VLIV NADBETONOVÁNÍ KLENBY NA JEJÍ STATICKOU ÚČINNOST

INFLUENCE OF THICKNESS VAULT ON STATIC EFFECT

Petr Fajman, Jiří Kott, Iva Horová, Pavel Beran

Abstract
Load capacity of vault can be increased many different ways. We focus on thickness brick segment and barrel vault by upperside concrete shell. Up to day computer facilities makes to find effect and load on separated items of structure. We will watch behaviour of vault before and after strengthening with and without influences of shrinkage and creep.

1 ÚVOD

Pokud je potřeba zvýšit únosnost klenby, jedním z častých způsobů je nabetonování skořepiny z rubu klenby. Předpokládá se, že nová skořepina přenáší zatížení a původní je víceméně vyvěšena. Je možno starou a novou část spojit, nebo je možno obě části nechat nezávislé. Pokud necháme klenby oddělené, je předpoklad přenášení zatížení novou klenbou správný. V druhém případě je přerozdělení zatížení mezi klenbami zajímavým problémem pro statiky.
V příspěvku bude diskutováno tuhé propojení původní a nové části, kdy je nutné při betonáži nové skořepiny zajistit spolupůsobení. To se dělá např. ocelovými trny a odstranění malty ve spárách do hloubky cca. 20mm. Rozbor stavu napjatosti ukazuje, že původní klenba je výrazně zapojena do únosnosti spřažené konstrukce.

2 ZATÍŽENÍ NABETONOVANÉ KLENBY

Klenba je konstrukce pro přenášení svislého zatížení. V minulosti to byl nejčastější prvek, který zastropoval místnosti a tvořil novou podlahu pro patrové objekty. Největší část silových účinků tvoří vlastní tíha klenby, tíha násypu a podlah.
Vedle silových účinků je v dnešní době poukazováno i na tzv. nesilové jevy. Mezi ně patří zatížení teplotou, smršťováním, dotvarováním, posuny podpor … Při propojení dvou různě starých materiálů jsou pak tyto nesilové účinky rozhodujícím faktorem na spolupůsobení obou konstrukcí. Dokonce můžeme říci, že ze statického hlediska je zapojení nového betonu do přenášení zatížení nejvíce ovlivněno smršťováním a dlouhodobě pak i dotvarováním.

Smršťování je nezávislé na napětí a je vyjádřeno různými vztahy.
K nejvíce verifikovaným patří Bažantův model B3. Vychází z dlouhodobých sledování experimentů cca od roku 1970. V osmdesátých letech a na počátku devadesátých let byl navržen a používán model pro dotvarování tzv. „Double power law“ [1]. Koncem devadesátých let byl upraven na model B3.

Petr Fajman, Doc., Ing., CSc.
Jiří Kott, Ing.
Iva Horová, Ing.
Pavel Beran, Ing.
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra mechaniky
Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
tel.: +420 224 35 44 77, e-mail: fajman@fsv.cvut.cz
tel.: +420 224 35 44 98, e-mail: jiri.kott@fsv.cvut.cz
tel.: +420 224 35 44 98, e-mail: iva.horova@fsv.cvut.cz
tel.: +420 224 35 44 98, e-mail: pavel.beran@fsv.cvut.cz

Dosud používaná ČSN 731201, která nezohledňuje druh cementu a ošetřování betonu, dává výrazně nižší deformace od smršťování než Bažantův model a než ČSN EN 1992-1-1 viz řešený příklad v kapitole 3.
Nová norma ČSN EN 1992-1-1 vychází z evropských standardů a zavádí následující vztahy pro smršťování v čase *t*

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}, \tag{1}$$

kde ε_{cd} je poměrné smršťování od vysychání

$$\varepsilon_{cd}(t) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 1265\sqrt{h_d^3}} k_h \varepsilon_{cd0} \tag{2}$$

T_s je stáří betonu na začátku vysychání v dnech
Pro $h_d <$ 0,1m $k_h = 1$, pro $h_d >$ 0,5m $k_h = 0{,}7$

$$\varepsilon_{cd0} = 0{,}85\left[(220 + 110\alpha_1)\exp(-\alpha_2 \frac{f_{cm}}{10})\right].10^{-6}\left[1{,}55 - 1{,}55RH^3\right], \tag{3}$$

α_1 =(3-6), α_2 = (0,13-0,11) podle cementu S, N, R
f_{cm} je střední hodnota pevnosti v tlaku (MPa), RH je relativní vlhkost 0-1
ε_{ca} je poměrné autogenní smršťování

$$\varepsilon_{ca}(t) = \left[1 - \exp(-0{,}2\sqrt{t})\right]\varepsilon_{ca\infty}, \quad \varepsilon_{ca\infty} = 2{,}5(f_{ck} - 10).10^{-6} \tag{4}$$

Dotvarování je závislé na napětí a je opět vyjádřeno různými vztahy.
Obdobně jako u smršťování zmíníme Bažantův model B3 [1] a dosud používanou ČSN 731201. Nová norma ČSN EN 1992-1-1 [2] vychází z evropských standardů a zavádí následující vztahy pro dotvarování v čase *t.*

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varphi(t, t_0)\frac{\sigma_c}{E_c} \tag{5}$$

$$\varphi(t, t_0) = \left(1 + \frac{1 - RH}{\sqrt[3]{h_d}}\right) \quad \beta(f_{cm}).\beta(t_0).\beta_c(t, t_0) \quad , \quad pro \quad f_{cm} \le 35\ MPa \tag{6}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16{,}8}{\sqrt{f_{cm}}}, \quad \beta(t_0) = \frac{1}{(0{,}1 + t_0^{0{,}2})}, \tag{7}$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right]^{0{,}3}, \quad \beta_H = 1500 \cdot \left[1 + (1{,}2RH)^{18}\right] \cdot h_d + 250 \le 1500 \quad pro \quad f_c \le 35\ MPa$$

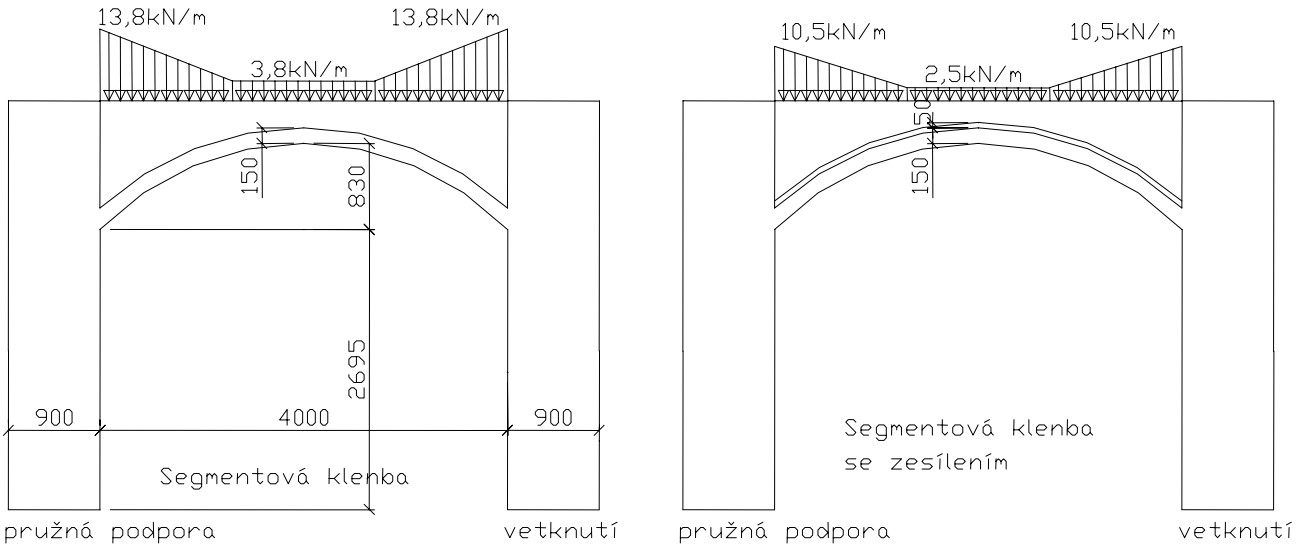
t_0 - stáří betonu v okamžiku vnesení zatížení.

3 ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Pro zjištění účinku zesílení klenby byly vybrány dvě konstrukce. První je segmentová klenba, druhá valená klenba (půlobloukoká). Tvar je vykreslen na obr. 1. Zesílení je uvažováno betonem C20/25 tloušťky 0,05m.

Pro provádění betonu máme tyto technologické údaje - ošetřování je 10 dní, plné zatížení je vneseno ve 40 dnech, relativní vlhkost je 0,5, cement typu N. Normové materiálové charakteristiky jsou f_{ck} = 20, f_{cm} = 28 MPa. Sledujeme danou zesílenou klenbu ve 40 a 365 dnech. Napětí od zatížení bez vedlejších vlivů je σ_c=-1 MPa. Z tloušťky nabetonávky určíme náhradní rozměr h_d = 0,1m.

Silové zatížení je vykresleno v obr. 1. Jedná se zejména o vlastní tíhu a tíhu násypu a podlah. Vzhledem k tomu, že po nabetonování nové konstrukce zde budou dva různě staré materiály – v původním cihelném zdivu již skončilo smršťování a dotvarování, v novém betonu však tyto jevy zahrneme. Zatížení vypočteme dle ČSN EN 1992-1-1 ve dvou časových úrovních.

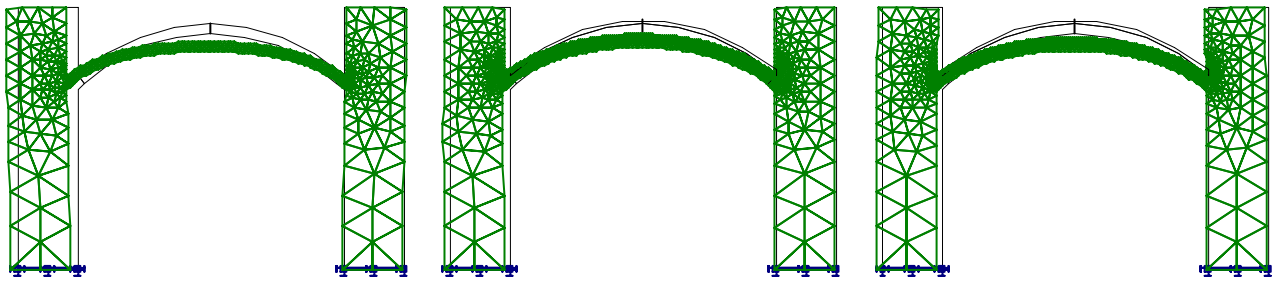


Obr. 1 *Tvar a zatížení segmentové klenby*

Výpočet deformace od smršťování a dotvarování
Smršťování a dotvarování v $t = 40$ dní
$\varepsilon_{cs} = 0{,}42 \,.\, 0{,}543.10^{-3} + 0{,}717.\, 0{,}025.10^{-3} = 0{,}23.10^{-3} + 0{,}018.10^{-3} = 0{,}248.10^{-3}$
(Bažant $\varepsilon_{cs} = 0{,}24.10^{-3}$, ČSN 731201 $\varepsilon_{cs} = 0{,}1.10^{-3}$)
$\varepsilon_{cc} = 2.3{,}17.0{,}456.\, 0.0{,}04.10^{-3} = 0{,}0$
Smršťování a dotvarování v $t = 365$ dní
$\varepsilon_{cs} = 0{,}899 \,.\, 0{,}543.10^{-3} + 0{,}978.\, 0{,}025.10^{-3} = 0{,}488.10^{-3} + 0{,}0245.10^{-3} = 0{,}512.10^{-3}$
(Bažant $\varepsilon_{cs} = 0{,}63.10^{-3}$, ČSN 731201 $\varepsilon_{cs} = 0{,}35.10^{-3}$)
$\varepsilon_{cc} = 2.3{,}17.0{,}456.\, 0{,}797.0{,}04.10^{-3} = 0{,}1.10^{-3}$

Pro získání názoru na přerozdělení napětí daného způsobu zesílení je vhodné znát tvary deformace a průběhy napětí. Vzhledem k tomu, že při běžném výpočtu zesílení se neuvažuje vliv smršťování a dotvarování, chceme poukázat na problémy, které mohou nastat. Pro určení vlivu těchto účinků jsou vykresleny deformace a napětí nejprve od silového zatížení a poté od kombinace silových i smršťovacích zatížení.

Vyhodnocení výsledků
Deformace
Zesílení má výrazný dopad na zmenšení deformace. Důležitým zjištěním je menší vodorovný posun v patě klenby. Tento posun je dále zmenšován smršťováním a dotvarováním viz obr.2.



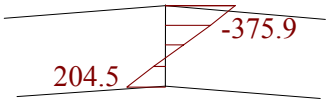
Nezesílená klenba – deformace od silových účinků

Zesílená klenba – deformace od silových účinků

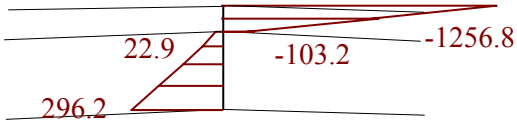
Zesílená klenba – deformace od silových účinků a od smršťování po 40 dnech

Obr. 2 *Deformace od zadaného zatížení*

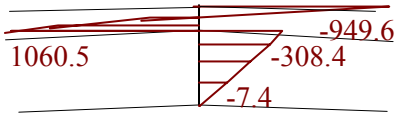
Napětí
Z uvedeného vyplývá, že původní konstrukce klenby je po nabetonování, pokud neuvažujeme nesilové účinky, odlehčena a většinu zatížení přenáší nový beton viz obr. 3. Zcela odlišná situace však nastane, pokud začneme uvažovat vliv smršťování a dotvarování. Původní klenba je výrazně více namáhána, než před zesílením viz obr. 3. Nová konstrukce se vlivem smršťování dostává do tahu a při absenci výztuže by se potrhala.



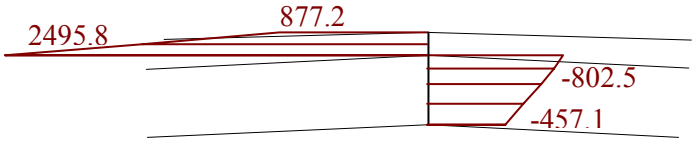
Nezesílená klenba –
napětí od silových účinků



Zesílená klenba –
napětí od silových účinků



Zesílená klenba –
napětí od silových účinků
a od smršťování po 40 dnech



Zesílená klenba –
napětí od silových účinků
a od smršťování po 365 dnech

Obr. 3 *Normálové napětí ve vrcholu od zadaného zatížení*

Obdobně se chová i valená klenba.

4 ZÁVĚR

Po shrnutí výsledků můžeme říci, že při řešení zesílení klenby nabetonováním musíme vzít v úvahu i nesilové účinky způsobené smršťováním a dotvarováním. Z průběhu napětí vyplývá, že je naprosto nezbytné zesílení vyztužit. Bez předepnutí (např. přizvednutím) bude větší část zatížení stále přebírat původní klenba. Nejpříznivější dopad má zesílení na stabilizaci průhybu ve vrcholu a vodorovných posunů v patě. U každé klenby je nutno zvážit vhodnost použití zesílení rubovou skořepinou, protože se podstatně mění její namáhání a jedná se o rozsáhlý zásah do konstrukce, který je u některých objektů, zejména památkově chráněných, společensky nepřijatelný.

5 PODĚKOVÁNÍ

Výsledky uvedené v příspěvku byly získány za dílčí podpory výzkumného záměru MSM 6840770001 a grantu FRVŠ č. 874 G1/2006.

6 LITERATURA

[1] Bažant Z.P., Baweja S. (1995/1): „Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures – Model B3“, RILEM Recommendation. Mater. Struct., 28, 1995, p. 357-365
[2] ČSN EN 1992-1-1 - EC3