

VLIV SMRŠŤOVÁNÍ A SMRŠŤOVACÍCH PRUHŮ NA NAPJATOST STROPNÍCH DESEK

*Radek Vašátko, **

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
radek.vasatko@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Vliv smršťování a smršťovacích pruhů byl sledován na lokálně podepřené stropní desce, a to v pátém nadzemním podlaží budovy Palmovka Open Park IV. Smršťování je sledováno pomocí tenzometrů umístěných po výšce stropní desky (u horního a dolního povrchu). Měření probíhá ve dvou bodech desky zvolených tak, aby bylo možné stanovit vliv provedených smršťovacích pruhů (viz Obr. 2). V každém bodě byly osazeny dva tenzometry ve směru předpokládané volné deformace (kolmo na okraj budovy), dále pak dva tenzometry ve směru předpokládané vázané deformace (rovnoběžně s okrajem budovy). V článku jsou komentovány výsledky měření prováděných v časových intervalech od vybetonování desky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Smršťování • Smršťovací pruhy • Stropní deska

ABSTRACT

The influence of shrinkage and shrinkage strips was monitored on the locally supported ceiling slab, on the fifth floor of the Palmovka Open Park IV building. Shrinkage is monitored using strain gauges located along the height of the ceiling slab (near the top and bottom surfaces). The measurement takes place at two points of the plate selected so that it is possible to determine the effect of the realized shrinkage strips (see Fig. 2). At each point, two strain gauges were installed in the direction of the assumed free deformation (perpendicular to the edge of the building), then two strain gauges in the direction of the assumed bounded deformation (parallel to the edge of the building). The article comments on the results of measurements performed in time intervals since the concreting of the slab.

KEYWORDS

Shrinkage • Shrinkage stripes • Roof slab

1. POPIS MĚŘENÍ

1.1. Popis objektu

Objekt Palmovka Open Park IV, ve kterém byly osazeny tenzometry, stojí v Praze 8 na Palmovce. Celý komplex se skládá ze dvou hlavních objektů a dvou menších mezilehlých částí – spojovacího krčku a navazující haly. Hlavní budovy mají tři podzemní podlaží a osm nadzemních podlaží. Objekt má přibližný půdorysný tvar trojúhelníku s obdélníkovým výstupkem u jednoho vrcholu.

Dům je ukončen plochou střechou, kraj střechy je lemován atikami. Spodní stavba objektu je navržena jako bílá vana. Nosnou konstrukci objektu tvoří nosný železobetonový skelet – kombinace sloupů a monolitických stropních desek. Prostorovou tuhost konstrukce zajišťují tři železobetonová jádra. Konstrukce objektu je řešena jako jeden dilatační celek.



Obrázek 1: Vizualizace budovy Palmovka Open Park IV.

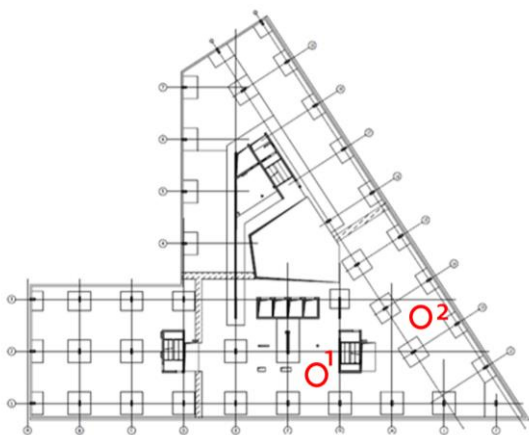
1.2. Umístění tenzometrů

K měření byly použity tenzometry EDS-20V-E. Strunové tenzometry byly umístěny na dvou místech do stropní desky v pátém nadzemním podlaží. V každém bodě byly dva tenzometry osazeny ve směru volné deformace (kolmo na hranu budovy) – jeden u horního povrchu a druhý u dolního povrchu. Další dva tenzometry byly osazeny ve směru vázané deformace (rovnoběžně s hranou budovy) – také u horního a

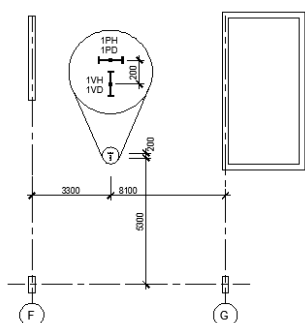
* Školitel: prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc., FEng.

dolního povrchu. Umístění je zobrazeno na obr. 2, 3 a 4.. Další čtyři tenzometry byly osazeny do zkušebních válců, které jsou vyrobeny ze stejného betonu jako stropní deska. Válce byly umístěny v prostředí stavby.

Tenzometry byly v obou bodech osazeny ve směru volného smršťování ve výšce 55 mm a 165 mm nad dolním povrchem stropní desky. Ve směru vázaného smršťování byly osazeny ve výšce 30 mm a 190 mm nad dolním povrchem stropní desky.



Obrázek 2: Půdorys budovy s vyznačenou polohou měřebných bodů.



Obrázek 3: Sčéma umístění tenzometrů ve stropní desce – bod 1 (bod 2 obdobně).



Obrázek 4: Umístění tenzometrů ve stropní desce.

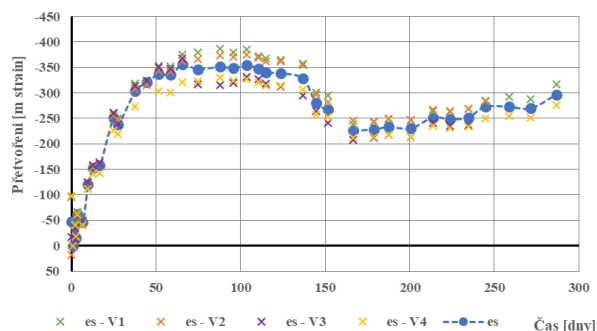
1.3. Průběh měření

Betonáž stropní desky proběhla dne 2.6.2017. Měření deformací probíhalo první týden po betonáži každý den, poté po dobu asi jednoho měsíce 2x týdně, od druhého měsíce probíhalo měření první rok přibližně 1x týdně, po prvním roce byl interval měření prodloužen na cca 1 měření za měsíc. Aktuálně probíhá měření přibližně jednou za 3 měsíce. Při každém měření deformací desky byla zároveň měřena deformace válců. Válce byly ale v březnu 2018 ztraceny (pravděpodobně vyhozeny pracovníky stavby).

2. NAMĚŘENÉ HODNOTY

2.1. Deformace válců

Na obr. 5 je zobrazen časový průběh deformací zkušebních válců V1 až V4. Vývoj deformací je hladký bez větších výkyvů. V prvních cca 50 dnech můžeme vidět nárůst deformace od smršťování, který se v čase cca od 50 do 140 dní ustálil na hodnotě kolem 350 μ strain. V čase cca 140 je patrné nabývání objemu betonu. To je způsobené tím, že byly válce nedopatřením po dobu asi jednoho až dvou týdnů vystaveny dešti. Hodnota přetvoření při tom klesla na cca 220 μ strain. Po následném umístění zkušebních válců do budovy začalo docházet k opětovnému vysychání válců a k nárůstu přetvoření.



Obrázek 5: Naměřené deformace zkušebních válců V1 až V4.

2.2. Deformace betonu v bodě č. 1

Na obr. 6 jsou zobrazeny naměřené vodorovné deformace stropní desky v bodě č. 1. Průběh deformací v čase je až na pár krátkodobých výkyvů hladký. Krátkodobé výkyvy, např. v čase cca 280 dní, jsou pravděpodobně způsobeny změnou relativní vlhkosti okolního prostředí. Můžeme si všimnout, že v tomto čase dochází ve směru vázané deformace k větší změně přetvoření než ve směru volné deformace, což je v rozporu s očekávaným chováním, kdy by měla být deformace ve volném směru větší než ve směru vázaném.

Ve směru volné deformace došlo po betonáži desky k nárůstu deformací vlivem smršťování betonu. Hodnota deformace se u obou povrchů přibližně po 50 dnech ustálila mezi hodnotami -100 a -120 μ strain. V tomto čase zároveň došlo k zabetonování smršťovacích pruhů v desce. K opětovnému nárůstu deformace začalo docházet v čase

přibližně 300 dní, na čemž se pravděpodobně podílely tyto 3 faktory:

- Provedení fasády budovy
- Příznivé roční období (jaro 2018)
- Uvedení budovy do provozu a s tím spojené používání vzduchotechniky

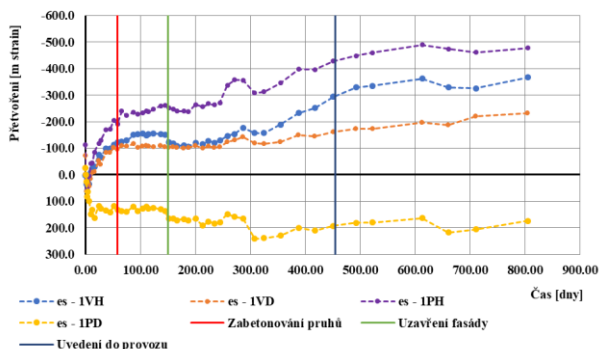
V tomto čase se od sebe také začaly vzdalovat průběhy deformací u horního a dolního povrchu, což je způsobeno uvedením budovy do provozu a s tím souvisejícím svislým zatížením stropní desky. V současné době se přetvoření ustálilo okolo hodnoty – 350 μ strain pro horní povrch, resp. – 200 μ strain pro dolní povrch.

Ve směru vázané deformace došlo po betonáži desky k nárůstu záporné deformace u horního povrchu desky, zatímco u spodního povrchu docházelo k jejímu prodlužování. Tento jev nedokážeme vysvětlit a pravděpodobně souvisí se zatížením stropní desky vlivem provádění stavby (např. stojky bednění stropní konstrukce v 6. NP vč. tíhy čerstvého betonu).

Od času přibližně 300 dní můžeme pozorovat podobné trendy v chování jako ve směru volné deformace. Po provedení smršťovacích pruhů patrně nedochází k rozdílu v chování stropní desky v jednotlivých směrech. Proto lze předběžně usuzovat, že smršťovací pruhy nemají vliv na napjatost stropních desek. Výsledky budou ale v příštích měsících ještě podrobně analyzovány.

Legenda označení tenzometrů:

1VH (2VH)	volný směr, horní povrch
1VD (2VD)	volný směr, dolní povrch
1PH (2PH)	pevný směr, horní povrch
1PD (2PD)	pevný směr, dolní povrch



Obrázek 6: Naměřené deformace v bodě č. 1.

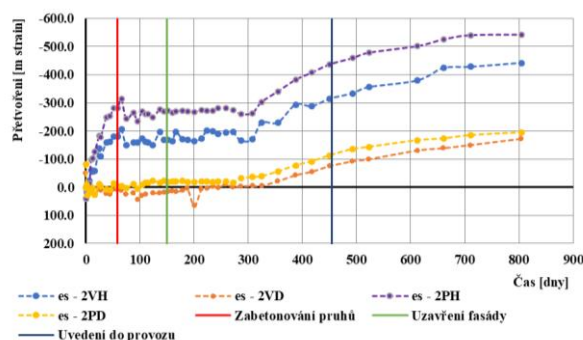
2.3. Deformace v bodě č. 2

Na dalším obrázku můžeme vidět průběh naměřených deformací v bodě č. 2. Průběh deformací je i v tomto případě hladký, bez větších výkyvů. Lokální výkyvy pouze jednoho z tenzometrů jsou pravděpodobně způsobeny chybou měření. Výkyvy všech tenzometrů současně jsou způsobeny změnou relativní vlhkosti okolního prostředí.

Ve směru volné deformace dochází krátce po betonáži desky k oddělení křivek zobrazujících deformaci horního a dolního povrchu. Hornímu povrchu narůstá deformace (zkrácení), zatímco dolní povrch se téměř nedeformuje. To

znamená, že u dolního porchu se deformace od smršťování a deformace od zatížení vzájemně téměř vynulují. Po zabetonování smršťovacích pruhů dojde k poklesu deformace horního povrchu – tato změna ale nastává i ve směru vázané deformace, pravděpodobně tedy nejde o vliv smršťovacího pruhu.

Deformace na horním povrchu se v čase přibližně 50 dní ustálila okolo hodnoty 160 μ strain. K dalšímu nárůstu dochází od času přibližně 300 dní, podobně jako v bodě č. 1. Od tohoto času dochází i ke zkracování dolního povrchu, jedná se tedy o účinek smršťování betonu. V současnosti došlo k ustálení hodnot okolo – 450 μ strain u horního povrchu a – 180 μ strain u dolního povrchu.



Obrázek 7: Naměřené deformace v bodě č. 2.

Ve směru vázané deformace došlo krátce po betonáži také k oddělení křivek zobrazujících deformaci horního a dolního povrchu. Hodnoty deformací jsou vyšší, než ve směru volné deformace. To je pravděpodobně způsobeno větším ohybovým momentem ve směru vázané deformace. Opět došlo k ustálení hodnot od času přibližně 50 dní, k jejich opětovnému nárůstu od času 300 dní a aktuálně k jejich ustálení.

Podobně jako v bodě č. 1 nedochází k rozdílu v chování desky ve směrech volné a vázané deformace. Proto lze i z druhého měření usuzovat, že smršťovací pruhy nemají zásadní vliv na napjatost stropních desek.

3. POROVNÁNÍ S REOLOGICKÝMI MODELÝ

Součástí práce je porovnání naměřených deformací s hodnotami predikovanými reologickými modely. V tomto článku je provedeno porovnání pouze pro zkušební válce. Komplexní analýza stropních desek bude probíhat v následujících měsících. Pro porovnání hodnot deformací byly použity tyto 3 modely:

- Model podle Model Code 2010
- Model B3
- Model B4

3.1. Vstupy do reologických modelů

Vstupní data pro výpočet deformací byla odvozena ze známého složení použitého betonu. Relativní vlhkost okolního prostředí byla uvažována hodnotou 70 %.

Modely B3 a B4 jsou komplexnější, než model podle Model Code 2010. Ten zahrnuje jen vliv průměrné pevnosti betonu v tlaku, typ použitého cementu, relativní vlhkost okolního prostředí, náhradní rozměr prvku, stáří betonu při vnesení zatížení a dobu ošetřování betonu. Pro výpočet byly použity tyto hodnoty:

- Pevnost betonu v tlaku $f_{cm} = 33 \text{ MPa}$
- Typ cementu 32,5 R
- Náhradní rozměr prvku $h = 75 \text{ mm}$
- Doba ošetřování betonu $t_s = 2 \text{ dny}$

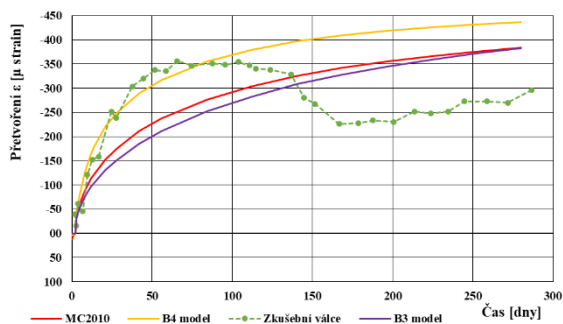
Model B3 navíc zahrnuje obsah cementu v betonové směsi, vodní součinitel, poměr kameniva a cementu ve směsi a tvar prvku. Byly použity tyto hodnoty:

- Obsah cementu $c = 350 \text{ kg/m}^3$
- Vodní součinitel $w/c = 0,49$
- Poměr kameniva a cementu $a/c = 5,03$
- Tvar prvku nekonečný válec

Model B4 k tomu uvažuje ještě teplotu prostředí, teplotu prostředí během tvrdnutí betonu a objemovou hmotnost betonu. Byly uvažovány tyto hodnoty:

- Teplota prostředí $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Teplota prostředí během tvrdnutí $T_{cur} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Objemová hmotnost $\rho = 2350 \text{ kg/m}^3$

Porovnání naměřených a predikovaných hodnot je zobrazeno na dalším obrázku. Jako nejvýstižnější se jeví model B4, který až do doby cca 100 dní vystihuje chování betonu velmi přesně. Poté došlo k nechtěnému vystavení válců dešti, což způsobilo nárůst objemu betonu válců. Model B4 přesto i poté predikoval správně směr křivky. Modely B3 a model podle Model Code 2010 mají sobě podobný průběh, ale reologické změny betonu v tomto případě správně nepředpovídají. Predikované hodnoty jsou o přibližně 100 μstrain nižší.



Obrázek 8: Porovnání naměřených deformací na zkušebních válcích s reologickými modely.

4. ZÁVĚR

Tento článek je zaměřen na analýzu vlivu smršťovacích pruhů na napjatost stropních desek. Byla provedena předběžná analýza naměřených hodnot přetvoření stropní

desky. Bylo zjištěno, že po provedení smršťovacích pruhů nedošlo k zásadním změnám ve vývoji přetvoření stropní desky. Stropní deska se chovala srovnatelně v obou směrech - kolmém i rovnoběžném vzledem ke smršťovacímu pruhu. Z toho lze usuzovat, že provádění smršťovacích pruhů nemá vliv na napjatost stropních desek.

PODĚKOVÁNÍ

V článku jsou využity výsledky výzkumného centra CESTI (projekt č. TE01020168) podporovaného TAČR a výsledky projektu č. 16-04454S podporovaného GAČR. Ve výpočtech byly použity vstupy poskytnuté projektantem stavby HSD Statika s.r.o. Všem zmíněným velmi děkujeme za poskytnutou podporu.

Reference

- Bazant, Z.P. (2015), *Model B4 for creep, drying shrinkage and autogenous shrinkage of normal and high-strength concretes with multi-decade applicability*, RILEM Technical Committee TC-242-MDC.
- HSD statika s.r.o. (2016), *Technická zpráva – stavebně konstrukční část objektu, Administrativní objekt Palmovka Park IV.*
- Vinkler, M., Vitek, J. (2015), *Drying shrinkage of concrete elements*