

SNÍŽENÍ NAPJATOSTI BETONOVÝCH PODLAH POMOCÍ REOLOGICKÝCH KLUZNÝCH SPÁR

REDUCTION OF STATE OF STRESS OF CONCRETE
FLOORS USING RHEOLOGICAL SLIPPING JOINTS

RADIM ČAJKA

Odvození parametrů tření od účinků poměrného přetvoření vlivem smršťování betonu, teplotních změn a poddolování. Konstantní a obecně nelineární průběh je řešen analyticky a numericky. Využití pro řešení napjatosti a přetvoření velkorozponových podlahových konstrukcí metodou konečných prvků. Eliminace tření mezi nosnou konstrukcí a podložím pomocí reologických kluzných spár z natavitelných asfaltových izolačních pásů a hmot.

Friction parameters are derived from the effects of unit deformation due to concrete creep, thermal changes and undermining. The constant and generally non-linear process is solved both analytically and numerically. It can be used for the solution of state of stress and deformation of large-span floor structures with the finite element method. Friction between the bearing structure and subsoil is eliminated using rheological slipping joints from meltable asphalt insulation strips and materials.

Při výstavbě skladovacích a obchodních ploch jsou často požadovány podlahové systémy s minimalizací dilatačních spár. Tento požadavek vede na návrh a řešení rozsáhlých nedilatovaných podlahových konstrukcí, jejichž rozměry přesahují obvyklá technická doporučení. V rovině podlahového systému tak dochází k délkovým změnám, které jsou nejčastěji vyvolány poměrným přetvořením od smršťování betonu, změnou teploty nebo účinkem důlních vlivů. Volné deformaci konstrukce brání třecí síly na styku mezi nosnou konstrukcí podlahy a podložím.

Vedle řešení únosnosti podlahy na účinky svislého zatížení (desková napjatost) tak rovněž musíme řešit plošnou konstrukci zatíženou ve své rovině (stěnová napjatost). Při řešení napjatosti konstrukce od účinků poměrných přetvoření se s výhodou postupuje tak, že se vyšetřovaná konstrukce podrobí požadované deformaci. Přitom jednotlivé části konstrukce kladou ve styku se zemním prostředím rozdílný odpor proti tomuto přetvoření v závislosti na průběhu parametrů třecích sil v podloží.

Při výpočtu prostorových základových konstrukcí metodou konečných prvků (MKP) je proto nutno stanovit odpor zemního prostředí, který většina dnešních programů umožňuje zadat pomocí tzv. třecích parametrů C_{Ix} a C_{Iy} . Tyto parametry působí ve střednicové rovině stěnodeskového prvku, na rozdíl od parametru C_{Iz} , který klade konstrukci odpor ve směru kolmém na rovinu prvku.

V projekční praxi zůstává problémem, jak tyto parametry spolehlivě stanovit. V příspěvku je tato plošná

úloha řešena analyticky a numericky pomocí iterační metody na modelu prutového prvku.

DEFORMAČNÍ ZATÍŽENÍ

Deformační zatížení podlahových konstrukcí vyjádřené pomocí poměrného přetvoření ε může být vyvoláno celou řadou vzájemně se ovlivňujících faktorů. Mezi nejčastější druhy vodorovných deformačních zatížení základových a podlahových konstrukcí patří [6]:

- smršťování betonu,
- teplotní změny během hydratace betonu,
- teplotní změny od technologických zařízení během provozu objektu,
- účinky přetvoření terénu vlivem poddolování.

Hodnoty časového vývoje poměrných přetvoření pro tyto druhy zatížení lze stanovit pro různé výpočetní modely např. podle [2], [3], [4], [7] a [8]. Pro řešení základových konstrukcí a podlah modermími numerickými metodami založenými na MKP je zapotřebí stanovit parametry tření mezi deskou a podložím C_{Ix} a C_{Iy} .

ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ

Diferenciální podmínky rovnováhy prutu v interakci s třením podloží plynou z podmínek rovnováhy působících sil ve vodorovném směru [5], [6]

$$\sum F_{ix} = 0, \quad (1)$$

kteří stanovíme na diferenciálním elementu, viz obr. 1

$$-N_x + N_x + dN_x + p_x dx - C_{Ix} u dx = 0. \quad (2)$$

Element je zatížen rovnoměrným spojitým zatížením p_x a třecí síly t_x jsou úměrné parametru tření C_{Ix} a posunu u ,

$$t_x = C_{Ix} u. \quad (3)$$

Po úpravě rovnice (2) dostáváme

$$\frac{dN_x}{dx} = -p_x + C_{Ix} u. \quad (4)$$

Další rovnici obdržíme z jednorozměrné fyzikální rovnice – Hookova zákona, uvážíme-li vztah mezi normálovou silou N_x a osovou deformací prutu

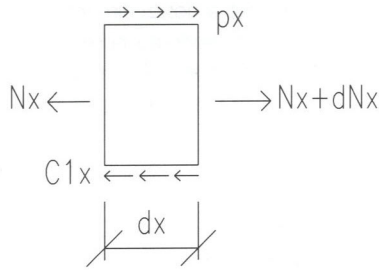
$$\sigma_b = E_b \varepsilon_b. \quad (5)$$

Po dosazení napětí σ_b a poměrné deformace ε_b (6)

$$\sigma_b = \frac{N_x}{A_b}, \quad \varepsilon_b = \frac{du}{dx}, \quad (6)$$

do vztahu (5) a derivováním obou stran dostáváme

$$\frac{dN_x}{dx} = E_b A_b \frac{du^2}{dx^2} \quad (7)$$



Obr. 1 Diferenciální element rovnováhy

Porovnáním obou derivací normálové síly (4) a (7) obdržíme základní diferenciální rovnici prutu namáhaného osovou silou s vlivem tření prostředí

$$E_b A_b \frac{du^2}{dx^2} - C_{1x} u = -p_x \quad (8)$$

Pro analytické řešení je vhodné vydělit celou rovnici (8) tuhostí $E_b A_b$ a zavést substituci

$$\alpha^2 = \frac{C_{1x}}{E_b A_b} \quad (9)$$

a po úpravě dostáváme výslednou diferenciální rovnici vhodnou pro řešení

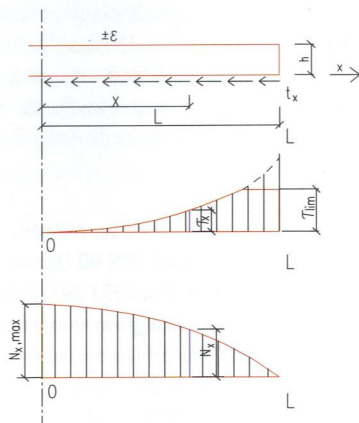
$$\frac{du^2}{dx^2} - \alpha^2 u = -\frac{p_x}{E_b A_b} \quad (10)$$

Pro podélné zatížení $p_x = 0$ (nulová pravá strana) dostáváme řešením rovnice průběh podélných deformací ve tvaru

$$u(x) = A_1 e^{\alpha x} + A_2 e^{-\alpha x} \quad (11)$$

kde neznámé konstanty A_1, A_2 je nutno určit z okrajových podmínek řešení úlohy. Z charakteru úlohy vyplývají tyto 2 okrajové podmínky, viz obr. 2:

- pro $x = 0$ musí být deformace $u(0) = 0$,
- pro $x = L$ je známo poměrné protažení (tj. derivace $u(L)$).



Obr. 2 Průběh smykových napětí a normálových sil na prutu

Po dosazení okrajových podmínek do (11) a stanovení konstant A_1, A_2 dostáváme průběh normálových sil po délce prutu

$$N_x = \frac{F_x + E_b A_b \epsilon_{max}}{\alpha e^{\alpha L} + \alpha e^{-\alpha L}} (\alpha e^{\alpha x} + \alpha e^{-\alpha x}) - E_b A_b \epsilon_{max} \quad (12)$$

Známe-li hodnotu maximální osové síly uprostřed základové konstrukce, můžeme ze zadaných vstupních parametrů E_b, A_b, L a ϵ_{max} stanovit z rovnice (12) hodnotu parametru tření C_{1x} pro $x = 0$.

$$C_{1x} = E_b A_b \left[\frac{1}{L} \arg \cosh \left(\frac{F_x + E_b A_b \epsilon_{max}}{N_{x,max} + E_b A_b \epsilon_{max}} \right) \right]^2 \quad (13)$$

NUMERICKÉ ŘEŠENÍ

Řešení prutu na pružném podloží namáhaného osovou silou lze vyjádřit pomocí funkcionálu

$$W = \frac{1}{2} E_b A_b \int_L \left(\frac{du}{dx} \right)^2 dx + C_{1x} \int_L u^2 dx + \int_L p_x u dx \quad (14)$$

kde

u	je posuv ve směru osy prutu	[m]
p_x	intenzita osového zatížení	[Nm ⁻¹]
E_b	modul pružnosti betonu prvku	[Nm ⁻²]
A_b	průřezová plocha prvku	[m ²]
L	délka prutu	[m]

Numerické řešení (14) je založeno na deformační variantě metody konečných prvků (MKP). Obvyklým způsobem [6] lze odvodit matici tuhosti prvku a matici tuhosti podloží prvku

$$[K_e] = E_b A_b \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} \\ -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$[K_p] = C_{1x} \begin{bmatrix} \frac{L}{3} & \frac{L}{6} \\ \frac{L}{6} & \frac{L}{3} \end{bmatrix}$$

Řešením výsledné soustavy rovnic celé prutové konstrukce

$$[K_g] \{r_g\} = \{F_g\} \quad (17)$$

kde $[K_g]$ je matice tuhosti celé prutové konstrukce včetně vlivu podloží,

$\{r_g\}$ vektor uzlových deformací,

$\{F_g\}$ vektor zatížení osovými silami,

dostáváme neznámé posuny u a osové síly N_x v jednotlivých uzlových bodech prvků.

