

# SEIZMICKÝ KONCEPT JE MOCHOVCE 1,2 A ŘEŠENÍ SEIZMICKÉHO PŘEHODNOCENÍ VYBRANÝCH KOMPONENT

## SEISMIC CONCEPT OF NUCLEAR POWER PLANT MOCHOVCE 1,2 AND SEISMIC RE-EVALUATION OF SELECTED COMPONENTS

Václav Novotný

ŠKODA JS a.s.

### Abstrakt

Projekt řeší seizmické přehodnocení vybraných velkých komponent JE Mochovce 1,2, které probíhá na základě požadavku MAAE. Hlavním požadavkem je zvýšení seizmické odolnosti vybraných komponent z úrovně  $PGA = 0,1g$  na novou úroveň  $PGA = 0,15g$ . Mezi tyto hlavní vybrané velké komponenty patří tlakovodní reaktor VVER 440, hlavní cirkulační čerpadla, kompenzátor objemu, parogenerátory a hlavní pojistné ventily. V rozsahu hodnocených komponent jsou dále hlavní bezpečnostní systémy primárního okruhu, které plní svoji funkci při odstavování bloku pro dochlazování hermetické zóny či v případě těžké havárie. Mezi tyto komponenty patří havarijní čerpadla, ventilátory, chladiče a nádrže.

### Abstract

The project addresses the seismic re-evaluation of selected large components of the NPP Mochovce 1,2, which is taking place on the basis of the IAEA requirement. The main requirement is to increase the seismic endurance of selected components from the level of  $PGA = 0.1g$  to a new level of the  $PGA = 0.15g$ . These main selected large components include the pressurized water reactor VVER 440, main circulation pumps, pressurizer, steam generator and main safety valves. The range of evaluated components also includes the main safety systems of the primary circuit, which fulfil their function when shutting down the block for cooling the hermetic zone or in the event of a severe accident. These components include emergency pumps, fans, coolers and tanks.

### Úvod

Provedení hodnocení seizmické odolnosti JE Mochovce 1,2 odpovídá metodickému návodu IAEA SSS No. NS-G-2.13 [2]. Komponenty jsou hodnoceny metodou hraniční seizmické odolnosti pro jaderné elektrárny (SMA – Seismic margin assessment), což je přístup deterministický. Pro metodu hraniční seizmické odolnosti je rozhodujícím kritériem seizmická odolnost zařízení definovaná parametrem HCLPF (High confidence low probability of failure). Odolnost zařízení vyjádřená jako HCLPF je odezva takového špičkového zrychlení v úrovni terénu, který může způsobit poruchu zařízení, která může nastat pouze v 5 % případů při 95 % jistotě, že k takovému případu opravdu dojde – vysoká spolehlivost při nízké pravděpodobnosti selhání. Parametry četnosti vzniku takové odezvy vyvolané zemětřesením je vyjádřena charakteristickými veličinami návratových period, tzv. referenčního zemětřesení (RLE).

V rámci nulté etapy projektu byly vytipovány pomocí deterministické metody komponenty, které byly z hlediska zvýšené seizmické odolnosti nevyhovující. První etapa se týkala komponent primárního okruhu a havarijních systémů, které jsou zcela nezbytné pro funkčnost elektrárny a dochlazování hermetické zóny v případě těžké havárie. Každá komponenta byla hodnocena separátně na základě posouzení skutečného stavu, existující průkazné a kvalifikační dokumentace. Na základě seizmických pochůzek a shromážděné dokumentace následovaly výpočtové analýzy, které buď dodatečně prokázaly, že seizmická odolnost zařízení je pro zvýšené požadavky dostatečná, nebo byla navržena úprava zařízení před z odolněním a následné z odol-

nění vybraných komponent. V rámci navazující druhé etapy je tvořena nová průkazná dokumentace, která zahrnuje skutečný stav komponent s uvažováním celých navazujících potrubních systémů, provozních režimů a havarijních scénářů bloků elektrárny.

### **Přístup hodnocení CDFM (Conservative Deterministic Failure Margin)**

Základem pro použití metody CDFM je předpoklad, že veškeré stavební konstrukce a technologická zařízení byly řádně navrženy na neseizmická zatížení a podmínky provozu. Pro určování deterministické seizmické bezpečnosti (CDFM) jsou aplikovány dva přístupy. První přístup pro tzv. pasivní zařízení vychází z požadavků EPRI 6041 [3]. U těchto komponent je požadován průkaz strukturální integrity a/nebo tlaková těsnost, stabilita poloh. Druhý přístup je omezen pro zařízení, u kterých se požaduje aktivní funkční způsobilost a splnění funkčních kritérií. Ověření konstrukčních vlastností zařízení, které zajišťují výkon určené bezpečností funkce zařízení při/nebo po odeznění postulovaného zemětřesení, se při výpočtovém hodnocení funkční způsobilosti provádí metodou limitních deformací. Je zapotřebí zachování zvýšeného konzervatismu zohledňujícího podmínky průkazu funkční způsobilosti.

Pro každou skupinu zařízení byl zvolen specifický přístup hodnocení. Pro dokumentaci průkazu zachování seizmické funkce pasivní komponenty postačuje výpočet statické, dynamické pevnosti a jsou vyhodnoceny dosažená napětí s dovolenými hodnotami dle kódu ASME, NTD A.S.I. [5].

Seizmická funkce aktivní strojně-technologických komponent se provádí ve dvou krocích:

- V prvním kroku je prováděno vyhodnocení v požadovaném rozsahu pro doložení způsobilosti pasivní komponenty (například těsnost, limitní únosnost apod.).
- V druhém kroku se provádí analýza možných poruch zabraňující výkon aktivní funkce metodami deformační analýzy, kdy limity jsou voleny podle možnosti maximálních deformací, které ještě nezabraňují pohybům strojních částí zprostředkovávající požadované funkce.

Součástí vybraných komponent jsou také elektropohony. Tyto elektropohony jsou v některých vybraných případech integrální součástí hodnoceného zařízení, tedy jsou výpočtově hodnoceny jako celek společně se zařízením. V případě, že elektrické motory jsou separátní částí dotčeného zařízení, jsou posuzovány zvlášť. Elektrické pohony jsou zařazeny v nejvyšší seizmické kategorii 1a a tedy je nutné prokázat také jejich aktivní funkčnost v průběhu seizmické události i po ní.

Aktivní funkčnost zařízení je možné prokázat na základě výpočtů či na základě zkoušky dle standardů (IEC 980:1989 [6] a IEEE Std 344\_2013 [1]). Během zkoušky se způsobilost zařízení prokazuje v rámci simulace zemětřesením na seizmickém standu, kde probíhají kontrolní měření základních a předepsaných indikátorů funkčnosti (měření napětí, momentových charakteristik, výkonu, dynamika rozběhu). Následuje funkční přezkoušení v rozsahu typových zkoušek, které jsou vždy specifické pro daný typ zkoušeného zařízení. Existuje možnost seizmickou funkční způsobilost zařízení prokázat na základě zkušeností z minulých zemětřesení nebo seizmických zkoušek na obdobných zařízeních z jiných jaderných elektráren.

#### **Aplikace pevnostních norem pro určení hraniční seizmické odolnosti**

Pro způsob vyhodnocení HCLPF je důležité určení stavu porušení technologického zařízení. Stav porušení jsou děleny do tří tříd:

- Pružná selhání – napjatost je obvykle pod mezí pružnosti, a přesto dochází k porušení (ztráta stability). Do této kategorie se může řadit pružné vyboulení stěn nádrží.
- Náhlá křehká porušení – plastická deformace se nemůže dostatečně rozvinout, tedy energie ze zemětřesení se nemůže absorbovat za mezí pružnosti. Do této kategorie lze řadit náhlá porušení kotevních šroubů vytržením z betonu.

- Duktilitní porušení – v plastické oblasti. Energie ze zemětřesení je absorbována za meze pružnosti.

Mezní materiálová namáhání musí být v rámci metody CDFM zvolena s dostatečným konzervatismem, avšak reálně, aby vyjadřovala mezní namáhání materiálů před porušením. V tomto projektu na EMO1,2 bylo použito v rámci CDFM metody materiálové namáhání dle norem pro navrhování, jedná-li se o komponenty, které spadají pod ASME BPVC Section III [4], tedy komponenty řazené do bezpečností kategorie 1, 2, 3. Druhou aplikací byl použit kód NTD A.S.I. Sekce III [5], který má limity pro kombinace zatížení se zemětřesením definovány pro všechny typy částí konstrukce jednotně. Návrhová kritéria dle [4], [5] jsou použitelná hlavně pro duktilitní materiály, u nichž plastická deformace dosahuje alespoň 15 % před porušením.

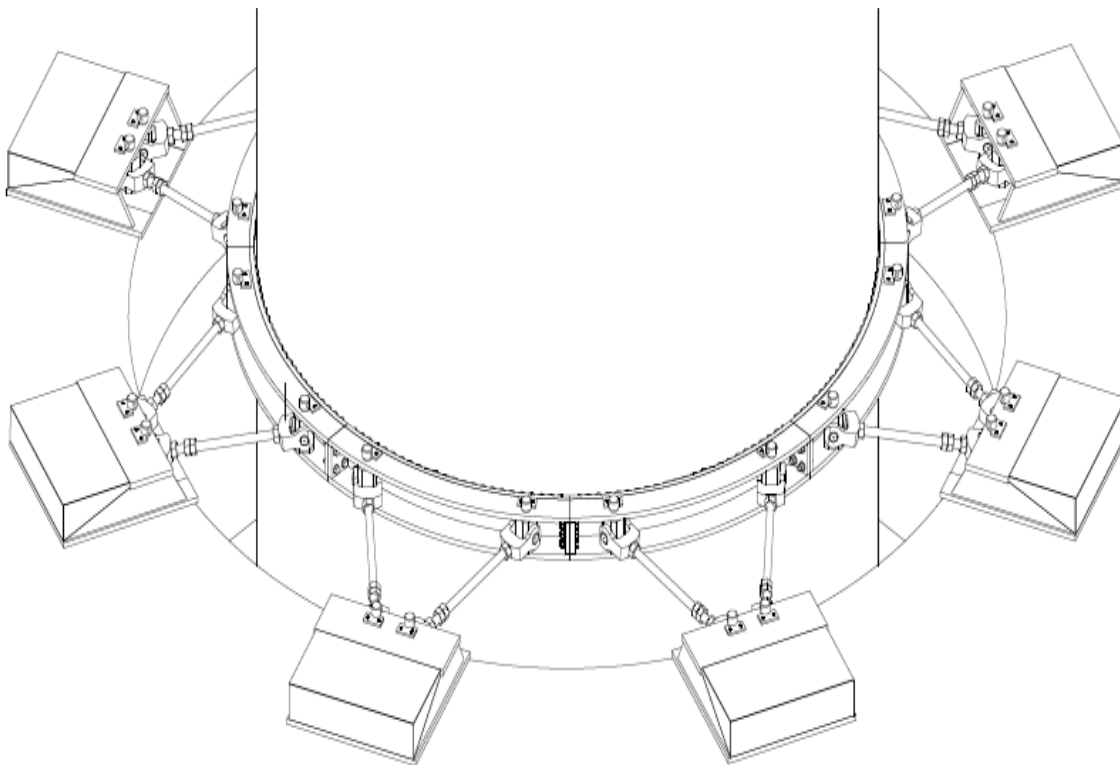
V dalších dvou kapitolách jsou popsány dva vybrané přístupy ke konkrétním komponentám zařazeným do seizmické kategorie 1a, 1b, kde je vyžadována seizmická odolnost ve smyslu zachování plné funkční způsobilosti až do úrovně maximálního RLE zemětřesení.

### **Zodolnění kompenzátoru objemu**

Kompenzátor objemu je vertikální nádoba zařazená do seizmické kategorie 1b. Jejím úkolem je kompenzace změn objemu média primárního okruhu jaderné elektrárny a udržování pracovního tlaku pomocí parního polštáře. Těleso kompenzátoru objemu je kotveno na dvou místech – sloupy ve spodní části KO (+10,5 m) a původní uložení pomocí viskózních antiseizmických tlumičů, které mají relativně nízkou ekvivalentní tuhost. Na základě požadavku bylo deterministicky zjištěno, že stávající kotvení KO na výškové úrovni +18,9 m není seizmicky vyhovující – seizmické posuvy při  $PGA=0,15g$  na úrovni tlumičů je příliš veliké a spodní sloupky jsou tak silně přetížené. Z tohoto důvodu bylo navrženo a zkonstruováno nové kotvení v místě původních tlumičů, které nahrazuje to stávající. U nového seizmické zodolnění KO zobrazeného na obr. 1 bylo nutné, aby byla zajištěna volná dilatace KO v celém rozsahu pracovních teplot a také aby nedocházelo ve stěnách KO ke vzniku přídavného namáhání.

Nové zodolnění je řešeno pomocí prstence s pružnou vložkou o definované tuhosti pro kompenzaci tepelné roztažnosti pláště KO. Tento prstenec byl v rámci projektu vyroben a poté namontován na povrch KO. Na obr. 2 je prstenec ve smontovaném stavu při zkušební montáži. Prstenec s pružnou vložkou je spojen s podlahou místnosti na výškové úrovni +18,9 m pomocí seřizovatelných vzpěr, které jsou připevněny ke kotevním patkám zabudovaným k podlaze. Kotevní patky slouží pro přenos zatížení při seizmické události od tělesa KO do stavby. Vodorovná tuhost nového zodolnění KO je o řád vyšší ( $2 \times 10^5$  N/mm) než u stávajícího kotvení. Toto kotvení je předepnuto pro rovnováhu svislého zatížení a třecích sil mezi pružnou vrstvou, vnitřním povrchem prstence a povrchem KO. Je zaručeno, že v případě seizmické události bude zajištěna funkčnost KO při seizmické události i po dobu 72 hodin po odeznění zemětřesení.

V rámci umožnění montáže zodolnění bylo zapotřebí upravit trasování mnoha impulzních linií, zařazených do bezpečnostní kategorie BT II. Impulzní potrubí slouží k měření tlaků a výšky hladin v barbotážní nádrži, kompenzátoru objemu či reaktoru a je tedy na plných parametrech I.O.



Obr. 1: Seizmické z odolnění kompenzátoru objemu

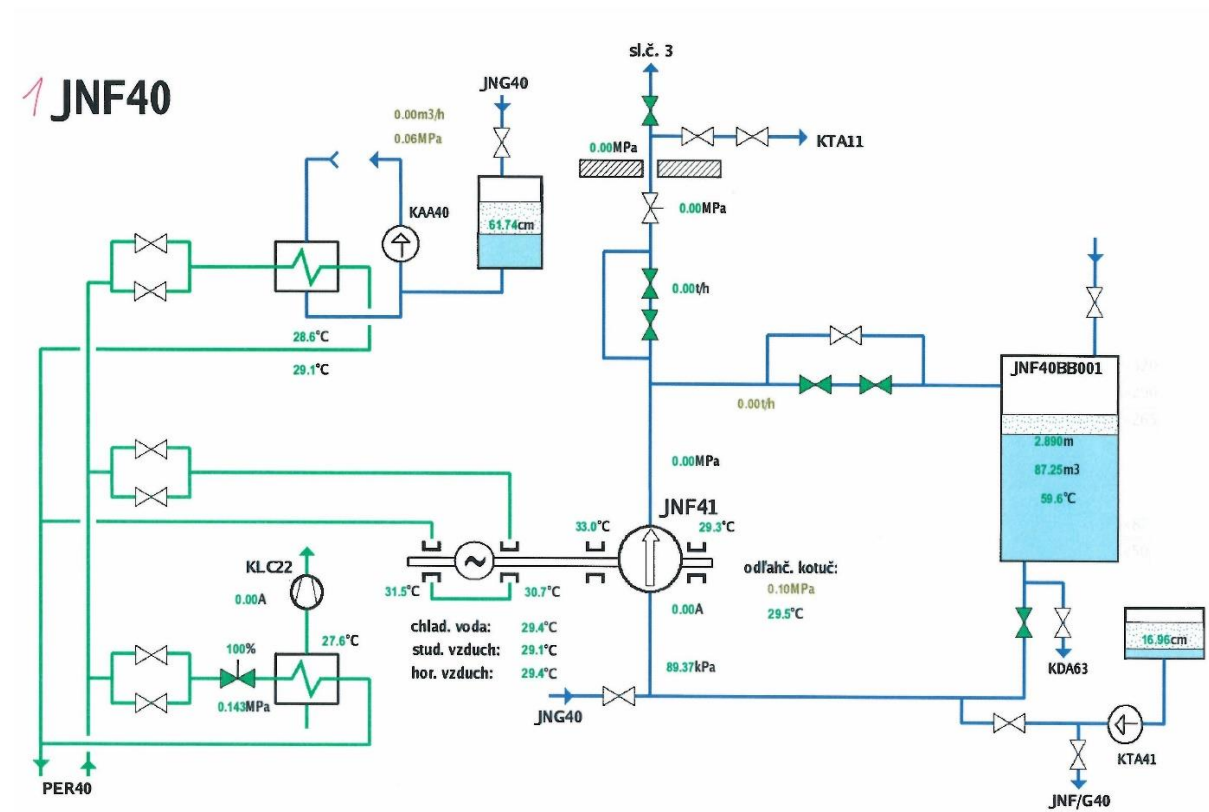


Obr. 2: Kontrolní montáž z odolnění kompenzátoru objemu

### **Kvalifikace vysokotlakého havarijního čerpadla**

Vysokotlaké čerpadlo je součástí vysokotlakého havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru. Jedná se odstředivé, člankové dvanáctistupňové čerpadlo horizontální konstrukce v nejvyšší seismické kategorii 1a. Parametry čerpadla jsou 65 m<sup>3</sup>/h při výtlaku 12,6 MPa a čerpadlo je

poháněno elektromotorem o výkonu 500 kW. V rámci zvýšení seizmické odolnosti na  $PGA=0,15g$  bylo zapotřebí nových kontrolních, pevnostních výpočtů, včetně ověření životnosti s použitím NTD A.S.I. sekce III [5]. Vstupem pro novou kvalifikaci čerpadla bylo ověření skutečného stavu aparátu a zjištění silových účinků od připojených potrubních tras, včetně materiálového složení. Vzhledem k zařazení čerpadla do seizmické kategorie 1a a určení provozuschopnosti i po seizmické události musely být pevnostně ověřeny i vnitřní rotorové části. Do výpočtů byla promítnuta skutečná provozní měření dle různých provozních režimů elektrárny. Na obr. 3 je vybrané schéma měření. Ze schématu je patrné, že v rámci provozu jsou kontinuálně kontrolovány např. teploty ložisek, či teplota chladicí vody.



Obr. 3: Provozní měření havarijního čerpadla – režim 6

## Závěr

Metodika pro přístup přehodnocení vybraných komponent zahrnuje přístupy k řešení průkazu a hraniční seizmické odolnosti. Pomocí vzniklé metodiky založené na přehodnocení hraniční seizmické odolnosti vybraných komponent jaderné elektrárny Mochovce 1,2 a po uskutečnění realizačních nápravných opatření bude zajištěna seizmická odolnost zařízení v horizontálním směru  $PGA_H = 0,15g$ . Tedy bude splněna podmínka MAAE pro provozování obou bloků v dalších letech po roku 2022. Dalšími přínosy v rámci tvorby nové průkazné dokumentace za účelem prokázání vyšší seizmické odolnosti je také tvorba realizačních projektů v rámci, kterých je elektrárna modernizována, a to i nad rámec posuzovaných komponent. Neboť realizační projekty zahrnují nejen seizmické z odolnění hodnocených komponent, ale také další potřebné úpravy na okolních zařízeních. Hlavní funkční zařízení obou běžících bloků elektrárny jsou modernizována a je zaručena vyšší seizmická odolnost – a tím i vyšší bezpečnost.

## Literatura

- [1] IEEE (2013): *IEEE Standard for Seismic Qualification of Equipment for Nuclear Power Generating Stations*. Standard Std 344-2013, IEEE [Institute of Electrical and Electronics Engineers], New York.
- [2] IAEA Safety Standards Series (2009): *Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations Safety Guide*. Safety Standard No. NS-G-2.13, IAEA [International Atomic Energy Agency], Vienna.
- [3] EPRI (1991): *A Methodology for Assessment of Nuclear Power Plant Seismic Margin*. Report NP-6041-SL1, Revision 1, EPRI [Electrical Power Research Institute], Palo Alto (CA).
- [4] ASME (1992): *Division 1, Subsections NCA, NC, ND, NF and Appendices*. BPVC Section III, ASME [American Society of Mechanical Engineers], New York.
- [5] NTD A.S.I. (2017): *Normativně technická dokumentace A.S.I. Sekce III – Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER*. NTD A.S.I. Sekce III – 2017, A.S.I. [Asociace strojních inženýrů], Praha, Brno.
- [6] IEC (1989): *Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations*. IEC 980:1989, First edition, IEC [International Electrotechnical Commission], Geneva.