

STYK SPŘAŽENÉ NADBETONÁVKY S PŘEDEM PŘEDPJATOU DESKOU

CONNECTION OF ADDITIONAL SANDWICH CONCRETE LAYER WITH PREVIOUSLY PRE-STRESSED LAYER

IVAN ARGAY, LIBOR VOBORSKÝ

Univerzální konstrukční systém SICON S21 využívá předem předpjaté prefabrikované desky, které jsou v montážním stadiu samonosné. Prefabrikované desky v době před sprážením umožňují vzhledem k poddajnosti dorovnat jejich rozdílná vzepětí. Zkušenosti ukazují, že rozdíly vzepětí, které jsou způsobeny technologií výroby a skladováním, dosahují hodnoty přibližně do ± 15 mm. Tyto rozdíly lze odstranit pomocí provizorních podpor následovně:

- Podpory u prvků se vzepětím směrem nahoru se provedou s mezerou tak, aby se mohla uplatnit tíha nadbetonávky, která způsobí dosednutí spodního líce prefabrikované desky (a).

- Prvky, u kterých se projevuje průhyb směrem dolů, se vyklínují do předepsaného tvaru (b). Síla F je větší než v případě (a) o část vlastní tíhy.

- Při běžných rozpětích do 7,5 m a šířce desky 3,0 m se používá jedna podpora na spáru mezi sousedními deskami.

Příklad: Předem předpjatá sprážená deska s teoretickým rozpětím 6,9 m (výrobně 7,1 m). Šířka sprážené desky 1 m. Tloušťka předem předpjaté desky 100 mm, sprážená nadbetonávka 100 mm. Beton prefabrikované desky C30/37 (B40), nadbetonávka C16/20 (B20). Uvažuje se prosté podepření. Tíha betonu prefabrikátu je 26 kN/m^3 , nadbetonávky 25 kN/m^3 , ostatní stálé+nahodilé zatížení $g_{\text{ost}} + p_{\text{ost}} = 6,48 \text{ kN/m}^3$. Vliv podpory přesahujících okrajů je zanedbán.

Princip provizorního podepření F a značení dílčích reakcí (význam reakcí je vysvětlen dále):

Sprážená část		
Prefabrikát		
Δa	$\uparrow F$	Δb
$\uparrow A_{\text{po}}$	(uprostřed)	$\uparrow B_{\text{po}}$
$\uparrow A_{\text{no}}$		$\uparrow B_{\text{no}}$
$\downarrow F/2$		$\downarrow F/2$
$\uparrow A_{\text{ps}}$		$\uparrow B_{\text{ps}}$
$\uparrow A_{\text{ns}}$		$\uparrow B_{\text{ns}}$
$\uparrow A_{\text{ost}}$		$\uparrow B_{\text{ost}}$

Celkovou smykovou sílu Q v blízkosti podpor v bodech a a b rozdělujeme na část, která působí po sprážení Q_2 a část která působí před sprážením Q_1 . Provizorní podepření v případech klínování nepříznivě ovlivňuje napětí ve styčné spáře. Rozhoduje poměr posouvajících sil Q_1 a Q_2 .

Nejnepříznivější síla F , která je nutná k dorovnání 15 mm je přibližně:

$$F = \frac{48 \times E_{\text{bd}} \times J_p \times 0,015}{l^3} = \frac{48 \times 36000 \times 0,00008333 \times 0,015}{6,9^3} = 0,00710 \text{ MN}$$

kde

E_{bd} je modul přetvámosti prefabrikované desky (krátkodobý $E_{\text{bd}} = E_{\text{b0}}$).

J_p moment setrvačnosti pouze prefabrikované desky,

l je teoretické rozpětí.

Reakce od vlastní tíhy prefabrikátu v případě průhybu se sníží o $F/2$:

$$A_{\text{po}} = \frac{g_p \times b \times h \times l}{2} - \frac{F}{2} = \frac{26 \times 1 \times 0,1 \times 6,9 - 7,10}{2} = 5,42 \text{ kN}$$

kde

g_p je měrná tíha betonu,

F je síla v místě podepření nutná k dorovnání v případě (b).

Pokud poddajnost provizorní podpory uprostřed je zanedbatelná s ohledem na další montážní přitížení (nadbetonávkou), pak dílčí reakci můžeme stanovit:

$$A_{\text{no}} = \frac{g_n \times b \times h \times l}{4} + \frac{M}{l} = \frac{25 \times 1 \times 0,1 \times 7,1 - 7,10}{4} - \frac{25 \times 1 \times 0,1 \times 3,45^2}{8 \times 3,45} = 4,4375 - 1,0781 = 3,3594 \text{ kN}$$

kde druhý člen ve vzorci vyjadřuje doplňkovou posouvající sílu vlivem momentu M .

V této etapě se již projeví reakce v místě působitě síly F .

Před sprážením působí celková posouvající síla v kotevní oblasti

$$Q_1 = A_{\text{po}} + A_{\text{no}} = 5,42 + 3,36 = 8,78 \text{ kN}$$

Celková reakce bez uvažování síly F:

$$Q_{\text{celk}} = \frac{1}{2} g_p \times b^p \times h^p \times l^p + \frac{1}{2} g_n \times b^n \times h^n \times l^n + \\ + \frac{1}{2} (g_{\text{ost}} + p_{\text{ost}}) \times l \times b = 0,5 \times 26 \times 0,1 \times 1 \times 7,1 + \\ + 0,5 \times 25 \times 0,1 \times 1 \times 7,1 + 0,5 \times 6,48 \times 1 \times 7,1 = \\ = 41,109 \text{ kN}$$

kde

b je šířka,
 h výška prefabrikované desky
 (s indexem p platí pro prefabrikát, n pro nadbetonávku).
 g_{ost} , p_{ost} jsou užité zatížení krátkodobě a dlouhodobě působící.

Posouvající síla po sprážení Q_2 :
 $Q_2 = Q_{\text{celk}} - Q_1 = 41,109 - 8,78 = 32,329 \text{ kN}$

Součinitel dotvarování p^p , p^n betonu prefabrikátu a nadbetonávky, který určuje moduly přetvárnosti betonů (podle novějších předpisů je značení ϕ_n a ϕ_p) za předpokladu, že zrání obou částí proběhlo na volném prostranství:

$$p^p = p_0^p (\phi_t - \phi_{t0}) = 4 (0,5466 - 0,5008) = 0,0458 \\ \text{(prefabrikát v době 1 měsíc - 1 měsíc + 15 dní)}$$

$$p^n = p_0^n (\phi_t - \phi_{t0}) = 4 (0,4284 - 0) = 1,7134 \\ \text{(nadbetonávka v době 0 - 15 dní)}$$

$$p^p = p_0^p (\phi_t - \phi_{t0}) = 4 (1 - 0,5008) = 1,9968 \\ \text{(prefabrikát v době 1 měsíc - 100 let)}$$

$$p^n = p_0^n (\phi_t - \phi_{t0}) = 4 (1 - 0) = 4 \\ \text{(nadbetonávka v době 0 - 100 let)}$$

pak na sprážený průřez působí:

$$Q = Q_2 + \frac{p}{1+p} Q_1 = 32,329 + \frac{1,9968}{2,9968} 8,78 = \\ = 38,179 \text{ kN}$$

Moduly pružnosti betonů jsou (podle původního značení betonů):

$$E_b^p (B20) = 27000 \text{ MPa} \\ E_b^n (B40) = 36000 \text{ MPa, pro beton nadbetonávky,} \\ \text{prefabrikátu a nadbetonávky po sprážení.} \\ E_{b0} (B15) = 23000 \text{ MPa}$$

Pro poměr modulů přetvárnosti platí:

• Pro okamžik odstranění podpor, tj. po 15 dnech od vybetonování nadbetonávky

$$m = \frac{E_{bd}^n}{E_b^n} = \frac{\frac{E_b^n}{1+p^n}}{E_b^n} = \frac{1+1,7134}{36000} = \frac{8476,45}{34423,4} = 0,246$$

• Po 100 letech

$$m = \frac{E_{bd}^n}{E_b^n} = \frac{\frac{E_b^n}{1+p^n}}{E_b^n} = \frac{1+4}{36000} = \frac{5400}{12000} = 0,45$$

Těžisko ideálního spráženého průřezu po 15 dnech od dolního líce $t_i = 0,0697 \text{ m}$, a těžiště nadbetonávky $t_b^p = 0,15 \text{ m}$, po 100 letech od dolního líce $t_i = 0,081 \text{ m}$, a těžiště nadbetonávky $t_b^n = 0,15 \text{ m}$.

Statický moment plochy nad styčnou spárou po 15 dnech je: $S_b^p = (t_b^p - t_i) A_b^p = (0,15 - 0,0697) \times 1 \times 0,1 = 8,03 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, po 100 letech je: $S_b^n = (t_b^n - t_i) A_b^n = (0,15 - 0,081) \times 1 \times 0,1 = 6,9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Napětí ve styčné spáře pouze od zatížení působícího po sprážení po 15 dnech je:

$$\tau_b^p = - \frac{m \times Q \times S_b^p}{b \times l_i^3} = - \frac{0,246 \times 38,179 \times 0,00803}{1 \times 0,00075} = \\ = 100,56 \text{ kN/m}^2 = 0,101 \text{ MPa}$$

• po 100 letech je:

$$\tau_b^n = - \frac{m \times Q \times S_b^n}{b \times l_i^3} = - \frac{0,45 \times 38,179 \times 0,0069}{1 \times 0,00075} = \\ = 158,06 \text{ kN/m}^2 = 0,158 \text{ MPa}$$

Kromě napětí τ_b^p vzniká ve styčné spáře v kotevní oblasti přídatné napětí vlivem rozdílného smrštění betonu prefabrikátu a nadbetonávky $\tau_{b,sm}$ a od rozdílného dotvarování $\tau_{b,dotv}$.

Nejnebezpečnější pro přenos smyku ve spáře je doba, kdy nadbetonávka je ještě nevyzrálá. Podle měření „in situ“ beton nadbetonávky v době zatěžování (odstranění podpěr) dosahuje minimálně hodnot odpovídajících betonu C12/15 (B15). V uvedeném příkladě byl při betonáži spráhuující vrstvy beton prefabrikátu stár 1 měsíc. Odstranění podpěr bylo provedeno po 15 dnech po betonáži spráhuující vrstvy. V těchto časových lhůtách uvažujeme součinitele p :

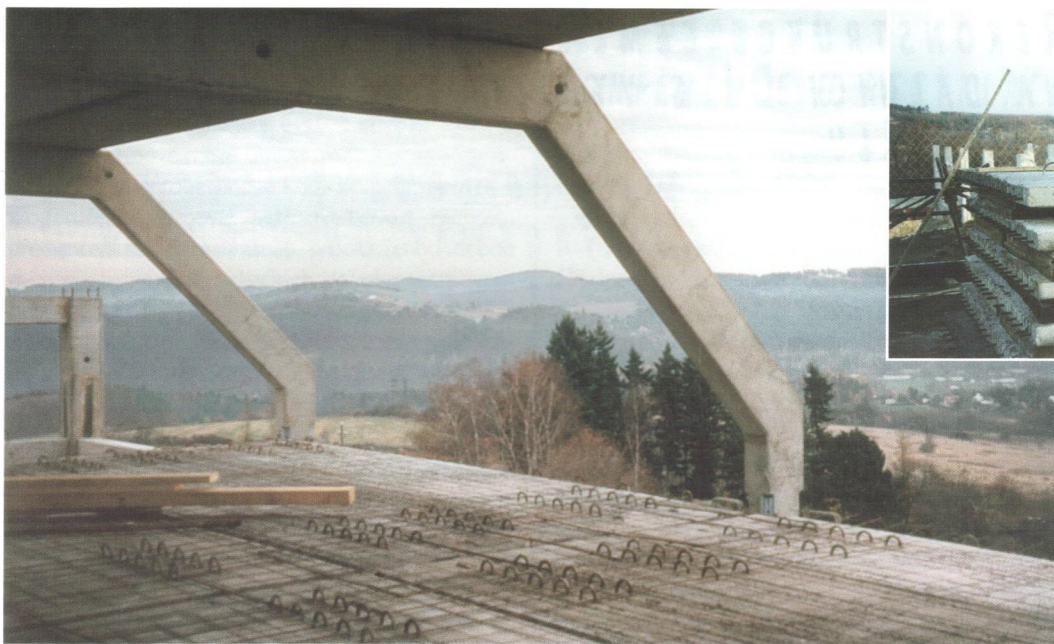
$$p = 4 (0,5457 - 0,5008) = 4 \times 0,0449 = 0,17696$$

$$p^n = 4 (0,4284 - 0) = 4 \times 0,4284 = 1,7136$$

$$\epsilon_s = \epsilon_{s0} 0,0449 = 0,0004 \times 0,0449 = 1,76 \times 10^{-5}$$

$$\epsilon_s^n = \epsilon_{s0} \times 0,4284 = 0,0004 \times 0,4284 = 1,7136 \times 10^{-4}$$

$$E_{bd} = \frac{E_b}{1+p} = \frac{36000}{1+0,17696} = 30586,2$$



Obr. 1 Předem předpjaté desky před spřažením

Obr. 2 Předem předpjaté desky tl. 100 mm na skládce

$$E_{bd}^0 = \frac{E_b^0}{1 + p^n} = \frac{23000}{1 + 1,7136} = 8475,8$$

$$N_s = -\varepsilon_s \times E_{bd} \times A_b = -0,0000176 \times 30586 \times 0,1 = -0,0538 \text{ MN}$$

$$N_s^0 = -\varepsilon_s^0 \times E_{bd}^0 \times A_b^0 = -0,00001736 \times 8475 \times 0,1 = -0,147 \text{ MN}$$

kde

A_b, A_b^0 jsou plochy jednotlivých betonových částí,

$\varepsilon_s, \varepsilon_s^0$ poměrá přetvoření os smrštění betonu prefabrikátu a nadbetonávky. Pro smykové namáhání od smrštění v blízkosti čela prvku platí:

$$\tau_{b,sm} = \frac{N_s - N_s^0}{b \times l_k} = \frac{-0,538 + 0,147}{1 \times 1} = 0,0932 \text{ MPa}$$

kde l_k je kotevní délka

Pokud na vyšetřovaný průřez působí síly N a M , je nutné ke smrštění připočítat i tyto vlivy viz např. [3]

$$S = \frac{p}{1+p} \left(\frac{N \times m \times A_b^0}{A_i^0} - M \frac{m \times S_b^0}{I_i^0} \right) + N_s - N_s^0$$

pak

$$\tau_{b,sm} = \frac{S}{b \times l_k}$$

V krajním průřezu u dodatečně spřaženého průřezu, kde předpínací výtuz je kotvena soudržností, lze normálovou sílu N i ohybový moment M od celkového zatížení včetně vlivu předpětí zanedbat. Při kotevní délce $l_k = 1,0$ m je výsledné napětí ve styčné spáře:

$$\tau = \tau_b^0 + \tau_{b,sm} = 0,139 + 0,0932 = 0,233 \text{ MPa}$$

Vliv $\tau_{b,dotv}$ od nestejnomyšerného dotvarování jednotlivých částí je u tohoto příkladu zanedbán. Podle podkladů viz [3] lze bez zvláštních opatření připustit

napětí $\tau \leq 0,4 \text{ MPa}$, anebo podle [2] pro danou konstrukci při zdrsňeném povrchu lze připustit napětí $\tau_{dov} = 0,3 \times \sigma_t = 0,3 \times 1,5 = 0,45 \text{ MPa}$ pro krajní průřez – částečné předpětí, kde σ_t je dovolené namáhání betonu vrstvy, která má nižší pevnost.

Přes tyto skutečnosti, kdy vypočtené napětí je v dovolených mezích, doporučujeme opatřit styčnou spáru podle zvažení spřahovacími oky. Toto doporučení vyplývá z předpokladu, že styčná spára je poměrně křehká. Při výše uvedeném výpočtu nebyly uvažovány složky napětí σ_z (napětí kolmá na styčnou spáru). Toto napětí nelze jednoznačně určit. U klidných zatížení působí zpravidla příznivě, vzniká tření. Může však působit i nepříznivě, například při dynamickém rázu (pád břemene ve směru kolmém na styčnou spáru apod). Podle zkušeností v případech, že výsledná napětí stanovená výše uvedeným způsobem nepřekročí limity podle [3] anebo [2], postačují spřahovací oka (obdélníkového charakteru) v blízkosti podpor, cca 1 ks/m^2 , rovnoměrně rozmístěna přibližně do 1/4 rozpětí. Dále se doporučuje ve spřahovací vrstvě umístit svařované sítě rozměru $200/4,5 \times 200/4,5$ z důvodu rovnoměrnějšího rozdělení napětí od reologických vlivů.

Ing. Ivan Argay, CSc., Ing. Libor Voborský

SICON, s.r.o., Hostivařská 60, Praha 10

tel.: 02 7196 0205, fax: 02 7196 0207, e-mail: sicon@czn.cz

Literatura:

- [1] ČSN 73 0035, ČSN 73 6207 (Změny 1)
- [2] Semináře CONCON 2000 Spřažené konstrukce. Sbomík ČBZ Praha, únor 2000.
- [3] Voves, B.: Navrhování konstrukcí z předpjatého betonu v příkladech. SNTL, Praha 1980
- [4] Knihovna programů firmy SICON, s.r.o.