



**FAKULTA  
ELEKTROTECHNICKÁ**  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERZITY  
V PLZNI

2013

**Pracoviště:** Regionální inovační centrum elektrotechniky  
**Výzkumná zpráva č.:** 22190-039-2013

# SEISMICKÁ ODOLNOST ELEKTROMECHANICKÝCH ZAŘÍZENÍ

**Druh úkolu:** rešeršní výzkumná zpráva  
**Řešitelé:** Ing. Miroslav Byrtus, Ph.D.  
prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
Ing. Jaroslav Sadecký  
**Vedoucí úkolu:** prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
**Počet stran:** 20  
**Datum:** listopad 2013  
**Revize:** 0

Tento dokument vznikl s finanční podporou TAČR v rámci projektu  
č. TE01020455

## Anotace

Tato výzkumná zpráva vznikla na základě rešerše dostupných zdrojů pracoviště RICE, ZČU v Plzni. Jejím cílem je základní shrnutí problematiky a jednotlivých aspektů hodnocení seismické odolnosti zejména elektromechanických zařízení, která jsou provozována na jaderných elektrárnách. Zpráva čerpá jak z legislativních požadavků (SÚJB), tak i z normativně technické dokumentace a technických standardů.

Cílem této rešeršní výzkumné zprávy není vytvoření obecné metodiky pro seismickou kvalifikaci zařízení. Tato zpráva je koncipována jako základ pro orientaci v dané problematice, shrnuje základní potřebné zdroje, ke kterým je nutno přihlídnout při procesu seismické kvalifikace zařízení a je možné ji využít jako hrubý návod při seismickém posuzování konkrétního zařízení v součinnosti se zadávací dokumentací, dodanou provozovatelem zařízení, definující konkrétní požadavky a vstupy pro prokázání seismické odolnosti.

## Seznam symbolů a zkratek

CQC	Complete Quadratic Combination
FRS	Floor Response Spectrum (podlažní spektrum odezvy)
GRS	Ground Response Spectrum (spektrum zrychlení v úrovni terénu)
IAEA	International Atomic Energy Agency
INSAG	International Nuclear Safety Group
JE	Jaderná Elektrárna
MVZ	Maximální Výpočtové Zemětřesení
NRC	Nuclear Regulatory Commission
OBE	(Seismic) Operating Basis Earthquake
PGA	Peak Ground Acceleration (hodnota špičkového zrychlení)
RIM	Reguired Input Motion
RRS	Reguired Response Spectrum
SKK	systemy, konstrukce a komponenty
SKŘ	system kontrolly a řízení
SQUG	Siesmic Qualification Utility Group
SRSS	Square Root of Sum of Squares (odmocnina součtu kvadrátů)
SSE	Safe Shutdown Earthquake
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TRS	Test Response Spectrum
ZPA	Zero Period Acceleration (hodnota zrychlení odpovídající nulové periodě)

## Obsah

1 Úvod . . . . .	4
2 Kvalifikace zařízení jaderných elektráren . . . . .	5
2.1 Seismická kvalifikace – normativně technická dokumentace . . . . .	5
2.2 Metody seismické kvalifikace zařízení jaderných elektráren . . . . .	7
2.2.1 Predikce chování zařízení pomocí analýzy . . . . .	8
2.2.2 Testování zařízení pro simulované seismické zatížení . . . . .	10
2.2.3 Kvalifikace zařízení pomocí kombinace testu a analýzy . . . . .	10
2.2.4 Kvalifikace zařízení využitím nepřímých metod . . . . .	10
2.3 Bezpečnostní třídy vybraných zařízení . . . . .	11
3 Seismické zadání . . . . .	12
4 Závěr . . . . .	15
Literatura . . . . .	16
Historie revizí . . . . .	20

# 1 Úvod

Koncepce seizmické odolnosti doznala výrazného vývoje v posledních 40 letech v souvislosti s výstavbou nových jaderných bloků ve světě a je značně ovlivněna především haváriemi jaderných elektráren, které v tomto časovém úseku nastaly a byly vyvolané buď seizmickou událostí, nebo lidským faktorem. Mezi ně patří především havárie jaderné elektrárny Three Mile Islands (1979, USA, Pensylvánie) a jaderné elektrárny v Černobylu (1986, Rusko, Černobyl).

V širším kontextu je seizmická odolnost součástí bezpečnostních standardů, které jsou definovány Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA, International Atomic Energy Agency) a které musí být dodržovány provozovatelem příslušné jaderné elektrárny [1]. Bezpečnostní standardy se týkají všech činností souvisejících s výstavbou, provozem, údržbou a odstavením jaderných elektráren.

## 2 Kvalifikace zařízení jaderných elektráren

Kvalifikace zařízení je proces vytváření a udržování dokladů prokazujících, že zařízení bude pracovat podle potřeby tak, aby splňovalo funkční požadavky systému během normálních a abnormálních provozních podmínek a definovaných projektových nehod.

Kvalifikace zařízení důležitých pro bezpečnost je jednou z metod k zajištění:

- funkční způsobilosti bezpečnostních systémů zajišťujících řízení abnormálního provozu a projektových nehod,
- odolnost vůči ztrátě bezpečnostní funkce těchto zařízení následkem poruch od společné příčiny.

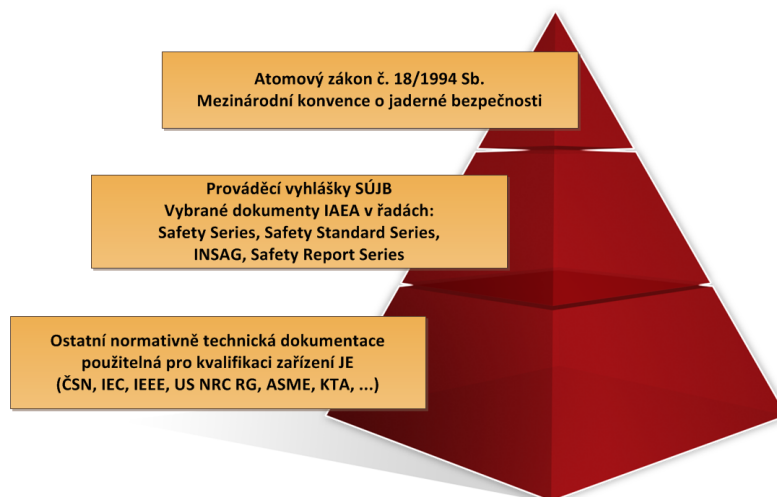
Cílem kvalifikace je demonstrovat s vysokým stupněm jistoty, že zařízení důležitá pro bezpečnost, pro něž byla stanovena kvalifikovaná životnost, budou schopna vykonávat své bezpečnostní funkce bez výskytu poruch společné příčiny a to jak v normálních a abnormálních provozních podmínkách, tak během a po projektových nehodách.

Základní oblasti kvalifikace zařízení jaderných elektráren, z pohledu [1]:

- (jaderné) bezpečnosti,
- seismické odolnosti,
- odolnosti na podmínky okolního prostředí,
- požadavků na elektrické napájení,
- plnění funkcí SKŘ,
- pohotovosti systému k plnění jeho funkce.

### 2.1 Seismická kvalifikace – normativně technická dokumentace

Seismická kvalifikace jaderně energetických zařízení je jako proces definována na několika úrovních. Na Obr. 1 je schématicky ukázána hierarchie právních předpisů a normativně technické dokumentace, které definují a upravují kvalifikaci zařízení JE. Při kvalifikaci zařízení v České republice vycházíme z Atomového zákona č. 18/1994 Sb. a Mezinárodní konvence o jaderné bezpečnosti. Obsah těchto dokumentů je pak dále specifikována a konkretizována prováděcími vyhláškami SÚJB a dokumenty IAEA. Pro konkrétní vyhodnocení mechanických a elektrických veličin v rámci kvalifikace zařízení je využita odpovídající normativně technická dokumentace na státní úrovni.



Obr. 1: Základní hierarchie právních předpisů a normativně technické dokumentace pro kvalifikaci zařízení JE

V dalším uvedeme přehled základních dokumentů týkající se (seismické) kvalifikace zařízení pro JE.

### **Dokumenty IAEA**

IAEA (International Atomic Energy Agency) - Mezinárodní agentura pro atomovou energii vydává dokumenty definující požadavky a návody pro zajištění jaderné bezpečnosti v souvislosti s provozem jaderných elektráren. Tyto dokumenty jsou vydávány ve třech řadách

- Safety Fundamentals – obsahují základní cíle, koncepty a principy bezpečnosti a ochrany v rámci mírového využití jaderné energie.
- Safety Requirements – ustanovují požadavky, které musejí být dodrženy pro zajištění bezpečnosti. Tyto požadavky jsou založeny na cílech a principech definovaných v *Safety Fundamentals*.
- Safety Guides – doporučují činnosti a podmínky, za nichž jsou zajištěny bezpečnostní požadavky.

Mezi základní dokumenty uvedených řad, které se týkají seizmické odolnosti zařízení JE patří např. [2, 3].

Tyto dokumenty mohou být využity členskými státy IAEA dle jejich vlastního uvážení především pro tvorbu národních bezpečnostních pravidel a požadavků na jadernou bezpečnost.

### ***Dokumenty IEEE***

Standardy IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) obsahují mimo jiné i doporučení týkající se požadavků na seismickou kvalifikaci elektrických zařízení, např. [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

### ***Dokumenty ASME***

Standardy ASME (American Society of Mechanical Engineers) pokrývají celou škálu inženýrských aplikací. Z pohledu seismické kvalifikace zařízení JE je nejpoužívanějším standardem *Boiler and Pressure Vessel Code*, který byl poprvé publikován v roce 1914. Tyto standardy obsahují především požadavky a limity na mechanické veličiny vyhodnocované v průběhu kvalifikace. Lze je tedy využít pro stanovení tzv. akceptačních kritérií pro sledované veličiny, které se získají výpočtem nebo měřením v procesu kvalifikace.

### ***Dokumenty SÚJB***

Státní úřad pro jadernou bezpečnost na základě mezinárodních standardů a požadavků definuje národní standardy a požadavky na jadernou bezpečnost formou vyhlášek (s platností zákonů). Z těchto požadavků pak vyplývají konkrétní realizační požadavky vztahující se na provozovatele JE [11, 12, 13, 1].

### ***Dokumenty ČSN***

Z českých technických norem vydávaných Českým normalizačním institutem lze pro seismickou kvalifikaci elektromechanických zařízení JE využít

- normy přímo související se seismickou kvalifikací elektrických zařízení JE, např. [14, 15, 16, 17, 18],
- normy související s požadavky na konstrukce (ocelové, betonové, atd.), které se v JE používají (stavby, ocelové konstrukce, ale i např. mechanické konstrukce skříní elektrických zařízení [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31].

## ***2.2 Metody seismické kvalifikace zařízení jaderných elektráren***

V [2, 4] lze nalézt doporučené postupy pro seismickou kvalifikaci zařízení třídy 1E, která obsahuje elektrická zařízení a systémy potřebné pro odstavení reaktoru a jeho následné dochlazení



nebo dále jsou potřebné pro zamezení úniku radioaktivního materiálu do okolí. Seismická kvalifikace zařízení má prokázat jeho bezpečnou funkci během a/nebo po seismické události. Postup seismické kvalifikace zařízení od procesu výběru vhodné metody až po vydání kvalifikační dokumentace je uveden na Obr. 2.

Metody kvalifikace jsou rozčleněny do následujících čtyř kategorií:

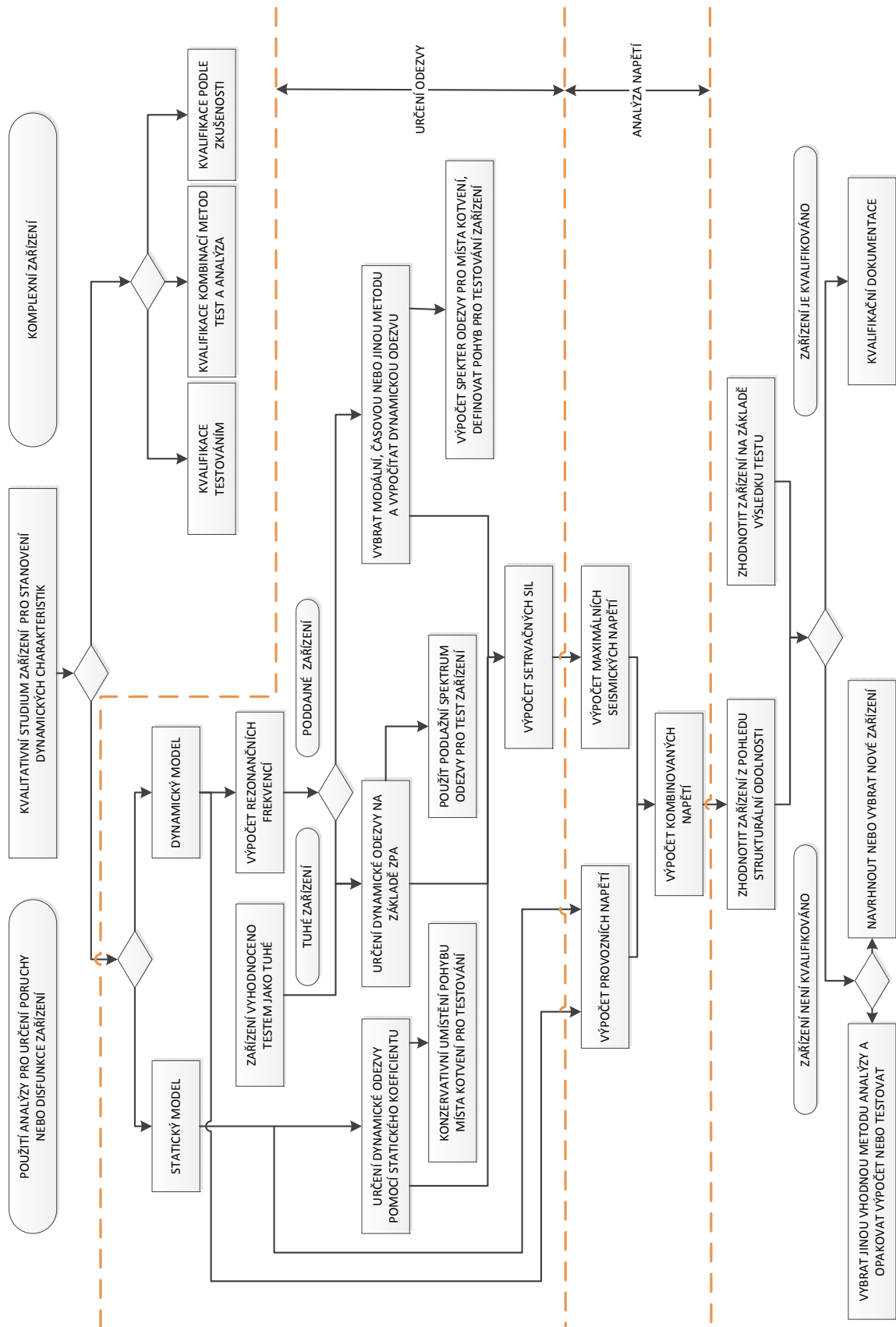
1. predikce chování zařízení pomocí analýzy,
2. testování zařízení pro simulované seismické zatížení,
3. kvalifikace zařízení pomocí kombinace testu a analýzy,
4. kvalifikace zařízení využitím nepřímých metod.

Uvedené metody jsou používány k prověření, zda kvalifikované zařízení splňuje seismické kvalifikační požadavky. Metoda by měla být volena s ohledem na typ, velikost, tvar a konfiguraci zařízení a dále podle toho, do jaké bezpečnostní třídy zařízení patří (viz 2.3).

### **2.2.1 Predikce chování zařízení pomocí analýzy**

Použití analýzy není doporučeno pro komplexní zařízení, u nichž nelze simulovat odpovídající odezvu. Samotnou analýzu lze využít v případě, kdy strukturální integrita zajišťuje požadované funkce. Obecně jsou používány následující přístupy:

- Statická analýza – v případech, kdy lze kvalifikované zařízení vyhodnotit jako tuhé (vlastní frekvence zařízení jsou vyšší než 33 Hz) nebo kdy rozhodujícím prvkem struktury je kotvení, je možné použít metodu ekvivalentní statické analýzy. Tato metoda spočívá v nahrazení struktury tuhým tělesem, které má veškeré hmotnostní parametry soustředěné v těžišti, v němž působí vnější (seismické) síly.
- Analýza statického koeficientu – lze použít v případech, kdy v několik důležitých vlastních tvarů kmitání zařízení leží pod hranicí 33 Hz. Využívá se faktor 1,5 násobku špičkového zrychlení z RRS pro každou souřadnicovou osu (jedna vertikální a dvě horizontální) pro výpočet napětí a kotevních sil. Faktor velikosti 1,5 zahrnuje vliv významných vlastních módů.
- Metoda spektra odezvy – v případě, kdy jde o zařízení se složitější strukturou a vlastními frekvencemi nižšími než 33 Hz, je nutné použít detailní konečno-prvkový model zařízení. Pro výpočet zatížení a napětí jsou pak použity kombinační pravidla (SRSS, CQC, ...) [8].



Obr. 2: Kvalifikační schéma elektromechanických zařízení z pohledu seismické odolnosti [4]

- Metoda přímé numerické integrace – univerzální ale zároveň z pohledu potřebného výpočetního času nejnáročnější metoda. Je požadované přesné zadání časové historie buzení. Tato metoda je použitelná i pro nelineární modely na rozdíl od metod předchozích.

### **2.2.2 Testování zařízení pro simulované seismické zatížení**

Vibrační zkoušky je nutné provádět u zařízení (např. elektrická relé), u nichž nelze výpočtem prokázat požadovanou funkčnost především během seismické události. Vibrační zkoušení elektrických zařízení je normativně definováno např. v [14, 17, 18] nebo [8].

### **2.2.3 Kvalifikace zařízení pomocí kombinace testu a analýzy**

Tento přístup lze použít v případě komplexních elektromechanických zařízení, u nichž o seismické odolnosti rozhodují jak mechanická konstrukce, tak i elektronická zařízení upevněná na mechanické konstrukci.

Využití kombinace testu a analýzy spočívá v tom, že je provedeno analyticky (numericky) ověření seismické odolnosti mechanické konstrukce a spolu s tím jsou určena spektra odezvy konstrukce v místech uchycení elektrických zařízení. Tato spektra jsou pak použita jako vstup pro vibrační zkoušku daného elektrického zařízení, jehož seismická odolnost je zjišťována vibračním testem.

### **2.2.4 Kvalifikace zařízení využitím nepřímých metod**

Tyto metody jsou uplatnitelné především v případech, kdy se jedná o celkové přehodnocení seismické odolnosti JE z důvodu garance prodloužení její životnosti. Jde tedy o přehodnocení již instalovaných zařízení, nasazených v provozu. V tomto případě nelze většinou použít postupy, které se využívají pro seismickou kvalifikaci nových zařízení [32].

Neexistuje žádná mezinárodní dohoda, která by definovala postup pro seismickou kvalifikaci distribučních systémů<sup>1</sup>. Společným jmenovatelem těchto metod je jejich vysoká závislost na inženýrském posouzení, které nemůže být mnohdy jednoduše revidováno dozorujícím orgánem. Obecně existuje několik metodik pro přehodnocení zařízení s využitím zkušenostní databáze (metodika navržená ve Spojených Státech, přístup definovaný IAEA, národní metodiky).

I přes rozdíly v přístupech k přehodnocení na národních úrovních existuje obecný konsensus pro referenční metodiku, která je aplikovatelná pro seismickou kvalifikaci zařízení na základě podobnosti. Metodika je založena na třech krocích:

<sup>1</sup>Potrubí, kabelové svazky, distribuční kanály, trubky, hadice a jejich podpory.

- inspekce, kdy je kvalifikace založena na přímém hodnocení zařízení pomocí zjednodušených pravidel,
- detailní inspekce, kdy jsou detailně sledovány: funkčnost, kotvení a interakce,
- navržení z odolňujících řešení pro zařízení, která neprošla kvalifikací.

Zařízení jsou rozdělena pro účely kvalifikace do 20 tříd. Každá třída zařízení je hodnocena samostatně a jsou pro ni platné dané požadavky na kvalifikaci. Zároveň tyto třídy slouží ke sdružování zkušenostních dat z pohledu seismické odolnosti zařízení [32, 33].

### **2.3 Bezpečnostní třídy vybraných zařízení**

Dle [1] se vybraná zařízení jaderných elektráren zařazují a rozdělují do bezpečnostních tříd 1, 2 a 3. Kritéria pro zařazení do bezpečnostních tříd jsou stanovena pro čtyři základní skupiny zařízení:

1. jaderná zařízení, jejichž součástí je tlakovodní reaktor,
2. jaderná zařízení pro skladování radioaktivních odpadů,
3. jaderná zařízení pro skladování vyhořelého jaderného paliva,
4. jaderná zařízení pro ukládání radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva a zařízení pro výrobu, zpracování, skladování a ukládání jaderných materiálů.

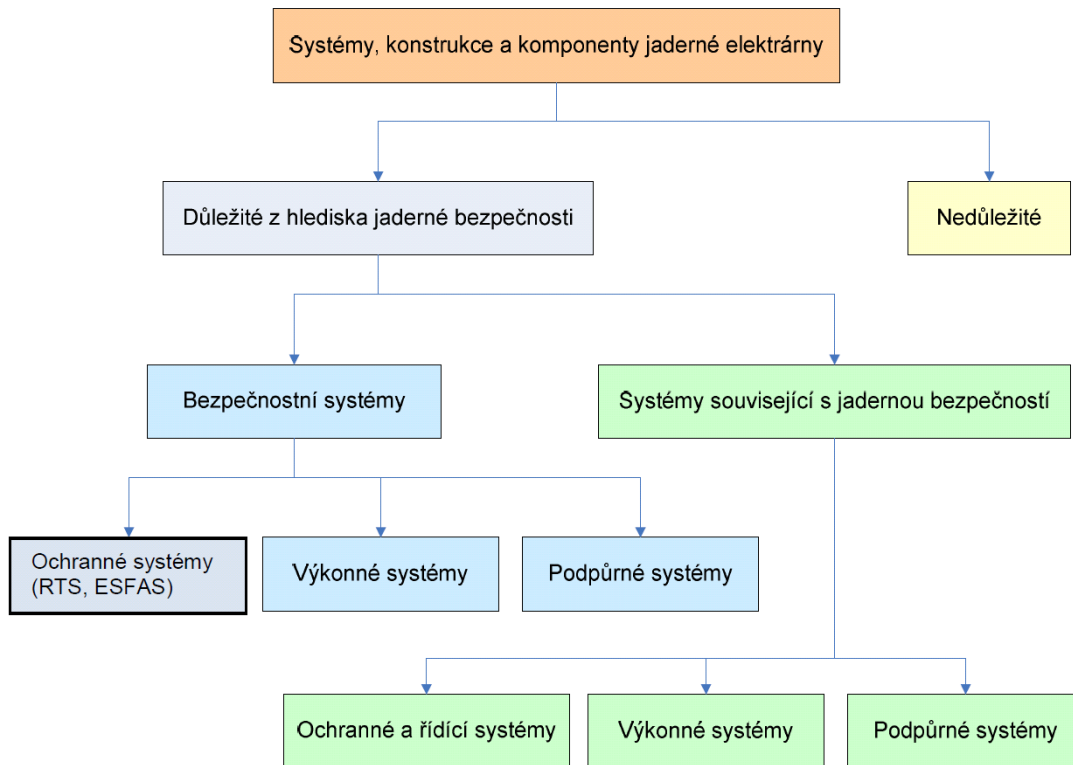
Rozsah a způsob provedení seznamu vybraných zařízení definuje [1].

Rozdělení systémů, konstrukcí a komponent (SKK, zahrnují i software pro systém kontroly a řízení) důležitých z hlediska (jaderné) bezpečnosti do kategorií z pohledu jejich důležitosti pro jadernou bezpečnost je ukázáno na Obr. 3

SKK jsou rozděleny do bezpečnostních tříd podle funkcí, které zajišťují:

1. SKK zajišťující integritu primárního okruhu,
2. SKK bezpečnostních systémů,
3. SKK systémů souvisejících s bezpečností.

Pro hodnocení odolnosti jaderných elektráren vůči zemětřesení jsou určeny stavební konstrukce a technologická zařízení, které jsou nutné pro plnění základních bezpečnostních funkcí při zemětřesení, jakož i konstrukce a zařízení, jejichž porušení či selhání při zemětřesení by mohlo sekundárně ohrozit jiné konstrukce a zařízení v jejich okolí důležité pro jadernou bezpečnost. Pro přesnější vymezení vlivu seismicity je pro technologické systémy a zařízení tato 1. kategorie seismické odolnosti členěna na podkategorie [3]:



Obr. 3: Rozdělení SKK důležitých z hlediska (jaderné) bezpečnosti do kategorií z pohledu jejich důležitosti pro jadernou bezpečnost [11]

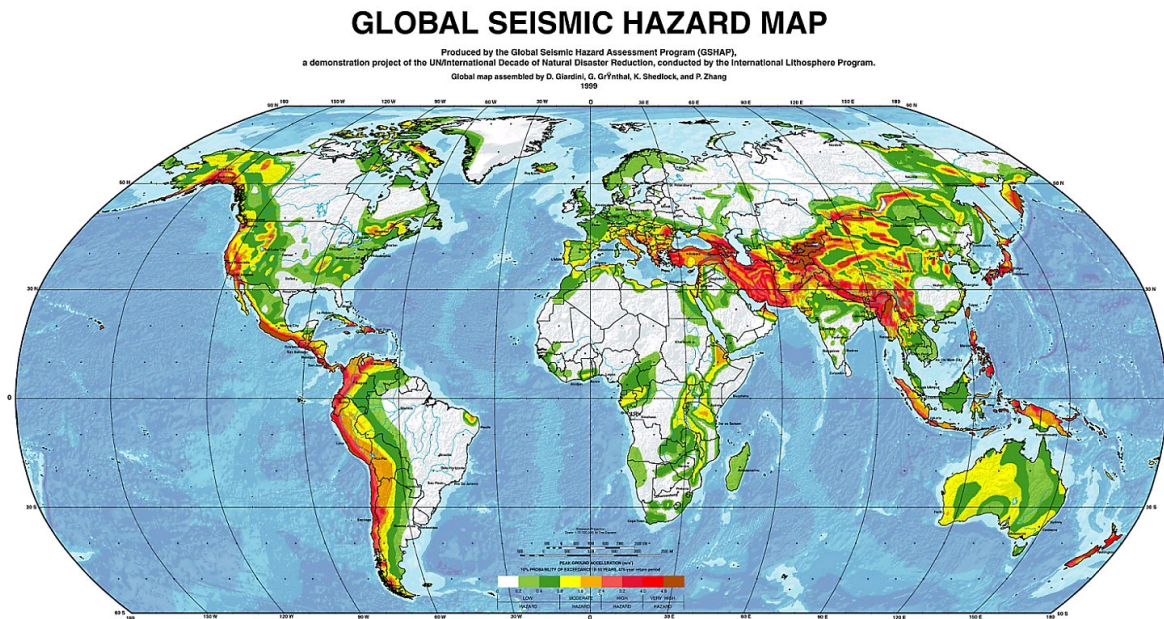
- podkategorie 1a – vyžaduje zachování plné funkční způsobilosti až do úrovně MVZ včetně,
- podkategorie 1b – vyžaduje se pouze zachování mechanické pevnosti a hermetičnosti až do úrovně MVZ včetně,
- podkategorie 1c – vyžaduje se seismická odolnost pouze z hlediska možných seismických interakcí a zejména zachování stability polohy až do úrovně MVZ včetně.

Cílem je zabránit ovlivnění zařízení zařazených do kategorií 1a a 1b. Členění 1. kategorie odpovídá členění v [12].

### 3 Seismické zadání

Základním vstupem pro seismickou kvalifikaci stavby JE a příslušných zařízení je zadání zrychlení v úrovni terénu. Tato veličina je buď vygenerována na základě geologických modelů vytvořených pro příslušné lokality, nebo je stanovena hodnota maximálního zrychlení, která odpovídá dlouhodobým pozorováním - z toho hlediska jsou definovány různé stupně seismického ohrožení

v závislosti na lokalitě (viz Obr. 4<sup>2</sup>).



Obr. 4: Mapa seismického ohrožení

První vyhodnocení velikosti seismického ohrožení lokalit jaderných elektráren v České republice bylo provedeno v roce 1979. Na základě pravděpodobnostního vyhodnocení katalogu historických zemětřesení bylo stanoveno, že s pravděpodobností větší než 90% nebude během projektové životnosti jaderných elektráren (JE) překročen 5,5° MSK-64. Hodnoty seismického ohrožení obou lokalit JE byly následně přehodnoceny v roce 1995 v souvislosti s doporučením IAEA (Safety Issues).

V regionu střední Evropy se nenachází žádné tektonické struktury, které by umožňovaly vznik extrémně silných zemětřesení v lokalitách JE. V souladu s návody IAEA je úroveň seismického ohrožení lokalit dána reálnou hodnotou maximálního výpočtového zemětřesení (MVZ) s dobou výskytu  $1 \times 10\,000$  let (SL2). Reálné hodnoty seismického ohrožení odpovídají  $PGA_{hor} = 0,06g$  (s 95% pravděpodobností nepřekročení v časovém intervalu 10 000 let), resp.  $0,05g$  (s 90% pravděpodobností nepřekročení v časovém intervalu 105 let) pro periodu pozorování 1 000 let (SL1). Projektové hodnoty odolnosti zařízení i stavebních objektů jsou pro JE v České republice stanoveny následovně [1]:

PGA Maximální hodnota zrychlení v horizontálním a vertikálním směru v úrovni volného terénu (Peak Ground Acceleration).

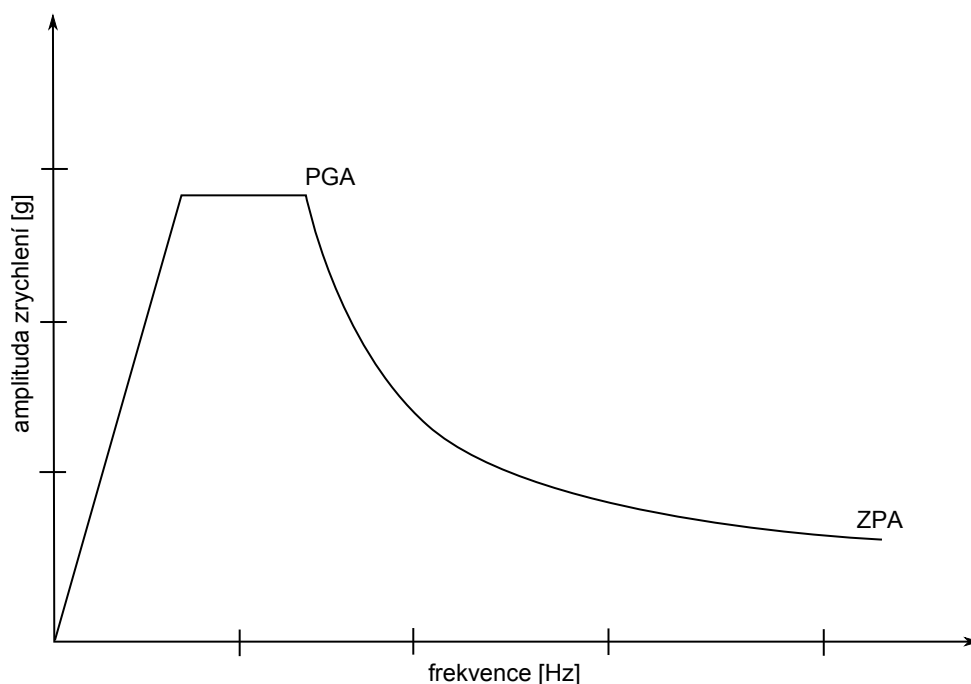
<sup>2</sup>Převzato z <http://geology.about.com/od/seishazardmaps/ss/World-Seismic-Hazard-Maps.htm>

DBE	Úroveň	Zrychlení (PGA)	Doba trvání	Porovnatelná $I_{stav}$
MVZ (MDE)	$SL2_{hor}$	0,1 g	4 - 8 s	$7^{\circ}MSK - 64$
	$SL2_{ver}$	0,07 g	4 - 8 s	
PZ (DE)	$SL1_{hor}$	0,05 g	4 - 8 s	$6^{\circ}MSK - 64$
	$SL1_{ver}$	0,035 g	4 - 8 s	

MVZ Maximální výpočtové zemětřesení, označované také jako MDE - Maximum Design Earthquake, nebo  $SL2$  Earthquake dle IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.6 [2], jemuž v americké terminologii odpovídá SSE – Safe Shutdown Earthquake.

PZ Projektové zemětřesení, označované někdy jako DE – Design Earthquake, nebo  $SL1$  earthquake dle IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.6 [2], jemuž v americké terminologii odpovídá OBE –Operating Basis Earthquake.

Další informace ohledně stanovení seismického ohrožení v lokalitách JE v České republice lze nalézt v [1].



Obr. 5: Spektrum zrychlení - ilustrativní případ seismického zadání

Na Obr. 5 je uveden ilustrativní příklad zadání zrychlení ve formě spektra - vodorovná osa odpovídá frekvenci a svislá osa pak amplitudě zrychlení. Tento graf odpovídá typickému zadání zrychlení vyvolaného seismicitou - náběh na hodnotu PGA (Peak Ground Acceleration) a pak sestup a ustálení na hodnotě ZPA (Zero Period Acceleration).

Z pohledu potřeby rozlišujeme následující typy spekter



- Spektrum odezvy v úrovni terénu (GRS) – vytvořeno na základě geologického průzkumu dané lokality, spektrum je zadáno pro horizontální a vertikální směr pohybu.
- Podlažní spektrum odezvy (FRS) – jedná se spektrum odezvy konstrukce budovy, která je vyvolaná GRS. Podlažní spektra jsou většinou generována v klíčových bodech konstrukce, v nichž se očekává uložení seismicky významných zařízení.
- Požadované spektrum odezvy (RRS) – spektrum zrychlení, pro které požadujeme, aby dané zařízení seismicky vyhovělo.
- Zkušební spektrum odezvy (TRS) – spektrum zrychlení, které definuje buzení pro zkoušku zařízení na vibračním stole. Aby bylo zajištěno, že zařízení vyhoví pro dané RRS, musí TRS přesahovat (nebo se rovnat) obálkou RRS.

## 4 Závěr

Předložená zpráva shrnuje základní přístupy týkající se seismického hodnocení elektromechanických zařízení pro jaderné elektrárny. Je zde shrnut význam seismické kvalifikace zařízení a jeho kontext s platnou normativně technickou dokumentací. Ve zprávě je uveden základní přehled metod používaných k hodnocení seismické odolnosti zařízení ve vztahu se zařazením do příslušných bezpečnostních tříd.

Nedílnou součástí každého procesu seismické kvalifikace je přesné seismické zadání, které definuje jak úroveň zemětřesení v úrovni terénu dané lokality, tak úroveň zemětřesení pro jednotlivá podlaží stavby jaderné elektrárny, na něž je kvalifikované zařízení umístěno.



## Literatura

- [1] 132/2008 Sb. Vyhláška ze dne 4. Dubna 2008 o systému jakosti při provádění a zajišťování činností s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2008.
- [2] IAEA Safety Guide No. NS-G-1.6, *Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants*. Austria: IAEA, 2003.
- [3] IAEA Safety Guide No. NS-R-1, *Safety of Nuclear Power Plants: Design*. Austria: IAEA, 2000.
- [4] IEEE Std 344-2004 *IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*. New York: IEEE Power Engineering Society, 2004.
- [5] IEEE Std 572-2006 *IEEE Standard for Qualification of Class 1E Connection Assemblies for Nuclear Power Generating Stations*. New York: IEEE Power Engineering Society, 2007.
- [6] IEEE Std 382-2006 *IEEE Standard for Qualification and Safety-Related Actuators for Nuclear Power Generating Stations*. New York: IEEE Power Engineering Society, 2006.
- [7] IEEE Std C37.81-1989 *IEEE Guide for Seismic Qualification of Class 1E Metal-Enclosed Power Switchgear Assemblies*. New York: IEEE Power Engineering Society, 1989.
- [8] IEEE Std 693-2005 *IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substances*. New York: IEEE Power Engineering Society, 2005.
- [9] IEEE Power Engineering Society, IEEE Std 323-2003 *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*. New York: IEEE Power Engineering Society, 2004.
- [10] IEEE C57.114-1990 *IEEE Seismic Guide for Power transformers and reactors*. New York: IEEE Power Engineering Society, 1990.
- [11] *Provádění bezpečnostní klasifikace konstrukcí, systémů a komponent jaderných zařízení. Bezpečnostní návod JB-1.8*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2010.
- [12] *Mimořádná národní zpráva České republiky pro účely Úmluvy o jaderné bezpečnosti*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, únor 2012.
- [13] [Online]. Available: [www.mvcr.cz/soubor/sujb-2011-pdf.aspx](http://www.mvcr.cz/soubor/sujb-2011-pdf.aspx). Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2011.

- [14] ČSN IEC 980 *Doporučené způsoby ověření seismické způsobilosti elektrického zařízení bezpečnostního systému jaderných elektráren*. Český normalizační institut, 1993.
- [15] ČSN EN 61226 *Jaderné elektrárny a řízení důležité pro bezpečnost – Klasifikace kontrolních a řídicích funkcí*. Český normalizační institut, 2011.
- [16] ČSN IEC 61513 *Jaderné elektrárny - Systémy kontroly a řízení důležité pro bezpečnost - Všeobecné požadavky na systémy*. Český normalizační institut, 2003.
- [17] ČSN EN 61587-2 ed. 2 *Mechanické konstrukce pro elektronická zařízení – Zkoušky pro IEC 60917 a IEC 60297 – Část 2: Seismické zkoušky pro skříně a stojany*. Český normalizační institut, 2012.
- [18] ČSN EN 60255-21-1 *Elektrické relé – Část 21: Vibrační zkoušky, zkoušky úderem a rázem a seismické zkoušky na měřicích relé a zařízení ochran – Oddíl 1: Vibrační zkoušky (sinusové)*. Český normalizační institut, 1998.
- [19] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby*. Český normalizační institut, 2011.
- [20] ČSN EN 1993-1-2 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla- Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Český normalizační institut, 2006.
- [21] ČSN EN 1993-1-3 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily*. Český normalizační institut, 2008.
- [22] ČSN EN 1993-1-4 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-4: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro korozivzdorné oceli*. Český normalizační institut, 2008.
- [23] ČSN EN 1993-1-5 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Boulení stěn*. Český normalizační institut, 2008.
- [24] ČSN EN 1993-1-6 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-6: Pevnost a stabilita skořepinových konstrukcí*. Český normalizační institut, 2008.
- [25] ČSN EN 1993-1-7 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-7: Deskostěnové konstrukce příčně zatížené*. Český normalizační institut, 2008.
- [26] ČSN EN 1993-1-8 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků*. Český normalizační institut, 2011.
- [27] ČSN EN 1993-1-9 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava*. Český normalizační institut, 2006.

- [28] ČSN EN 1998-1 ed. 2. Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, 2013.
- [29] ČSN EN 1998-1 NA ed. A National Annex – Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Český normalizační institut, 2011.
- [30] ČSN EN 1998-4 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 4: zásobníky, nádrže a potrubí. Český normalizační institut, 2008.
- [31] ČSN EN 1998-6 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 6: Věže stožáry a komíny. Český normalizační institut, 2007.
- [32] IAEA *Earthquake experience and seismic qualification by indirect methods in nuclear installations*. Austria: IAEA, 2003.
- [33] *SQUG Summary of the Seismic Adequacy of Twenty Classes of Equipment Required for the Safe Shutdown of Nuclear Plants*. San Francisco: EPRI, 1991.

## Seznam obrázků

1	Základní hierarchie právních předpisů a normativně technické dokumentace pro kvalifikaci zařízení JE . . . . .	6
2	Kvalifikační schéma elektromechanických zařízení z pohledu seismické odolnosti [4]	9
3	Rozdělení SKK důležitých z hlediska (jaderné) bezpečnosti do kategorií z pohledu jejich důležitosti pro jadernou bezpečnost [11] . . . . .	12
4	Mapa seismického ohrožení . . . . .	13
5	Spektrum zrychlení - ilustrativní případ seismického zadání . . . . .	14

## Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum, Jméno/Odd.
0		první vydání	20.11.2013 MB / RICE