

STAVEBNĚ TECHNICKÉ PRŮZKUMY BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ V ELEKTRÁRNÁCH

INVESTIGATIONS OF CONCRETE STRUCTURES IN POWER PLANTS

Jana Marková^{a)}, Jan Mlčoch^{a)}, Miroslav Sýkora^{a)}, Kamil Prešl^{b)} a Jan Molnár^{b)}

^{a)} ČVUT v Praze, Kloknerův ústav

^{b)} ČEZ, a.s.

Abstrakt

Příspěvek se zaměřuje na kritické posouzení požadavků na stavebně technické průzkumy uvedené v mezinárodní a národních normách a v programu řízení spolehlivosti ČEZ a.s. (PŘS). Vychází se také z výsledků mezinárodních výzkumných projektů, z odborné literatury a z diskuzí s experty na průzkumy konstrukcí. Ukazuje se, že současné normativní dokumenty neposkytují dostatečně podrobné pokyny pro průzkumy a monitorování stavebních konstrukcí. Při plánování typu a rozsahu zkoušek je třeba uvážit účel, tedy zda se jedná o hodnocení současného stavu konstrukcí, nebo se provádí predikce zbytkové životnosti.

Paper is aimed at critical assessment of requirements on construction surveys given in international and national standards and Program of reliability management of company CEZ a.s. Selected results of international projects, handbooks and discussions with experts are considered. It is shown that current standards do not provide sufficiently detailed provisions for surveys and structural monitoring. The aim of structural survey is to be considered when type and extent of testing are planned, so whether the actual state of structure is evaluated or residual working life estimated.

Úvod

Požadavky na zajištění spolehlivosti a snížení nákladů na opravy nebo prodloužení životnosti vedou k rostoucím nárokům na průzkumy a monitorování klíčových stavebních konstrukcí v energetice. Ačkoli se na hodnocení skutečného stavu různých typů existujících konstrukcí, jejich monitorování a prohlídky zaměřuje řada norem včetně ČSN ISO 13822, ČSN 73 0038, ČSN EN 15331, ČSN 73 6221, ČSN 73 2604, ČSN 73 6221, ISO 16204 [1-6], v současné době chybí operativní pokyny především pro betonové konstrukce, které by poskytovaly dostatečné informace o volbě vhodných metod monitorování, o četnosti prohlídek a počtu měření v čase a prostoru, zpracování výsledků měření s ohledem na různé typy nejistot apod.

Příspěvek se zabývá kritickým posouzením pokynů vybraných mezinárodních dokumentů zaměřených na průzkumy a monitorování a požadavky pro stavebně technické průzkumy betonových konstrukcí podle programu řízení spolehlivosti ČEZ, a.s. Porovnání vychází z předchozích studií autorů, založených na podkladech v odborné literatuře, ze zahraničních normativních dokumentů a z diskuzí s experty na průzkumy konstrukcí.

Požadavky v mezinárodních dokumentech a metodikách

Rozsáhlý evropský projekt SAMCO <www.samco.org> vedl ke zpracování příručky F08b, která se zaměřuje na průzkumy stavebních konstrukcí s ohledem na působící zatížení, účel diagnostiky, identifikaci poruch, jejich příčin a posouzení jejich vlivu na spolehlivost. Přílohy této příručky obsahují užitečné informace o typech senzorů a zkušenostech z monitorování mostů a konstrukcí.

Požadavky na průzkumy uvádějí například také následující národní normy:

- ruská GOST R se zabývá stavebně technickými a geotechnickými průzkumy,

- rakouská RVS 13.03.01 zohledňuje informace z průzkumů jako doplňkové k výsledkům testů a poskytuje přehled norem s požadavky na zajištění kvality průzkumů,
- italská UNI/TR 11634 uvádí kritéria pro monitorování různých typů konstrukcí.

ČSN 73 2604 [4] uvádí požadavky na prohlídky ocelových konstrukcí, ČSN 73 6221 na prohlídky mostů, německý předpis VDI 6200 [7] na konstrukce z různých materiálů (tab. 1).

Provedená analýza naznačuje, že je třeba zpracovat normativní doporučení týkající se:

- výběru vhodné metody pro sledování vybrané veličiny (např. hloubky karbonatace),
- počtu prvků nebo konstrukcí, které postačuje sledovat v případě skupiny opakujících se prvků nebo konstrukcí,
- identifikace kritických nosných prvků nebo průřezů,
- optimalizace počtu měření a jejich prostorové rozložení pro rozsáhlé konstrukce jako chladicí věže a průmyslové komíny,
- optimalizace četnosti průzkumu s ohledem na sledovaný způsob porušení, rychlost deformačních procesů a požadovanou zbytkovou životnost,
- stanovení limitních hodnot pro sledované parametry,
- zohlednění nejistot měření při interpretaci výsledků.

Kritické zhodnocení metodiky PŘS

Program řízení spolehlivosti ČEZ, a.s. poskytuje v porovnání s normativními dokumenty detailnější požadavky na:

- sledované veličiny (geometrické imperfekce, tloušťka krycí vrstvy, pevnost betonu v tlaku, přídržnost povrchových vrstev, mrazuvzdornost, hloubka karbonatace atd.),
- intervaly mezi průzkumy podle jejich typů a počty měření pro plošné prvky.

Z porovnání s informacemi v odborné literatuře a v zahraničních normativních dokumentech a z diskuzí s experty na průzkumy stavebních konstrukcí vyplývá, že:

- rozsahy zkoušek v PŘS obvykle představují minimální požadavky,
- u časově nezávislých veličin (např. tloušťka krycí vrstvy betonu) lze využít data z předchozích měření, je však potřebné ověřit homogenitu měření (viz příklad 1),
- zkoušku mrazuvzdornosti betonu je dostatečné provádět jednou za životnost konstrukce,
- u hloubky karbonatace se doporučuje zvýšit četnost testů,
- referenční plochy, na kterých se opakovaně sledují vybrané veličiny, představují jedinečnou možnost pro kalibraci teoretických modelů časově závislých jevů (příklad 2),
- při plánování typu a rozsahu zkoušení je třeba uvážit účel, tedy zda se jedná o hodnocení současného stavu konstrukcí, nebo se provádí predikce zbytkové životnosti.

Příklad 1 – posouzení homogenity souborů měření krycí vrstvy. Měření krycí vrstvy ve dvou různých obdobích vedlo k následujícím statistickým charakteristikám:

$$\begin{aligned} \text{soubor 1: } n_1 &= 39; m_1 = 58.0 \text{ mm}; s_1 = 14.1 \text{ mm} \\ \text{soubor 2: } n_2 &= 30; m_2 = 55.2 \text{ mm}; s_2 = 11.0 \text{ mm} \end{aligned} \quad (1)$$

kde n je počet měření a m a s jsou nestranné odhady průměru a směrodatné odchytky. Ověřuje se, zda rozdíl $m_1 - m_2$ (pro $m_1 \geq m_2$) lze považovat za náhodný:

$$\begin{aligned} \text{testovaná veličina: } t_0 &= (m_1 - m_2) / \sqrt{(S_1 + S_2)} = 0,89 \\ \text{kritická hodnota: } -t_{\alpha/2} &= t_{1-\alpha/2} = [-t_{\alpha/2}(n_1-1) S_1 + t_{1-\alpha/2}(n_2-1) S_2] / (S_1 + S_2) = 2,03 \end{aligned} \quad (2)$$

kde $S_i = s_i^2 / (n_i - 1)$; $\alpha = 0,05$ značí hladinu významnosti a $t_p(n-1)$ je kvantil Studentova rozdělení pro $n-1$ stupňů volnosti. Rozdíl mezi průměry není významný, neboť platí podmínka $t_{\alpha/2} < t_0 < t_{1-\alpha/2}$ a přijímá se hypotéza, že průměrná pevnost obou souborů se významně neliší. Obdobným způsobem se otestují rozptyly obou souborů [8].

Příklad 2 – kalibrace posouzení homogenity souborů měření krycí vrstvy. Měření na referenční ploše poskytlo údaje o hloubce karbonatace v období 41–45 let od zprovoznění konstrukce (obrázek 1). Vývoj hloubky karbonatace se popisuje regresním vztahem $A\sqrt{(t-t_0)}$, kde A a t_0 jsou regresní koeficienty. Obrázek 1 ukazuje rychlý postup karbonatace. Z porovnání mezi naměřenými hodnotami a výsledky predikovanými regresním vztahem vyplývá, že modelovou nejistotu lze popsat variačním koeficientem o hodnotě 20 %.

Doporučení na základě zkušeností s průzkumy stavební konstrukcí v energetice

Zkušenosti ze sledování chladicích věží, komínů a dalších konstrukcí ukazují, že:

- 1) Před stanovením požadavků na sledování stavební konstrukce je potřebné stanovit účel a rozsah požadovaných informací s ohledem na možné následky překročení uvažovaného mezního stavu a na požadovanou životnost konstrukce.
- 2) Návrh systému sledování stavebních konstrukcí je komplexní úloha, která zahrnuje následující kroky:
 - a) Pravděpodobnostní rozbor, který odhadne časově závislou spolehlivost prvku nebo systému a naznačí vliv základních veličin na sledovaný způsob porušení; zkušenosti z předchozího působení konstrukce lze uvážit na základě pravděpodobnostní aktualizace.
 - b) Identifikaci možných způsobů sledování, odhad nákladů na sledování a specifikaci nejistot souvisejících s měřením.
 - c) Stanovení mezních hodnot pro sledované veličiny, které se obvykle opírá o optimalizaci nákladů s uvážením očekávaných následků poruchy.
 - d) Výběr optimálního způsobu sledování na základě celkové optimalizace nákladů [8], pro kterou je potřebné predikovat rozvoj degračních procesů a modelovat variabilitu proměnných zatížení.
- 3) Dobře navržený systém sledování umožňuje okamžitou aktualizaci odhadu spolehlivosti konstrukce a včasné plánování opravy.

Optimalizace průzkumů a monitorování přináší v současné době významné úspory provozních nákladů staveb nejen v energetice, ale např. i dopravě (mosty a tunely) a v místech, kde dochází ke shromažďování velkého počtu lidí (stadiony, kongresové haly, víceúčelové arény). Výměna zkušeností mezi různými průmyslovými sektory může podpořit optimalizaci systémů sledování. V současné době se na uvedenou problematiku zaměřuje evropský projekt COST TU1402, v rámci kterého se zpracovalo velké množství podkladových materiálů dostupných na cost-tu1402.eu.

Závěrečné poznámky

Ukazuje se, že současné normativní dokumenty neposkytují dostatečně detailní pokyny pro průzkumy a monitorování stavebních konstrukcí a bylo by potřebné je zpracovat, zejména pro betonové konstrukce. PŘS obsahuje detailní pokyny, které zpravidla představují minimální požadavky. Při plánování typu a rozsahu monitorování a zkoušení je třeba uvážit účel, tedy zda se jedná o hodnocení současného stavu konstrukcí, nebo se provádí predikce zbytkové životnosti.

Poděkování

Příspěvek je součástí řešení TA ČR TE01020068 CESEN. Využily se výsledky řešení projektu SGS16/195/OHK1/2T/31 (Studentská grantová soutěž ČVUT v Praze).

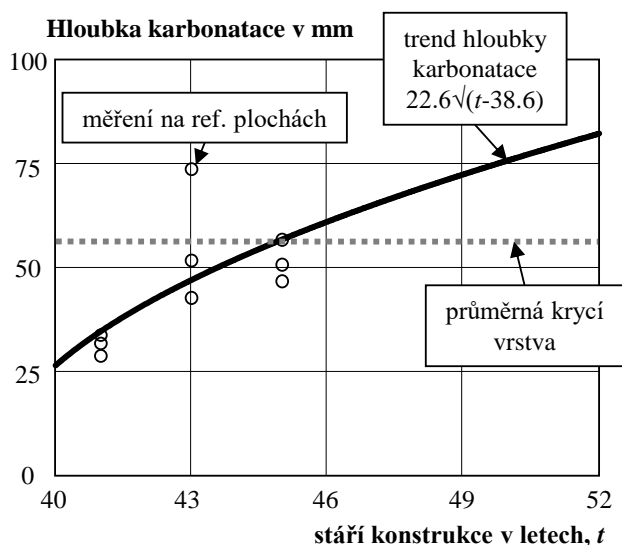
Literatura

- [1] ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*, 2014
- [2] ČSN 73 0038 *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - Doplnující ustanovení*, 2014.
- [3] ČSN EN 15331. *Kritéria pro návrh, management a řízení služeb údržby budov*. ÚNMZ, 2012.
- [4] ISO 16204. *Durability - Service life design of concrete structures*. ISO, 2012.
- [5] ČSN 73 2604. *Ocelové konstrukce - Kontrola a údržba ocelových konstrukcí pozemních a inženýrských staveb*. ÚNMZ, 2012.
- [6] ČSN 73 6221 *Prohlídky mostů pozemních komunikací*
- [7] VDI 6200 *Structural safety of buildings - Regular inspections*, Association of German Engineers, 2010
- [8] MARKOVÁ J., MLČOCH J., SÝKORA M., MOLNÁR J. a PREŠL K. *Životnost železobetonových komínů a chladících věží – Zpřesnění kritérií pro hodnocení*, konference "Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách", Smí, 10/2016.
- [9] ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí*. ÚNMZ, 2004.

Tab. 1. Intervaly pro průzkumy podle ČSN 73 2604 [4] a VDI 6200 [7].

Norma	Typ konstrukce, třída následků CC podle ČSN EN 1990 [9]	Běžná prohlídka	Podrobná prohlídka	Posouzení expertem
ČSN 73 2604 [5]	Ocelové stožáry a komíny.	Po roce provozu a dále po třech letech.	5 let	Není uvedeno.
ČSN 73 6221 [6]	Mosty	1-2 ročně *	2 - 6 let*	
VDI 6200 [1]	CC1	5 let	Není uvedeno.	Není uvedeno.
	CC2	3 let	5 let	15 let
	CC3	2 let	3 let	10 let

* Podle klasifikačního stupně stavu



Obr. 1. Hloubka karbonatce v závislosti na stáří konstrukce – měření a předpokládaný trend.