

# Koncové jímače tepla (KJT), ventilátorové chladicí věže na Jaderné elektrárně Dukovany

V červnu 2013 podepsala firma REKO PRAHA, a. s., smlouvu na výstavbu dvou identických ventilátorových chladicích věží pro Jadernou elektrárnu Dukovany (EDU). Generálním dodavatelem a hlavním projektantem díla pro zajištění nového způsobu odvodu tepla ze systému technické vody důležité (TVD), nazvaným Koncový jímač tepla (KJT), je společnost ŠKODA PRAHA Invest, s.r.o. Tyto nově postavené ventilátorové chladicí věže budou odvádět zbytkové teplo ze zařízení, u kterých nelze připustit dlouhodobý výpadek chlazení. Pro výrobní blok 1 a 2 Jaderné elektrárny Dukovany se používá označení KJT I, pro blok 3 a 4 KJT II.

## CÍL PROJEKTU

Cílem projektu je realizace požadavku na doplnění technických prostředků pro odvod tepla do koncového jímače, který vyplynul ze „zátěžových zkoušek“ (stress testů) EDU. V současnosti se teplo ze systému „technické voda důležitá“ (TVD) odvádí v chladicích věžích s přirozeným tahem. (Vysoké komínové chladicí věže typu Iterson). Podle závěrů stress testů tyto chladicí věže nejsou odolné proti některým iniciačním událostem a extrémním klimatickým podmínkám okolního prostředí. Proto je, jako technický prostředek k odvodu tepla ze systému TVD, navržen nový systém založený na ventilátorových chladicích věžích. Nové objekty KJT budou splňovat tyto podmínky:

- dimenzování na všechny projektové iniciační události včetně extrémních klimatických podmínek,
- umístění uvnitř areálu EDU a nezávislost na objektech umístěných mimo areál EDU.

Z uvedených důvodů bude jaderná bezpečnost zvýšena tím, že stávající způsob chlazení TVD bude nahrazen chlazením (odvodem tepla) na nových ventilátorových věžích. Pro každý ze tří systémů TVD (celkem tři systémy, TVD 1,2 a 3) bude instalován KJT v podobě dvou buněk ventilátorové věže. Každá z buněk bude z hlediska řízení a elektrického napájení přiřazena k jiné divizi bezpečnostního systému, respektive SZN (Systém Zajištěného Napájení). Nový systém zajistí bezpečnostní funkce i u všech mimořádných událostí (klimatické jevy - extrémní teploty, extrémní vítr, nebo zemětřesení kategorie SL2hor se zrychlením 0,1 g v horizontálním směru), hodnocených od roku 2011 podle IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SSG-18.

KJT má redundanci 3 × 100 %, tj. každá divize je schopna převzít tepelný výkon 100 % (88,4 MWt) a tomu odpovídající průtok 3 920 m<sup>3</sup>/hod (tj. průtok čtyř čerpadel TVD). Vzhledem k tomu, že EDU je provozovaná jadernou elektrárnou, jsou navržena opatření kompatibilní a akceptovatelná se současným technickým stavem jaderných elektráren a způsobem jejich provozování. Technické řešení stavby bylo determinováno požadavky, které tato stavba musí splňovat:

- Maximální výpočtové zemětřesení, účinek úrovně „extrémní“, označované někdy jako MDE - Maximum Design Earthquake, nebo SL2 Earthquake dle IAEA Safety Standards

Series No. SSG-9 a NS-G-1.6, jemuž v americké terminologii odpovídá SSE - Safe Shutdown Earthquake.

- Projektové zemětřesení, označované někdy jako DE - Design Earthquake, nebo SL1 Earthquake podle IAEA Safety Standards Series No. SSG-9 a NS-G-1.6, jemuž v americké terminologii odpovídá OBE - Operating Basis Earthquake.
- Veškeré nosné konstrukce nově navrhovaných objektů musí být navrženy v souladu s platnými technickými normami pro navrhování stavebních konstrukcí. Jde o normy řady ČSN EN 1991 až 1998. Kromě ustanovení těchto norem, platných pro běžné nosné konstrukce staveb, byly respektovány speciální požadavky na zařízení důležitá



Chladicí vestavba KJT

pro jadernou bezpečnost dle vyhlášky SÚJB č. 195/1999 Sb. Podrobnější požadavky na zatížení staveb důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti jsou dány předpisy IAEA NS-G-1.6 a NS-G-1.5.

- Pro návrh KJT byla dle doporučení EUR pro nové JE použita hodnota extrémního větru 70 m/s (rozumí se okamžitá rychlost, ze které vyplývá: rychlost 10 s průměr 56,9 m/s, rychlost 10 min průměr 39,1 m/s, základní tlak větru podle ČSN 2,02 kN/m<sup>2</sup>, základní tlak větru dle EN 0,95 kN/m<sup>2</sup>).

Ventilátorové věže KJT jako součást TVD patří mezi vybraná zařízení, kde zařízení musí být vyrobeno v jakosti vhodné pro použití na technologické pozice klasifikované do BT3 dle Vyhl. 132/2008 Sb. (stavební a strojní část) a v jakosti vhodné pro použití na technologické pozice klasifikované do BT2 dle Vyhl. 132/2008 Sb. (elektro část). Zařízení musí mít seismicnou odolnost kategorie 1a. Dále pak objekt KJT patří do 1. kategorie z hlediska odolnosti proti působení vnějších extrémů (EE-C1dle NS-G-1.6). Pro nově realizovanou konstrukci KJT a zařízení vně stávajících objektů se konzervativně uvažovalo se zatížením tlakovou vlnou výbuchu s přetlakem v čele vlny 10 kPa a dobou trvání 300 ms.

Takto zadané okrajové podmínky vedly k návrhu ventilátorové chladicí věže se šesti buňkami. Každé buňce je příslušný ventilátor, poháněný pomaluběžným motorem. Koncové jímače tepla KJT I a KJT II jsou po stránce řešení zcela identické. Jeden koncový jímač tepla je přiřazen k HVB I (hlavní výrobní blok jaderné elektrárny, blok 1 a 2) a druhý k HVB II (bloky 3 a 4). Ve srovnání s „normální chladicí věží“ tohoto typu se řešení KJT odlišuje zejména masivní, vysoce odolnou železobetonovou konstrukcí a důsledným stavebním oddělením jednotlivých elektrosystémů, kde vždy jeden elektrosystém přísluší jedné buňce chladicí věže.

Koncový jímač tepla má tvar kvádry, na jehož horní straně (plošině difuzorů) vystupuje 6 válcových difuzorů, ve kterých jsou umístěna ventilátorová soustrojí. Všechny vnější konstrukce jsou provedeny z pohledového monolitického betonu, které jsou chráněny bariérovými nátěry. Při čelním pohledu jsou dominantní ocelové automatické žaluzie, chránící nasávací otvor vzduchu chladicí věže, mající šedou ocelovou barvu. Pod úrovní terénu se nachází bazén ochlazené vody, který má stejný půdorysný rozměr jako chladicí věž. Nádrž je pravoúhlá, železobetonová s hloubkou 2,0 m. Z nádrže voda odtéká třemi odtokovými objekty umístěnými v jedné z podélných stěn nádrže.

## PROVOZNÍ REŽIMY VENTILÁTOROVÉ CHLADICÍ VĚŽE KJT

### a) By-pass technické vody důležité (TVD) do bazénu ochlazené vody chladicí věže

V tomto provozní stavu bude chladicí věž (KJT) nejčastěji a nahrazuje stávající provoz chlazení TVD. Bude tvořit časovou většinu provozu chladicí věže. Tento provozní stav trvá,

Po stránce teplotního výpočtu a účinku chlazení byly zadávací parametry následující:

| Technické parametry/divize                             | Normální provoz HVB  | Režim dochlazování RB1 a RB2 (30°C/hod.)     |
|--|--|--|
| Odvedený tepelný výkon /MW/                            | Divize pro TVD 1 7,796   | Každá divize 88,4                            |
|  | Divize pro TVD 2 6,004   |  |
|  | Divize pro TVD 3 3,812   |  |
| Hydraulické zatížení (m <sup>3</sup> /h)               | max. 1 960   | max. 3 920                                   |
| Nominální stav okolního prostředí                      |  |  |
| Teplota suchého teploměru (°C)                         | 15   |  |
| Relativní vlhkost vzduchu (%)                          | 70   |  |
| Teplota ochlazené vody (°C)                            | 23,2   |  |
| Rychlost větru (m/s)                                   | 2  |  |
| Barometrický tlak (kPa)                                | cca 99   |  |
| Hluk   | hladiny akustického tlaku pro chráněný venkovní prostor staveb a chráněný venkovní prostor jsou podle odsouhlaseného DSR v případě EDU 50dB dle nařízení vlády 272/2011 Sb. v platném znění. |  |
| Předpokládaný odpar                                    | Celkem na divizi cca 15,3 m <sup>3</sup> /hod  | Celkem na divizi cca 120 m <sup>3</sup> /hod |
| Extrémní stav okolního prostředí                       |  |  |
| Seizmická odolnost                                     | zrychlení 0,1 g v horizontálním směru  |  |
| Teplota ochlazené vody (°C)                            | min. 5, max. 33  |  |
| Rychlost větru (m/s)                                   | do 70 (po nárazovém zatížení větrem o této rychlosti musí zůstat chladicí věž funkční)   |  |
| Teplota suchého teploměru (°C)                         | -46,7 až 46,2  |  |
| Teplota vlhkého teploměru (°C)                         | -48 až 27,3  |  |
| Relativní vlhkost vzduchu při extrémních teplotách (%) | 24 při teplotě suchého teploměru 46,2°C<br>95 při teplotě suchého teploměru -46,7°C  |  |
| Barometrický tlak (kPa)                                | cca 96 až 105  |  |



KJT a komínové chladicí věže EDU

pokud je teplota ochlazené vody vystupující z chladicí věže do výrobního bloku nižší jak 28°C. Armatury na vstupu do chladicí věže jsou uzavřeny a voda je vedena přímo do nádrže ochlazené vody by-passovým potrubím. Při tomto provozním stavu tedy není zavodňována chladicí vestavba a ventilátory nejsou v provozu.

#### b) Provoz při nižší potřebě odváděného tepla

K tomuto provoznímu stavu může dojít v době velmi teplých dnů v letním období. Teplota TVD na vstupu do bloku překročí hodnotu 28°C. Tím budou uvedeny do chodu ventilátory a to v nízkých otáčkách. Spuštění ventilátoru je vždy spojeno s otevřením vstupních provozních armatur a s otevřením žaluzií v nasávacím otvoru. V těchto případech by nebylo ekonomické spouštět 125kW pohon s vysokými otáčkami, když pro odvedení tepla bude dostatečné použití výkonu 16kW pro zajištění pomaluběžného chodu ventilátoru.

#### c) Provoz při vyšší potřebě odváděného tepla (plný výkon)

Spuštění ventilátoru chladicí věže na vysoké otáčky (plný výkon), otevření žaluzií a otevření vstupních provozních armatur je provedeno automaticky při překročení stanovené teploty TVD na vstupu do hlavního výrobního bloku (HVB). Provoz na plný výkon se předpokládá zejména při extrémních teplotách okolí a odstavování reaktorového bloku.

#### d) Provozní stav zajišťující omezení tvorby námrazy uvnitř chladicí věže

Pro tento provozní režim se předpokládá použití zpětných (reverzních) otáček motoru ventilátoru. Tento stav je servisní. Provádí se ručním spuštěním ventilátoru v místnosti elektrorozvodny náležející danému ventilátoru. K danému provoznímu stavu bude docházet jen velmi výjimečně, za extrémních mrazů, pokud obsluha chladicí věže zjistí nebezpečí tvorby námrazy na chladicí vestavbě uvnitř chladicí věže.

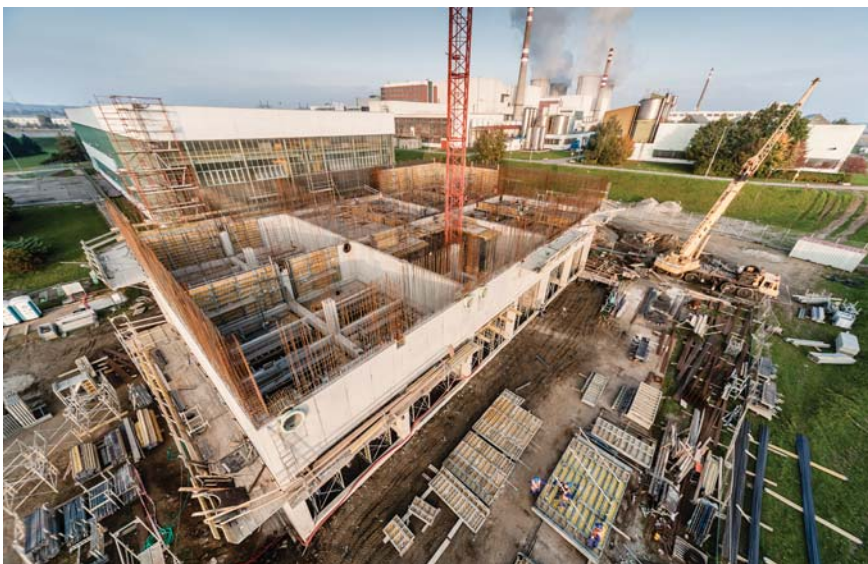
#### REALIZACE STAVBY

Budova KJT je založena na vrтанých pilotech o průměru 880 m s požadovanou minimální délkou 8,0 m. Pilota byla umístěna pod každým sloupem nosného železobetonového skeletu. Budova přiléhající elektrorozvodny byla založena plošně na železobetonové desce.

Konstrukční systém nadzemní části konstrukce vychází z monolitického železobetonového skeletu doplněného příčnými a podélnými stěnami a střešní deskou do velmi tuhého krabicového systému. Základní osový rastr sloupů je 6,5 × 6,5m, tj. 8 sloupů po obvodě buňky a 1 sloup uprostřed buňky pod základovým blokem pod motorem a ventilátorem. Sloupy po obvodě buňky jsou společné pro sousedící buňky. Konstrukční provedení je monolitické železobetonové proto, aby bylo dosaženo dostatečné tuhosti pro omezení působících účinků zatížení.



Pohled na realizaci KJT



Provádění železobetonové konstrukce



Rozvod oteplené vody v KJT

Průřez sloupů byl navržen 600 x 600mm, tloušťka stěn 300 mm a stropní deska 350 mm. Průřezy průvlaků 500 x 600mm, trámů 250 x 600 mm.

Ve střešní rovině desky jsou vynechány kruhové otvory vnitřního průměru 8m pro vytlačování vzduchu ventilátorem. Hrany přechodu mezi střešní deskou a stěnou difuzoru jsou zaoblené. Úroveň střešní desky je vyztužena průvlakly 500 x 600 mm v příčném i podélném směru propojujícími střední sloup s krajními sloupy. Ve střešní desce jsou vynechány prostory  $\phi 120$  mm pro odtékání srážkové vody. Difuzory jsou rovněž železobetonové, monolitické s tloušťkou stěny 200 mm. Světlý průměr difuzoru 8m, výška difuzoru nad střešní deskou činí 3,5 m.

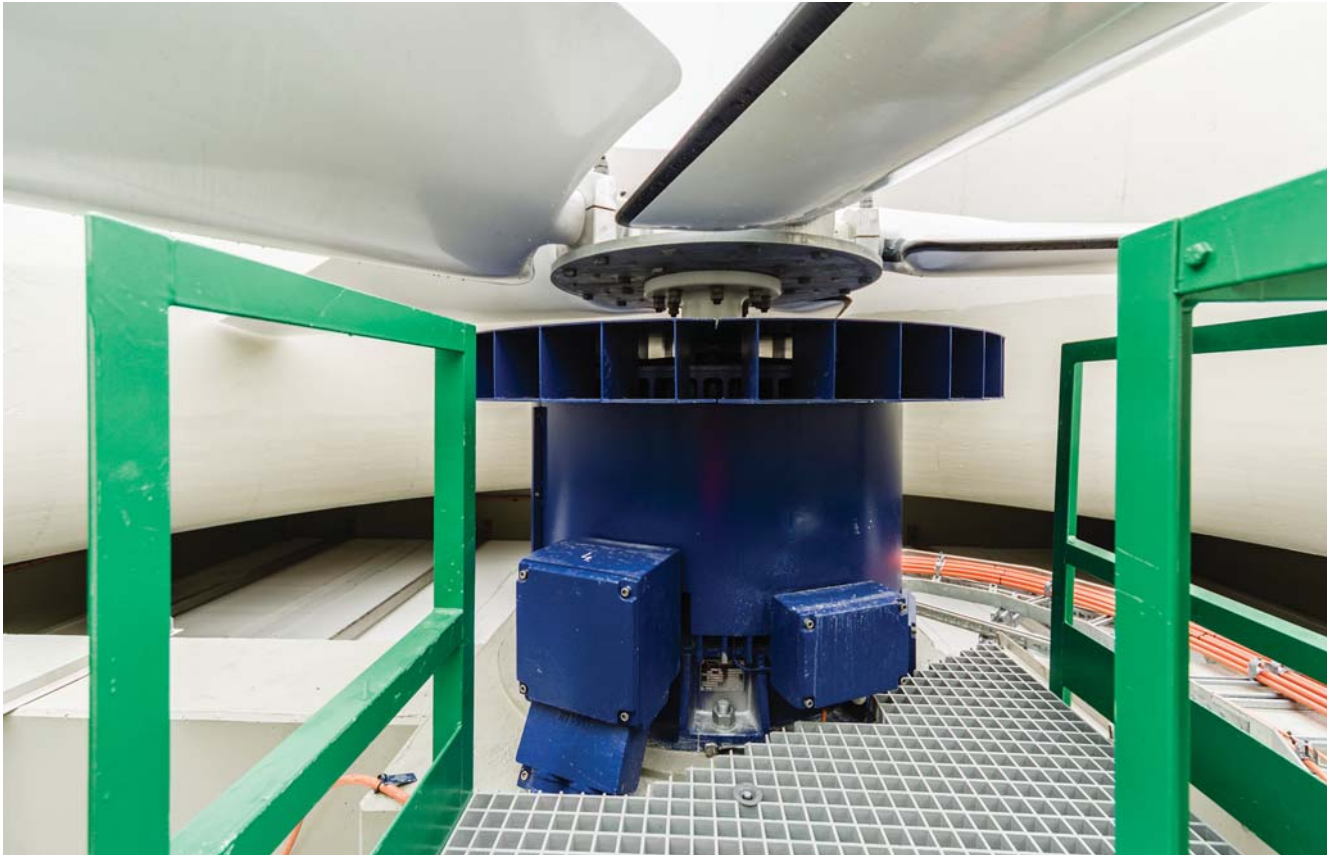
Budova elektrorozvodny je dvoupodlažní železobetonový monolitický objekt půdorysu 4,5 x 20m. V nadzemní části jsou umístěny kobky pro trafo a rozvaděče, v podzemní části jsou umístěny pod každou kobkou 2 kanály – jeden pro přívod VN, druhý pro rozvod NN k rozvaděči a od rozvaděče k vedení kabelů stoupajícímu po stěnách budovy KJT na střešní desku a k ventilátorům.

Betonáž nosného skeletu byla provedena do systémového bednění od firmy DOKA. Komplikací pro provádění skeletu byla nutnost umístění věžového jeřábu dovnitř prováděné budovy, protože při umístění jeřábu vně konstrukce by výložník jeřábu zasahoval do střešeného pásma čerpací stanice, což nebylo přípustné. Železobetonový skelet a nádrž byly po dokončení opatřeny bariérovými nátěry dodanými společností Betosan Praha. Barevné řešení nátěrů odpovídalo požadavkům ČEZ, a.s. pro stavební objekty v areálu jaderné elektrárny Dukovany

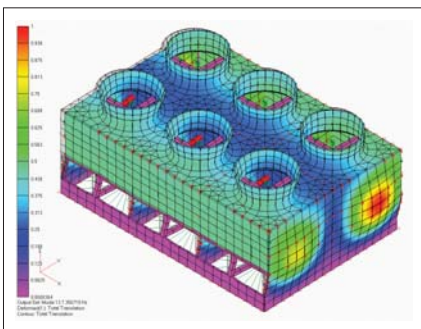
### TECHNOLOGIE VENTILÁTOROVÉ CHLADICÍ VĚŽE

Vlastní technologie ventilátorové věže se v principu neliší od standardní chladicí věže. V daném případě chladicí věže KJT je pouze tato technologie vsazena do mimořádně odolné železobetonové konstrukce, což přináší určité zvýšené nároky na montážní a kotevní postupy. Nosné ocelové a nosné konstrukce z nerezových ocelí pak musely být dodány v souladu s požadavky Normativně technické dokumentace Asociace strojních inženýrů (NTD A.S. I.), která pro zařízení a potrubí jaderných elektráren VVR určuje charakteristiky materiálů a požadavky na jejich svařování. U všech konstrukčních prvků pak musela být prokazována jejich odolnost na zadávací teploty  $-46,7^{\circ}\text{C}$  a  $+46,2^{\circ}\text{C}$

Chladicí vestavba je položena na nosném rámu z nerezové ocele a je tvořena třemi vrstvami chladicích bloků typu R 20 (chladicí výplň typ REKO PRAHA). Folie chladicího systému jsou vyrobeny u americké společnosti Brentwood. Oteplená voda je do chladicí věže přiváděna přes ocelovou konstrukci páteřního rozvodu (ovládací vstupní armatura DN 700 je umístěna před stěnou KJT). Na tuto konstrukci



Ventilátorové soustrojí, motor VUES a ventilátor Wentech



Tvar kmitu - řešení seismické odolnosti

je pak napojený pracovní rozvod vody s tryskami REKO 01, které zavodňují chladicí vestavbu. Na nerezovém roštu jsou položeny eliminátory AOK-REKO. Oproti normální chladicí věži jsou jak bloky chladicí vestavby, tak i eliminátory zajištěny pojistným rámem proti případnému nadzvednutí těchto prvků od účinků extrémního větru.

Nucený tah vzduchu ve ventilátorové věži KJT je zajištěn ventilátorovým soustrojím, které se sestává z ventilátoru o průměru 8,0 m výrobce Wentech (Polsko) a pomaluběžného motoru výrobce VUES Brno, o výkonu 125 kW. Tento motor byl vyroben v provedení tropy, aby odpovídal požadavkům smlouvy na provoz při velmi vysoké teplotě okolního vzduchu. Na druhé straně ale vyhřívání motoru bylo posíleno s cílem zajistit odolnost motoru proti velmi nízkým teplotám.

Nejzajímavějším a technicky velmi náročným prvkem jsou pohyblivé žaluzie v nasávacích otvorech. Pokud jsou naše informace úplné, obdobný systém je v rámci ČR a SR

instalován poprvé. Projektanti naší společnosti vyprojektovali vlastní systém řešení pohyblivých žaluzií. Každý nasávací otvor je krytý pěti žaluziemi výšky 800 mm. Žaluzie jsou ovládný pohonem Auma s převodovkou. Ovládání žaluzií je automatické z řídicího systému chladicí věže (ŘS VV). Venkovní teplota jako řídicí hodnota pro otevírání a zavírání žaluzií je konstantou, kterou je možné v ŘSVV jednoduše nastavit, nebo v budoucnosti změnit, na základě provozních zkušeností uživatele.

#### OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ PROVOZU CHLADICÍ VĚŽE

Provoz chladicí věže je možné ovládat z několika míst. V normálním provozu je chladicí věž řízena „autopilotem“, řídicím systémem chladicí věže (ŘS VV), který sleduje a vyhodnocuje zadané parametry a v případě potřeby spustí ventilátory chladicí věže v pomalých otáčkách. Dále může chladicí věž KJT ovládat operátor z blokové nebo nouzové dozorny (BD, resp. ND). K uvedení chladicí věže KJT do provozu má operátor k dispozici příslušné ovládací klíče, kterými může zapnout nízké i vysoké otáčky ventilátoru. Stěžejním uvedením do provozu je však automatické spuštění vysokých otáček ventilátorů signálem kategorie A z řídicího systému sekundárního okruhu, pokud by byla překročena stanovená hodnota vody TVD na vstupu do výrobního bloku. Pro servisní účely jsou pak určeny další možnosti pro ovládání jednotlivých prvků chladicí věže. Z místních ovládacích skříní (de-bloků) v místnostech elektrorozvodny a rovněž tak z operačního panelu na skříních ŘSVV.

#### Rozhodující partneři pro realizaci projektu ventilátorové chladicí věže KJT

Na realizaci projektu chladicí věže KJT se podílela celá řada partnerů, se kterými naše společnost dlouhodobě spolupracuje na obdobných projektech. Chtěli bychom uvést zejména Ing. Lubomíra Šípka, ze společnosti HIBIS Praha, a Ing. Martina Lukavce ze společnosti M.L. Enegineering, kteří zpracovali statické návrhy pro všechny konstrukce KJT a Ing. Lukavec zajistil rozhodující část prokázání seismické odolnosti konstrukcí KJT a zpracování příslušných kvalifikačních zpráv. Silové rozváděče dodala společnost Spálovský, a.s. Na realizaci elektročásti spolupracovala společnost Vít Lepič, s.r.o. Řídicí systém chladicí věže (ŘS VV) byl realizován společností ZAT Příbram, a.s. Seismickou kvalifikaci ventilátorového soustrojí a soustrojí pro ovládání žaluzií provedla společnost SEDYC Plzeň. Na zajištění předepsaných zkoušek se podíleli zkušební ústavy – Ústav technologie stavebních hmot a dílců Fakulta stavební VUT v Brně, Vojenský technický ústav, s.p. Vyškov, Ingersoll –Rand Engineering and Technology Center Prague a Rizzo Associates Czech, a.s.

**Poděkování:** Během celé realizace a během zkoušek při uvádění do provozu naše společnost velmi úzce spolupracovala s týmem pracovníků jaderné elektrárny Dukovany.

**Ing. Vladislav Grebík,  
REKO PRAHA, a.s.**