

VLIVY LIMITUJÍ ŽIVOTNOST CHLADÍCÍCH VĚŽÍ

EFFECTS LIMITING THE LIFE CYCLE OF COOLING TOWERS

AMOS DUFKA, JIŘÍ ŠTASTNÝ

Chladicí věže jsou při provozu vystaveny působení řady specifických vlivů. Článek se zabývá dominantními faktory, které limitují životnost věží a analyzuje možnost zvýšení jejich životnosti.

Cooling towers are exposed to many specific effects. The article focus on factors the most important for durability of towers and analyses possibilities of increasing their durability.

Autoři článku se řadu let věnují kontrole kvality, resp. správě a údržbě chladicích věží v Jaderné elektrárně Dukovany, ČEZ, a. s.

Na železobetonové konstrukce chladicích věží při provozu působí celá řada specifických vlivů. Tyto vlivy, mezi něž patří působení vodní páry, klimatické vlivy apod., zásadním způsobem ovlivňují jejich životnost.

Chladicí věže lze dle uspořádání rozdělit na tahové a ventilátorové. Některé poznatky uvedené v textu jsou obecně platné pro oba typy věží, v článku je však hlavní pozornost věnována věžím tahovým, typu ITTERSON (CHV1 – CHV8), s nimiž mají autoři praktické zkušenosti.

Chladicí věže s přirozeným tahem jsou v naprosté většině případů navrhovány jako železobetonové konstrukce působící v pružném stavu. Tato koncepce konstrukčního řešení umožňuje při výpočtu zatěžovacího stavu věže superpozici jednotlivých zatížení (tzn. umožňuje sčítat účinek zatížení vlastní hmotností, větrem atd.). Je ovšem nutno zdůraznit, že tento postup výpočtu nezahnuje opakované změny vnějších podmínek a to především cyklické změny teploty apod. Skutečné statické a dynamické namáhání chladicích věží neodpovídá zcela předpokladům lineárního chování konstrukce. V důsledku působení větru a především opakovaných změn teploty dochází ke vzniku mikrotrhlin v plášti věže. Rozvoj mikrotrhlin následně vede ke změnám vlastností pláště věže. Dochází k poklesu tuhosti pláště a tím se rezonanční frekvence tělesa chladicí věže blíží frekvenčnímu spektru větru, což má za následek další negativní eskalaci účinku větru.

Dalším faktorem, který se velmi podstatným způsobem podílí na vzniku trhlinek v plášti věže, je nerovnoměrné působení teploty. V důsledku nerovnoměrnosti teplotního pole je v plášti věže generováno tahové napětí, které je příčinou rozvoje mikrotrhlin.

Proces tvorby trhlinek v plášti věže tak, jak byl formulován, je zcela obecný a je aplikovatelný pro všechny typy chladicích věží. Rozsah trhlinek, rychlost jejich šíření a počet je pochopitelně u různých věží rozdílný a závisí zejména na způsobu vyztužení pláště věže, kvalitě jejího provedení a podmínkách, ve kterých je věž provozována.

FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ŽIVOTNOST CHLADÍCÍCH VĚŽÍ

Obecně lze tyto vlivy rozdělit do dvou skupin. Do první náleží vlivy determinované již při vlastní výstavbě konstrukce (tzn. způsob vyztužení věže, kvalita betonu, geometrické imperfekce atd.). Tyto vlivy lze označit jako tzv. vlastní vlivy konstrukce. Provozovatel je schopen omezit negativní dopad vlivů náležejících do této skupiny na životnost věže jen v omezené míře.

Do druhé skupiny vlivů limitujících životnost věže náleží vlivy, které na věž působí při její exploataci. Mezi tyto vlivy náleží působení teploty, vlhkosti, mrazu apod. Provozovatel věže je schopen nežádoucí účinky těchto vlivů částečně eliminovat optimalizací pracovního režimu věže především minimalizací odstávek v zimním období, pravidelnými kontrolami technického stavu a kvalitně prováděnou údržbou.

Reálně je životnost věže samozřejmě limitována synergickým působením uvedených vlivů. Výše uvedené rozčlenění však umožňuje lépe popsat procesy probíhající při degradaci chladicích věží a získat poznatky, které lze efektivně použít v praxi pro maximalizaci životnosti věží.

V následujícím textu je uveden výčet vlivů, které dominantním způsobem ovlivňují životnost věže. Jaderná elektrárna Dukovany má pro provoz a údržbu chladicích věží vypracovanou interní dokumentaci, jejíž dodržování napomáhá minimalizovat negativní vlivy.

VLASTNÍ VLIVY KONSTRUKCE

Při výstavbě chladicích věží dochází především v důsledku technologické nekázně, ke vzniku různých výrobních vad. Závažné jsou zejména závady, které přímo nebo ve svých důsledcích vedou k pronikání vody do pláště chladicí věže. Mezi tyto závady patří zejména nedostatečná krycí vrstva betonu, chybně provedené nebo nedostatečně ošetřené pracovní spáry a nedostatečná kvalita betonu.

Všechny uvedené závady vedou dříve či později k pronikání vody do konstrukce v daleko větší míře, než jak k tomu dochází u normálních chladicích věží. Nejzávažnější poruchy, které se na pláštích věží vyskytují a které byly způsobeny při jejich výstavbě jsou podrobněji uvedeny v následujícím textu.

Geometrické resp. tvarové imperfekce pláště chladicí věže mají zpravidla charakter lokálního vyboulení nejčastěji ve tvaru prstence. Výrazné geometrické imperfekce tvaru pláště chladicí věže jsou typické zejména pro starší věže, jejichž výstavba byla realizována před dvaceti a více lety. Odchytky od správného poloměru mohou činit v místních vybouleních až 50 cm. Přestože tyto odchytky nemají podstatný vliv na globální únosnost a dynamické chování chladicí věže, jejich nebezpečí spočívá v tom, že v místě imperfekcí vznikají špičkové lokální ohybové momenty, na které plášť není dimenzován. V těchto místech dochází ke generaci mikrotrhlin v betonu ještě před uvedením věže do provozu.

Příliš úsporná vyztuž pláště chladicí věže. Velká většina v tuzemsku provozovaných chladicích věží je vyztužena nedostatečnou či příliš úspornou vyztuží. Vzhledem k tomu, že se jedná o skořepinovou konstrukci, která je v podstatě namáhána membránovým stavem napjatosti, v jednoduchém výpočtu nevychází nutnost silnější vyztuže. Ve výpočtech se však zanedbávají právě vlivy geometrických imperfekcí, vlivy lokálních zatížení větrem nebo teplotou atd. V těchto místech, pak vznikají lokální špičkové momenty.

Kvalita betonu je jedním z faktorů, který z hlediska životnosti chladicí věže sehrává prioritní roli. Rozhoduje o rozsahu budou-

cích oprav a o dalších aspektech, které výrazně ovlivňují provoz chladicí věže.

U starších věží, jejichž výstavba byla prováděna v šedesátých a sedmdesátých letech dvacátého století, byl zpravidla používán beton třídy B20 bez dalších speciálních požadavků především na vodotěsnost a trvanlivost betonu, tzn. nebyl požadován žádný stupeň vodotěsnosti, počet zmrazovacích cyklů či odolnost povrchů vůči působení vody a mrazu.

Z pohledu současných technologií lze postupům betonáží prováděných v minulosti vytknout některé nedostatky a to zejména: velmi omezené používání plastifikačních přísad, přebytek záměsové vody v receptuře, nesprávnou křivku zrnitosti hrubých frakcí kameniva, nedostatečné hutnění při ukládání betonové směsi, lokální segregaci hrubých zrn kameniva od cementové matrice způsobené chybným ukládáním betonové směsi apod. Tyto vlivy pak mohou být příčinou snižování životnosti věže v důsledku rapidní degradace betonu.

VLIVY PŮSOBÍCÍ NA KONSTRUKCI

Tyto vlivy jsou závislé na charakteru prostředí, ve kterém je věž provozována. Z hlediska posuzování důležitosti jednotlivých vlivů na životnost věže je nutno akcentovat některá specifika, která jsou charakteristická právě pro chladicí věže.

Především je nutno zmínit skutečnost, že chladicí věže jsou skořepinové konstrukce, tzn. tloušťka stěny je relativně nízká a v nejslabších místech bývá menší než 200 mm! V tomto kontextu je zcela evidentní negativní význam narušení pláště trhlinami. Při takto nízké tloušťce stěny mohou i málo rozevřené trhliny zasahovat až k první či dokonce ke druhé osnově výtuzě a mohou být tedy místem, kudy jsou k výtuzi transportovány agresivní látky.

Dalším aspektem důležitým z hlediska životnosti CHV je vysoká vlhkost, která působí na povrch vnitřního pláště věže. Vlhkost pronikající do pláště věže je při současném působení mrazu příčinou destrukce betonu. Nebezpečí mrazového narušení se neúměrně zvyšuje zejména při zimních odstavkách. Zvýšená vlhkost betonu pláště je nebezpečná nejen při záporných teplotách, ale je nutno si uvědomit, že vlhkost silně urychluje degradaci betonu způsobenou plynným oxidem uhličitým a je rovněž katalyzátorem koroze výtuzě.

Poznatky získané na starších věžích zcela jednoznačně svědčí o skutečnosti, že degradaci betonu působením CO_2 (karbonatáci) nelze podceňovat. Pokud není plášť věže chráněn vhodným typem sekundární ochrany tj. kompletním nátěrovým systémem, jsou vytvořeny, zejména vzhledem k nízké hutnosti betonu a cyklickému působení vlhkosti, takřka ideální podmínky pro masivní rozvoj karbonatace betonu. Velmi nežádoucím faktorem, který s karbonatací úzce souvisí, je pokles hodnoty pH betonu, čímž beton ztrácí schopnost pasivovat výtuzi vůči korozi.

Nejdůležitější faktory, kterými prostředím působí na chladicí věže a ovlivňuje tak jejich životnost, lze shrnout do těchto bodů:

- průběh mrazového narušení chladicí věže ve vazbě na kvalitu betonu,
- vliv atmosféry na míru narušení chladicí věže,
- orientace chladicí věže vzhledem ke světovým stranám,
- vliv převládajícího směru větru,
- vliv oslunění.

PORUCHY CHLADÍCÍCH VĚŽÍ

V naprosté většině případů je primární příčinou vzniku poruch pláště vnikání vody do masy pláště. Rozsah a rychlost rozvoje poruch je přímo úměrná množství vody, které do pláště vniká. V důsledku působení záporných teplot dochází ke vzniku krystalků ledu v kapilárně pórovité struktuře betonu, což má za následek generaci expanzních tlaků, které jsou příčinou destrukce betonu. Specifikem mrazového narušení chladících věží je, že při provozu v zimním období se v důsledku změn vnějších podmínek (kolísání teploty, změna intenzity oslunění, vítr apod.) posouvá průřezem stěny zóna, ve které je teplota pod bodem mrazu. Důsledkem tohoto jevu je narušení pláště věže systémem vertikálních trhlin, které je u chladících věží velmi časté. Nelze opomíjet ani další škodlivé faktory, které se podílejí na degradaci věží. Mezi tyto vlivy patří působení agresivních plynů obsažených v atmosféře. Koroze železobetonových plášťů vyvolaná agresivními plyny (především SO_2 a CO_2) je zřejmá zejména



Obr. 1 Pohled na silně degradovaný povrch pláště CHV

Fig. 1 View of the heavy pitted surface of the cooling tower cladding

u věží situovaných v silně industrializovaných regionech. Z hlediska životnosti věže má pak zcela fatální význam skutečnost, že při karbonataci resp. sulfataci postupně klesá hodnota pH betonu a jsou tedy vytvářeny podmínky pro masivní korozi výztuže. V reálných podmínkách je koroze pláště způsobována synergickým působením jednotlivých vlivů.

Příklad silné degradace pláště chladicích věží způsobený zejména mrazovým narušením, karbonatací a masivní korozi výztuže je dokumentován na obrázku 1.

MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI CHLADICÍCH VĚŽÍ

Chladicí věže jsou při své exploataci vystaveny působení řady vlivů, které snižují jejich životnost. Primární a zcela pochopitelnou snahou provozovatelů věží je v maximální možné míře eliminovat škodlivé účinky prostředí. Na Jaderné elektrárně Dukovany se osvědčil komplexní systém opatření, jeho cílem je stabilizovat stav věží a zvýšit jejich životnost. Citlivě

Obr. 2 Pohled na CHV 5 v JE Dukovany, patrný je dobrý technický stav věže více než pět let po generální opravě

Fig. 2 View of cooling tower 5 of the nuclear power plant in Dukovany, good technical condition of the tower five years after the complete overhaul



navrhnutá opatření, zajišťující „šetrný“ provoz, pravidelné kontroly a údržba, to lze doporučit každému provozovateli.

Pokud jsou při stavebně technickém průzkumu betonových konstrukcí zjištěny poruchy, měla by v co nejkratší době následovat sanace. Nezbytným podkladem pro vypracování fundovaného návrhu technologie sanace věže jsou výsledky zjištěné stavebně technickým průzkumem. V rámci stavebně technického průzkumu je popsán reálný stav konstrukce a na základě zjištěných skutečností je možno přizpůsobit postup sanace konkrétním podmínkám, ve kterých má být prováděna.

Pracovní postupy pro sanace chladicích věží jsou v současnosti již ve většině případů standardizovány. V Dukovanech jsou tyto pracovní postupy součástí komplexního systému údržby. Principem sanace je odstranění zdegradovaných, málo soudržných vrstev betonu, reprofilace povrchu pláště věže správkovými maltami a opatření povrchu věže bariérovým nátěrem, který eliminuje pronikání vlhkosti a agresivních látek do pláště věže. Je třeba upozornit na specifické podmínky, ve kterých jsou chladicí věže provozovány, tzn. vnitřní povrch pláště věže je exploatován v prostředí takřka nasycené vodní páry, zatímco vnější povrch pláště je vystaven působení běžných klimatických vlivů. Vlastnosti nátěrových systémů, které mají být použity na ochranu pláště věže, tedy musí svými difúzními charakteristikami vyhovovat podmínkám, ve kterých mají být aplikovány.

V současné době jsou již tato specifika mezi specializovanými odborníky, ale i provozovateli, kteří se problematikou sanací chladicích věží zabývají, známa. Nejen v Dukovanech v posledních letech bývají sanace prováděny dle standardizovaných pracovních postupů renomovanými firmami, které jsou dozorovány kompetentními pracovníky investora za účasti nezávislé kontroly kvality. Dodavatelské firmy mají dostatek zkušeností a jsou schopny úspěšně zajistit tuto problematiku jak po technické, tak po personální stránce. Přestože úroveň sanací velké většiny chladicích věží se dnes blíží evropským standardům, nelze tuto oblast považovat za vyřešený problém, se kterým již není třeba se dále zabývat. Naopak, i v této oblasti stavebnictví jsou prezentovány stále nové a nové materiály a trendy, jejichž cílem je zefektivnit prováděnou sanaci a zvýšit její životnost. Mezi tyto progresivní myšlenky lze zařadit napří-

klad snahu o zvyšování primární odolnosti správkových malt tak, aby nátěrový systém nebyl jediným prostředkem zajišťujícím odolnost věže vůči vnějším vlivům. Další oblastí, na kterou je v současnosti zaměřena pozornost výzkumných pracovišť je studium možnosti modifikace správkových hmot tak, aby se jejich modul pružnosti co nejvíce blížil modulu podkladního betonu.

Závěrem lze uvést, že zkušenostmi získanými při provozování chladicích věží bylo jednoznačně potvrzeno, že optimalizací provozního režimu věží, periodickými monitorováním jejich stavu a včasnými opravami vznikajících poruch lze výrazným způsobem prodloužit jejich životnost a eliminovat nezbytnost rozsáhlých a ekonomicky velmi náročných oprav. V Jaderné elektrárně Dukovany je systém periodického monitoringu stavu chladicích věží vedle šetrného provozování a kvalitní údržby aplikován již více než sedm let. Důkazem efektivnosti tohoto opatření je vysoká úroveň technického stavu věží (obr. 2).

Článek byl vypracován za podpory grantového projektu „Analýza a diagnostika koroze výztužné oceli v korodovaných železobetonových konstrukcích“ GAČR 103/01/0314.

Literatura:

- [1] Drochytka R., Hela R.: Defects of cooling towers in the Czech Republic, Natural Draught Cooling Towers, Kaiserslautern, Germany, 1996
- [2] Drochytka R., Hela R., Henkl B., Holík M.: Problems of execution on cooling towers in Czech Republic, Natural Draught Cooling Towers, Kaiserslautern, Germany, 1996
- [3] Drochytka R., Dufka A.: Possibility analysis of repair mortars against the influence of aggressive factors, Sb. II. mezinár. konf. Kvalita a spolehlivost ve stavebnictví, 1st ed. TU v Košicích, 2001, p. 120-217

Ing. Amos Dufka
Fakulta stavební VUT v Brně
Ústav technologie stavebních hmot a dílců
Veveří 95, 662 37 Brno
tel.: 541 147 514
e-mail: dufka.a@fce.vutbr.cz

Ing. Jiří Štátný
Jaderná elektrárna Dukovany, SDHM – stavební
675 50 Dukovany
tel.: 568 813 440, fax: 568 814 96
e-mail: stastj1.edu@mail.cez.cz