

METODIKA STANOVENÍ VLIVU VERTIKÁLNÍCH TRHLIN NA PLÁŠŤ CHLADÍCÍ VĚŽE ■ METHODOLOGY OF THE FORMULATION OF VERTICAL CRACK INFLUENCE ON COOLING TOWERS SHELL

Zdeněk Šnirch, Amos Dufka,
Martin Lukavec

Předmětem příspěvku je metodika posouzení statické funkce pláště tahové chladicí věže, jejíž plášť je narušen vertikálními trhlinami, pro přechodnou dobu do ukončení plánovaného užívání. Metodika posouzení vychází z kombinace stavebně technického průzkumu pláště zaměřeného na diagnostiku předmětných trhlin a výpočtového posouzení provedeného na trojrozměrném výpočtovém modelu, který umožňuje provést statické a dynamické analýzy. ■ The article describes the static assessment method of the cooling tower shell deteriorated by the vertical cracks till the end of the intended exploitation. The method combines the technical investigation of the structure and the calculations applied on 3D model which allows the static and dynamical analysis.

Chladicí věže jsou specifické konstrukce, vystavené při svém užívání působení mnoha vlivů, ať už z okolního prostředí (vítr, déšť, mráz, oslunění, agresivní plyny v ovzduší apod.), anebo způsobených vlastním provozem (např. proudění spalin, páry apod.). Tyto konstrukce nejsou schopny bez oprav spolehlivě fungovat po celou dobu provozu technologie, v níž jsou zařazeny. Např. chladicí věže v klasických tepelných i jaderných elektrárnách jsou v provozu několik desítek let.

Jednou ze závažných poruch, jež se vyskytují na tahových chladicích věžích, jsou vertikální trhliny v konstrukci jejich pláště. Jedná se o poruchy, které mohou mít zásadní vliv na celkovou integritu konstrukce a tedy i na její celkovou životnost. V případě jejich výskytu je nutné diagnostikovat stav trhlin, stanovit jejich přesný vliv na danou konstrukci a na základě takto dosažených výsledků je pak možné provést efektivní opravu a tak prodloužit životnost celé konstrukce.

Základní údaje o konstrukci

Tahová chladicí věž (dále CHV) typu Iterson o výšce 30 až 120 m je založena na kruhovém železobetonovém základu, do kterého jsou vetknuty šikmé stojky věže tak, že jsou vždy dvě odkloněny od sebe, do tvaru písmene V. Stojky nesou plášť věže, ukončený v koruně věže vrcholovým ocho-

zem o průřezu ve tvaru U. Monolitický železobetonový plášť věže ve tvaru rotačního hyperboloidu byl betonován do taženého bednění. Vrcholový ochoz slouží jednak jako konstrukce ztužující a jednak jako pochozí. Na plášti věže je upevněn ocelový žebřík pro přístup na ochoz. Uvnitř věže se nachází prefabrikovaná železobetonová vestavba chladicího systému, která je zcela oddělena (oddilatována) od pláště chladicí věže. Tento systém sestává ze sloupů, trámů a žlabů. Ve spodní části věže je železobetonová monolitická nádrž ochlazené vody. Sloupy vestavby chladicího systému jsou založeny na patkách, které se nachází na dně nádrže ochlazené vody. Přístup do věže je umožněn přes dveře v plášti věže.

METODIKA STAVEBNĚ TECHNICKÉHO PRŮZKUMU

Cílem popisované metodiky je ověřit, zda je plášť při oslabení vertikální trhlinou i na celou tloušťku konstrukce schopen přenášet vnitřní síly vyvozené při kombinaci maximálního výpočtového zatížení (svislé zatížení + účinky větru). Pro exaktní posouzení je vždy nutné před vlastním výpočtem provést stavebně-technický průzkum zaměřený na diagnostiku stavu předmětných trhlin a jejich vlivu na samotnou konstrukci pláště chladicí věže. **Rozsah stavebně-technického průzkumu je následující:**

Stanovení třídy betonu

Třída betonu se stanoví pomocí pevností betonu v tlaku, jež je nutné zjistit jednak na konstrukci (nedestruktivně) a jednak v laboratoři na válcových zkušebních tělesech upravených z jádrových vývrtů odebraných přímo z konstrukce. Pro CHV 100 m je nutné odebrat minimálně deset jádrových vývrtů o průměru 100 mm přes celou tloušťku pláště CHV.

Stanovení tloušťky pláště chladicí věže

Vzhledem k časté absenci realizační dokumentace je nutné ověřit rozměry předmětné konstrukce. Ověření skutečných rozměrů přímo na konstrukci se doporučuje i v případě, kdy jsou známy z dokumentace. Tloušťku plá-

ště chladicí věže je možné stanovit vrtnými sondami, jež musí být vždy provedeny skrze celý plášť. Ve spodní části pláště se doporučuje tloušťku stanovit pomocí jádrových vývrtů o průměru minimálně 70 mm, ve střední a horní části věže vrtnou sondou o průměru cca 15 až 20 mm.

Stanovení krytí, druhu a rozmístění ocelové výztuže

Vzhledem k časté absenci výkresů výztuže je obvykle třeba ověřit krytí, druh a rozmístění předmětné ocelové výztuže. Po lokalizaci výztužné oceli s využitím elektromagnetické sondy je nejpresnější metodou pro stanovení krytí, druhu a rozmístění ocelové výztuže měření v sekaných sondách.

Stanovení stavu ocelové výztuže v místě předmětných trhlin

Po lokalizaci výztužné oceli s využitím elektromagnetické sondy je nutné odhalit ocelovou výztuž v místě trhlin pomocí sekaných sond. Korozí a případné poruchy výztužné oceli je pak možno posuzovat vizuálně a měřením korozních úbytků účinného průřezu prutů.

Stanovení stáří předmětných trhlin

Pro posouzení stáří trhlin je nutné v místech pláště narušených trhlinami odebrat jádrové vývrtky. Z vývrtků je třeba připravit vzorky, které budou podro-

Obr. 1 Způsob odběru vzorků

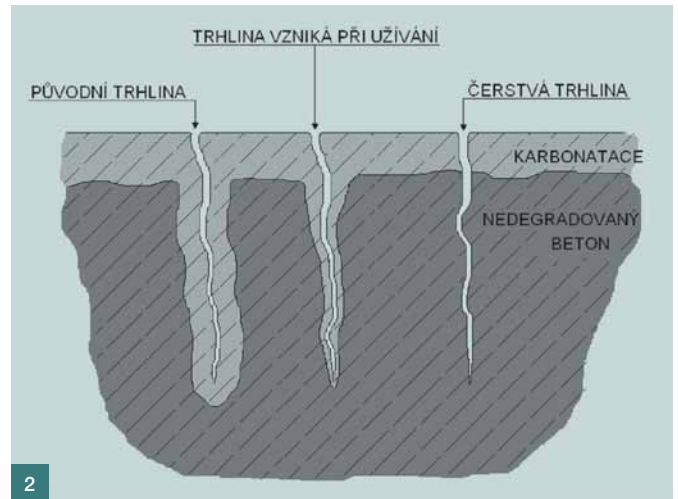
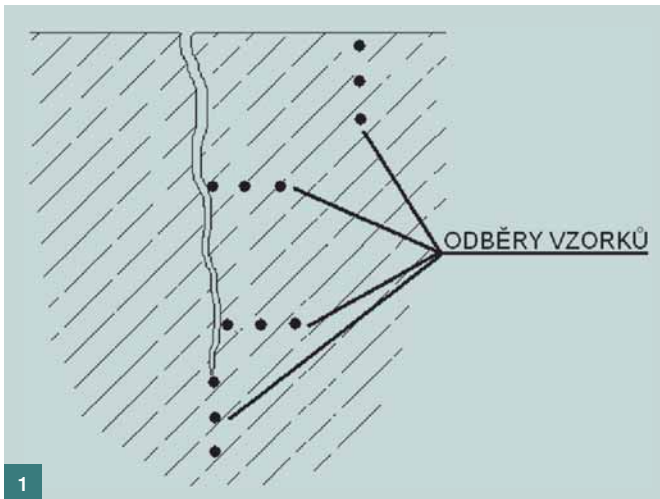
■ Fig. 1 The taking of samples

Obr. 2 Míra a tvar karbonatace v závislosti na stáří trhlin ■ Fig. 2 The degree and shape of the carbonation depending on the crack age

Obr. 3 Detail původní trhliny ■ Fig. 3 The detail of the original crack

Obr. 4 Detail trhliny vzniklé při užívání ■ Fig. 4 The detail of the crack originated during the operation time

Obr. 5 Detail čerstvé trhliny ■ Fig. 5 The detail of the young crack



beny fyzikálně-chemickým stanovením, umožňujícím analyzovat složení betonu, resp. posoudit míru jeho atmosférické koroze (karbonatace). Stanovení stáří trhlin v betonu bude založeno na srovnání míry karbonatace betonu líce pláště a betonu v bezprostřední blízkosti trhliny.

Vzorky pro fyzikálně-chemické analýzy je nutné odebírat tak, aby reprezentovaly jednak beton v bezprostřední blízkosti trhliny a jednak povrchové vrstvy, tedy beton vystavený po celou dobu užívání konstrukce přímému působení vnějšího prostředí. Způsob odběru vzorků je znázorněn na obr. 1.

Stanovení doby vzniku trhlin v železobetonových prvcích je založeno na následujícím principu:

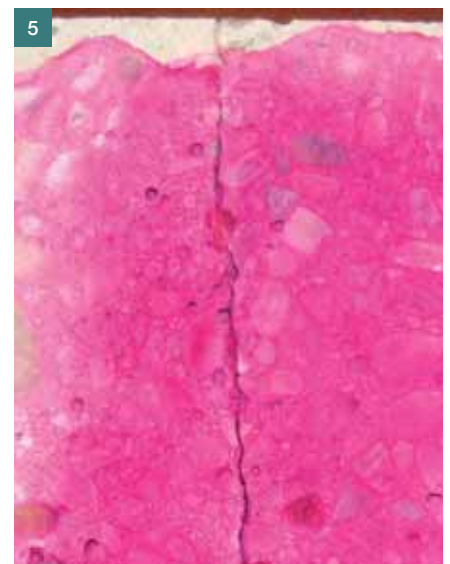
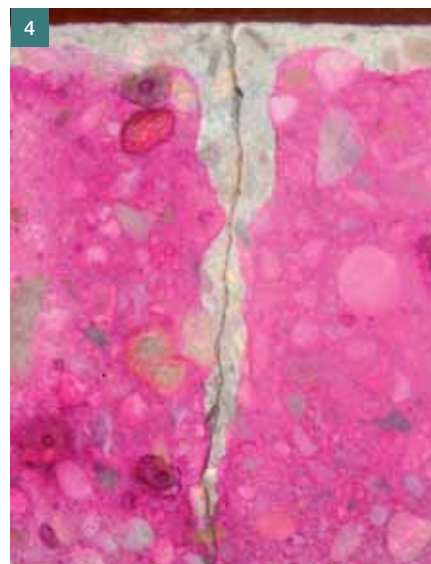
Je-li beton kompaktní (tj. bez trhlin), pronikají molekuly CO_2 do vnitřní masy betonu difúzí, tzn. množství molekul, které do hloubky betonu proniká, je relativně malé a míra karbonatace betonu z „vnitřní masy konstrukce“ je pochopitelně nižší než je tomu na jejím povrchu. Trhliny narušující beton jsou

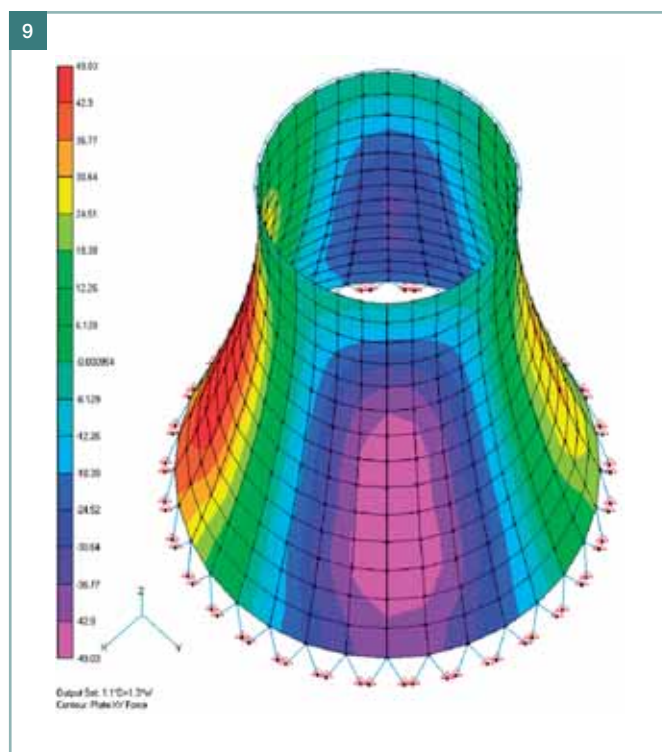
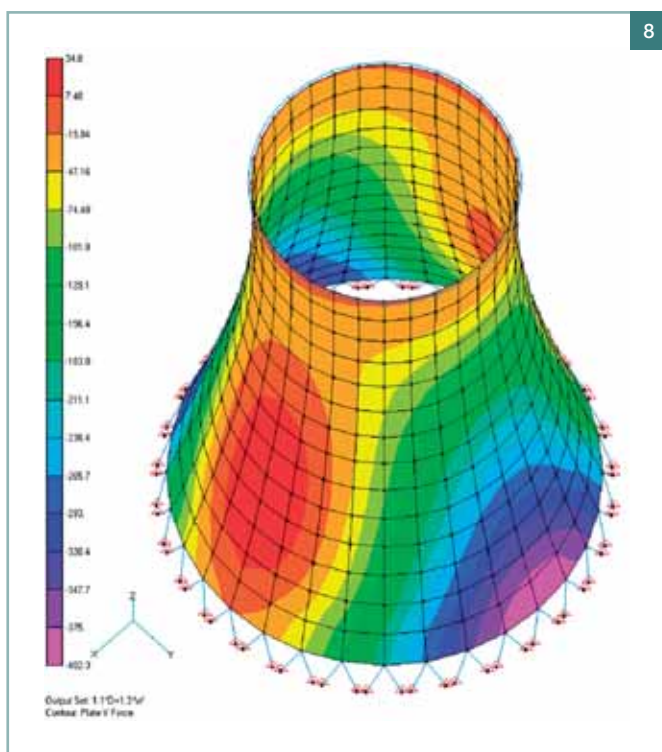
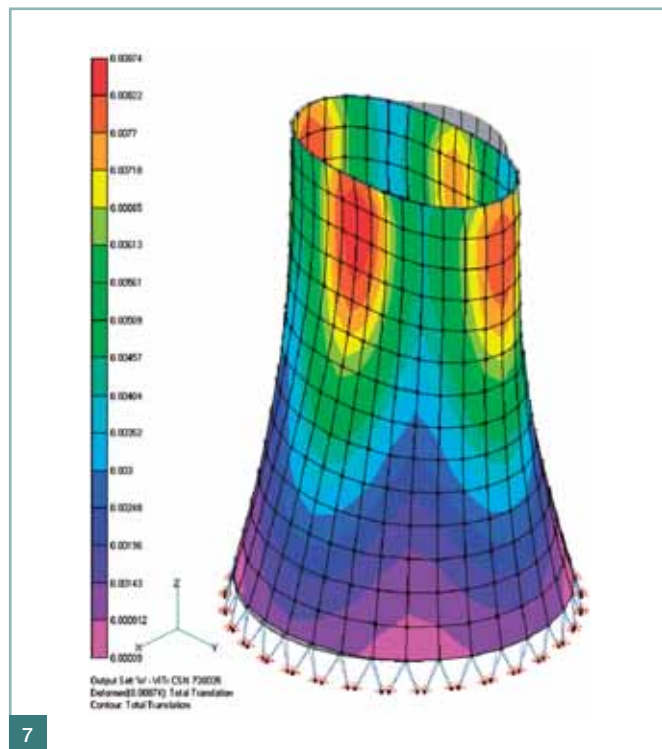
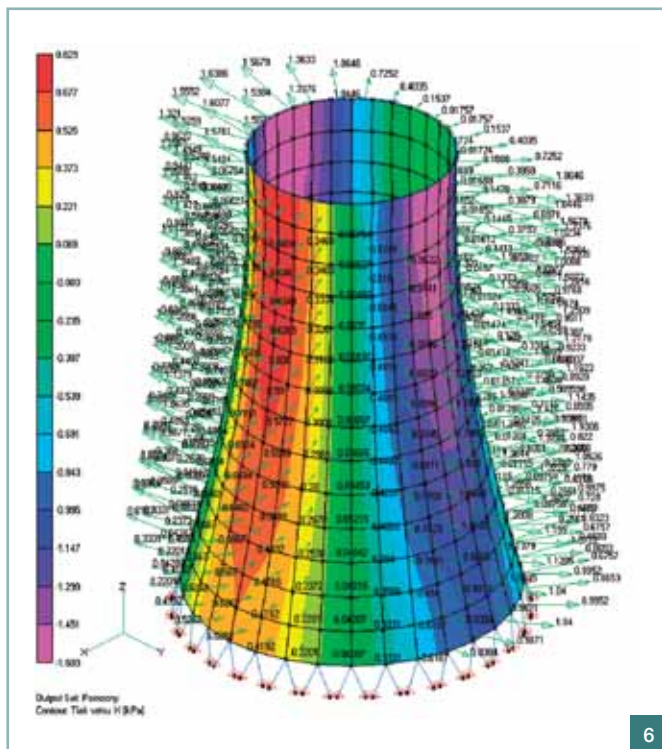
místem, kudy mohou do struktury betonu intenzivně vnikat plyny z vnějšího prostředí, a v takto zasažených místech jsou vytvářeny podmínky pro rozvoj karbonatace. Znamená to tedy, že je-li míra karbonatace betonu v bezprostředním okolí trhliny srovnatelná s mírou karbonatace betonu tvořícího povrch konstrukce (tj. betonu, který je vystaven přímému působení atmosférických plynů), jedná se o trhlinu, jejíž stáří je relativně vysoké. Naopak, je-li míra karbonatace betonu v těsné blízkosti trhliny výrazně nižší, než je tomu v případě betonu tvořícího povrch konstrukce, svědčí tato skutečnost o faktu, že stáří trhlin je relativně nízké.

Posouzení doby vzniku trhlin je tedy založeno na srovnání míry karbonatace betonu, který byl atmosférickým vlivům vystaven po celou dobu užívání konstrukce, s mírou karbonatace betonu, který se nachází v bezprostřední blízkosti trhliny.

Principiálně lze míru karbonatace ovlivněnou stářím trhliny rozdělit na tři základní varianty (obr. 2 až 5):

- **Původní trhlina** – karbonatace v okolí trhliny vzniklé při procesu výstavby konstrukce nebo bezprostředně po zahájení užívání konstrukce. V takovém případě lze předpokládat, že průnik molekul CO_2 do masy betonu odhaleného trhlinou byl po celou dobu užívání stejný jako u povrchu konstrukce. Za tohoto předpokladu je míra zkarbonatovaného betonu v okolí trhliny konstantní po celé její hloubce a je stejná jako na povrchu konstrukce (degradace betonu probíhala stejně tak na povrchu konstrukce jako na konci trhliny).
- **Trhlina vzniklá při užívání** – karbonatace v okolí trhliny vznikající dlouhodobě a postupně vlivem užívání konstrukce. Vzhledem k dlouhodobému prohlubování a rozevírání trhliny dochází k degradaci masy betonu v okolí trhliny postupně. Míra karbonatace se tedy bude měnit respektive snižovat s hloubkou trhliny.
- **Čerstvá trhlina** – trhlina vzniklá v nedávné době v relativně krátkém časovém období. V takovém případě





Obr. 6 Ukázka průběhu zatížení větrem na CHV (tlaky [kPa], ohoz [kN/m])

■ Fig. 6 The wind load effect on the cooling tower (pressure [kPa], gallery [kN/m])

Obr. 7 Ukázka tvaru a izolinie deformace od zatížení větrem ■ Fig. 7 The character of the vertical component of the membrane force

Obr. 8 Ukázka průběhu vertikální složky membránové síly ■ Fig. 8 The character of the shear component of the membrane force

Obr. 9 Ukázka průběhu smykové složky membránové síly ■ Fig. 9 The character of the shear component of the membrane force

ještě nedošlo k žádné nebo nízké výrazné karbonataci masy betonu v okolí trhliny, a to po celé hloubce trhliny.

Ukázky popsaných druhů trhlin jsou znázorněny na obr. 3 až 5, kde lze míru karbonatace betonu v okolí trhlin sledovat pomocí fenolftaleinového testu.

Pro exaktní stanovení stáří trhlin je nutné připravené vzorky podrobit následujícím fyzikálně-chemickým stanovením umožňujícím analyzovat složení betonu:

- chemický rozbor,
- rentgenová difrakční analýza,
- diferenční termická analýza,
- stanovení pH ve výluhu,
- zařazení betonu do etapy karbonatace.

Zařazení betonu do etapy karbonatace se provádí na základě výpočtu stupně karbonatace a stupně modifikační přeměny. **Stupeň karbonatace °K** se určí výpočtem z obsahu CaO zjištěného chemickým rozбором a z obsahu CaO vázaného na jemno-

zrný a hrubozrný CaCO_3 stanoveným derivatografickým rozbořením. **Stupeň modifikační přeměny °MP** se určí výpočtem z obsahu CO_2 vázaného na jemnozrný a hrubozrný CaCO_3 .

Podrobný postup stanovení míry korozního narušení resp. karbonatace analyzovaných vzorků byl proveden podle metodického postupu VUT FAST, č. 30-33/1 a dle metodiky popsané v [1], která podává přehled o mikrostruktuře daného materiálu.

Posouzení statické funkce pláště

Pro posouzení statické funkce pláště je třeba sestavit prostorový výpočtový model CHV z plošných (stěno-deskových) elementů (skořepina pláště) a z prutových prvků (šikmé sloupy, ochoz) pro celkovou statickou analýzu. Vstupními daty pro sestavení výpočtového modelu jsou jednak geometrie pláště chladicí věže (z projektové dokumentace) a jednak aktuální výsledky stavebně-technického průzkumu.

Na modelu je následně hodnocena kombinace zatížení stálého, zahrnujícího účinek vlastní tíhy konstrukce, a zatížení větrem, odpovídající dané větrové oblasti dle ČSN 73 0035. Tlak větru na skořepinu je třeba generovat pomocí funkce zohledňující jak proměnnost tlaku v závislosti na výšce nad terénem, tak i průběh součinitele sání po obvodě věže, který závisí na drsnosti povrchu – např. pro CHV se svislými žebry je průběh sání po obvodě hrdla (krčku) zcela odlišný než pro plášť s hladkým povrchem. Vliv dynamického charakteru zatížení větrem je možné zjednodušeně uvažovat dynamickým součinitelem o hodnotě 1,2.

Ukázka průběhu zatížení větrem na konstrukci CHV je znázorněna na obr. 6. Možný tvar a izolacie deformace od zatížení větrem jsou pak znázorněny na obr. 7. Ukázka průběhu vertikální a smykové složky membránové síly pak na obr. 8 a 9.

Vyhodnocení výsledků

Na základě výpočtu dle navrženého modelu a výsledků ze stavebně-technického průzkumu lze posoudit, zda stávající horizontální výztuž v místech předemných vertikálních trhlin je i při zohlednění případného korozního oslabení schopna po plánovanou dobu dožití chladicí věže bezpečně přenést vyvozené zatěžovací účinky. Lze tedy konstatovat, zda přítomnost trhlin bez-

prostředně ohrožuje statickou funkci pláště dané CHV či nikoli.

Z hlediska posouzení vlivu trhlin na samostatnou konstrukci pláště CHV má zásadní vliv stáří trhlin. V případě, že stáří trhlin bylo stanoveno do cca šesti měsíců a jedná se tedy o trhliny relativně nové, je nutné zavést opatření k monitorování rozvoje již vzniklých trhlin. Monitorování je nutné pro eliminaci možnosti, že trhliny jsou stále aktivní a mohly by proto v budoucnu ohrozit statickou funkci pláště, který je ve stávajícím stavu schopen přenést vnitřní síly vyvozené při kombinaci maximálního výpočtového zatížení (svislé zatížení + účinky větru). V případě zjištění dalšího rozšiřování se trhlin, tedy další aktivity trhlin, je nutné stanovit příčinu vzniku a aktivity trhlin. Na základě stanovené příčiny pak provést neprodleně sanační opatření pro zabezpečení statické funkce pláště.

ZÁVĚR

Cílem výše popsaných postupů je ověřit, zda je plášť CHV při oslabení vertikální trhlinou přes celou tloušťku skořepiny schopen přenést vnitřní síly, vyvozené při kombinaci maximálního výpočtového zatížení (svislé zatížení + účinky větru). Statickou funkci pláště je možné posoudit za pomoci výpočtového modelu CHV vytvořeného na základě projektové dokumentace a aktuálních výsledků stavebně-technického průzkumu, provedeného dle výše navržené metodiky.

Na základě výpočtového posouzení lze vyhodnotit, zda je stávající horizontální výztuž v místech předemných vertikálních trhlin schopna po plánovanou dobu dožití chladicí věže bezpečně přenést vyvozené zatěžovací účinky – maximální vnitřní síly ve skořepině pláště, vypočtené pro danou výškovou úroveň. Závěrem lze konstatovat, zda přítomnost trhlin bezprostředně ohrožuje či nikoli statickou funkci pláště dané CHV.

Nezbytnou podmínkou bezpečné statické funkce chladicí věže narušené vertikálními trhlínami je, aby ze strany provozovatele byl dodržen plánovaný termín ukončení užívání předmětné CHV.

Práce byla řešena s podporou VVZ MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“ a GAČR P104/10/P279 „Vývoj ekologicky i ekonomicky výhodných nátěrových systémů určených primárně pro ochranu betonových povrchů“.

Příspěvek na toto téma zazněl na konferenci Sanace 2009.

Literatura:

- [1] *Matoušek M., Drochytka R.:* Atmosférická koroze betonů. Praha, IKAS, 1998, p 171
- [2] *Drochytka R., Dohnálek J., Bydžovský J., Pumpr V.:* Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK II. 1. vydání. SSBK, Brno 2003, ISBN 80-239-0516-3
- [3] *Drochytka R., Bydžovský J., Brožovský J. a kol.:* Stavební vady od A do Z. 1. vydání. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, spol. s r. o., 2004, ISSN 1214-7060
- [4] *Bydžovský J., Dufka A., Šnirch Z.:* Využití fyzikálně-chemických postupů pro stanovení stáří trhlin. Zpravodaj WTA CZ. 2006. 2006(1-2). p. 9–11. ISSN 1213-7308
- [5] *Šnirch Z.:* Možnost stanovení stáří trhlin v ŽB konstrukcích. Silnice a železnice. 2007. 2(2). p. 20–23. ISSN 1801-822X.

Ing. Zdeněk Šnirch, Ph.D.
e-mail: snirch.z@fce.vutbr.cz



Ing. Amos Dufka, Ph.D.
dufka.a@fce.vutbr.cz



oba: VUT v Brně, Fakulta stavební
Ústav technologie stavebních hmot
a dílců
Veveří 95, 602 00 Brno
tel.: 541 147 514

Ing. Martin Lukavec
M. L. Engineering
& Consulting, s. r. o.
Lihovarská 4, Praha 9-Libeň
tel.: 222 522 018
email: m.l.consulting@email.cz

