 12,3 \text{ MPa} < 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$$

$$\text{a } 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 40 = 18 \text{ MPa}$$

3.2 Kontrola MSÚ, výška vazníku

$$M_{Sd} = (1/8) \cdot f_{sd} \cdot L_1^2 = (1/8) \cdot 117,435 \cdot 12^2 = 2113,8 \text{ kNm}$$

$$h = \alpha \cdot \sqrt{(M_{Sd}/(\beta \cdot b \cdot f_{cd}))} = 1 \cdot \sqrt{(2113,83/((1/7) \cdot 0,3 \cdot 26,7 \cdot 10^3))} = 1,359 \text{ m} < h = 1,5 \text{ m}$$