EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ PREFABRIKOVANÝCH SCHODIŠŤ Z KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CEMENTU A ORGANICKÝCH VLÁKEN

EXPERIMENTAL TESTING OF PREFABRICATED STAIRS MADE OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON CEMENT AND ORGANIC FIBERS

Ondřej Nespěšný^{*,1}, Jan Vystrčil¹, Dominik Cakl¹

^{*}ondrej.nespesny@vut.cz

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno

Abstrakt

Schodiště jsou nedílnou součástí vícepodlažních budov a musí splňovat řadu požadavků vycházejících zejména z technických norem. Jedním ze základních požadavků na stavby je mechanická odolnost a stabilita, která je v současnosti často ověřována výpočtovými metodami. Pokud jsou výpočtové metody nedostačující musí být využíváno experimentální metody zatěžování konstrukcí, kterou popisuje tato publikace. Příspěvek shrnuje průběh statického zatěžování prefabrikovaných schodišťových sestav z kompozitních materiálů na bázi cementu a výztužných organických vláken. Aplikované metody vycházejí z evropských technických norem a řídících pokynů pro evropská technická schválení.

Klíčová slova

Schodiště, experimentální testování, statické zatěžování, kompozitní materiály

Abstract

Stairs are an integral part of multi-storey buildings and must meet a few ones based mainly on technical standards. One of the basic requirements for buildings is mechanical resistance and stability, which is currently often verified by calculation methods. If the calculation methods are insufficient, the experimental methods of loading the structures described in this publication must be used. The paper summarizes the course of static loading of prefabricated stair assemblies made of composite materials based on cement and reinforcing organic fibers. The applied methods are based on European standards and guidelines for technical technical approval.

Key words

Staircase, experimental testing, static loading, composite material

1 ÚVOD

Kompozitní desky na bázi cementu a organických vláken (označovány jako cementovláknité desky) jsou dnes environmentálním, univerzálním a trvanlivým stavebním materiálem. Slouží jako náhrada přírodního dřeva a výrobků ze dřeva, jako jsou například překližky, nebo desky s orientovanými vlákny (OSB). Vlastnosti cementovláknitých desek, jako stavebního materiálu umožňují různorodá použití v širokém spektru stavebních konstrukcí. Mezi ty nejčastější patří fasádní obklady větraných fasád pro rekonstrukce i novostavby, vnitřní a vnější podhledy, obklady vnitřních a vnějších konstrukcí, kabelové mosty či konstrukce požární ochrany.

Jednou z teoreticky možných oblastí použití cementovláknitých desek je využití v rámci konstrukcí pozemních staveb ve formě interiérových schodišť [1], na která je kladena řada požadavků. Tyto požadavky jsou v České republice dány obecně závaznými předpisy [2], [3].

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED/POPIS SOUČASNÉHO STAVU

Základními požadavky na stavby, tedy i na schodiště stanovuje v České republice vyhláška č. 268/2009 Sb., [2], která uvádí, že konstrukce musí být navržena a provedena tak, aby byla vhodná při respektování hospodárnosti pro zamýšlené využití a aby současně splnila (při běžné údržbě a působení běžně předvídatelných vlivů po dobu předpokládané existence) základní požadavky, kterými jsou:

- Mechanická odolnost a stabilita,
- požární bezpečnost,
- ochrana zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí,
- ochrana proti hluku
- bezpečnost při užívání
- úspora energie a ochrana tepla.

Současně je v [2] uvedeno, že konstrukce schodiště nesmí způsobit náhlé nebo postupné zřícení nebo destruktivní poškození vlastní, nebo přilehlé stavby a nesmí dojít k nepřipustnému přetvoření, které může narušit stabilitu, mechanickou odolnost, trvanlivost nebo uživatelnost. Řídící pokyn pro evropská technická schválení pro prefabrikované schodišťové sestavy [3] uvádí, že konstrukce schodiště musí být navržena a provedena takovým způsobem, aby zatížení, která na ni budou pravděpodobně působit v průběhu výstavby a užívání neměla za následek:

- Zřícení celé stavby nebo její části,
- větší stupeň nepřipustného přetvoření,
- poškození jiných částí stavby nebo technických zařízení nebo instalovaného vybavení v důsledku většího přetvoření nosné konstrukce,
- poškození v případě, kdy je rozsah neúměrný původní příčině.

Statickou únosnost schodiště lze prokázat numerickou analýzou, nebo statickou zatěžovací zkouškou (full-scale) jako Pěňčík v [4], kde bylo analyzováno dřevěné segmentové schodiště z buku lesního (*Fagus sylvatica*), dubu zimního (*Quercus petraea*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a smrku (*Picea abies*). Podle Sachse [5] je mimo statického zatížení konstrukce schodiště, často věnována pozornost i vibracím vyvolaným člověkem, tzn. dynamické účinky na konstrukci. Hodnocení dynamického chování ocelových schodišť na přítomnost osob publikoval Cappellini v [6], kde aplikovali metodiku kvantifikace změn modálních parametrů v důsledku přítomnosti pasivních lidí na štíhlé konstrukci [7]. Dynamické testy lze považovat za pokročilý stupeň analýzy konstrukce, kterým předchází statická zatěžovací zkouška, full-scale experiment, nebo numerická simulace. Full-scale experiment lze považovat za jednu z nejpřesnějších metod pro ověření chování konstrukce, nebo materiálu. Ve výzkumu v oblasti stavebnictví metoda ověření full-scale experimentem velmi oblíbená, což potvrzuje řada nedávných vědeckých publikací [8], [9] a [10]. Průběh full-scale experimentu prezentují autoři i v rámci této publikace.

3 METODIKA

Prezentovaná metoda experimentálního testování konstrukcí segmentových schodišť za účelem ověření statické únosnosti uvažuje hodnoty zatížení a dílčích součinitelů bezpečnosti materiálů γ_M podle ČSN EN 1991-1-1 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb [2] a řídícího pokynu pro evropská technická schválení pro prefabrikované schodišťové sestavy [3]. Prezentovaná metodika byla aplikována na konstrukci jednoramenného segmentového schodiště z cementovláknitých desek na bázi cementu a organických vláken. Metodika je zaměřena na interiérová schodiště, tzn. že jsou uvažovány běžné podmínky vnitřního prostředí s teplotami kolísajícími mezi +5 °C až +30 °C a relativními vlhkostmi kolísajícími mezi 30 % až 70 %.

Zatěžovací zkouška je ze statického hlediska prováděna za nejméně příznivých podmínek. Schodišťové rameno je řešeno jako prostý nosník s kloubovým uložením v horní části, kde kloubové uložení simulují prolisované L-úhelníky z pozinkované, nebo nerezové oceli o rozměrech minimálně 65 × 90 × 90 × 2,5 mm se závitovými tyčemi o průměru 10 mm, viz Obr. 1. Posuvnou podporou v patě simuluje ocelová tyč o průměru 10 mm. Ke kontinuálnímu zaznamenávání svislých posunů při statickém zatěžování se doporučuje použití potenciometrických lankových snímačů s měřicím rozsahem 0–500 mm [11], měřicí rozsah je možné prodloužit pomocí nerezového ocelového lanka [11].

Svislý posun U_y je zaznamenáván na nosných prvcích (schodnicích) schodiště, minimálně v 1/3, 1/2 a 2/3 délky nosného prvku a u kloubové podpory z důvodu záznamu jejího poklesu. Alternativním způsobem zaznamenávání svislých posunů schodnic je aplikace systému prostorového měření v reálném čase [12].

Obr. 1 Kloubové uložení schodišťového ramene pomocí ocelového L-úhelníku (A), posuvná podpora v patě schodiště (B), sada potenciometrických lankových snímačů dráhy (C).

Zatížení na konstrukci schodiště o vlastní hmotnosti G_k je uvažováno jako rovnoměrné spojitě. V reálném případě je obtížné rovnoměrné spojitě zatížení simulovat. Největším přiblížením reálného stavu je zatěžování konstrukce pomocí vaků naplněných kapalinou o známé hmotnosti. Alternativním způsobem je krokové zatěžování vaky s pískem frakce 0/4 mm, nebo kačirkem frakce 4/8 mm, které jsou postupně ukládány do OSB boxů o rozměrech stupnice.

Hmotnost zatěžovacích vaků, je stanovena na základě plošného rozměru schodiště, zatížení stanovené podle [2] je $V = 3,0 \text{ kN/m}^2$. Hodnota koeficientu γ_M [–] je podle [3] závislá na materiálu konstrukce schodiště. Pro výrobky ze dřeva a na bázi dřeva je uvažována hodnota $\gamma_M = 1,3$, pro betonové prvky pojené cementem nebo pryskyřicí je $\gamma_M = 1,5$, pro ocelové konstrukce schodiště je $\gamma_M = 1,1$. Na základě hodnoty součinitele γ_M je stanoveno zatěžovací schéma.

Statická zatěžovací zkouška je rozdělena do dvou fází – zatěžování a odtěžování. Cyklus zatížení a odtížení je nezbytné opakovat celkem dvakrát. Mezi jednotlivými fázemi, resp. mezi jednotlivými zatěžovacími kroky, tj. $1,0 \times V$, $1,3 \times V$ a $1,5 \times V$ je přestávka v délce 15 minut, které je uvažována z důvodu ustálení konstrukce schodiště, resp. ustálení svislých posunů U_y [mm] a možnosti sledovat relaxaci konstrukce v čase. První a druhé zatěžování probíhá podle schématu: $G_k \rightarrow 1,0 \times V \rightarrow 1,3 \times V \rightarrow 1,5 \times V \rightarrow 1,3 \times V \rightarrow 1,0 \times V \rightarrow G_k$. V případě stanovení maximálního možného zatížení, tzn. do ztráty stability se postupuje podle zatěžovacího schématu: $G_k \rightarrow 1,0 \times V \rightarrow 1,3 \times V \rightarrow 1,5 \times V \rightarrow \text{zhroucení konstrukce}$. Příklad rozdělení zatěžovacích vaků pro jednoramenné schodiště o 9. stupních se stupnicemi o plošných rozměrech $900 \times 300 \text{ mm}$ je uveden v Tab. 1.

Tab. 1 Příklad rozdělení zatížení podle zatěžovacích kroků na jednotlivé schodišťové stupně 1–9.

		1. st.	2. st.	3. st.	4. st.	5. st.	6. st.	7. st.	8. st.	9. st.	
zatěžovací krok (A–F)	A	10,34	10,76	10,28	10,51	10,93	10,66	8,5	11,17	10,41	OSB box
		20,26	19,84	20,32	20,09	19,67	19,94	22,1	19,43	20,19	korekční vak
		45	45	45	45	45	45	45	45	45	3 x 15 kg vak
	B	stabilizace při zatížení $1,0 \times 3,0 \text{ kN/m}^2 = 75,60 \text{ kg/stupeň}$									
	C	22,68	22,68	22,68	22,68	22,68	22,68	22,68	22,68	22,68	1 x 22,68 kg vak
	D	stabilizace při zatížení $1,3 \times 3,0 \text{ kN/m}^2 = 98,28 \text{ kg/stupeň}$									
	E	15,12	15,12	15,12	15,12	15,12	15,12	15,12	15,12	15,12	1 x 15,12 kg vak
	F	stabilizace při zatížení $1,5 \times 3,0 \text{ kN/m}^2 = 113,40 \text{ kg/stupeň}$									

Schodišťové stupně jsou v každém zatěžovacím kroku zatěžovány na základě optimalizačního výpočtu. Cílem je umisťovat zatěžovací boxy v takovém pořadí, aby se průběh ohybového momentu od působícího zatížení co

nejvíce přiblížil průběhu ohybového momentu od spojitého rovnoměrného zatížení, tj. parabola druhého stupně s maximální hodnotou v polovině rozpětí. Příklad zatěžování jednoramenného schodiště o 9. stupních je uveden na Obr. 2.

Obr. 2 Příklad postupného zatěžování jednoramenného schodiště s 9. stupni – zatížení (červeně), odtížení (modře).

4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Výstupy ze zatěžování konstrukce schodiště podle uvedené metodiky jsou rozděleny do kategorií:

- Mechanická odolnost/únosnost a stabilita,
- Chování při zatížení/posuvu.

Únosnost je uváděna jako přepočtená hmotnost na jeden schodišťový stupeň, resp. stupnici v kN . Současně je výstupem přepočtené zatížení na celé schodišťové rameno v kN při porušení konstrukce, nebo jako prokázání dosažení požadovaných hodnot.

Chování při zatížení, resp. posuvu je uváděno v mm vztaženo k měřicímu bodu na konstrukci. Vyhodnocuje se průhyb konstrukce při odpovídajícím zatížení v odpovídajícím zatěžovacím kroku a výsledný průhyb konstrukce při maximálním zatížení. Při provozních zatíženích se průhyb schodiště uvádí ve vztahu ke středové čáře ramene l [mm]. Průhyb nesmí přesáhnout hodnotu $l/200$. Únosnost spojovacích prostředků je předmětem samostatného měření.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu FAST-J-21-7449 "Stanovení materiálového modelu kompozitního materiálu tvořeného cementovou maticí s rozptýlenými výztužnými organickými vlákny nebo anorganickými vlákny

s ohledem na směr zatěžování" a FAST-S-21-7422 "Studium tepelně vlhkostních procesů v 3D tištěných konstrukcích pozemních staveb".

Použité zdroje

- [1] NESPĚŠNÝ, Ondřej, Jan PĚNČÍK, David BEČKOVSKÝ, Jan VYSTRČIL a Karel ŠUHAJDA. Determination of material and elasticity constants of cement fibre boards to extend field of application. *Construction and Building Materials*. 2021, 306. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.124821
- [2] ČSN EN 1991-1-1-1 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha, 2004.
- [3] ETAG 008: Prefabricated Stair Kits. Brusel: European Organisation for Technical Approvals, 2000.
- [4] PĚNČÍK, Jan, Miloš LAVICKÝ, Pavel KRÁL a Zdeňka HAVÍŘOVÁ. Analysis of Behaviour of Prefabricated Staircases with One-Sided Suspended Stairs. *Drvna industrija*. 2015, 66(2), 147-156. ISSN 00126772. Dostupné z: doi:10.5552/drind.2015.1338
- [5] SACHS
- [6] CAPPELLINI, A., S. MANZONI, M. VANALI a A. CIGADA. Evaluation of the dynamic behaviour of steel staircases damped by the presence of people. *Engineering Structures*. 2016, 115, 165-178. ISSN 01410296. Dostupné z: doi:10.1016/j.engstruct.2016.02.028
- [7] BUSCA, G., A. CAPPELLINI, S. MANZONI, M. TARABINI a M. VANALI. Quantification of changes in modal parameters due to the presence of passive people on a slender structure. *Journal of Sound and Vibration*. 2014, 333(21), 5641-5652. ISSN 0022460X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jsv.2014.06.003
- [8] FLEMING, Patrick H. a Michael H. RAMAGE. Full-scale construction and testing of stress-laminated columns made with low-grade wood. *Construction and Building Materials*. 2020, 230. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116952
- [9] ZUO, Zibo, Jian GONG, Yulin HUANG, Yijian ZHAN, Ming GONG a Lulu ZHANG. Experimental research on transition from scale 3D printing to full-size printing in construction. *Construction and Building Materials*. 2019, 208, 350-360. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.02.171
- [10] LI, Bin, Hongyuan FANG, Hang HE, Kangjian YANG, Can CHEN a Fuming WANG. Numerical simulation and full-scale test on dynamic response of corroded concrete pipelines under Multi-field coupling. *Construction and Building Materials*. 2019, 200, 368-386. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.12.111
- [11] MICRO-EPSILON [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/download/products/cat--wireSENSOR--en.pdf>
- [12] X-SIGHT [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.xsight.eu/dicsystems/>