

Využití specializovaných měřících a diagnostických systémů při odstávce jaderné elektrárny Temelín

Plánovaná každoroční odstávka bloku jaderné elektrárny Temelín je zhruba 50denní období, v němž se musí zvládnout především výměna paliva jaderného reaktoru, ale také generální opravy, revize a kontroly technologických zařízení bloku včetně opětovného uvedení do provozu. Dodržení plánovaných termínů je náročným úkolem koordinace prací, ale přispívá k němu i využívání některých specializovaných postupů při zpracovávání informací o stavu technologických systémů. Firma TES s.r.o. se stala za 20. let své existence významným pomocníkem při realizaci technicky náročných činností především v oblastech poskytování odborných inženýrských služeb a dodávek speciálních diagnostických systémů a měření. V rámci odstávek působí v oblasti sledování práce silnoproudých elektrických zařízení v rámci údržby logického celku „elektro“, ale i v rámci údržby logického celku „primární okruh“ provádí specializované činnosti spočívající ve zkouškách efektivnosti nízké a vysokotlakých systémů havarijního doplňování a zkouškách efektivnosti hydroakumulátorů.

Monitorování a diagnostika elektrických zařízení

U prováděných kontrol a revizí elektrických zařízení jaderného bloku je nepostradatelným pomocníkem monitorovací systém MOSAD®-5 určený k nepřetržitému sledování funkce stěžejních elektrických zařízení pro výrobu a napájení vlastní spotřeby bloku. Funkce systému jsou zaměřeny především na monitorování stavů a činností silnoproudých zařízení s důrazem na přechodné, respektive poruchové děje. Systém je navržen pro plně autonomní provoz bez nároku na trvalou přítomnost obsluhy.

Monitorovací systém navazuje na monitorovací systém MOSAD®-4 provozovaný od roku 1998 na jaderné elektrárně Temelín, kde byl nasazen pro účely dokladování výsledků testů při najíždění obou bloků. Dlouhodobě ověřená schopnost autonomně zaznamenávat průběh přechodných a poruchových dějů jej předurčila k využití i při komerčním provozu elektrárny. V průběhu let 2006 až 2008 byly jednotlivé komponenty systému MOSAD®-4 postupně nahrazovány systémem MOSAD®-5. Všechna další rozšíření systému v letech následujících až po současnost byla již realizována na hardware a software platformě systému MOSAD®-5, který na jaderné elektrárně Temelín svými technickými vlastnostmi a parametry umožňuje:

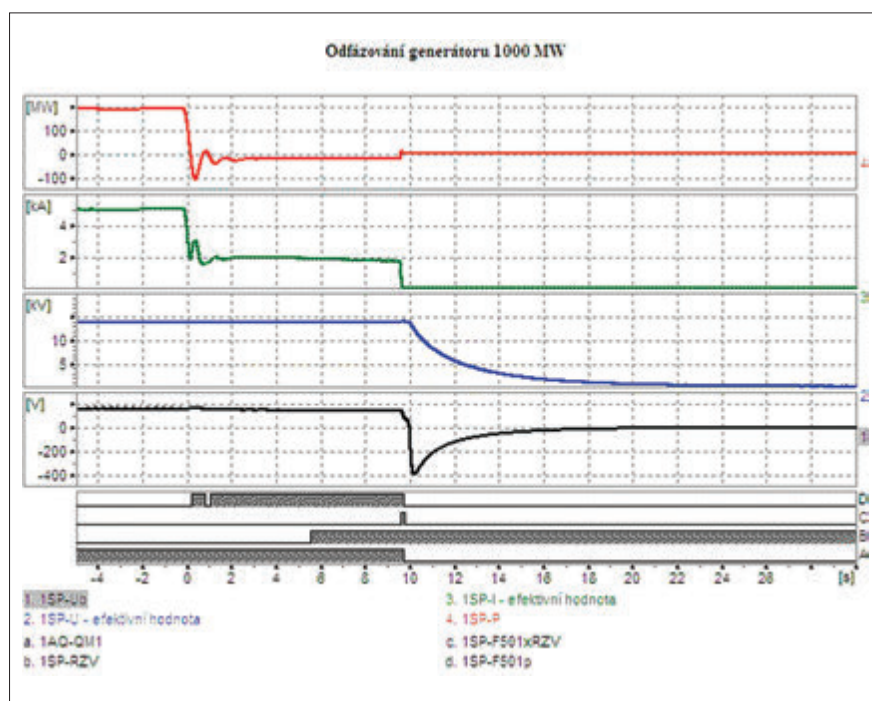
- přímé sledování 640 analogových signálů se vzorkovací frekvencí až 25 kHz na kanál a archivaci záznamů analogových signálů z datově komunikujících systémů (elektrické ochrany, budící soupravy atd.) - celkem cca 1 800 signálů,
- přímé sledování 7 000 dvouhodnotových signálů s periodou 1 ms a archivaci záznamů dvouhodnotových signálů z datově komunikujících systémů, celkem cca 15 000 signálů,
- u analogových signálů zaznamenávat jen úseky signálu v okolí definovaných změn a u dvouhodnotových signálů zaznamenávat jen vzorky se změnou hodnoty signálu, což umožňuje efektivní využití místa pro uložení záznamů,
- v případě trvalého kmitání dvouhodnotového signálu tento signál z důvodů ochrany před



Obr. 1 - Skříň s analogovými měřícími ústřednami MOSAD® 5



Obr. 2 - Skříň s dvouhodnotovými měřícími ústřednami MOSAD® 5



Obr. 3 - Vyhodnocení funkce zpětné wattové ochrany systémem MOSAD® 5 při odstavení generátoru

zahlcením automaticky vyřadit ze záznamu a opětovně zařadit zpět po splnění stanovených podmínek,

- synchronizaci času systému podle systému GPS,
- události u vlastních ústředí časově určovat s přesností na 1 milisekundu a udržet tuto přesnost mezi jednotlivými komponenty systému,
- zachovat funkčnost i po výpadku napájení po dobu cca 10 minut.

Data zaznamenaná monitorovacím systémem poskytují informace o stavu a chování všech důležitých elektrických zařízení i v průběhu celé plánované odstávky bloku.

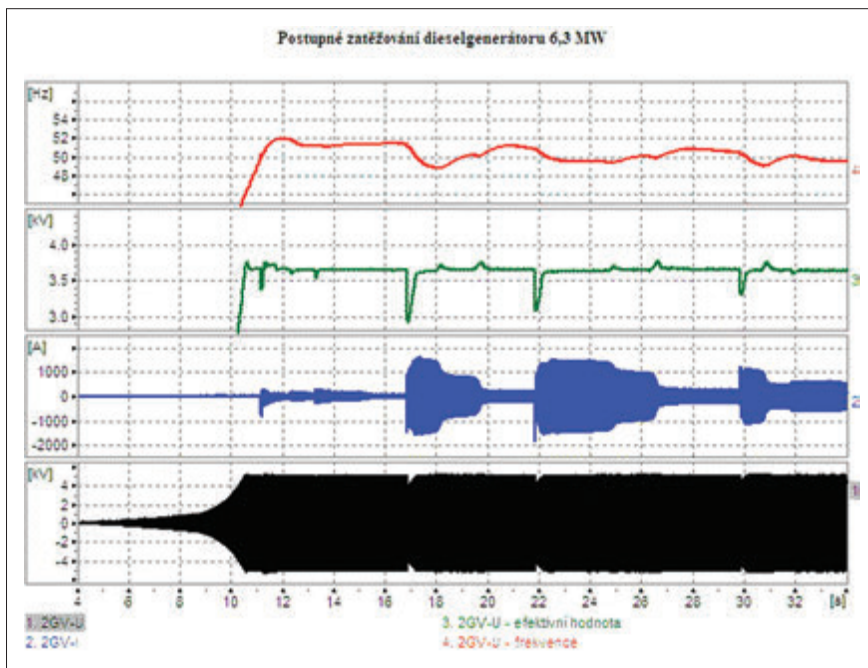
V průběhu odstávky jsou prováděny opravy, kontroly a revize všech důležitých elektrických zařízení: generátoru 1 000 MW, blokového transformátoru 63 MVA, odbočkových transformátorů 63 MVA, generátorového vypínače, dieselgenerátorů 6,3 MW, rozvoden 6 kV a 0,4 kV včetně mo-



Obr. 5 – Pohled do skříně s měřicími ústředními monitorovacího systému transformátorů MOSAD® MST

torů a transformátorů, systémů elektrického chránění, akubaterií, usměrňovačů, střídačů apod. Na obrázku č. 3 jsou uvedeny průběhy důležitých elektrických veličin při odepnutí generátoru 1 000 MW od elektrizační soustavy na počátku plánované odstávky bloku včetně vyhodnocení správnosti chování elektrických ochran při tomto ději.

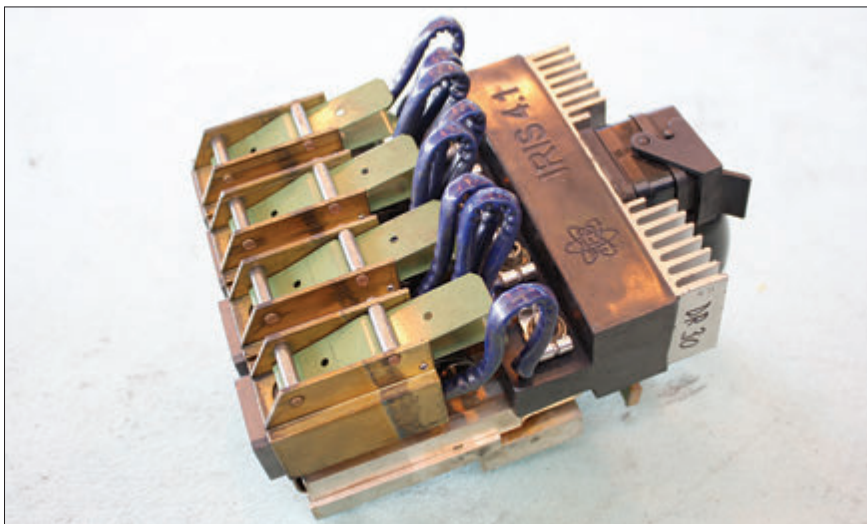
Po provedení odstávkové kontroly a revize dieselgenerátorů 6,3 MW následuje vždy závěrečná zkouška ověření automatického startu a převzetí zátěže řízená automatikou postupného spouštění. Monitorovacího systému se využívá pro dokladování úspěšnosti těchto zkoušek. V průběhu zkoušky jsou zaznamenány důležité analogové a dvouhodnotové signály, které jsou následně za použití software nástrojů pro automatické vyhodnocení dat analyzovány a porovnány se stanovenými kritérii. Na základě vyhovujících výsledků



Obr. 4 – Důležité elektrické veličiny při zkoušce postupného zatěžování dieselgenerátoru 6,3 MW



Obr. 6 – Pohled na skříně diagnostického systému MOSAD® IRIS umístěnou vedle generátoru 1 000 MW



Obr. 7 – Pohled na snímač proudu systému MOSAD® IRIS na společném držáku pro čtyři uhlíky



TES s. r. o.
Třebíč, Pražská 597

Inženýrská činnost v energetice

- ✓ spouštění elektráren
- ✓ technické
a termohydraulické výpočty
- ✓ měření elektrických
a technologických veličin
- ✓ průmyslové měřicí systémy
- ✓ nedestruktivní diagnostika
kabeláže

www.tes.eu

Společnost certifikována dle ISO 9001, ISO 14001 a OHSAS 18001

EXMONT - *Energ*o a.s.

Obor činnosti:

Strojírenství, výroba elektrických strojů a zařízení

Předmět činnosti:

- výroba a opravy elektrických strojů točivých do výkonu 100 MW
- výroba a opravy zařízení vodních elektráren do výkonu 20 MW
- výroba o rekonstrukce ocelových konstrukcí



Adresa: EXMONT-Energ

a.s., Bohunická 1/652, 619 00 Brno, Česká republika

Tel.: +420 543 420 211, Fax: +420 543 420 219, E-mail: exmont@exmont.cz, www.exmont.cz

zkoušek jsou následně dieselegenerátory 6,3 MW uvedeny do stavu pohotovosti. Na obrázku č. 4 jsou uvedeny průběhy důležitých elektrických veličin při zkoušce postupného zatěžování dieselegenerátoru 6,3 MW.

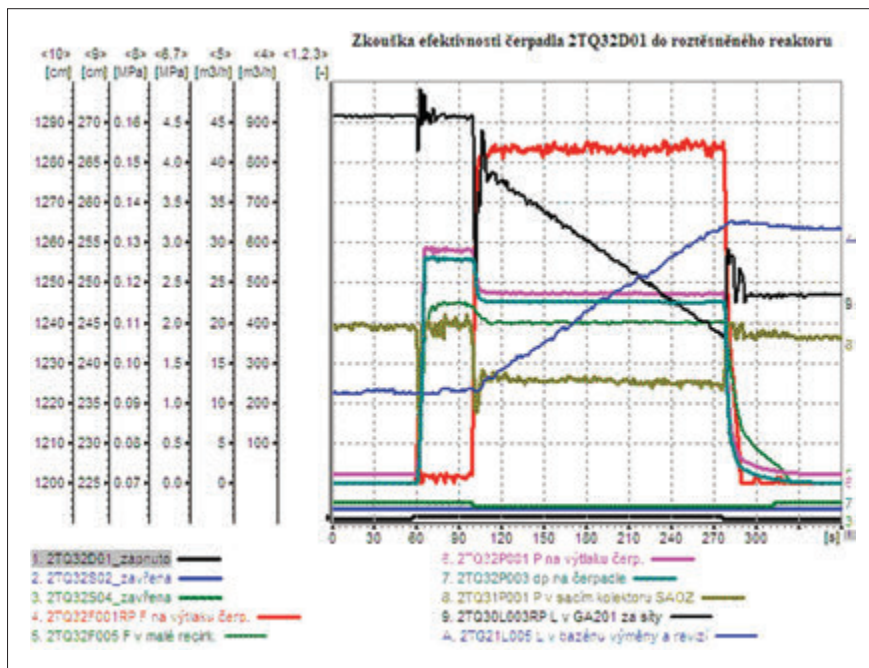
Další pravidelně měřené a vyhodnocované zkoušky monitorovacím systémem MOSAD®-5 v průběhu odstávky bloku po provedení revizí a kontrol jsou:

- zkoušky individuálních a hromadných záskoků z pracovních na rezervní napájení u rozvodu 6 kV a 0,4 kV,
- sekundární a primární zkoušky ochran v oblasti vyvedení výkonu bloku a napájení vlastní spotřeby,
- rozběhy motorů velkých spotřebičů napájených především z blokových rozvodů 6 kV vlastní spotřeby.

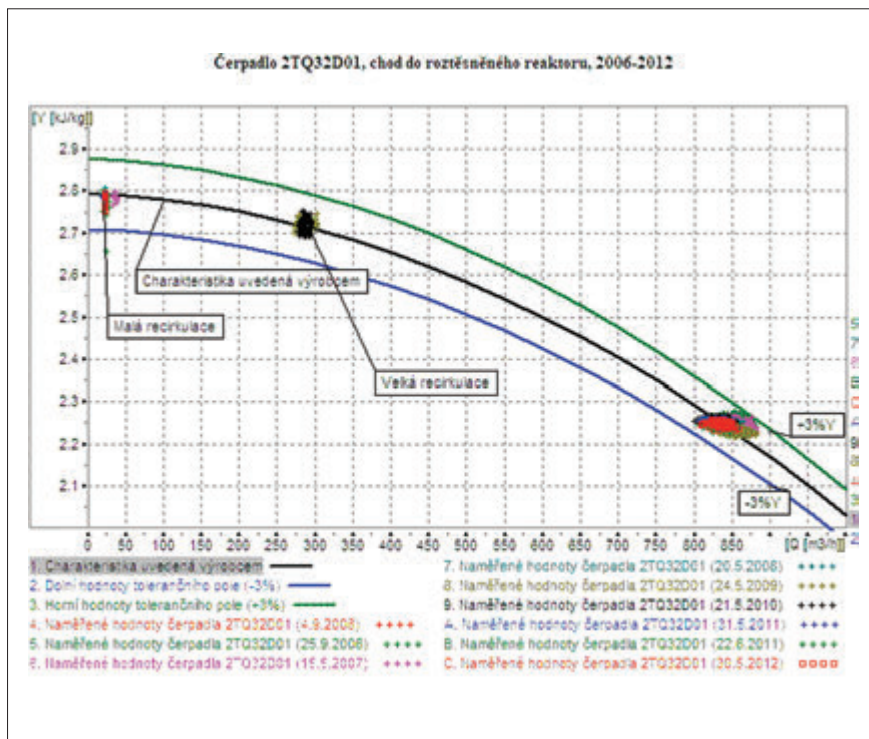
Při zapnutí a následném chodu blokového transformátoru 1 200 MVA a odbočkových transformátorů 63 MVA, po provedených opravách, revizích a kontrolách v rámci odstávkových činností, je pro kontrolu parametrů transformátorů využíváno monitorovacího systému transformátorů MOSAD®-MST, který slouží k on-line diagnostice i za trvalého chodu těchto transformátorů. Monitorovací systém transformátorů pracuje na platformě systému MOSAD®-5. Monitoruje tyto parametry a veličiny:

- 12 analogových signálů rychlých přechodových a přepětových dějů s maximální vzorkovací frekvencí 300 kHz na kanál (diagnostické výstupy průchodek 400 kV a 24 kV blokových transformátorů),
- detekce a měření úrovně výbojové aktivity částečných výbojů. Měří počty impulsů za sekundu v pěti hladinách. Je monitorováno 12 míst (diagnostické výstupy průchodek 400 kV a 24 kV blokových transformátorů),
- komunikovaná data ze systémů Multitrans (analýzátory plynů a vlhkosti oleje transformátorů) umístěných na blokových a odbočkových transformátorech. Přenášeny jsou měřené úrovně devíti plynů, především H_2 , CO, C_2H_2 a C_2H_4 , a vlhkosti,
- komunikovaná data ze systémů měření teplot a vlhkostí umístěných na blokových a odbočkových transformátorech. Datově komunikováno je cca 160 měření teplot a vlhkostí.

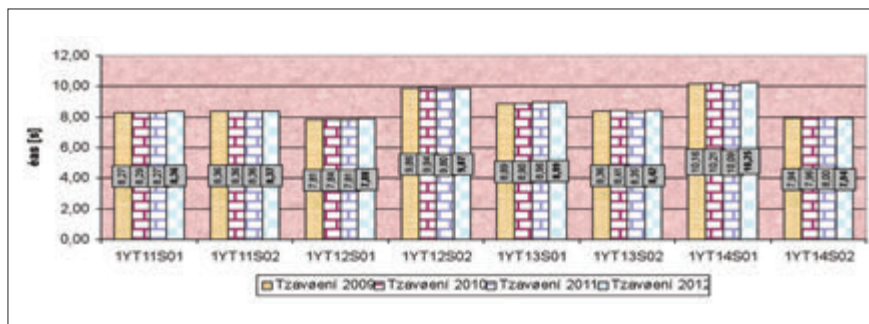
Po výměně uhlíků sběracího zařízení generátoru 1 000 MW, kontrola a případné úpravy povrchu jednotlivých kroužků sběracího zařízení v rámci odstávky je prováděno měření rozložení budícího proudu mezi jednotlivé kartáče sběracího zařízení s využitím on-line diagnostického systému MOSAD®-IRIS, který je instalován na obou blocích jaderné elektrárny Temelín. Zkoušky probíhají při nabuzení generátoru na nominální napětí a následném přiřazování do elektrizační soustavy. Diagnostický systém MOSAD®-IRIS



Obr. 8 – Záznam zkoušky čerpadla 2TQ32D01



Obr. 9 – Porovnání změřených pracovních bodů čerpadla 2TQ32D01 v letech 2006 až 2012



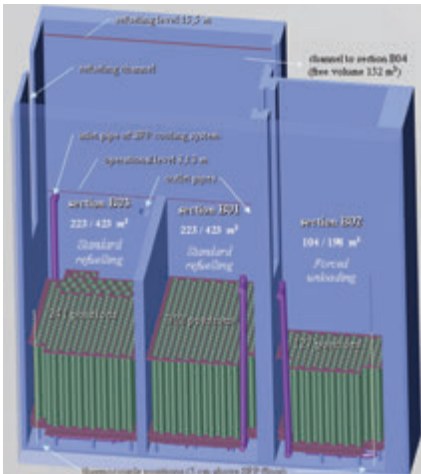
Obr. 10 – Porovnání časů uzavření RČA 1Y11 (12, 13, 14) S01(S02) z 2. září 2012 se zkouškami v období 2009 až 2011

monitoruje velikosti proudů tekoucí jednotlivými uhlíky sběracích zařízení generátorů 1 000 MW. Tyto hodnoty jsou přenášeny a ukládány dvěma externími analogovými datově komunikujícími moduly na blok (jeden pro uhlíky na kroužcích kladné polarity a jeden pro uhlíky na kroužcích záporné polarity). Každý analogový datově komunikující modul monitoruje 80 signálů vzorkovací frekvence až 1 Hz na vstup.

Specializovaná technologická měření a matematické modelování

Jednou se specializovaných činností je vyhodnocování dat ze zkoušek efektivity nízkého a vysokotlakého systému havarijního doplňování a systému havarijního vstřiku bóru do roztěsněného reaktoru. Uvedené zkoušky prokazují, že zkoušené systémy odpovídají požadavkům projektu a bezpečnostních analýz, nedoznaly změny proti stavu při prvním uvádění bloku do provozu a že výkon čerpadel v průběhu životnosti nedegradoval. Zkoušky jsou realizovány dle příslušných kapitol celoblokového provozního předpisu a jejich cílem je rovněž zachytit včas případné nehody a doporučit nápravná opatření, resp. změny pro následující zkoušky.

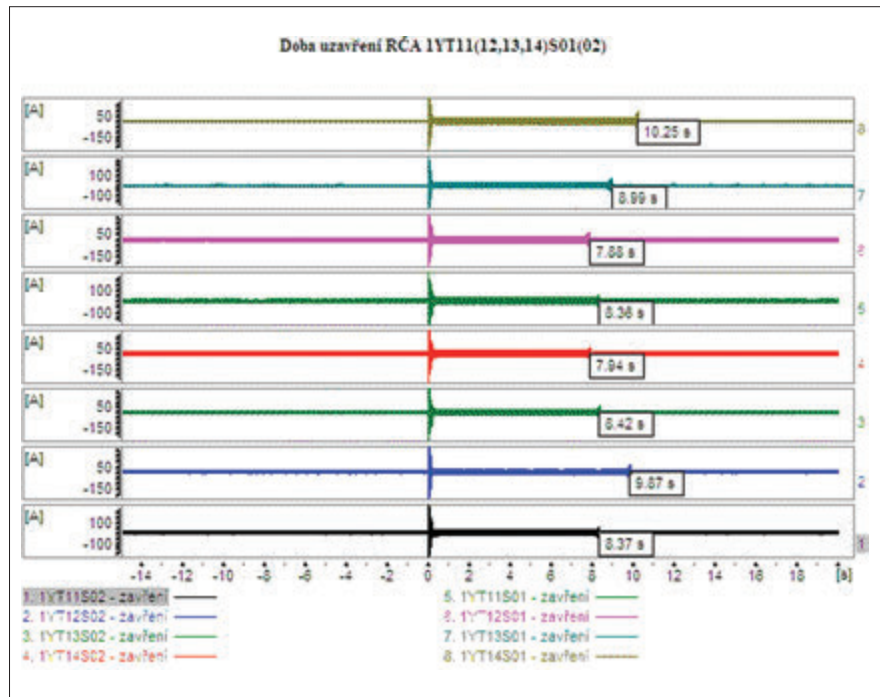
Na základě dat zaznamenaných technologickými diagnostickými a řídicími systémy (STDAS, UIS, HSR) a vypočtených hodnot provádíme zakreslení pracovních bodů do charakteristik čerpadel dodaných výrobcem a zpracování charakteristik sacích a výtlačných tras čerpadel. Tam, kde je to účelné a možné, srovnáváme dokumentované nebo vypočtené hodnoty s údaji



Obr. 13 – Zaplnění BSVP palivovými soubory slouží jako podklad pro modelování teplo-technických procesů

získanými při předchozích zkouškách výše uvedených systémů.

Při zkouškách efektivity hydroakumulátorů přispěla firma TES k zefektivnění činnosti využitím dat získaných z technologického diagnostického systému STDAS a systému MOSAD®-5. Efektivnost hydroakumulátorů je schopnost plnit bezpečnostní funkci „Chlazení“ tj. udržení tlaku v primárním okruhu v případě havárie spojené s roztržením hlavního cirkulačního potrubí uvažovaném jako maximální projektová havárie. Pro



Obr. 11 – Získání časů uzavírání armatur ze záznamů proudu uložených v systému MOSAD® 5



Obr. 12 – Instalace přípravku pro měření rozložení teplot v BSVP

tuto funkci je důležité nepřekročit limitní tlakový spád $[0,03 \pm 0,02 \text{ MPa}]$ pro otevření dvojice zpětných klapek umístěných v potrubí mezi příslušným hydroakumulátorem a primárním potrubím resp. reaktorem. Druhou podmínkou správné funkce systému je pak nepřekročit čas potřebný na uzavření rychločinných armatur (RCA), které uzavírají příslušná potrubí po vyprázdnění hydroakumulátorů, aby pracovní plyn dusík nevnikl do primárního okruhu. Kritérium splnění této funkce stanovuje mezní čas pro uzavření 11,5 s.

Ověřování tlakového spádu pro otevření zpětných klapek bylo v období uvádění bloků elektrárny v Temelíně do provozu prováděno komplikovanou metodou využívající nestandardní měření. Firma TES vyvinula a zvalidovala dynamickou metodu určení příslušného tlakového spádu, spočívající ve změření a následném vyhodnocení překmitu poklesu tlaku v primárním okruhu v okamžiku připojení hydroakumulátoru v režimu řízeného poklesu tlaku v tomto okruhu. Tato metoda vychází z dat získaných ze standardní instrumentace a je časově méně náročná. Ověřování doby

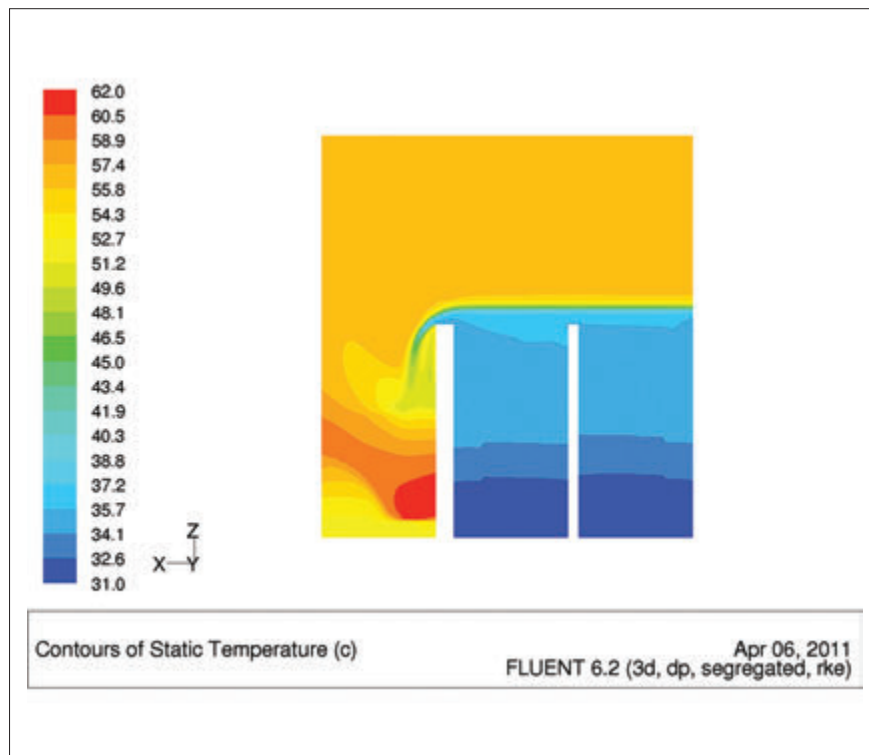
uzavření rychločinných armatur je prováděno rovněž ze standardní instrumentace, t.j. v tomto případě ze systému MOSAD®-5.

I u zkoušek efektivnosti hydroakumulátorů je prováděno srovnání dokumentovaných hodnot s údaji dosaženými při předchozích zkouškách.

Během poslední odstávky reaktorového bloku provedli pracovníci TES rovněž nestandardní měření teplot v bazénu výměny a skladování paliva (BSVP). Pro sledování namáhání nerezového obložení BSVP v závislosti od režimu chlazení a konfigurace zavezení vyhořelými a překládanými palivovými soubory je rozhodující kontrola rozložení teplot v prostorách BSVP. Vzhledem k tomu, že zřízení standardního měření je v současné době prakticky technicky nemožné, bylo v ČEZ ETE rozhodnuto vyvinout 3D termohydraulický model, který by sledoval proudění a s tím spojeném prostorové rozložení teplot. Pro validaci takového modelu je však nutné provést nestandardní měření teplot v bazénu. Pro splnění obou těchto úkolů byla oslovena firma TES.

Na základě výše uvedených požadavků byl v TES zpracován program měření teplot včetně konstrukce a zhotovení potřebných přípravků a měřicí instrumentace. Během odstávky 1. bloku pak program měření realizován v průběhu čtyř dohodnutých etap. Současně byl v oddělení analýz a termohydraulických výpočtů započat vývoj předmětného modelu v prostředí CFD FLUENT. Ukázka průběhu měření a dílčích výpočtů je na obrázcích 12, 13 a 14.

Měřicí a diagnostické systémy vyrobené firmou TES nasazené na obou blocích jaderné elektrárny Temelín poskytují celou řadu důležitých informací o stavu a funkcích monitorovaných



Obr. 14 – Vertikální řez BSVP znázorňuje rozložení teplot po odstavení chladicího okruhu

zařízení. U monitorovaných technologických zařízení tím tak významně zkracují dobu potřebnou pro opětovné uvedení do provozu jak po opravách, revizích a kontrolách v rámci plánovaných odstávek, tak po případných nahodilých poruchách. Zkrácením doby potřebné pro opětovné najetí elektrárenského bloku na nominální výkon sebou nese neopomenutelný finanční efekt. Firma TES disponuje vysoce kvalifikovanými a flexibilními specialisty schopnými řešit náročné

úkoly v oblasti nestandardního měření a termohydraulických analýz v technologických uzlech jaderných a klasických elektráren. V průběhu dvaceti let působení prokázala, že v této oblasti zajímá významnou úlohu. Svými schopnostmi významně přispívá k plnění úkolů realizovatelných v odstávkách.

Ing. Martin Štajgl,
jedenatel a generální ředitel, a kolektiv,
TES s.r.o.

Use of specialized measuring and diagnostic systems during the outage of the Temelín nuclear power plant

The scheduled annual outage of the Temelín nuclear power plant unit takes approximately 50 days, when it is especially necessary to refuel the nuclear reactor, but also to carry out overhauls, inspections and checks of the unit technology, including their re-commissioning. Adherence to the planned deadlines is a challenging task for work coordination; the use of some specialized procedures for the processing of information on the condition of technology also contributes to it. TES s.r.o. became a major player for the implementation of challenging activities especially in the provision of specialized engineering services and supply of special diagnostic and measurement systems. During outages the company participates in the monitoring of work of heavy-current electrical equipment within the framework of maintenance of the Electrical logical unit, but also maintenance of the Primary Circuit logical unit, where the company carries out specialized activities consisting in efficiency tests of low- and high-pressure safety injection systems and efficiency tests of hydro-accumulators.

Использование специализированных измерительных и диагностических систем при профилактической остановке АЭС Темелин

Запланированная ежегодная профилактическая остановка блоков АЭС Темелин — это приблизительно 50-ти дневный период, за который необходимо успеть, прежде всего, заменить топливо ядерного реактора, а также провести генеральный ремонт, ревизию и контроль технологического оборудования блока, включая обратный ввод в эксплуатацию. Выполнение работ точно в срок очень сложная задача координации всех видов деятельности, но помогает в этом использование некоторых специализированных методов при обработке информации о состоянии технологических систем. Фирма «TES» стала неоценимым помощником при реализации технически сложных работ, прежде всего в области предоставления высокопрофессиональных инженерных услуг и поставок специализированных диагностических систем и измерительных приборов. В рамках остановок фирма принимает участие в области наблюдения за работой электрооборудования высокого напряжения — профилактика логического комплекса «Электро». В рамках профилактики логического комплекса «Первичный круг» фирма проводит специальные работы по тестированию эффективности систем аварийного оборудования низкого и высокого давления, а так же тестирование эффективности гидроаккумуляторов.