

## STEND INSPEKČÍ PALIVOVÝCH SOUBORŮ FUEL ASSEMBLY INSPECTION STAND

Miloslav Ruchař <sup>a)</sup> a Marko Štípek <sup>b)</sup>

<sup>a)</sup> ŠKODA JS a.s., Divize D3 Jaderné zařízení, odbor Konstrukce

<sup>b)</sup> ČEZ a.s., Jaderná elektrárna Temelín, DJE – inženýring změn projektu

### Abstrakt

Příspěvek navazuje na loňské představení nového zařízení ŠKODA JS a.s., které je určeno k provádění provozních kontrol ozářených palivových souborů na jaderné elektrárně Temelín v České republice. V příspěvku jsou prezentovány praktické zkušenosti s přípravou zařízení, jeho transporty a montáží před prováděním kontrol i operace spojené s jeho dekontaminací a zpětným transportem k uložení ve skladovacích prostorech. Nároky na tyto činnosti jsou porovnány s předchozí generací zařízení, které bylo na elektrárně Temelín používáno od jejího uvedení do provozu. Je uvedeno srovnání těchto operací i vyhodnocení přínosů z pohledu bezpečnosti, nároků na obsluhu, transportních manipulací a přípravných kontrol na provádění inspekci. Současně je vyhodnocen hlavní přínos nového zařízení, a to možnost provádění kontrol palivových souborů paralelně s jinými operacemi s palivovými soubory pomocí zavážecího stroje, což u předchozí generace zařízení nebylo možné.

### Abstract

The paper follows up on last year's presentation of the new ŠKODA JS a.s. equipment, which is designed to carry out operational inspections of irradiated fuel assemblies at the Temelín NPP in the Czech Republic. The paper presents practical experience with the preparation of equipment, its transport and installation before inspections, as well as operations associated with its decontamination and return transport for storage in storage areas. The demands for these activities are compared with the previous generation of equipment that has been used at the Temelín NPP since its commissioning. It compares these operations as well as evaluates the benefits in terms of safety, operator requirements, transport handling, and preparatory controls before fuel inspections. At the same time, the main advantage of the new equipment is evaluated, namely the possibility of performing inspections of fuel assemblies in parallel with other operations with fuel assemblies using a refuelling machine, which was not possible with the previous generation of the inspection equipment.

### Úvod

V předchozím ročníku konference byl prvně představen Stend inspekce palivových souborů (dále jen SI-PS), který reprezentuje nové inovativní řešení pro provádění provozních kontrol ozářených palivových souborů (dále jen PS) všech typů provozovaných na JE Temelín. Stend byl vyvinut ve spolupráci techniků ŠKODA JS a.s. a ČEZ a.s. Jeho první provozní nasazení a vyzkoušení proběhlo během odstávek obou bloků elektrárny v roce 2021, v letošních odstávkách byl nasazen podruhé v řadě na každém bloku.

Nový stend inspekci tak plně nahradil dříve používané zařízení MSIO, mobilní stend inspekci a oprav, které bylo na JE Temelín používáno od doby provozního spuštění obou bloků. Z výsledků provedených kontrol PS i z praktických zkušeností z transportů, montáže, provozu, dekontaminace i následné demontáže SI-PS lze porovnat, jak nový stend naplnil stanovené cíle pro jeho používání na JE Temelín, a to je i hlavním záměrem uvedeného příspěvku.

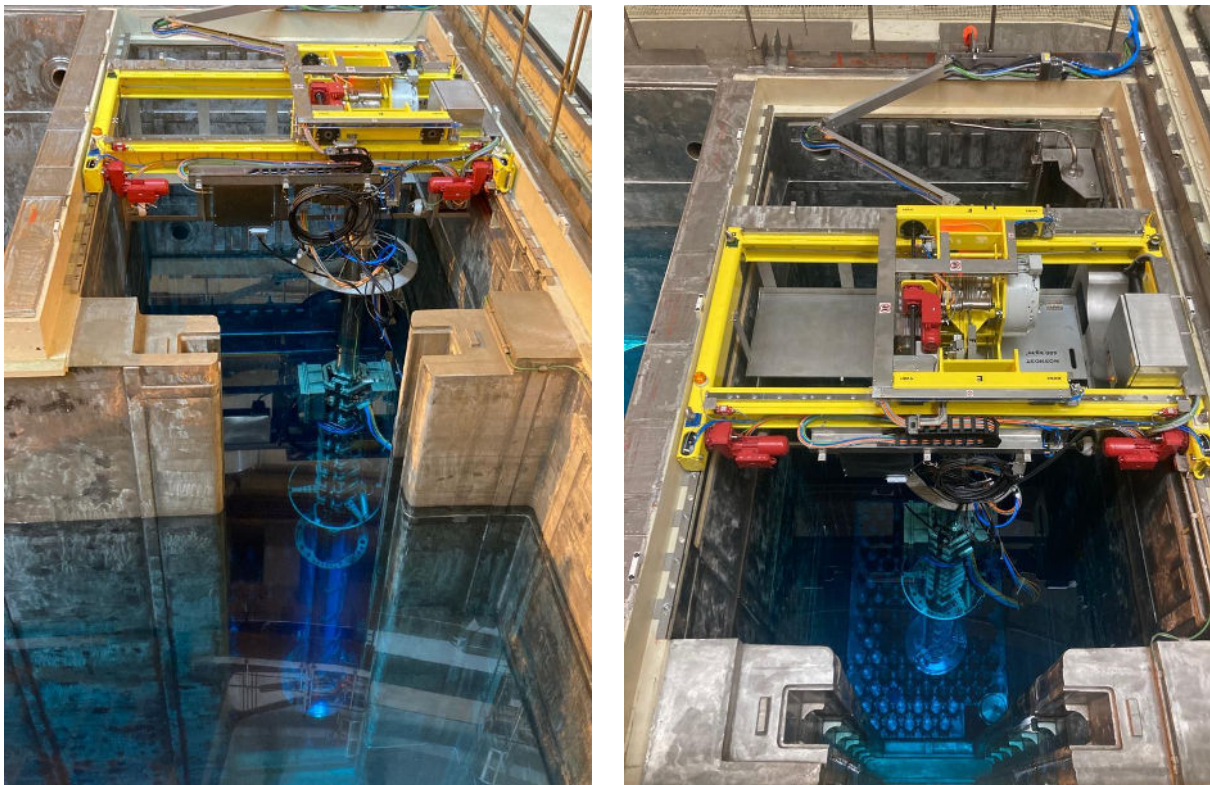
### Funkce, účel a hlavní technické parametry

Stend SI-PS je navržen pro provádění inspekcí všech typů dosud provozovaných PS na JE Temelín, tedy PS od dodavatelů TVEL i Westinghouse. Aktuální provedení stendu umožňuje provádět následující rozsah inspekcí:

- Vizuální prohlídka viditelného vnějšího povrchu PS pomocí hi-rad odolných kamer:
  - Rozlišení do 600 TV řádek.
  - Optický zoom až 5x.
  - Radiační odolnost špičkově do  $10^4$  Gy/hod, integrálně do  $2 \times 10^6$  Gy.
- Měření geometrie PS v zavěšeném stavu v rozsahu:
  - Měření průhybu PS, včetně vyhodnocení vektoru a maximální hodnoty po délce PS, přesnost  $\pm 0,5$  mm.
  - Měření zkřutu PS, včetně vyhodnocení maxima na distančních mřížkách po délce PS, přesnost  $\pm 0,5^\circ$ .
  - Měření délky PS v zavěšeném stavu, přesnost  $\pm 0,5$  mm.
- Měření rozložení teplot v blízkosti PS po jeho délce.

Konstrukční řešení stendu je již od začátku uvažováno modulárně tak, aby jeho jednotlivé konstrukční části mohli být v budoucnu doplňovány dalšími komponentami pro možnost budoucího rozšiřování prováděných inspekcí. Hlavní části stendu tvoří most, inspekční sloup a ovládací pult, společně s příslušenstvím pro kalibraci, transport a skladování.

Součástí řešení je i integrovaný antikolizní systém, který umožňuje zajištění zavázacího stroje (ZS) do prostoru bazénu s palivem při zajištěné parkovací poloze SI-PS. Díky tomuto řešení je umožněna průběžná výměna PS v bazénu a počet kontrolovaných PS tak není omezen konstrukcí dílů, ale pouze určeným časovým prostorem na inspekce PS během odstávky.

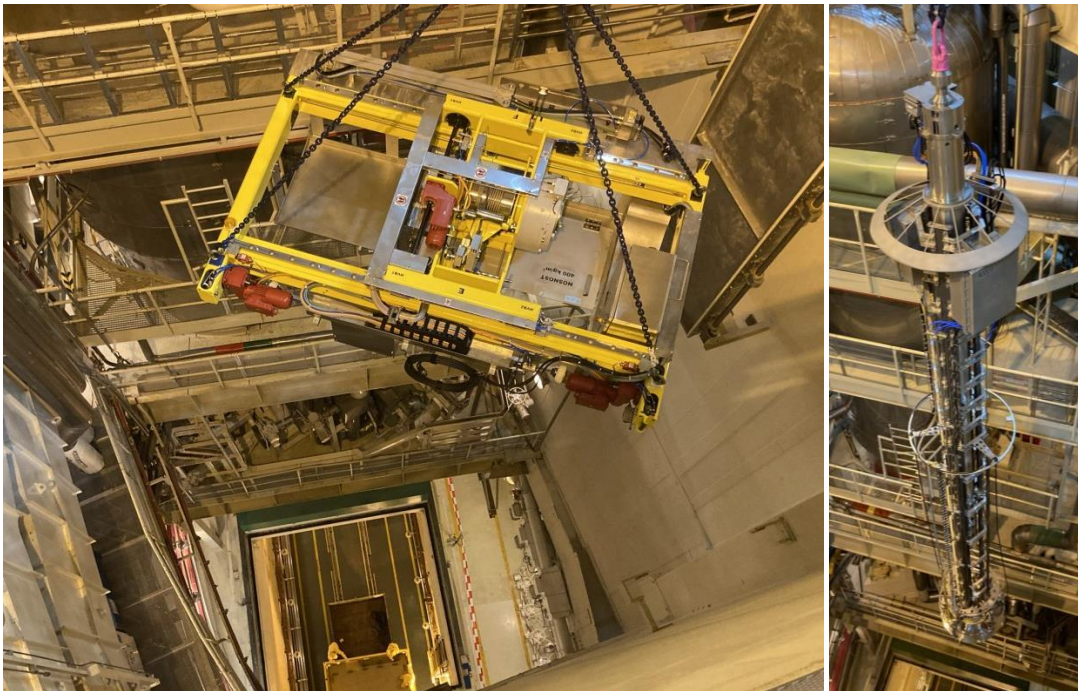


Obr. 1: SI-PS nad bazénem inspekce PS

## Montáž stendu a přípravy před inspekcí PS

Montáž stendu je navržena s důrazem na minimalizaci manipulací pomocí polárního jeřábu, minimalizaci montážních operací prováděných na reaktorovém sále a snížení potřeby skladovacích ploch v tomto místě na minimum. Tato koncepce oproti předchozímu zařízení MSIO zajišťuje hned několik benefitů naráz, jednak zásadní zkrácení kritických časů odstávek, tak i výrazné snížení kolektivních dávek obsluhy, a v neposlední řadě i vyšší bezpečnost práce.

Během montáže není potřeba vyhrazovat zvláštní místo na podlaze reaktorového sálu (RS), most se přímo z transportního koridoru umístí nad pracovní prostor s bazénem uložení PS. Následně se do určeného prostoru na podlaze RS umístí ovládací pult a propojí se kabeláž mezi pultem a mostem. Do takto připravené sestavy se z transportního koridoru zaveze inspekční sloup a tím je montáž jednotlivých dílů stendu dokončena.



Obr. 2: Vlevo transport mostu, vpravo transport inspekčního sloupu koridorem



Obr. 3: Vlevo montáž mostu na koleje, vpravo montáž sloupu do mostu SI-PS

Po montáži se prověří všechny funkce systému a provede se kalibrace měřícího systému geometrie PS a stend je připraven k inspekcím prvních PS.

Podobným způsobem, jako probíhá montáž, je prováděna i demontáž částí stendu s jedním rozdílem, že inspekční sloup se před odvozem z reaktorového sálu ještě dekontaminuje oplachem vody v určené šachtě vedle bazénu inspekcí.

## Postup inspekcí PS

Vlastní inspekce jednotlivých PS pomocí SI-PS probíhají v pořadí určeném dle požadavků provozovatele, přičemž se využívají data ze ZS o pozicích jednotlivých typů PS v mříži v bazénu v B02. SI-PS tak sdílí se ZS společný kartogram závážky bazénu PS.

Typová inspekce jednoho PS probíhá v poloautomatickém režimu ovládání, kdy operátor prochází zadaným scénářem postupu inspekcí a potvrzuje provedení každého z dílčích kroků. Samozřejmostí je možnost přerušení poloautomatického režimu, nebo provedení následných detailních kontrol v případě potřeby. Průvodcem operátora je uživatelsky příjemný vizualizační systém, který znázorňuje veškeré stavy zařízení i aktuální hodnoty parametrů.

Obr. 4: Pohled na vizualizaci ovládání SI-PS – inspekce PS

Obr. 5: Pohled na vizualizaci ovládání SI-PS – polohování mostu

Data z provedených kontrol se ukládají do systému SI-PS s vazbou na značení kontrolovaných PS. Po ukončení inspekci se data exportují k finálnímu zpracování a vyhodnocení výsledků kontrol jednotlivých PS.

### Souhrn provozních zkušeností z inspekci PS v letech 2021 a 2022

Jak již bylo uvedeno v úvodu příspěvku, SI-PS během svých provozních nasazení úspěšně prokázal splnění všech cílů, které si stanovil jeho provozovatel, JE Temelín. A jak byly vlastně tyto cíle definovány a jak bylo vyhodnoceno jejich naplnění?

#### CÍL č.1: Zkrácení manipulací se stendem.

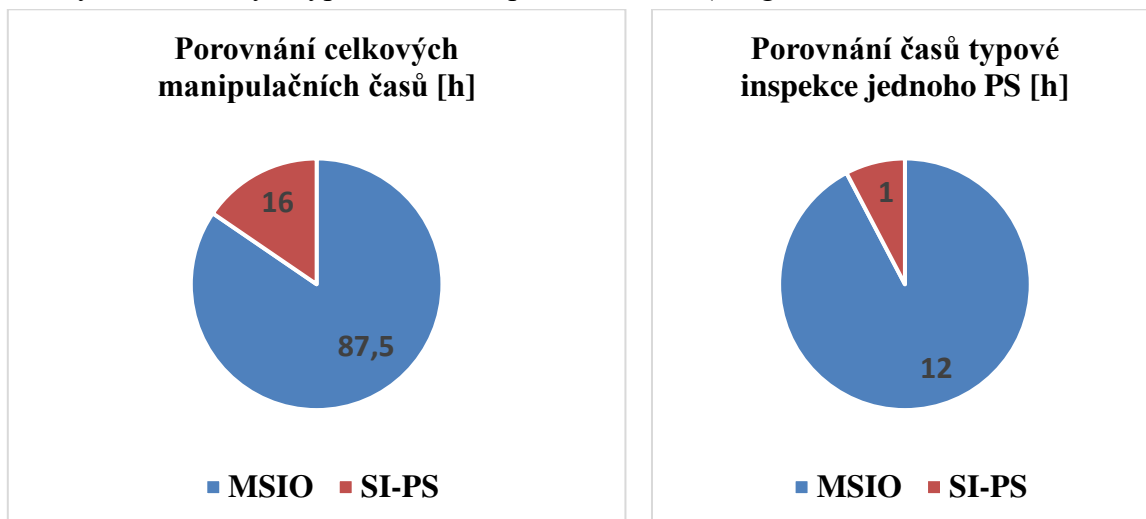
**Ukazatel:** zkrácení kritického času odstávky o 30 h/blok v porovnání s MSIO.

**Hodnocení:** Splněno – manipulace byly zkráceny o 71,5 h. Časový průměr [h] manipulací (montáž/demontáž) pro: MSIO = 42,5/45 h (r. 2015-2019) a SI-PS (r. 2021–2022) = 6,5/9,5 h (viz graf na obr. 6). Časy u zařízení SI-PS lze dále optimalizovat v dalších odstávkách.

#### CÍL č.2: Provedení inspekci pro všechny typy ozářeného JP.

**Ukazatel:** Lze provádět vizuální kontroly v rozsahu: kontrola PS, kontrola viditelných periferních PP. Lze provádět rozměrové kontroly v rozsahu: průhyb, zkrut, délka PS

**Hodnocení:** Splněno – všechny ukazatelé jsou naplněny. Potvrzena reálná přesnost do 0,4 mm s odchylkou při opakování do 0,1 mm. Navíc časové nároky na inspekci jednoho PS byly díky SI-PS výrazně sníženy a typová kontrola probíhá do 1 h (viz graf na obr. 6).



Obr. 6: Porovnání časů manipulací a časů inspekci – stendy SI-PS a MSIO

#### CÍL č.3: Rozšířená inspekce.

**Ukazatel:** Stend umožňuje: možnost dalšího modulárního rozšíření.

**Hodnocení:** Splněno – koncepce SI-PS umožňuje umístění dalších čidel na inspekční sloup (IS), respektive náhradu celého IS s rozšířenou funkcí bez dopadu do základního projektového řešení systému SI-PS a navazující technologie ETE.

Možnosti dalšího rozšíření funkcí SI-PS na základě požadavku ČEZ a.s. byly zpracovány ve formě úvodní studie, která hodnotí možnost dalšího rozšíření rozsahu vizuálních kontrol o povrch anti-debris filtru (ADF) a rozšíření měření geometrie PS i v opřeném stavu.

Dále se připravuje rozšíření studie o dovybavení zařízením na vyjímání cizích předmětů z PS a provádění kontroly oxidační vrstvy palivových proutků.

#### CÍL č.4: Eliminace dopadů inspekčních činností.

**Ukazatel:** Omezení dopadu přípravy inspekčních činností do HMG odstávky bloku (max. 12 h transportních činností). Možnost nezávislého provozu ZS v částech bazénů B01, B03, B04.

**Hodnocení:** Splněno – transportní manipulace SI-PS s nárokem na PMJ byly výrazně zkráceny a jejich vliv je zahrnut v grafech na obr. 6. Současně jsou sníženy strojní časy ZS pro prvních 50 ks PS a další množiny (29 ks) vyměnitelných PS, kde platí zvýšená rychlost ZS v BSV (90 mm/s) oproti rychlosti povolené do MSIO ( $\leq 10$  mm/s).

Během odstávek obou bloků JE Temelín v letech 2021 a 2022 byly úspěšně vyzkoušeny a prověřeny veškeré funkce SI-PS, včetně souběžné činnosti se ZS. Během těchto zkoušek bylo zařízení důkladně prověřeno ve všech provozních stavech a limitech. Při prvním nasazení v roce 2021 byly zjištěny i některé technické problémy, které lze u takto sofistikovaného prototypového zařízení předpokládat. Za zmínku stojí přerušení automatického chodu zařízení při navádění záchytu PS na některé z hlavic PS pouze na HVB2, kdy bezpečnostní systém SI-PS vždy správně zareagoval a preventivně zastavil pohyb záchytu stendu při vyšším odlehčení lana, než je projektem stanoveno. Následně provedenou analýzou jak na 3D modelu dílů, tak na fyzické maketě hlavice PS a záchytu SI-PS, byla jako příčina tohoto chování určena hrana naváděcího pera hlavice PS, která se u některých typů PS při krajních tolerancích vzájemné polohy obou dílů nevhodně opírala do naváděcí plochy záchytu PS. Konstrukční úprava byla navržena tak, že se do záchytu PS instalovaly dodatečné naváděcí vložky, které zmiňovaný kontakt dílů svojí geometrií vyloučily a současně byl zvolen vhodnější materiál vložek pro lepší tribo-technické vlastnosti. Upravené řešení bylo následně znovu odzkoušeno na maketě PS a správnost tohoto řešení byla prokázána úspěšným navedením na všechny hlavice PS v automatickém režimu během inspekce PS v roce 2022. Podobným postupem a kombinací analýzy a zkoušek byly úspěšně odstraněny veškeré drobné nálezy zaznamenané z prvního nasazení stendu inspekce tak, aby zařízení mohlo být úspěšně předáno svému provozovateli, JE Temelín po inspekci v roce 2022.

### Závěr

Závěrem lze konstatovat, že zařízení SI-PS při opakovaných nasazení v podmínkách výrobních bloků elektrárny Temelín potvrdilo všechny stanovené cíle požadované jeho provozovatelem v investičním záměru. Za zdůraznění stojí především nesporné výhody oproti předchozímu inspekčnímu zařízení MSIO, které představují výrazně vyšší počet zkontrolovaných PS ve výrazně kratším čase během odstávky bloku, výrazné zkrácení časů na kritické cestě odstávky bloku, vysoká kvalita, přesnost a opakovatelnost získaných výsledků z kontrol PS, či značné zlepšení a ulehčení práce během manipulací a montáží pro obsluhu s příznivým vlivem na snížení kolektivních dávek a zlepšení podmínek bezpečnosti práce.

Potenciál stávajícího řešení stendu inspekce lze navíc dále rozšiřovat díky modulární koncepci jeho konstrukce a tím lze do budoucna zajistit další rozšíření prováděných kontrol PS. Tento aspekt je v dnešní době velmi důležitý, protože mnohem častěji dochází jak ke změnám designu použitých PS, tak i ke změnám jejich dodavatelů. Stend inspekce tak provozovateli bloku umožní provést inspekce v daleko větším počtu kontrolovaných palivových souborů, bez zásadního vlivu na délku odstávky bloku, což je při uvedených změnách typů PS zcela zásadní benefit pro provozovatele elektrárny.

Nový stend inspekce palivových souborů SI-PS tak představuje špičkové technické zařízení umožňující získání cenných dat o stavu provozovaných PS po jednotlivých provozních kampaňích v reaktoru. Tyto informace ve vazbě na častější mix provozovaných typů palivových souborů od různých dodavatelů tvoří důležitou část do celkového hodnocení bezpečnosti provozu bloku jaderné elektrárny.