



KOMPLETNÍ OPRAVA ŽELEZOBETONOVÉHO PLÁŠTĚ CHLADICÍ VĚŽE Č. 5 JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY

Libor Šácha

Chladicí věže jsou nepostradatelnou součástí elektráren a tepláren nejen v ČR, ale i v zahraničí. V úvodu článku je stručně popsána historie dodnes nejpoužívanějšího typu chladicích věží ve tvaru rotačního hyperboloidu, jakou je i chladicí věž č. 5 JE Dukovany. Hlavní pozornost je poté věnována popisu parametrů věže a zejména sanačním pracím, které byly během posledních 18 měsíců na této věži provedeny.

COMPLETE RESTORATION OF THE REINFORCED CONCRETE SHELL OF THE COOLING TOWER NO. 5 IN NUCLEAR POWER PLANT DUKOVANY

Cooling towers are an indispensable part of power plants and heating plants not only in the Czech Republic, but also abroad. The article begins by briefly describing the history of what is still the most common type of cooling tower in use today in the shape of a rotational hyperboloid, such as cooling tower No. 5 at the Dukovany Nuclear Power Plant. The main attention is then given to the description of the parameters of this tower and in particular to rehabilitation works that have been carried out on this tower during the last 18 months.

Dříve měly chladicí věže tvar víceméně stejný jako komíny, tzn. že měly větší osmiúhelníkový půdorys. Zlom ale nastal v roce 1915, kdy se nizozemské státní doly rozhodly postavit novou betonovou chladicí věž. Tehdy přišel s návrhem prvního hyperboloidního designu nizozemský strojní inženýr Frederik Karel Theodor van Iterson a v roce 1918 byla postavena první chladicí věž tohoto typu na světě. Tento design byl výjimečný a osvědčil se do té míry, že v tomtéž roce získal dokonce patent. Všechny následně budované chladicí věže tento design s betonovou, resp. železobetonovou konstrukcí víceméně už jen převzaly. [1] Dodnes se tomuto typu chladicí věže říká zkráceně itersonka.

Výjimečnost rotačního hyperboloidu spočívá v tom, že jeho tvar umožňuje dosahovat relativně vysokých

pevností skořepiny pláště při překvapivě malých tloušťkách. Funguje to podobně jako skořápka u vejce. [1] Právě z tohoto důvodu může být tloušťka železobetonového pláště v horních partiích chladicích věží jen cca 150 mm, zatímco v úrovni nad šikmými stojkami je jeho tloušťka 4 až 5× větší. Z hlediska statiky má tento faktor zásadní vliv na snížení celkové hmotnosti konstrukce.

Chladicí věž s přirozeným tahem je zařízení, které pro ochlazení vody využívá přirozeného proudění vzduchu. Účinek chlazení závisí především na výšce a proporcích samotné chladicí věže. Uvnitř každé z nich je umístěna technologie potřebná pro rozvod ohřáté vody, přičemž účinek chlazení je tím větší, čím větší je rozptýlení proudu přiváděné teplé vody na malé kapičky. K tomu slouží rozličné žlaby,

Investor	ČEZ, a. s.
Zhotovitel	BETVAR a. s.
Stavebně technický průzkum a návrh opravy	STAVEXIS, s.r.o.
Dodavatel materiálů pro opravu	Sika CZ, s.r.o.

potrubní systém rozvodu vody, rozstříkovací trysky a v neposlední řadě chladicí výplň.

Jaderná elektrárna Dukovany má celkem osm chladicích věží typu Iterson, jejichž chladicí výkon byl postupně optimalizován pro chlazení čtyř jaderných bloků VVER 440 MW, které po zvýšení účinnosti dosahují výkonu 510 MW. První reaktorový blok byl uveden do provozu v květnu 1985 a od července 1987 byly v provozu už všechny čtyři výrobní bloky. Předpokládaný provoz JE Dukovany je do roku 2037 s možností prodloužení do roku 2047. [2]

Základní parametry chladicí věže

Chladicí věž č. 5 je založena na betonovém základu. Do tohoto základu je vetknuto 104 prefabrikovaných železobetonových osmiúhelníkových sloupů, které tvoří nosný systém věže. Sloupy jsou umístěny po celém obvodu věže tak, že jsou vždy dva skloněny proti sobě do tvaru písmene V. Na sloupy je osazen tahový komín věže, jenž je ukončen ochozem z prefabrikovaných prvků. Tahový komín věže ve tvaru rotačního hyperboloidu o výšce 118,7 m je monolitický železobetonový, zhotoven byl pomocí posuvného bednění. Tloušťka tahového komína ve spodní části věže je 600 mm, nejmenší tloušťka je cca 150 mm. Ochoz slouží jednak jako tzužující konstrukce a jednak jako konstrukce pochůzná. Na tahovém komínu věže je upevněn ocelový žebřík navazující na betonové schodiště, jež umožňuje přístup na ochoz. Uvnitř věže je ortogonálně uspořádaná prefabrikovaná železobetonová nosná konstrukce chladicího systému (obr. 2). Tento systém sestává ze sloupů a trámů obdélníkového průřezu. Ve spodní části chladicí věže se nachází železobetonový monolitický bazén s přívodním potrubím a dvěma monolitickými železobetonovými rozlivnými objekty. Přístup do věže je umožněn ocelovými dveřmi umístěnými v plášti věže, k nimž vede

betonové schodiště. Pohyb ve věži je řešen pochozími lávkami.

Chladicí věž č. 5 byla postavena přibližně v letech 1983 až 1984, v letech 1997 až 1998 byla provedena kompletní oprava věže. V roce 2009 byla provedena sanace šikmých sloupů a části dolního lemu tahového komína. V roce 2016 byla provedena sanace ochozu, konkrétně oprava vnitřního povrchu stěn, dna a vnějšího líce stěny včetně denního překážkového (leteckého) značení. [3]

Stávající stav, popis a rozsah oprav

Oprava chladicí věže č. 5 zahrnovala:

- sanaci vnějšího pláště (24 700 m²),
- sanaci vnitřního pláště včetně ochozu a šikmých stojek (26 225 m²),
- sanaci železobetonových prvků ve stavby (1 800 m²),
- lokální sanaci lemu a stěn bazénu (8 461 m²),
- nátěry a opravy kovových konstrukcí (potrubí, žebříky, zábradlí – 802 m²),
- pomocné práce, zajištění přístupu,
- vyčištění bazénu.

Na životnost konstrukcí, zejména betonových a železobetonových, mají v první řadě vliv klimatické podmínky, v druhé řadě kvalita údržby. Klimatické podmínky bezpochyby ovlivní nedokážeme, ale promyšlenými a pečlivými sanačními zásahy dokážeme životnost

Tab. 1 Základní rozměry chladicí věže č. 5

Tab. 1 Dimensions of the cooling tower No. 5

Celková výška	125 m
Hrdlo tahového komína	+96,4 m
Spodní hrana nasávacího otvoru	±0,0 m
Horní hrana nasávacího otvoru	+7,0 m
Vnitřní průměr hrdla	56,0 m
Vnitřní průměr na kótě +7,0 m	88,6 m
Vnitřní průměr bazénu s chladicí vodou	97,8 m
Přítok oteplené cirkulační chladicí vody	36 000 m ³ /h (nominální provoz)
Základní teplota ochlazené vody	21,3 °C (návrhová)

těchto konstrukcí významným způsobem prodloužit.

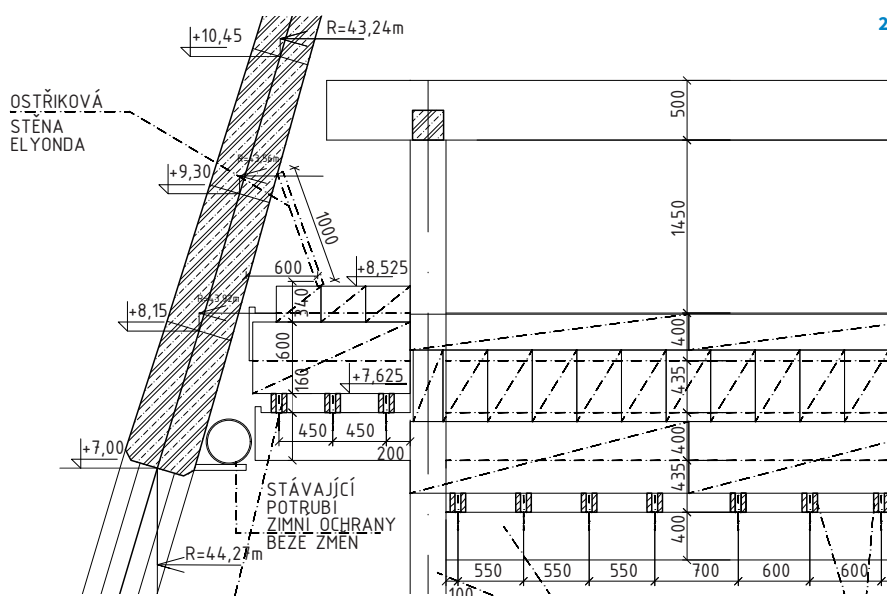
Pomineme-li dobu odstávky jaderného výrobního bloku, po kterou lze realizovat opravy a nutnou údržbu, jsou chladicí věže v provozu prakticky po celý rok a podmínky, kterým jsou tyto konstrukce za provozu vystaveny, jsou hlavně v zimním období extrémní. Prostředí s parou nasyceným teplým vzduchem uvnitř chladicí věže a naopak se suchým, chladným vzduchem v exteriéru generuje poměrně strmé gradienty teplotních a difuzních křivek v průřezích železobetonových konstrukcí. Rychlost degradace železobetonu a zhoršování celkového stavu konstrukcí v závislosti na čase má pak při potenciálním výskytu poruchy nikoli lineární, ale spíše exponenciální funkci.

Z výše popsaných důvodů musí být realizace oprav chladicích věží prováděna průběžně, a to na základě výsledků pravidelného posuzování stavu těchto konstrukcí. Postupy posuzování míry poškození jsou nastaveny tak, aby výsledným efektem opravy byl maximálně bezpečný technický stav a časová a technologická proveditelnost opravy za ekonomicky přijatelných podmínek.

K nejvýznamnějším opotřebením chladicí věže č. 5 patřil narušený ochranný nátěrový systém na některých místech železobetonových konstrukcí. Tento ochranný nátěrový systém je z hlediska životnosti velmi důležitý, protože konstrukci chrání před působením agresivních vlivů z vnějšího prostředí. Při jeho absenci by mohlo docházet k rychlé degradaci povrchových vrstev betonu, příp. reprofilačních malt aplikovaných při dřívější údržbě. Tento jev může být doprovázen i rychlejším průběhem koroze výztuže.

1 Jaderná elektrárna Dukovany 2 Řez v úrovni chladicího systému

1 Dukovany Nuclear Power Plant 2 Cross-section at the level of the cooling system





3

3 Pohled na chladicí věž zespodu
 4 Mycí poloautomat VVP 5 Provizorní podlaha uvnitř věže 6 Práce na zavěšené plošině uvnitř věže 7 Dno bazénu po aplikaci nátěrového systému 8 Práce na vnějším plášti 9 Pohled z chladicí věže

3 View of the cooling tower from below
 4 High-pressure water jet semi-automatic machine 5 Temporary floor inside the cooling tower 6 Works from the suspended platforms on the internal shell 7 Bottom of basin after applying the coating system 8 Works on the external shell 9 View from the cooling tower

Zdroje:

- [1] Wikipedia [online]. Dostupné z: en.wikipedia.org
- [2] Skupina ČEZ [online]. Dostupné z: cez.cz
- [3] Návrh sanace železobetonové konstrukce tahové chladicí věže č. 5 v jaderné elektrárně Dukovany. Odborný posudek č. 1/2021 znaleckého ústavu STAVEXIS, s.r.o. 4. 1. 2021.

Svým způsobem lze konstatovat, že konstrukce chladicí věže před obnovou vykazovala stejný typ opotřebení, který se objevuje na většině železobetonových konstrukcí. Z tohoto důvodu bylo možné použít standardní sanační metody a postupy. Co však v případě oprav takových konstrukcí za standard považovat nelze, je značně složitý přístup k povrchu vnitřního i vnějšího pláště věže a doprava materiálu na místo určení. Pokud zkusíme prostá čísla převést do nějaké snáže představitelné podoby, jde v součtu o plochu více než osmi fotbalových hřišť na slavném barcelonském stadionu Camp Nou. Na takto rozsáhlé ploše musel být proveden nejenom jeden, ale několik sanačních kroků počínaje předúpravou podkladu, konče poslední vrstvou ochranného nátěrového systému. Navíc drtivou většinu prací bylo nutné provádět ze zavěšených plošin ve výškách od 10 až do 125 m, kde byl nejvíce limitujícím faktorem pro provádění prací vítr. Samotné konstrukci chladicí věže ani aplikovaným materiálům by silný vítr nijak zvlášť nevěděl, ale zavěšené plošiny a práce na nich byly přes všechna bezpečnostní zajištění jeho silou dost limitovány. Limitní rychlost větru, při které je ještě možné práce na plošině provádět bezpečně, je hodnota 8 m/s.

Realizace opravy

Práce na opravě chladicí věže č. 5 byly zahájeny předúpravou vnějšího pláště. Pro tento účel byl použit mycí poloautomat VVP (obr. 4). Jednalo se o zařízení vybavené dvěma hydrodisky s rotujícími tryskami připojenými na vysokotlaké čerpadlo, které zajišťovalo nejen potřebný tlak, ale i průtok vody. Mycí poloautomat byl ří-

zen dálkově a významným způsobem zjednodušil a urychlil práce při odstraňování degradovaných částí betonu z vnějšího pláště chladicí věže.

Po dokončení předúpravy vnějšího pláště mechanickým dočištěním pomocí elektrických bouracích kladiv byla odhalena výztuž očištěna pískováním, příp. doplněna v místech obzvláště zasažených korozi. Před obnovou krycí vrstvy výztuže stříkaným betonem byla veškerá výztuž opatřena ochranným nátěrem proti korozi. Z důvodu poměrně velkých výšek, do kterých bylo nutné pomocí kompresorů dopravovat materiál, byla zvolena metoda suchého nástřiku. Ve srovnání s nástřikem za mokra spočívala výhoda této metody v tom, že suchá směs a voda byly dopravovány na místo aplikace odděleně a míchání bylo prováděno až na trysce v místě aplikace. Vzhledem k celkovým plochám chladicí věže bylo nutné takto přemístit a aplikovat několik stovek tun materiálu.

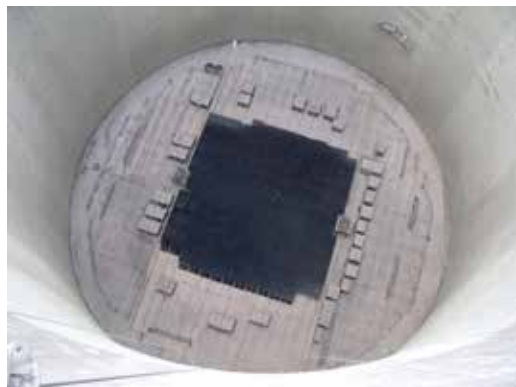
Po dokončení reprofilyce povrchu vnějšího pláště byly veškeré kapacity z důvodu plánované odstávky věže, resp. jaderného bloku přesunuty do interiéru. V době odstávky bylo nutné zvládnout veškeré práce uvnitř chladicí věže, tzn. kompletní sanaci vnitřního pláště, prvků vestavby, šikmých stojek, bazénu chladicí vody, a vše uvést do takového stavu, aby mohl být ve stanoveném termínu obnoven plný provoz věže.

Dříve než tedy mohly být zahájeny práce na opravě vnitřního pláště, bylo nutné provést přípravné práce. Ty spočívaly v částečné demontáži nosné konstrukce eliminátorů a eliminátorových roštů. Demontována byla konstrukce po obvodu chladicí věže v šířce cca 6 m. Tímto krokem byl vytvořen prostor pro zřízení provizorní podlahy (obr. 5), z níž byly obsluhovány zavěšené plošiny. Zbylá část eliminátorových roštů byla zakryta a zajištěna proti poškození odstraňovanými částmi betonu z horních partií pláště chladicí věže.

Přístupy k opravovaným plochám na obou pláštích chladicí věže byly zajišťovány pomocí šesti zavěšených plošin (obr. 6). Pro opravu konstrukcí uvnitř věže byly využívány stejné postupy jako na vnějším plášti vyjma použití mycího poloautomatu VVP. Předúpra-



4 5



va podkladu byla v tomto případě realizována zařízením VVP pro ruční mytí. Finální úpravu všech betonových konstrukcí vždy tvořil ochranný nátěrový systém, který byl prováděn celoplošně. Na všechny betonové konstrukce uvnitř chladicí věže byl aplikován parotěsný nátěrový systém, jenž chrání betonové konstrukce proti průniku vody a vodních par dovnitř, což je v podmínkách interiéru chladicí věže velmi důležitý parametr ovlivňující životnost nejenom provedených oprav, ale také celé konstrukce věže. V případě chladicí věže č. 5 byl aplikován třívrstvý nátěrový systém na bázi epoxidových pryskyřic v minimální tloušťce 0,3 mm. V horních partiích vnitřního pláště chladicí věže, tzn. cca 30 m od ochozu směrem dolů, byl navíc tento nátěrový systém doplněn čtvrtou vrstvou, tentokrát na polyuretanové bázi. Tím byl odstraněn problém s nízkou odolností epoxidových nátěrů vůči UV záření.

Po vypuštění vody z bazénu chladicí věže bylo dno vyčištěno od usazenin a jiných nečistot tak, aby mohlo být využito pro pohyb mechanizace při opravě prvků vestavby. Sanační práce na těchto prvcích byly prováděny z mobilních plošin a pojezdného lešení. Spolu s tím probíhaly práce na opětovné montáži nosné konstrukce eliminátorů a eliminátorových roštů. Zároveň byly provedeny revize a případná výměna prvků chladicí výplně, prvků rozvodů chladicí vody a byla zpět instalována ostřížková stěna.



6



7

Po dokončení sanace vestavby byly zahájeny práce na opravě dna, stěn a lemu bazénu. Byly provedeny lokální opravy poškozených míst a po realizaci nových výplní dilatačních spár také nová celoplošná ochrana konstrukcí bazénu z vysoce odolného epoxidového nátěru. (obr. 7)

Po uvedení chladicí věže zpět do provozu byly opětovně zřízeny přístupy pomocí zavěšených plošin na vnějším plášti a proveden nový ochranný nátě-

rový systém, v tomto případě vodou ředitelný, paropropustný z důvodu umožnění úniku eventuální vlhkosti zevnitř konstrukce železobetonového pláště chladicí věže.

Na závěr byly opraveny také nátěry na doplňkových ocelových konstrukcích chladicí věže, a to na výstupním žebříku a zábradlí kolem bazénu věže. Bylo obnoveno letecké červenobílé značení na vnější straně ochozu a provedena revize hromosvodu.



8



9

Závěr

Práce na obnově chladicí věže č. 5 byly zahájeny v červnu 2021 a trvaly 1,5 roku. Za tu dobu byly spotřebovány stovky tun materiálu a tisíce hodin lidské práce. Výsledkem je, že opravená chladicí věž je opět v dobré kondici a bude spolu s ostatními dukovanskými věžemi i nadále přitahovat naši pozornost nejen svým neobvyklým tvarem, ale i oblaky čisté vodní páry stoupajícími vysoko k obloze.

Fotografie: 1 – archiv společnosti ČEZ,
2 až 8 – archiv společnosti BETVAR,
9 – Ondřej Jeníček / BETVAR



Ing. Libor Šácha
BETVAR a. s.
sacha.libor@betvar.cz