



ÚRAD
JADROVÉHO DOZORU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

EDÍCIA

Bezpečnosť jadrových zariadení

2019

BN 5/2019

**Požiadavky na deterministické analýzy bezpečnosti
JE s VVER-440/V213
(6. vydanie – revidované a doplnené)**

**Požiadavky na deterministické analýzy bezpečnosti JE s VVER-440/V213
(6. vydanie – revidované a doplnené)**

Vydal Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Neperiodická publikácia

Spracovateľ: Ing. Ján Husárček, CSc. a Ing. Zuzana Koreňová, PhD., odbor bezpečnostných
analýz a technickej podpory, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Gestor: Ing. Ján Husárček, CSc., riaditeľ odboru bezpečnostných analýz a technickej
podpory, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Recenzenti : Ing. Teodor Zajíček, Jadrová a vyraďovacia spoločnosť, a.s.
Ing. Miroslav Mlčúch, Jadrová energetická spoločnosť Slovenska, a. s.
Ing. Jozef Čech, PhD., Slovenské elektrárne, a s.
Ing. Igor Sklenár, Slovenské elektrárne, a.s.
Ing. Tomáš Kliment, VUJE, a.s.

BN 5/2019
ISBN 978-80-89706-29-7
EAN 9788089706297

Bratislava, september 2019

Anotácia

V bezpečnostnom návode sú zhrnuté základné požiadavky a podmienky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky na deterministické analýzy bezpečnosti jadrových zariadení, ktoré sa používajú v správnych konaniach a ďalších aplikáciách. Postulované iniciačné udalosti a havarijné scenáre sú rozdelené do kategórií a skupín podľa charakteristických prejavov, pričom kritériá prijateľnosti rôznych kategórií a skupín sú rôzne. Návod opisuje odporúčanú metodiku pre analýzy spracovávané s použitím rôznych prístupov. Načrtnutý je spôsob výberu výpočtového programu i vplyv riešiteľa na výsledky výpočtových analýz. Charakterizované sú požiadavky na vyhodnotenie a prezentáciu výsledkov analýzy i na zabezpečovanie kvality.

analýza, bezpečnosť, iniciačná udalosť, jadrové zariadenie, kritérium prijateľnosti, návod, zabezpečovanie kvality

Abstract

The safety guideline summarises basic requirements and conditions of the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic laid down for the deterministic safety analyses of nuclear facilities used for licensing and other applications. The postulated initiating events and accident scenarios are split into categories and groups based on their characteristic features, thereby different criteria are used for different categories and groups. A recommended methodology for the analyses performed using different approaches is described. A manner of the computer code selection and impact of the user on results of computational analyses is outlined. Requirements for the quality assurance, evaluation and presentation of the results of accident analyses are characterised.

analysis, acceptance criteria, guideline, initiating event, nuclear facility, quality assurance, safety

Obsah

Úvod.....	1
1 Predmet a účel	1
2 Rozsah platnosti.....	2
3 Použité skratky	3
4 Použité pojmy.....	4
5 Deterministická analýza bezpečnosti a jej ciele	8
6 Identifikácia, kategorizácia, zoskupenie a výber PIU a havarijných scenárov	11
6.1 Identifikácia PIU	12
6.2 Zoskupenie a výber PIU očakávaných udalostí a udalosti typu projektových havárií	14
6.3 Identifikácia podmienok rozšíreného projektu a výber hraničných scenárov.....	16
6.3.1 Podmienky rozšíreného projektu bez významnej degradácie jadrového paliva.....	17
6.3.2 Podmienky rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva.....	18
6.4 PIU vyvolané vnútornými a vonkajšími ohrozeniami	19
6.5 Kategorizácia PIU, udalostí vedúcich k podmienkam rozšíreného projektu a havárií.....	20
6.6 Sekvencie udalostí na preukázanie ich praktickej eliminácie.....	20
7 Kritériá prijateľnosti deterministických analýz bezpečnosti	21
8 Prístupy na zabezpečenie konzervatívnosti deterministických analýz bezpečnosti	24
8.1 Konzervatívny prístup.....	25
8.2 Kombinovaný prístup.....	26
8.3 Prístup najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí.....	26
8.4 Realistický prístup.....	26
8.5 Kvantifikácia neurčitostí	27
9 Deterministické analýzy bezpečnosti pre rôzne stavy JZ.....	29
9.1 Deterministické analýzy bezpečnosti normálnej prevádzky	30
9.1.1 Špecifické ciele analýzy	30
9.1.2 Kritériá prijateľnosti	30
9.1.3 Počiatočné a okrajové podmienky	30
9.1.4 Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov.....	31
9.1.5 Zásahy obsluhy JZ	31
9.1.6 Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí	31
9.2 Realistické deterministické analýzy bezpečnosti očakávaných udalostí	31
9.2.1 Špecifické ciele analýzy	31
9.2.2 Kritériá prijateľnosti	32
9.2.3 Počiatočné a okrajové podmienky	32
9.2.4 Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov.....	32
9.2.5 Zásahy obsluhy JZ	32
9.2.6 Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí	33
9.3 Konzervatívne deterministické analýzy bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií	33
9.3.1 Špecifické ciele analýzy	33

9.3.2	Kritériá prijateľnosti	34
9.3.3	Počiatkové a okrajové podmienky	34
9.3.4	Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov.....	38
9.3.5	Zásahy obsluhy JZ	41
9.3.6	Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí	42
9.4	Deterministické analýzy bezpečnosti udalostí typu havárií v podmienkach rozšíreného projektu bez významného poškodenia jadrového paliva	43
9.4.1	Špecifické ciele analýzy	43
9.4.2	Kritériá prijateľnosti	43
9.4.3	Počiatkové a okrajové podmienky	43
9.4.4	Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov.....	44
9.4.5	Zásahy obsluhy JZ	45
9.4.6	Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí	45
9.5	Deterministické analýzy bezpečnosti havárií v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva	46
9.5.1	Špecifické ciele analýzy	46
9.5.2	Kritériá prijateľnosti	47
9.5.3	Počiatkové a okrajové podmienky	47
9.5.4	Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov.....	47
9.5.5	Zásahy obsluhy JZ	48
9.5.6	Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí	48
9.6	Deterministické analýzy na podporu praktickej eliminácie.....	50
10	Dokumentovanie a aktualizácia analýz	51
10.1	Citlivé informácie v dokumentácii.....	52
10.2	Aktualizácia deterministickej analýzy bezpečnosti	53
11	Overenie analýz držiteľom povolenia	53
12	Postup vypracovania analýzy	54
13	Použitie výpočtových programov na deterministickú analýzu bezpečnosti	56
14	Vplyv riešiteľa na výsledky analýz	57
15	Prezentácia a vyhodnotenie výsledkov analýz	58
16	Zabezpečovanie kvality	64
17	Deterministické analýzy bezpečnosti k žiadosti o povolenie	65
18	Praktické odporúčania pre spracovateľa analýz predkladaných k žiadosti o povolenie.....	67
19	Zoznam literatúry	70
Príloha I.	Kategorizácia iniciačných udalostí.....	75
Príloha II.	Iniciačné udalosti	76
Príloha III.	Kritériá prijateľnosti	82

Zoznam obrázkov

Obrázok 4.1	Stavy jadrového zariadenia	7
Obrázok 4.2	Zariadenia JE.	7

Zoznam tabuliek

Tabuľka 8.1	Prístupy pre vykonávanie deterministických analýz bezpečnosti.	24
-------------	---	----

Predhovor

Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky začal v roku 1995 vydávať vlastné neperiodické publikácie, ako edíciu Bezpečnosť jadrových zariadení, s cieľom zverejňovať vybrané všeobecne záväzné právne predpisy, bezpečnostné požiadavky, odporúčania a návody súvisiace s činnosťou Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky.

V rámci edície Bezpečnosť jadrových zariadení Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky vydáva tri skupiny publikácií.

Obsahom prvej skupiny publikácií sú vybrané všeobecne záväzné právne predpisy a medzinárodné zmluvy z oblasti mierového využívania jadrovej energie; sú označené červeným pruhom.

V druhej skupine sú dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti charakteru odporúčaní a návodov, ktoré konkretizujú a dopĺňajú požiadavky všeobecne záväzných právnych predpisov; sú označené modrým pruhom.

Obsahom tretej skupiny publikácií sú ostatné dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti informatívneho charakteru; sú označené sivým pruhom.

Pri spracovaní dokumentov druhej a tretej skupiny sa využívajú dokumenty Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu vo Viedni a iných medzinárodných organizácií, medzinárodné a národné technické normy, ako aj dokumenty vydané zahraničnými dozornými orgánmi a odbornými organizáciami. Dokumenty sú spracované na základe rozhodnutia predsedu Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zamestnancami úradu alebo externými organizáciami i s využitím vlastných skúseností a poznatkov. Pred ich vydaním a zverejnením sú schválené predsedom úradu.

Predmetná publikácia Požiadavky na deterministické analýzy bezpečnosti JE s VVER-440/V213 (6. vydanie – revidované a doplnené) je bezpečnostným návodom.

Pripomienky a doplnky k tejto publikácii zasielajte na Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky, odbor legislatívno-právny, Bajkalská 27, P. O. Box 24, 820 07 Bratislava 27.

Úvod

Prostriedkom na preukázanie dosiahnutej úrovne bezpečnosti jadrových zariadení (JZ) sú analýzy bezpečnosti vykonávané spravidla pomocou výpočtových programov. Analýzy bezpečnosti oceňujú riziko prevádzky JZ, ukazujú aké sú bezpečnostné charakteristiky, aká je účinnosť fyzických bariér a úrovni ochrany JZ a ako sú splnené bezpečnostné požiadavky na zabránenie úniku rádioaktívnych látok pre postulované iniciačné udalosti a havárie, ku ktorým dochádza alebo môže dochádzať v celom rozsahu prevádzkových podmienok i za iných okolností, berúc do úvahy zmeny v pohotovosti a funkčnosti systémov a komponentov JZ i zásahy obsluhy JZ. Analýzy bezpečnosti sú integrovanou súčasťou projektovania, výstavby, uvádzania do prevádzky, prevádzky a vyradovania JZ, aby bolo zaistené splnenie všetkých uvažovaných bezpečnostných cieľov, princípov, podmienok a kritérií. Vypracovanie analýz bezpečnosti a vyhodnotenie ich výsledkov je požadované vo viacerých všeobecne záväzných právnych predpisoch, ktoré vydal ÚJD SR. Analýzy bezpečnosti používajú dve základné, vzájomne sa dopĺňajúce metódy: deterministickú a pravdepodobnostnú. Tento bezpečnostný návod sa zameriava na deterministické analýzy bezpečnosti, hoci prvky pravdepodobnostných analýz bezpečnosti sú v texte bezpečnostného návodu tiež prítomné.

V bezpečnostnom návode je v mnohých prípadoch namiesto pojmu deterministická analýza bezpečnosti použitý skrátený pojem analýza, ktorá môže slúžiť vo všeobecnosti na rôzne účely.

1 Predmet a účel

V bezpečnostnom návode je odporúčanie možného spôsobu vyhotovenia deterministických analýz bezpečnosti a hodnotenia ich výsledkov v zmysle požiadaviek § 19 ods. 2 písm. j) vyhlášky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 58/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovovania dokumentácie jadrových zariadení potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam v znení neskorších predpisov /1/, v Prílohe č. 3 časti B bode I. písm. B. ods. 4 a písm. H ods. 9 a časti B bode II. písm. E ods. 1, ods. 3 a ods. 9 vyhlášky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 430/2011 Z. z. o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/ a v ďalších vyhláškach.

Bezpečnostný návod opisuje metodiku vypracovávania deterministických analýz bezpečnosti a hodnotenia ich výsledkov. Uvádza požiadavky na výber iniciačných udalostí a kritérií prijateľnosti, požiadavky na výber výpočtového programu, prípravu vstupných údajov a výpočtového modelu, realizáciu výpočtu, prezentáciu napočítaných výsledkov a zabezpečovanie kvality. Objasňuje obvyklú prax pri analýzach, ktoré sú spracovávané konzervatívnym prístupom, kombinovaným prístupom, prístupom najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí i realistickým prístupom. Uvádza postup spracovania deterministickej analýzy bezpečnosti.

Bezpečnostný návod sa zameriava na udalosti, ktoré vychádzajú z jadrového reaktora alebo bazénu skladovania vyhoreného jadrového paliva a s nimi spojených systémov, konštrukcií a komponentov. Pokrýva očakávané udalosti, udalosti typu projektových havárií i udalosti, ktoré vedú k podmienkam rozšíreného projektu od ich vzniku až po ocenenie zdrojového člena.

Bezpečnostný návod sa sústreďuje na neutrónovo-fyzikálne, termicko-hydraulické a rádiologické analýzy. Pevnostno-štrukturálnymi analýzami konštrukcií a komponentov sa zaoberá len okrajovo. Odporúčania na obsah a rozsah spracovania pevnostno-štrukturálnych analýz sú uvedené v príslušných bezpečnostných štandardoch MAAE.

Bezpečnostný návod sa zaoberá chybami obsluhy JZ a zlyhaniami zariadení JZ, ktoré majú potenciál ovplyvniť vykonávanie bezpečnostných funkcií a môžu viesť k porušeniu fyzických bariér a úniku rádioaktívnych látok. Analýzy vnútorných alebo vonkajších ohrození nie sú týmto bezpečnostným návodom pokryté. Vplyvy a zaťaženie vyplývajúce z ohrození a potenciálne vyvolávajúce zlyhanie zariadení JZ sú však vzaté do úvahy pri určovaní iniciačných udalostí a sekvencií, ktoré treba analyzovať.

Odporúčania na fyzickú bezpečnosť sú mimo rozsah tohto bezpečnostného návodu.

Podkladom pri spracovaní tohto bezpečnostného návodu boli nasledovné bezpečnostné štandardy MAAE „Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants“, SSG-2 (Rev. 1) /7/, „Accident Analysis for Nuclear Power Plants“, SRS No. 23 /8/, „Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors“, SRS No. 30 /9/ a „Best Estimate Safety Analysis for Nuclear Power Plants: Uncertainty Evaluation“, SRS No. 52 /10/.

Do návodu sú zapracované referenčné úrovne WENRA (angl. RL – Reference Levels) uvedené v dokumente „Report by WENRA Reactor Harmonization Working Group“ /14/ týkajúce sa deterministických analýz bezpečnosti.

2 Rozsah platnosti

Bezpečnostný návod konkretizuje zákonné požiadavky a podmienky na deterministické analýzy bezpečnosti požadované vo všeobecne záväzných právnych predpisoch ÚJD SR, bezpečnostných štandardoch MAAE a referenčných úrovniach WENRA, ako aj požiadavky a podmienky na postulované iniciačné udalosti, ich kombinácie, viacnásobné zlyhania v technologických systémoch JZ alebo nesprávne zásahy obsluhy. Opísaná metodika je určená pre jadrové elektrárne s reaktorom VVER-440 typu V-213. Primerane je použiteľná na novodobé vodovodné reaktory.

Bezpečnostný návod je určený pre vnútorné potreby ÚJD SR a komunikáciu medzi ÚJD SR a dozorovanými subjektmi a ich technickými podpornými organizáciami pri príprave podkladov, spracovaní, vyhodnocovaní alebo posudzovaní deterministických analýz bezpečnosti a ich výsledkov.

Bezpečnostné návody nie sú právne záväzné, avšak ich dodržiavanie napomáha zabezpečiť podmienky bezpečného využívania jadrovej energie alebo vykonávania činností súvisiacich s využívaním jadrovej energie.

Tento bezpečnostný návod je revidovaným a doplneným 6. vydaním bezpečnostného návodu ÚJD SR s označením Požiadavky na deterministické analýzy bezpečnosti JE s VVER-440/V213 a v plnom rozsahu nahrádza BNS I.11.1/2013 Požiadavky na deterministické analýzy bezpečnosti JE s VVER-440/V213.

Tento bezpečnostný návod sa vydáva bez časového obmedzenia.

3 Použité skratky

ATWS	očakávaná udalosť so zlyhaním automatickej ochrany reaktora
BSVP	bazén skladovania vyhoreného jadrového paliva
DEC	podmienky rozšíreného projektu (angl. Design Extension Conditions)
DNB	kríza prestupu tepla (angl. Departure from Nucleate Boiling)
DNBR	rezerva do krízy prestupu tepla (angl. Departure from Nuclear Boiling Ratio)
HRK	havarijná, regulačná a kompenzačná kazeta
IU	iniciačná udalosť
JE	jadrová elektrárňa
JZ	jadrové zariadenie
MAAE	Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu
OU	očakávaná udalosť
PH	projektová havária
PIU	postulovaná iniciačná udalosť
RAL	rádioaktívne látky
SD	odstavený blok, otvorený reaktor (angl. Shut Down)
SNVS	strata napájania vlastnej spotreby (strata vnútorných pracovných zdrojov elektrického napájania (turbínový generátor), vonkajších pracovných zdrojov (400 kV) a vonkajších rezervných zdrojov (110 kV) elektrického napájania)
TNR	tlaková nádoba reaktora
TTS	tlakovo-teplotný šok
ÚJD SR	Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
ÚVZ SR	Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky
VVER-440	vodovodný energetický reaktor sovietskeho dizajnu
WENRA	Western European Nuclear Regulator's Association
Z. z.	Zbierka zákonov

4 Použité pojmy

Pojmy vymedzené pre účely tohto bezpečnostného návodu sú zhrnuté v nasledujúcom texte.

Abnormálna prevádzka je prevádzkový stav odchyľujúci sa od normálnej prevádzky, ktorého výskyt sa predpokladá najmenej raz za životnosť zariadenia, pričom s ohľadom na zodpovedajúce projektové opatrenia nespôsobí významné poškodenie komponentov dôležitých pre jadrovú bezpečnosť, ani nepovedie k havarijným podmienkam. Abnormálna prevádzka je vyvolaná očakávanou udalosťou.

Analýza bezpečnosti je analýza očakávanej udalosti, udalostí typu projektovej havárie a havárie v podmienkach rozšíreného projektu, spravidla vykonávaná pomocou výpočtových programov za účelom preukázania ako sú splnené bezpečnostné požiadavky.

Analýza neurčitostí je analýza, ktorej cieľom je stanovenie neurčitosti hodnôt napočítaných parametrov z neurčitosti vstupných parametrov, prípadne z porovnania napočítaných výsledkov s experimentálnymi údajmi.

Bezpečnostná funkcia je projektové alebo prevádzkové opatrenie, ktorým sa zaisťuje bezpečnosť JZ. Základné bezpečnostné funkcie sú: regulácia reaktivity, odvod tepla z jadrového paliva, zadržanie rádioaktívnych látok vnútri fyzických bariér, regulácia a obmedzenie množstva a druhu rádioaktívnych látok uvoľnených do životného prostredia.

Bezpečnostná rezerva je rozdiel alebo pomer vyjadrený vo fyzikálnych jednotkách medzi limitnou hodnotou priradeného parametra, ktorého prekročenie vedie k poruche systému, konštrukcie alebo komponentu a skutočnou hodnotou tohto parametra na JZ.

Bezpečnostná skupina je súbor zariadení, ktorý vykonáva všetky činnosti požadované pri postulovanej iniciačnej udalosti tak, aby hraničné hodnoty uvedené v projektovej báze pre očakávané udalosti a udalosti typu projektových havárií neboli prekročené.

Bezpečnostný prvok (pre podmienky rozšíreného projektu) je zariadenie, ktoré je projektované na vykonanie bezpečnostnej funkcie alebo ktoré má bezpečnostnú funkciu v podmienkach rozšíreného projektu.

Bezpečnostný systém je systém zaisťujúci bezpečné odstavenie jadrového reaktora alebo odvod tepla z aktívnej zóny jadrového reaktora, či BSVP alebo obmedzenie následkov abnormálnej prevádzky a udalostí typu projektových havárií.

Bezpečný stav je stav JZ po predpokladaných očakávaných udalostiach alebo havarijných podmienkach, v ktorom je reaktor podkritický a základné bezpečnostné funkcie sú zabezpečené a dlhodobo udržiavané stabilné.

Deterministická metóda je metóda a postup určený na prešetrenie odozvy JZ alebo jeho časti na udalosti a zlyhania, ktoré sú založené na výpočtovom modelovaní fyzikálnych, chemických a iných reálnych procesov. Výsledkom výpočtov sú časovo a priestorovo závislé hodnoty vybraných fyzikálnych veličín.

Havarijné podmienky sú udalosti s odchýlkami od normálnej prevádzky, ktoré sú menej časté a závažnejšie ako abnormálna prevádzka, zahŕňajúce udalosti typu projektových havárií a havárie v podmienkach rozšíreného projektu.

Horúci kanál je výpočtový, maximálne zaťažený a tepelne izolovaný termicko-hydraulický kanál. Na stanovenie jeho počiatočných parametrov treba vychádzať z maximálneho dovoleného lineárneho tepelného výkonu palivového prútika a minimálneho stanoveného prietoku chladiva cez palivový článok v režime normálnej prevádzky.

Iniciačná udalosť je identifikovaná udalosť, ktorá vedie k očakávanej udalosti alebo havarijným podmienkam a ohrozuje plnenie bezpečnostných funkcií.

Jediná porucha je náhodná porucha, ktorá spôsobuje stratu schopnosti komponentu plniť jeho očakávané bezpečnostné funkcie. Následné poškodenia v dôsledku náhodného výskytu jedinej poruchy sú považované za súčasť jedinej poruchy.

Kontrolovaný stav je stav JZ po očakávanej udalosti alebo havarijných podmienkach, v ktorom je možné zabezpečiť základné bezpečnostné funkcie a udržiavať ich dostatočne dlho na to, aby sa dosiahol bezpečný stav.

Konzervatívna analýza je analýza, pri ktorej sa výber počiatočných a okrajových podmienok, charakteristík použitých konštrukčných materiálov, systémov aj ďalších podmienok výpočtu vykoná tak, že napočítané výsledky sú pesimistické vzhľadom na vyšetrované kritérium (kritériá) prijateľnosti.

Kritérium prijateľnosti je kvantitatívna hodnota na obmedzenie vybraných fyzikálnych parametrov alebo kvalitatívne požiadavky stanovené na výsledky analýz bezpečnosti. Používa sa na vyhodnotenie schopnosti systému, konštrukcie alebo komponentu plniť projektom stanovené funkcie. Kritériá prijateľnosti analýz bezpečnosti sú vydané alebo akceptované ÚJD SR.

Nepriaznivá skoková zmena stavu (angl. Cliff-edge-effect) vzniká, keď malá zmena v nejakej podmienke (parameter alebo stav systému) vedie k neúmernému nárastu jej následkov (RL F3.1 f) /14/).

Normálna prevádzka je prevádzka JZ v súlade s limitmi a podmienkami bezpečnej prevádzky vrátane odstavenia, prevádzky na výkone, odstavovania, nábehu, údržby, skúšok, výmeny jadrového paliva, skladovania a manipulácie s čerstvým palivom.

Očakávaná udalosť je proces spôsobujúci odchýlku parametrov JZ od normálnej prevádzky. Očakáva sa, že počas životnosti JZ nastane aspoň raz, pričom nevyvolá žiadne závažné poškodenie zariadení dôležitých z hľadiska bezpečnosti a ani nepovedie k havarijným podmienkam. Po jeho ukončení, resp. odstránení príčin a následkov, je JZ schopné normálnej prevádzky.

Podmienky rozšíreného projektu sú postulované havarijné podmienky, ktoré nie sú uvažované pre projektové havárie, ale sú uvažované v procese projektovania JZ podľa realistickej metodiky a pri ktorých únik rádioaktívnych látok neprekročí stanovené limity. Podmienky rozšíreného projektu môžu zahŕňať aj podmienky ťažkých havárií.

Porucha so spoločnou príčinou je zlyhanie funkcie niekoľkých komponentov alebo systémov v dôsledku jednej konkrétnej príčiny.

Postulovaná iniciačná udalosť je projektom uvažovaná udalosť, ktorá môže viesť k stavu abnormálnej prevádzky alebo k havarijným podmienkam. Primárnou príčinou vzniku postulovaných iniciačných udalostí sú hodnoverné zlyhania zariadení a chyby obsluhy JZ (vnútorné aj vonkajšie vo vzťahu k JZ) a človekom vyvolané udalosti alebo prírodné ohrozenia.

Pravdepodobnostná metóda je metóda určená na vyhodnotenie pravdepodobnosti nejakej konkrétnej iniciačnej udalosti a jej následkov. Toto vyhodnotenie môže zohľadniť i vplyv ochranných opatrení vo vnútri i mimo JZ.

Projektová havária je udalosť vyvolávajúca havarijné podmienky, na ktoré je JZ projektované podľa stanovených projektových kritérií a konzervatívnej metodiky a pri ktorých úniky rádioaktívnych látok neprekročia stanovené limity.

Realistická analýza je analýza, pri ktorej je výber počiatkových a okrajových podmienok, charakteristík použitých konštrukčných materiálov, systémov, aj ďalších podmienok výpočtu založený na skutočných údajoch bez zámerného vnášania konzervativizmu vzhľadom na vyšetrované kritérium (kritériá) prijateľnosti.

Riadiaci systém je systém zabezpečujúci riadenie technologického zariadenia JZ v nominálnych a prechodových režimoch; jeho cieľom je previesť technologické zariadenie z jedného bezpečného stavu do druhého.

Skorý únik rádioaktívnych látok je taký únik rádioaktívnych látok do okolia JZ, pri ktorom nie je dostatok času na realizáciu potrebných ochranných opatrení v okolí JZ vzhľadom k povahe a veľkosti úniku.

Stavy JZ uvažované v projekte JZ zahŕňajú normálnu prevádzku, abnormálnu prevádzku a havarijné podmienky podľa zobrazenia na obrázku nižšie:

Prevádzkové stavy		Havarijné podmienky		Prakticky eliminované podmienky
Normálna prevádzka	Abnormálna prevádzka	Projektové havárie	Havárie v podmienkach rozšíreného projektu	
	Očakávané udalosti		(a) (b)	

a) Havárie bez závažného poškodenia jadrového paliva
b) Havárie s tavením jadrového paliva

Obrázok 4.1 Stavy jadrového zariadenia.

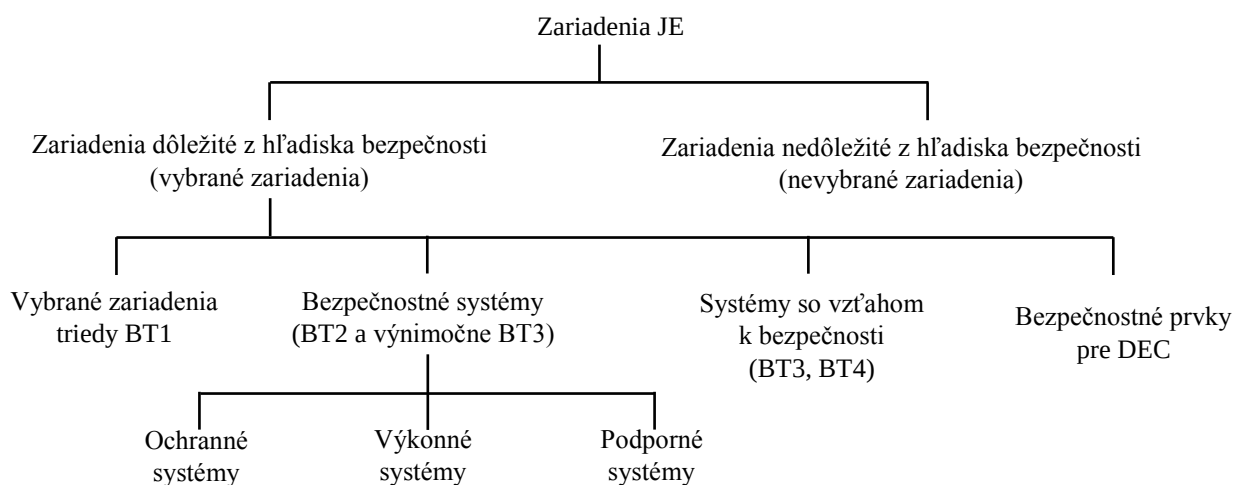
Ťažká havária (tiež aj **havária**) (pozri § 27 ods. 3 písm. c) zákona č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov; § 2 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/) je stav JZ zahŕňajúci udalosť s tavením jadrového paliva, ktorá si vyžaduje zavedenie ochranných opatrení na ochranu obyvateľstva.

Validácia je proces určenia, či výrobok alebo služba sú dostatočné na uspokojivé plnenie zamýšľanej funkcie; je potvrdenie prostredníctvom preskúmania a objektívnych dôkazov, že boli splnené stanovené ciele a špecifikované požiadavky na konkrétny určený účel alebo použitie.

Veľký únik rádioaktívnych látok je únik, pri ktorom časovo a priestorovo obmedzené ochranné opatrenia nestačia na ochranu obyvateľstva a životného prostredia.

Verifikácia je overenie, či kvalita alebo výkonnosť produktu alebo služby je taká, ako je uvedené, zamýšľané alebo požadované; je potvrdenie preskúmaním a objektívnym dôkazom, že boli splnené stanovené ciele a boli splnené špecifikované požiadavky na konkrétne výsledky.

Zariadenia JE sa delia na kategórie v zmysle tohto obrázku:



Obrázok 4.2 Zariadenia JE.

5 Deterministická analýza bezpečnosti a jej ciele

Deterministické analýzy bezpečnosti predpovedajú reakciu jadrového zariadenia (JZ) na postulované iniciačné udalosti a havarijné scenáre. Pri spracovávaní analýz bezpečnosti sa používa súbor pravidiel a kritérií prijateľnosti špecifický pre každý stav JZ. Zvyčajne sú analýzy zamerané na neutrónovo-fyzikálne, termicko-hydraulické, termicko-mechanické, pevnostno-štrukturálne a rádiologické aspekty, ktoré sa analyzujú pomocou vhodných výpočtových nástrojov. Výpočtové simulácie sa vykonávajú špecificky pre vopred určené prevádzkové režimy, prevádzkové stavy a havarijné podmienky. Výsledkom výpočtov sú časovo a priestorovo závislé hodnoty vybraných fyzikálnych veličín (napr. neutrónový tok, tepelný výkon reaktora, tlak, teplota, prietok a rýchlosť chladiaceho média, zaťaženie fyzikálnych bariér, koncentrácia horľavých plynov, chemické zloženie rádionuklidov, stav degradácie aktívnej zóny, zdrojový člen pre úniky do životného prostredia a pod.). Výsledky deterministickej analýzy bezpečnosti treba vyhodnotiť vzhľadom na kritériá prijateľnosti. Požiadavky na vyhotovenie deterministickej analýzy bezpečnosti vyplývajú z ustanovení Prílohy č. 3 časti B bod I. písm. B. ods. 4 a písm. H. ods. 9 a časti B bod II. písm. E ods. 1, ods. 3 a ods. 9 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; § 19 ods. 2 písm. j) vyhlášky č. 58/2006 Z. z. v znení neskorších predpisov /1/ a z ďalších vyhlášok.

Stavy JZ uvažované v deterministickej analýze bezpečnosti pokrývajú (SSR-2/1, ods. 5.1 /13/):

- a) normálnu prevádzku,
- b) očakávané udalosti,
- c) projektové havárie,
- d) podmienky rozšíreného projektu vrátane sekvencií s tavením jadrového paliva.

Deterministická analýza bezpečnosti (SSR-2/1, ods. 5.71, 5.72, 5.73 a 5.75 /13/):

- a) stanovuje a potvrdzuje projektovú bázu pre vybrané zariadenia,
- b) poskytuje charakterizáciu postulovaných iniciačných udalostí pre lokalitu a projekt JZ,
- c) porovnáva výsledky analýzy s kritériami prijateľnosti, projektovými ohraničeniami, limitmi ožiarenia a prijateľnými limitmi na účely radiačnej ochrany,
- d) poskytuje záruku, že v projekte JZ je implementovaná ochrana do hĺbky,
- e) poskytuje analýzu a vyhodnotenie sekvencií udalostí, ktoré sú výsledkom postulovaných iniciačných udalostí s cieľom potvrdiť kvalifikačné požiadavky,
- f) preukazuje, že riadenie očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií je možné pomocou bezpečnostných opatrení na automatické uvedenie bezpečnostných systémov do prevádzky v kombinácii s predpísanými činnosťami obsluhy JZ,

- g) preukazuje, že riadenie podmienok rozšíreného projektu je možné automatickým uvedením bezpečnostných systémov do prevádzky a použitím bezpečnostných prvkov v kombinácii s očakávanými činnosťami obsluhy JZ,
- h) poskytuje záruku, že v projekte JZ sú zohľadnené neurčitosti a najmä sú k dispozícii primerané bezpečnostné rezervy na zabránenie účinkom nepriaznivej skokovej zmeny stavu a skorému úniku rádioaktívnych látok alebo veľkému úniku rádioaktívnych látok.

Analýza bezpečnosti (RL E8.7 /14/):

- a) používa konzervatívne metódy, predpoklady alebo argumenty,
- b) potvrdzuje, že neurčitosti a ich vplyv je dostatočne zohľadnený,
- c) preukazuje, že projektová báza obsahuje primerané bezpečnostné rezervy, aby boli pokryté všetky udalosti typu projektových havárií,
- d) je kontrolovateľná a reprodukovateľná.

Analýza bezpečnosti udalostí typu v podmienkach rozšíreného projektu (RL F3.1 /14/):

- a) používa zdôvodnené realistické metódy, predpoklady alebo argumenty; konzervatívne metódy, predpoklady alebo argumenty sú využité len v obmedzenej miere,
- b) zohľadňuje neurčitosti a ich vplyv na výsledky, je kontrolovateľná vrátane prípadov, keď je použité technické posúdenie,
- c) určuje rozumne uskutočniteľné opatrenia na zabránenie závažného poškodenia paliva a na zmiernenie následkov ťažkých havárií (RL F1.2 /14/),
- d) vyhodnocuje potenciálne rádiologické následky v lokalite a mimo nej vyplývajúce z DEC (pri úspešných opatreniach na riadenie nehôd/havárií),
- e) berie do úvahy usporiadanie a umiestnenie JE, vlastnosti zariadení, podmienky spojené s vybranými scenármi a uskutočniteľnosť plánovaných akcií na riadenie nehôd/havárií,
- f) tam, kde je to aplikovateľné preukazuje, že sú k dispozícii primerané bezpečnostné rezervy na zabránenie účinku nepriaznivej skokovej zmeny stavu, ktorý by viedol k neprijateľným následkom, t. j. pre DEC-A k závažnému poškodeniu paliva a pre DEC-B k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo veľkému úniku rádioaktívnych látok,
- g) reflektuje výsledky pravdepodobnostného hodnotenia bezpečnosti 1. a 2. úrovne,
- h) tam, kde je to dôležité, zohľadňuje javy ťažkej havárie,
- i) definuje koncový stav, ktorý by mal byť bezpečným stavom a trvanie prevádzky pre systémy, konštrukcie a komponenty, ak je to potrebné.

Cieľom deterministickej analýzy bezpečnosti JZ je potvrdiť, že počas normálnej prevádzky, očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií je JZ schopné spoľahlivo plniť základné bezpečnostné funkcie: riadenie reaktivity, odvod zostatkového tepla z reaktora a bazénu skladovania vyhoreného jadrového paliva a zadržanie rádioaktívnych látok (RL E3.1 /14/).

Cieľom deterministickej analýzy bezpečnosti JZ je potvrdiť, že počas havárií v podmienkach rozšíreného projektu bez závažného poškodenia jadrového paliva je JZ schopné plniť základné bezpečnostné funkcie: riadenie reaktivity, odvod zostatkového tepla z reaktora a bazénu skladovania vyhoreného jadrového paliva, a zadržanie rádioaktívnych látok (RL F4.1/14/).

Cieľom analýzy pre havárie v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva je potvrdiť, že JZ je schopné zadržať rádioaktívne látky tak, aby neboli porušené rádiologické kritériá pre únik rádioaktívnych látok do okolia JZ uvedené v prílohe III.3 tohto bezpečnostného návodu a obnoviť odvod tepla z degradovaného jadrového paliva (RL F4.1/14/).

Cieľom deterministickej analýzy bezpečnosti JZ je potvrdiť, že potrebné systémy, konštrukcie a komponenty v kombinácii s činnosťou obsluhy JZ (tam, kde je to vhodné) sú dostatočne účinné a schopné s primeranou bezpečnostnou rezervou zadržať únik rádioaktívnych látok z JZ tak, aby ožiarenie obyvateľstva bolo pod prijateľnými limitmi. Deterministická analýza bezpečnosti je zameraná na preukázanie, že bariéry proti úniku rádioaktívnych látok z JZ si počas rôznych stavov JZ zachovávajú svoju integritu v potrebnom rozsahu. Deterministická analýza bezpečnosti doplnená ďalšími špecifickými informáciami a analýzami, ako sú informácie a analýzy týkajúce sa výroby, skúšania, kontrol, hodnotenia prevádzkových skúseností a pravdepodobnostným hodnotením bezpečnosti, napomáha preukázať, že potenciálne rádiologické dôsledky rôznych stavov JZ sú prijateľné a že vznik podmienok, ktoré by mohli viesť k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok, možno považovať za prakticky eliminovaný.

Ďalším z cieľov deterministickej analýzy bezpečnosti je odhad zdrojového člena pre stanovenie úniku rádioaktívnych látok ako kľúčového faktora na predpovedanie disperzie takýchto látok v životnom prostredí a v konečnom dôsledku radiačných dávok pre zamestnancov JZ a verejnosť ako aj rádiologického dopadu na životné prostredie.

Zdrojový člen a únik rádioaktívnych látok do okolia

Zdrojový člen predstavuje množstvo rádioaktívnych látok, ktoré sú uvoľnené (alebo sa predpokladá, že môžu byť uvoľnené) z JZ do životného prostredia a ich izotopové zloženie.

Na vyhodnotenie zdrojového člena z JZ treba identifikovať zdroje žiarenia, určiť množstvo vyprodukovaných rádioaktívnych látok a poznať mechanizmy, ktorými sa môžu rádioaktívne látky šíriť zo zdroja naprieč JZ a uvoľniť sa do okolitého prostredia. V prípade havarijných scenárov hodnotenie zdrojového člena vyžaduje použitie výpočtových programov, ktoré sú schopné predpovedať uvoľňovanie rádioaktívnych látok z palivových prútikov, ich šírenie v primárnom okruhu, pod ochrannou obálkou a priľahlých miestnostiach alebo v objektoch so skladovaním vyhoreného jadrového paliva, súvisiace chemické procesy ovplyvňujúce toto šírenie a formu, v ktorej sú rádioaktívne látky uvoľnené do životného prostredia.

Zdrojový člen sa stanovuje pre jednotlivé stavy JZ z týchto dôvodov:

- a) potvrdiť, že projekt JZ je optimalizovaný tak, aby zdrojový člen bol vo všetkých stavoch JZ znížený na úroveň, ktorá je tak nízka, ako je rozumne dosiahnuteľné,
- b) podporiť preukázanie toho, že vznik podmienok, ktoré by mohli viesť k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok, sa môže považovať za prakticky eliminovaný,
- c) preukázať, že projekt JZ zabezpečuje splnenie požiadaviek na radiačnú ochranu vrátane obmedzenia dávok z ožiarenia,
- d) poskytnúť základ pre havarijné opatrenia, ktoré sú v prípade havárie na JZ potrebné na ochranu ľudského života, zdravia, majetku a životného prostredia,
- e) podporiť špecifikáciu podmienok pre kvalifikáciu vybavenia, ktoré sa požaduje na odolávanie haváriám,
- f) poskytnúť údaje pre odbornú prípravu obsluhy JZ týkajúce sa havarijných opatrení,
- g) podporiť návrh bezpečnostných opatrení na zmiernenie následkov havárií s tavením jadrového paliva.

6 Identifikácia, kategorizácia, zoskupenie a výber PIU a havarijných scenárov

Termín postulovaná iniciačná udalosť (PIU) sa vzťahuje na neúmyselnú, avšak projektom uvažovanú udalosť, vrátane chýb obsluhy JZ alebo porúch a zlyhaní zariadení, ktorá priamo alebo nepriamo ohrozuje základné bezpečnostné funkcie JZ a má potenciál či už samostatne alebo v kombinácii s prípadnými ďalšími poruchami a zlyhaniami, viesť k úniku rádioaktívnych látok do životného prostredia. Takáto udalosť obvyčajne vyžaduje ochranné zásahy (automatické, manuálne, na JZ, resp. mimo JZ) na zabránenie vzniku alebo zmiernenie neželaných následkov udalosti na JZ, jeho obsluhu, obyvateľstvo alebo životné prostredie. Vzhľadom na to, že existuje veľké množstvo spôsobov straty alebo degradácie základných bezpečnostných funkcií a ciest úniku rádioaktívnych látok z JZ, tak zostavenie zoznamu postulovaných iniciačných udalostí a havarijných scenárov pre deterministické analýzy bezpečnosti je komplexná úloha.

Požiadavka na identifikáciu, kategorizáciu a výber postulovaných iniciačných udalostí a havarijných scenárov je ustanovená v Prílohe č. 3 časti B bode I. písm. A. ods. 12 a časti B bode II. písm. E. ods. 3 a 5 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/.

Zoznam postulovaných iniciačných udalostí má obsahovať všetky udalosti, ktoré môžu ovplyvniť bezpečnosť (RL E4.2 /14/).

6.1 Identifikácia PIU

Postulované iniciačné udalosti (PIU) majú byť identifikované na základe projektových charakteristík daného JZ, charakteristík lokality/okolia JZ, prevádzkových skúseností, technického posúdenia a kombinácie deterministického a pravdepodobnostného hodnotenia. Rozsah použitia deterministickej analýzy bezpečnosti a pravdepodobnostného hodnotenia bezpečnosti, ktorým sa preukazuje zváženie všetkých predvídateľných udalostí, má byť zdôvodnený (SSR-2/1, ods. 5.5 /13/).

Postulované iniciačné udalosti majú pokrývať všetky udalosti s únikom chladiva, predvídateľné zlyhania systémov, konštrukcií a komponentov JZ, ako aj nesprávne postupy obsluhy JZ a možné zlyhania vyplývajúce z vnútorných a vonkajších ohrození (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. E. a H. ods. 9 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; SSR-2/1, ods. 5.6 /13/; RL E5.1 a E5.2 /14/).

Postulované iniciačné udalosti majú zahŕňať udalosti, ktoré môžu nastať vo všetkých prevádzkových režimoch JE, a to v režime plného výkonu, nízkeho výkonu alebo odstavenia reaktora (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. I. ods. 2 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z.; SSR-2/1, ods. 5.6 /13/).

Pri identifikácii postulovaných iniciačných udalostí sa treba zaoberať udalosťami pochádzajúcimi z akejkoľvek časti JZ, ktoré majú, či už samostatne alebo v kombinácii s prípadnými ďalšími poruchami, potenciál viesť k úniku rádioaktívnych látok do životného prostredia. Patria sem udalosti, ktoré môžu viesť k uvoľneniu rádioaktívnych látok nielen z jadrového paliva nachádzajúceho sa v aktívnej zóne reaktora, ale aj v bazéne skladovania vyhoreného jadrového paliva (BSVP) alebo aj z iných zdrojov obsahujúcich rádioaktívne látky alebo zo systémov, ktoré slúžia na nakladanie s rádioaktívnymi látkami.

Pri identifikácii postulovaných iniciačných udalostí treba uvážiť, že jedna príčina môže súčasne vygenerovať iniciačné udalosti na niekoľkých alebo dokonca všetkých blokoch jadrovej elektrárne v prípade viac blokovej jadrovej elektrárne alebo v bazénoch skladovania vyhoreného jadrového paliva alebo v akýchkoľvek iných zdrojoch s potenciálnymi únikmi rádioaktívnych látok na danej lokalite (SSR-2/1, ods. 5.15B /13/).

Ako súčasť postulovanej iniciačnej udalosti treba v analýze odozvy JZ vziať do úvahy všetky následné zlyhania/účinky, ktoré môže daná udalosť vygenerovať na JZ (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 9 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; RL E5.1 a E5.2, E8.6 /14/). To zahŕňa:

- a) ak je iniciačnou udalosťou porucha časti elektrického rozvodného systému, tak v analýze očakávaných udalostí, udalostí typu projektové havárie alebo havárií v podmienkach rozšíreného projektu treba uvažovať nedostupnosť všetkých zariadení napájaných z tejto časti rozvodného systému,
- b) ak je iniciačnou udalosťou energetická udalosť, napr. porucha tlakového systému, ktorý vedie k úniku horúceho chladiva alebo k švihom potrubia, tak v analýze očakávaných

udalostí, udalostí typu projektové havárie alebo havárií v podmienkach rozšíreného projektu treba uvažovať potenciálne zlyhanie zariadenia, ktoré je takouto udalosťou ovplyvnené,

- c) v prípade zlyhaní vyvolaných vnútornými ohrozeniami, ako je požiar alebo záplava alebo zlyhaní vyvolaných vonkajšími ohrozeniami, ako sú zemetrasenia, indukovaná postulovaná iniciačná udalosť, má zahŕňať zlyhanie všetkých zariadení, ktoré nie sú navrhnuté tak, aby odolali účinkom danej udalosti alebo nie sú pred ňou chránené.

Postulované iniciačné udalosti majú byť špecifické pre dané JZ. Pri identifikácii postulovaných iniciačných udalostí treba zohľadniť spätnú väzbu z prevádzkových skúseností z daného JZ a z podobných JZ a porovnať ich s postulovanými iniciačnými udalosťami identifikovanými pre deterministické analýzy bezpečnosti podobných JZ (v závislosti od dostupnosti príslušných údajov).

Ak výsledky technického posúdenia, deterministického hodnotenia a pravdepodobnostného hodnotenia naznačujú, že kombinácia jednotlivých udalostí vrátane vnútorných a vonkajších ohrození, môže viesť k očakávaným udalostiam alebo havarijným podmienkam, tak takéto kombinácie udalostí sa majú, v závislosti najmä od ich pravdepodobnosti výskytu, uvažovať v udalostiach typu projektové havárie alebo byť zahrnuté do podmienok rozšíreného projektu (SSR-2/1, ods. 5.32 /13/; Príloha č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 10 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; RL E6.1 /14/). Príkladom kombinácie udalostí môže byť náhodne vzniknutá iniciačná udalosť spojená so SNVS, kombinácia zemetrasenia a požiaru alebo vetra a námrazy. Určité udalosti však môžu byť vyvolané následkom iných udalostí, napr. zaplavenie vyvolané zemetrasením. Také následné udalosti treba uvažovať ako súčasť pôvodnej iniciačnej udalosti.

Iniciačné udalosti, ktoré vzniknú počas prevádzkových stavov JZ zanedbateľne krátkeho trvania, môžu byť vylúčené z deterministickej analýzy bezpečnosti, ak dôkladná analýza a kvantitatívne posúdenie potvrdia, že ich potenciálny príspevok k celkovému riziku je zanedbateľný, vrátane rizika vzniku podmienok, ktoré by mohli viesť k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo veľkému úniku rádioaktívnych látok. Avšak potreba predchádzať týmto udalostiam alebo ich zmierňovať vhodnými postupmi alebo prostriedkami sa má riešiť od prípadu k prípadu.

Iniciačné udalosti majú zahŕňať iba tie poruchy a zlyhania (počiatočné alebo následné), ktoré priamo vedú k ohrozeniu bezpečnostných funkcií a napokon k ohrozeniu integrity bariér proti úniku rádioaktívnych látok. Ohrozenia, či už vnútorné alebo vonkajšie (vyvolané prírodou alebo človekom), sa samy o sebe nepovažujú za postulované iniciačné udalosti. Avšak zaťaženie spojené s týmito ohrozeniami by sa malo považovať za možnú príčinu iniciačných udalostí vrátane viacnásobných zlyhaní vyplývajúcich z týchto ohrození.

Niektoré obmedzujúce zlyhania (napr. roztrhnutie primárneho potrubia s veľkým únikom chladiva, roztrhnutie parovodu alebo potrubia napájacej vody, vystrelenie HRK) sa tradične považujú v deterministických analýzach bezpečnosti za udalosti typu projektových havárií. Tieto udalosti sa majú uvažovať v deterministických analýzach bezpečnosti, pretože predstavujú typ udalosti, proti ktorej musí byť reaktor chránený. Tieto udalosti by nemali byť

vylúčené z kategórie projektových havárií, pokiaľ dôkladná analýza a kvantitatívne hodnotenie ich potenciálneho príspevku k celkovému riziku JZ, vrátane podmienok, ktoré by mohli viesť k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok nenaznačujú, že môžu byť vylúčené.

Poruchy v podporných systémoch, ktoré bránia prevádzke systémov potrebných na normálnu prevádzku, sa majú považovať za postulované iniciačné udalosti, ak takéto poruchy v konečnom dôsledku vyžadujú aktiváciu systémov ochrany reaktora alebo bezpečnostných systémov.

Medzi postulované iniciačné udalosti majú byť tiež začlenené udalosti pri manipulácii s čerstvým aj vyhoreným jadrovým palivom, ktoré sa môžu vyskytnúť na JZ; nehody so zvýšením reaktivity v čerstvom alebo vyhorenom jadrovom palive; nehody v akomkoľvek pomocnom systéme, ktorý obsahuje pevné, kvapalné alebo plynne rádioaktívne látky; poruchy v systémoch alebo komponentoch, ako sú filtre alebo nádrže na vymieranie, ktoré sú určené na zníženie aktivity vypúšťaných rádioaktívnych látok počas normálnej prevádzky.

Predpoveď správania sa JZ v stavoch JZ iných, ako je normálna prevádzka (očakávané udalosti, udalosti typu projektových havárií a podmienky rozšíreného projektu), je založená na špecifickom zozname postulovaných iniciačných udalostí a havarijných scenárov pre dané JZ, ktoré sú prípadne spojené s ďalšími poruchami a zlyhaniami systémov, konštrukcií a komponentov alebo ľudskými chybami pre špecifické sekvencie udalostí.

Zoznam postulovaných iniciačných udalostí má byť komplexný, aby analýza správania sa JZ bola čo najúplnejšia a všetky predvídateľné udalosti s potenciálom závažných následkov a všetky predvídateľné udalosti s významnou frekvenciou výskytu boli zohľadnené a vzaté do úvahy v projekte (SSR-2/1, požiadavka 16 /13/) a hodnotení bezpečnosti JZ.

Zoznam postulovaných iniciačných udalostí treba preskúmať, pretože činnosti projektovania a hodnotenia bezpečnosti prebiehajú ako súčasť jedného iteratívneho procesu. Preskúvanie treba vykonávať počas celej životnosti JZ, aspoň ako súčasť pravidelného, komplexného a systematického hodnotenia jadrovej bezpečnosti JZ, aby sa zabezpečilo, že zoznam postulovaných iniciačných udalostí a podmienky rozšíreného projektu zostávajú aktuálne.

Proces identifikácie postulovaných iniciačných udalostí treba zdokumentovať a identifikované postulované iniciačné udalosti zdôvodniť.

6.2 Zoskupenie a výber PIU očakávaných udalostí a udalosti typu projektových havárií

Postulované iniciačné udalosti (PIU) je praktické rozdeliť do reprezentatívnych skupín sekvencií udalostí podľa vývoja predpokladaných udalostí. Každá skupina má obsahovať sekvencie udalostí, ktoré vedú k podobnej požiadavke na pôsobenie bezpečnostných funkcií a bariér a vyžadujú podobné zmierňujúce zásahy na privedenie JE do bezpečného stavu. To umožňuje ohraničiť udalosti zo skupiny jedinou reprezentatívnou sekvenciou udalostí a na

všetky postulované iniciačné udalosti zoskupené pod rovnakou reprezentatívnou sekvenciou udalostí uplatniť rovnakú metodiku analýzy, predpoklady a kritériá prijateľnosti.

Na analýzu zdrojového člena môžu byť vhodné špecifické zoskupenia postulovaných iniciačných udalostí, ktoré primerane riešia rôzne cesty, ktorými by rádioaktívne látky mohli uniknúť do životného prostredia. Z dôvodu potenciálne závažných následkov treba aj v prípade relatívne malých únikov pozornosť venovať skupine udalostí, pri ktorých by únik rádioaktívnych látok mohol ísť obtokom ochrannej obálky.

V rámci každej skupiny postulovaných iniciačných udalostí majú byť reprezentatívne udalosti rozdelené do kategórií podľa iniciačnej udalosti v skupine s najvyššou frekvenciou výskytu. Priradenie každej postulovanej iniciačnej udalosti k frekvenčnému rozsahu treba skontrolovať vhodnou metodikou.

Minimálny súbor postulovaných iniciačných udalostí pre očakávané udalosti a udalosti typu projektových havárií, na ktoré musí byť spracovaná analýza odozvy JZ s jadrovým reaktorom (vrátane bazéna skladovania vyhoreného jadrového paliva (BSVP)), je ustanovený v Prílohe č. 3 časti B bode II. písm. E. ods. 1 a písm. I. ods. 2 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 z. z. /2/. Tento súbor je pre JZ s VVER-440/V213 konkretizovaný v odporúčaní v Prílohe II bezpečnostného návodu (odporúčanie bolo vypracované s využitím súboru postulovaných iniciačných udalostí publikovaného v dokumente MAAE SRS No. 23 a EBP). Postulované iniciačné udalosti musia byť podľa frekvencie možného výskytu zoskupené do kategórií, ktoré korešpondujú so stavom JZ (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. A. ods. 12 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/). Kategórie iniciačných udalostí sú rozdelené do skupín podľa svojich charakteristických prejavov.

Na podporu zdôvodnenia kategorizácie postulovaných iniciačných udalostí podľa ich frekvencie výskytu je vhodné použiť pravdepodobnostné hodnotenie.

Z každej kategórii reprezentatívnych skupín sekvencií udalostí je možné vybrať niekoľko limitných prípadov, ktoré sa označujú ako hraničné scenáre alebo obáľkové scenáre. Tieto hraničné alebo obáľkové scenáre treba vyberať tak, aby spoločne zahŕňali prípady, ktoré sú najnepriaznivejšie vzhľadom na každé z prešetrovaných kritérií prijateľnosti a zahŕňajú obmedzenia hodnôt sledovaných parametrov pre zariadenia súvisiace s bezpečnosťou. Hraničné scenáre alebo obáľkové scenáre môžu byť vytvorené aj kombináciou postulovaných iniciačných udalostí a/alebo ich dôsledky môžu byť zosilnené v rámci hraničného/obáľkového scenára, aby zahŕňali všetky možné postulované iniciačné udalosti v skupine. Analýza bezpečnosti má potvrdiť, že zoskupovanie a ohraničenie udalostí je prijateľné.

Postulovaná iniciačná udalosť s hraničným scenárom alebo obáľkovým scenárom je spravidla analyzovaná z rôznych hľadísk a hodnotená vzhľadom na rôzne kritériá prijateľnosti.

Frekvencia priradená k hraničným scenárom by mala byť ohraničujúcou frekvenciou stanovenou pre predpokladané iniciačné udalosti, ktoré boli zoskupené.

6.3 Identifikácia podmienok rozšíreného projektu a výber hraničných scenárov

V rámci ochrany do hĺbky (RL F1.1 /14/) treba vykonať analýzu podmienok rozšíreného projektu (DEC) s cieľom ďalšieho zvýšenia bezpečnosti JZ prostredníctvom:

- a) zlepšenia schopnosti JZ odolávať závažnejším udalostiam alebo podmienkam ako sa uvažujú v projektovej báze,
- b) minimalizácie rádioaktívnych únikov škodlivých pre verejnosť a životné prostredie, pokiaľ je to pri takýchto udalostiach alebo podmienkach rozumne praktické.

Existujú dve kategórie podmienok rozšíreného projektu (RL F1.2 /14/): podmienky rozšíreného projektu bez významnej degradácie jadrového paliva, resp. podmienky, pri ktorých je možné predísť závažnému poškodeniu jadrového paliva v aktívnej zóne reaktora alebo pri skladovaní vyhoreného jadrového paliva (DEC-A); a podmienky rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva, resp. podmienky s predpokladaným závažným poškodením jadrového paliva (DEC-B). V týchto dvoch kategóriách je možné pri deterministickej analýze bezpečnosti použiť rôzne kritériá prijateľnosti a rôzne pravidlá.

Sekvencie udalostí, ktoré vedú k podmienkam rozšíreného projektu, majú byť identifikované a odôvodnené na základe projektových charakteristík daného JZ, charakteristík lokality, prevádzkových skúseností, technického posúdenia, kombinácie deterministického a pravdepodobnostného hodnotenia a výsledkov výskumu (RL F2.1 /14/) s cieľom ďalšieho zlepšenia bezpečnosti JE zvýšením schopností JZ odolávať bez neprijateľných rádiologických následkov udalostiam, ktoré sú buď závažnejšie ako udalosti typu projektových havárií, alebo zahŕňajú dodatočné zlyhania. Tieto podmienky rozšíreného projektu sa majú použiť na identifikáciu dodatočných havarijných scenárov, ktoré majú byť riešené v projekte JZ a na plánovanie realizovateľných opatrení na predchádzanie takýmto udalostiam alebo na zmiernenie ich následkov (SSR-2/1, požiadavka 20 /13/).

Zohľadnené majú byť všetky významné zdroje rádioaktívnych látok na JZ, všetky udalosti vedúce k podmienkam, ktoré sú závažnejšie ako udalosti typu projektových havárií alebo zahŕňajú viacnásobné zlyhania bezpečnostných systémov s následným ohrozením integrity bariér proti uvoľneniu rádioaktívnych látok.

Uvažované musí byť pôsobenie rôznych vierohodných kombinácií náhodne vzniknutých jednotlivých udalostí, vrátane vnútorných a vonkajších ohrození, ktoré môžu viesť k abnormálnej prevádzke alebo k havarijným podmienkam (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 10 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; SSR-2/1, ods. 5.32 /13/). Také kombinácie udalostí majú byť zaradené buď medzi udalosti typu projektových havárií, alebo do kategórie havárií v podmienkach rozšíreného projektu v závislosti hlavne od pravdepodobnosti ich výskytu.

Identifikáciu podmienok rozšíreného projektu treba preskúmať pomocou deterministického a pravdepodobnostného prístupu, ako aj pomocou technického posúdenia

a ak je to relevantné, tak aj s využitím prevádzkových skúseností a významných nových bezpečnostných informácií, aby sa zistilo, či identifikované podmienky rozšíreného projektu sú stále aktuálne. Preskúvanie treba vykonávať počas celej životnosti JZ aspoň ako súčasť pravidelného, komplexného a systematického hodnotenia jadrovej bezpečnosti JZ. Na základe výsledkov preskúmania treba určiť potrebu a možnosti zlepšenia identifikácie podmienok rozšíreného projektu a vykonať príslušné opatrenia (RL F5.1 /14/).

Proces identifikácie podmienok rozšíreného projektu treba zdokumentovať a identifikované postulované sekvencie udalostí zdôvodniť.

6.3.1 Podmienky rozšíreného projektu bez významnej degradácie jadrového paliva

Proces identifikácie podmienok rozšíreného projektu bez významnej degradácie paliva treba začať s uvažovaním tých udalostí a kombinácií udalostí, ktoré nemožno považovať s vysokým stupňom vierohodnosti za veľmi nepravdepodobné a ktoré môžu viesť k závažnému poškodeniu jadrového paliva v aktívnej zóne alebo v bazéne skladovania vyhoreného jadrového paliva. Podmienky majú pokrývať (RL F2.2 /14/):

- a) udalosti vyskytujúce sa počas definovaných prevádzkových stavov JZ,
- b) udalosti vyplývajúce z vnútorných alebo vonkajších ohrození,
- c) poruchy so spoločnou príčinou.

V prípade potreby treba uvažovať všetky jadrové reaktory a bazény skladovania vyhoreného paliva na lokalite. Pokryté majú byť udalosti, ktoré môžu mať vplyv na všetky bloky na lokalite, prípadné interakcie medzi JE, ako aj interakcie s inými lokalitami v okolí.

Pri identifikácii podmienok rozšíreného projektu bez významnej degradácie jadrového paliva treba venovať pozornosť pomocným a podporným systémom (napr. vetranie, chladenie, dodávka elektrickej energie), pretože niektoré z týchto pomocných/podporných systémov môžu spôsobiť okamžité alebo oneskorené následné viacnásobné poruchy v prevádzkových a bezpečnostných systémoch.

Súbor sekvencií pre kategóriu udalostí havárií v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie jadrového paliva, na ktoré musí byť spracovaná deterministická analýza odozvy JZ s jadrovým reaktorom, je ustanovený v Prílohe č. 3 časti B bode II. písm. E. ods. 3 a ods. 5 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/. Tento súbor je konkretizovaný v Prílohe II bezpečnostného návodu a bol vypracovaný s využitím súboru sekvencií publikovaného v dokumente MAAE SSG-2 (Rev. 1).

Sekvencie udalostí pre rôzne podmienky rozšíreného projektu je možné zoskupiť do reprezentatívnych skupín sekvencií udalostí, ktoré súvisia s podobnými bezpečnostnými výzvami. Každú skupinu potom možno analyzovať prostredníctvom obálkového scenára, ktorý predstavuje najväčšiu výzvu pre príslušné kritériá prijateľnosti.

6.3.2 Podmienky rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva

Udalosti s tavením jadrového paliva majú byť postulované pre jadrové palivo nachádzajúce sa v reaktore a pokiaľ sa vierohodne nepreukáže, že tavenie jadrového paliva je extrémne nepravdepodobné, tak aj pre jadrové palivo nachádzajúce sa v bazéne skladovania vyhoreného jadrového paliva (BSVP) (RL F1.2 /14/).

Podmienky rozšíreného projektu pre havárie s tavením jadrového paliva (DEC-B) treba postulovať tak, aby boli pokryté situácie, že prijaté riešenia zabraňujúce taveniu jadrového paliva zlyhajú alebo sú nedostatočné a že postupnosť porúch a zlyhaní sa rozvinie do nehody alebo havárie (RL F2.3 /14/). Do úvahy treba vziať aj chyby obsluhy JZ pri riadení projektových havárií a dominantné havarijné scenáre, ktoré boli identifikované v pravdepodobnostnom hodnotení.

Pri identifikácii podmienok rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva vyvolanými externými udalosťami treba uvažovať so situáciou, že vonkajšie elektrické napájanie nie je k dispozícii niekoľko dní. Lokalita jadrového zariadenia je izolovaná počas prvých 72 hodín, kým jej je poskytnutá podpora cestnou alebo železničnou dopravou (v niektorých krajinách sa uvažuje s časom 120 hodín). Prenosné ľahké vybavenie však môže prísť do lokality z iných miest už po prvých 24 hodinách od vzniku udalosti.

Na deterministickú analýzu možno vybrať niekoľko obáľkových scenárov tak, aby pokrývali všetky hlavné fyzikálne javy charakteristické pre udalosti s tavením jadrového paliva, pravdepodobné cesty úniku rádioaktívnych látok do okolia JZ, opatrenia prijaté na zmiernenie následkov udalostí a aby identifikovali limitujúce parametre JE vyplývajúce z javov spojených s udalosťami. Tieto parametre by sa mali použiť v deterministických analýzach konštrukcií, systémov a komponentov JZ na preukázanie obmedzenia rádiologických následkov havárií. Deterministická analýza by mala poskytnúť environmentálne podmienky, ktoré treba vziať do úvahy pri posudzovaní schopnosti zariadení JZ plniť v prípade potreby zamýšľané funkcie.

Rámcové sekvencie havárií v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva, ktoré by mali byť rozvinuté podľa špecifik projektu a charakteristík lokality JZ (Bohunice/Mochovce), sú nasledujúce:

- a) strata schopnosti chladiť jadrové palivo (v reaktore alebo BSVP), ktorú vyvolala strata vonkajšieho elektrického napájania (pracovné i núdzové zdroje) spojená s čiastočnou alebo úplnou stratou vnútorných zdrojov elektrického napájania a stratou konečného odvodu tepla,
- b) strata integrity systému chladenia reaktora vo vnútri hermetickej zóny spojená so stratou chladiva bez dostupnosti systémov núdzového chladenia aktívnej zóny alebo s prekročením schopností systémov núdzového chladenia,
- c) strata integrity systému chladenia reaktora mimo hermetickej zóny/BSVP spojená so stratou chladiva bez dostupnosti systémov núdzového chladenia aktívnej zóny/BSVP alebo s prekročením schopností systémov núdzového chladenia,
- d) pád ťažkého bremena do BSVP.

JZ má mať inštalované zariadenia a prijaté postupy pre ochranu ochrannej obálky JZ v podmienkach DEC B (tavenie paliva) bez ohľadu na frekvenciu výskytu takýchto udalostí. Podmienky havárií s tavením jadrového paliva majú byť súčasťou deterministického hodnotenia bezpečnosti aj keď sú na JZ inštalované zariadenia a opatrenia na zamedzenie tavenia jadrového paliva. Vylúčenie, resp. praktická eliminácia, zlyhania ochrannej obálky musí byť preukázané analýzou.

6.4 PIU vyvolané vnútornými a vonkajšími ohrozeniami

Pri určovaní postulovaných iniciačných udalostí (PIU) vyvolanými vnútornými a vonkajšími ohrozeniami treba brať do úvahy účinky a zaťaženia z udalostí spôsobených príslušnými vnútornými a vonkajšími ohrozeniami jednotlivo, ako aj v kombinácii (SSR-2/1, požiadavka 17 a ods. 5.15A až 5.21A /13/). Všeobecný zoznam vnútorných ohrození a vonkajších ohrození možno nájsť v návodoch MAAE a návode ÚJD SR BNS I.4.5/2018 Požiadavky na bezpečnosť jadrových zariadení vo vzťahu k prírodným rizikám /17/. Samotné ohrozenia síce nepredstavujú iniciačné udalosti, ale sú spojené so zaťaženiami, ktoré môžu iniciačné udalosti vyvolať.

PIU treba definovať na základe posúdenia interných ohrození špecifických pre dané JZ. Zhrnuté majú byť všetky vnútorné ohrozenia, ktoré neboli minimalizované alebo vylúčené (RL SV4.1) z podrobnej analýzy.

Pre každú PIU treba definovať projektové parametre, pričom treba náležite zohľadniť výsledky posúdenia vnútorného ohrozenia. Hodnoty projektových parametrov treba vypracovať na konzervatívnom základe. Použitie najzávažnejšieho fyzicky možného zaťaženia je uprednostňovaným spôsobom konzervatívneho prístupu. Výnimky treba zdôvodniť (RL SV4.2).

PIU treba definovať na základe posúdenia vonkajších ohrození špecifických pre danú lokalitu (RL T4.1 /14/).

Pre každú PIU treba definovať projektové parametre, pričom treba náležite zohľadniť výsledky posúdenia vonkajšieho ohrozenia. Hodnoty projektových parametrov treba vypracovať na konzervatívnom základe (RL T4.4 /14/).

V súlade s dokumentom MAAE, SSR-2/1, ods. 5.15B, 5.19 a 5.63 /13/, pri určovaní postulovaných iniciačných udalostí spôsobených ohrozením špecifickým pre danú lokalitu pre viac blokové usporiadanie JE v lokalite, treba uvažovať možnosť, že udalosť ovplyvní niektoré alebo dokonca všetky bloky JE v lokalite súčasne. Konkrétne by sa mali vziať do úvahy účinky straty elektrickej siete, straty konečného odvodu tepla a poruchy spoločných zariadení zdieľaných medzi blokmi JE alebo JZ v lokalite.

Posúdenie ohrození, ktoré sa vykonáva pomocou pravdepodobnostných metód alebo iných vhodných inžinierskych metód, sa má snažiť preukázať pri každom ohrození, že:

a) ohrozenie možno vylúčiť z dôvodu jeho zanedbateľného príspevku k riziku alebo

- b) projekt JZ je dostatočne robustný, aby zabránil akémukoľvek prechodu od zaťaženia spôsobeného ohrozením do iniciačnej udalosti alebo
- c) ohrozenie spôsobuje iniciačnú udalosť posudzovanú v projekte JZ.

Posúdenie ohrození, použité metódy a vstupné údaje, ako aj použitie výsledkov vrátane vykonaných činností treba zdôvodniť, zdokumentovať a udržiavať aktuálne (RL SV3.3).

6.5 Kategorizácia PIU, udalostí vedúcich k podmienkam rozšíreného projektu a havárií

Postulované iniciačné udalosti (PIU) musia byť zoskupené podľa frekvencie možného výskytu (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. A. ods. 12 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/) do obmedzeného počtu kategórií, ktoré zodpovedajú stavom JZ (RL E7.1 /14/). Odporúčaná kategorizácia postulovaných iniciačných udalostí, postulovaných sekvencií udalostí vedúcich k podmienkam rozšíreného projektu a havárií je v Prílohe I. tohto bezpečnostného návodu. Daná kategorizácia slúži pre účely spracovania deterministických analýz bezpečnosti a hodnotenie ich výsledkov.

Iniciačné udalosti a z nich odvodené scenáre udalostí, ktorých výskyt nie je fyzikálne možný alebo sú s vysokým stupňom vierohodnosti považované za extrémne nepravdepodobné, možno považovať za prakticky eliminované a v deterministických analýzach bezpečnosti ich neuvažovať. Pravdepodobnosť výskytu prakticky eliminovanej udalosti má byť menšia ako 10^{-7} /rok (odporúčaná hodnota).

6.6 Sekvencie udalostí na preukázanie ich praktickej eliminácie

Udalosti, ktoré by viedli k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok, musia byť prakticky eliminované (SSR-2/1, ods. 2.13 (4) /13/).

Sekvencie udalostí, pri ktorých treba konkrétne preukázať ich praktickú elimináciu, možno klasifikovať nasledovne:

- a) udalosti, ktoré by mohli viesť k rýchlemu poškodeniu aktívnej zóny reaktora a následnému skorému zlyhaniu ochrannej obálky ako napr.:
 - roztrhnutie hlavných tlakových komponentov systému chladenia reaktora,
 - nekontrolované nehody s reaktivitou,
- b) ťažké havárie, ktoré by mohli viesť k skorému zlyhaniu ochrannej obálky ako napr.:
 - disperzia taveniny a vysoko energetický priamy ohrev ochrannej obálky,
 - veľké parné výbuchy,
 - výbuchy horľavých plynov vrátane vodíka a oxidu uhoľnatého,
- c) ťažké havárie, ktoré by mohli viesť k neskorému zlyhaniu ochrannej obálky,
 - pretavenie základovej dosky alebo obtok ochrannej obálky počas interakcie taveniny s betónom v šachte reaktora,
 - dlhodobá strata odvodu tepla z ochrannej obálky,

- výbuch horľavých plynov vrátane vodíka a oxidu uhoľnatého,
- d) ťažké havárie s obtokom ochrannej obálky,
- e) významná degradácia jadrového paliva v bazéne skladovania vyhoreného jadrového paliva a nekontrolovaný únik rádioaktívnych látok.

Analýzy sekvencií udalostí, ktorými sa preukazuje ich praktická eliminácia, nie sú súčasťou deterministickej analýzy bezpečnosti. Deterministická analýza bezpečnosti však prispieva k preukázaniu, že opatrenia prijaté v projekte a prevádzke sú účinné pri praktickej eliminácii týchto sekvencií.

7 Kritériá prijateľnosti deterministických analýz bezpečnosti

Požiadavky na existenciu a špecifikovanie kritérií prijateľnosti sú ustanovené v Prílohe č. 3 časti B bode I. písm. A. ods. 12 a časti B bode II. písm. F. vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; tiež v RL E7 /14/; GSR Part 4, ods. 4.48 /11/ a SSR-2/1 požiadavka 14 a ods. 5.71 /13/).

Kritériá prijateľnosti sa používajú v deterministických analýzach bezpečnosti na posudzovanie prijateľnosti výsledkov analýzy ako prejav bezpečnosti JZ. Rozpoznávajú sa tri kategórie kritérií:

- a) bezpečnostné kritériá: kritériá, ktoré sa buď priamo týkajú rádiologických následkov prevádzkových stavov alebo havarijných podmienok alebo integrity bariér proti únikom rádioaktívnych látok s náležitým ohľadom na zachovanie bezpečnostných funkcií,
- b) projektové kritériá: projektové limity jednotlivých systémov, konštrukcií a komponentov, ktoré sú súčasťou projektovej bázy ako dôležité predpoklady na splnenie bezpečnostných kritérií,
- c) prevádzkové kritériá: pravidlá, ktoré má prevádzkovateľ dodržiavať počas normálnej prevádzky a očakávaných udalostí a ktoré poskytujú predpoklady na splnenie projektových kritérií a v konečnom dôsledku aj bezpečnostných kritérií.

V tomto bezpečnostnom návode sa pozornosť venuje iba bezpečnostným kritériám prijateľnosti. Bezpečnostné kritériá prijateľnosti (ďalej len „kritériá prijateľnosti“) môžu zahŕňať bezpečnostné rezervy s ohľadom na bezpečnostné kritériá.

Kritériá prijateľnosti sú súčasťou projektu jadrového zariadenia a ÚJD SR ich posudzuje ako súčasť deterministických analýz bezpečnosti, ktoré tvoria prílohu k žiadosti o povolenie predkladanej na ÚJD SR.

Kritériá prijateľnosti stanovujú podmienky pre stavy JZ počas udalosti a po jej odznení, požiadavky na odozvu systémov i na zásahy obsluhy JZ. Sú vyjadrené v kvalitatívnych termínoch alebo kvantitatívnych limitoch.

Kritériá prijateľnosti musia byť stanovené na dvoch úrovniach – rádiologické a technické (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. F. ods. 1 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; RL E7.1 /14/):

- a) vysokoúrovňové (rádiologické) kritériá, ktoré sa týkajú rádiologických dôsledkov prevádzkových stavov a havarijných podmienok. Tieto sú vyjadrené vo forme úrovni aktivity alebo dávok ožiarenia a sú definované zákonom a vyhláškami,
- b) odvodené/podrobné (technické) kritériá, ktoré sa týkajú integrity bariér proti uvoľneniu rádioaktívnych látok (napr. palivová matrica, pokrytie jadrového paliva, medzná hranica tlaku v systéme chladenia reaktora, ochranná obálka). Tieto sú definované v požiadavkách dozoru alebo navrhnuté projektantom a podliehajúce prijatiu dozorom na použitie pri preukazovaní bezpečnosti.

Kritériá prijateľnosti musia byť priradené ku každému stavu JZ s reaktorom alebo reaktormi (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. F. ods. 1 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; RL E7.1 /14/).

Na kritériá prijateľnosti má byť aplikovaný odstupňovaný prístup. Prísnejšie kritériá sú aplikované pre kategórie udalostí s vyššou frekvenciou výskytu, aby sa predišlo horším následkom udalostí alebo ich rozvoju do závažnejšej udalosti. Časté iniciačné udalosti nesmú mať žiadne alebo iba malé rádiologické následky a tie udalosti, ktoré by mohli mať závažné následky musia mať veľmi nízku pravdepodobnosť výskytu (príloha č. 3 časť B. II. bod F ods. 1 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; RL E7.1 /14/).

Hodnoty kritérií prijateľnosti použité v deterministických analýzach bezpečnosti treba zdokumentovať a odôvodniť. Príslušné dôkazy možno uvádzať napr. odkazom na analyticko-experimentálne výsledky preukazujúce použitú hodnotu kritéria, všeobecne záväzný právny predpis alebo správnu prax, odkiaľ bola použitá hodnota kritéria prevzatá, napr. návody/stanoviská MAAE, Jadrovej energetickej agentúry (NEA), Medzinárodného výboru pre radiačnú ochranu (ICRP) atď. alebo na projekt JZ.

Kritériá prijateľnosti majú byť stanovené konzervatívne vzhľadom na hodnotenie bezpečnosti JZ.

Hodnoty kritérií prijateľnosti závisia od podmienok spojených s udalosťami, t. j. v závislosti od frekvencie výskytu udalosti, prevádzkového režimu, fyzickej bariéry.

V deterministických analýzach bezpečnosti kritériá prijateľnosti slúžia na:

- a) preukázanie, že dávky z ožiarenia sú také nízke ako je možné rozumne dosiahnuť,
- b) vyhodnotenie primeranosti bezpečnostnej rezervy a preukázanie zachovania celistvosti fyzických bariér koncepcie ochrany do hĺbky,
- c) preukázanie schopnosti systémov a zásahov obsluhy JZ vykonať zamýšľané bezpečnostné funkcie pri tých udalostiach, pri ktorých sa vykonanie bezpečnostnej funkcie požaduje.

Referenčné úrovne WENRA E7.2, E7.3, E7.4 a E7.5 /14/ sú transponované do ustanovení Prílohy č. 3 časti B bodu II. písm. F. ods. 2 až 4 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/ a vysvetlené v nasledujúcom texte.

Odporúčaný zoznam kritérií prijateľnosti deterministických analýz bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí v kategórii projektových havárií, ktoré sa vzťahujú na integritu palivového prútika, primárneho okruhu, sekundárneho okruhu, ochrannej obálky, tlakovej nádoby reaktora a radiačné dávky je uvedený v Prílohe III. bezpečnostného návodu. Analýzy majú preukázať splnenie kritérií prijateľnosti.

Pri deterministických analýzach bezpečnosti udalostí typu havárií v podmienkach rozšíreného projektu bez závažného poškodenia jadrového paliva možno používať modifikované kritériá prijateľnosti. Modifikované kritériá prijateľnosti môžu byť odvodené z kritérií prijateľnosti stanovených pri udalostiach typu projektové havárie znížením konzervatívnosti príslušného kritéria prijateľnosti. Príkladom modifikovaného kritéria prijateľnosti môže byť vyššia prípustná hodnota tlaku v primárnom okruhu (135 % projektovej hodnoty tlaku pre udalosti ATWS), v sekundárnom okruhu a pod ochrannou obálkou jadrového reaktora, v porovnaní s hodnotou kritéria prijateľnosti pre udalosti typu projektových havárií. Analýzy bezpečnosti majú preukázať splnenie kritérií prijateľnosti. Dávky z ožiarovania majú byť tak nízke, ako je možné rozumne dosiahnuť.

Odporúčaný zoznam kritérií pre udalosti typu havárií v podmienkach rozšíreného projektu je v Prílohe III. bezpečnostného návodu. Kritériá sú zamerané na preukázanie účinného riadenia udalostí, predchádzanie vzniku udalostí, zmiernenie následkov udalostí a zvyšovanie bezpečnosti JZ. Preventívne alebo zmiernujúce opatrenia nemusia zahŕňať aplikáciu konzervatívneho prístupu k zaisteniu jadrovej bezpečnosti.

V deterministickej analýze bezpečnosti nie je potrebné vždy aplikovať všetky uvedené kritériá prijateľnosti. Umožňuje sa, aby splnenie kritérií prijateľnosti bolo overované individuálne podľa príslušných analyzovaných iniciačných udalostí a ďalších podmienok analýzy. V takom prípade je však potrebné, aby v analýze bol uvedený dôvod, prečo dané kritérium nebolo overované a ktorým kritériom je prekryté.

Hoci posúdenie inžinierskych aspektov dôležitých z hľadiska bezpečnosti nemusí byť v deterministickej analýze bezpečnosti výslovne riešené, tak posúdenie predstavuje významnú časť hodnotenia bezpečnosti. Bezpečnostné rozpätia, ktoré sa uplatňujú na projekt systémov, konštrukcií a komponentov, by mali zodpovedať neurčitosti v zaťaženiach, ktoré môžu znášať a následkom ich zlyhania.

Okrem všetkých relevantných fyzikálnych veličín by hodnotenie napätí a deformácií malo brať do úvahy environmentálne podmienky vyplývajúce z každého zaťaženia, každej kombinácie zaťaženia a príslušných okrajových podmienok. Kritériá prijateľnosti by mali adekvátne odrážať prevenciu následného zlyhania konštrukcií alebo komponentov, ktoré sú potrebné na zmiernenie následkov udalostí a korelujú s predpokladaným zaťažením.

8 Prístupy na zabezpečenie konzervatívnosti deterministických analýz bezpečnosti

Deterministická analýza bezpečnosti má preukázať, že sú splnené príslušné bezpečnostné požiadavky/kritériá prijateľnosti a existujú primerané bezpečnostné rezervy (v závislosti od stavu JZ) medzi hodnotami dôležitých parametrov, ktoré sa skutočne dosiahnu a prahovými hodnotami, pri ktorých by zlyhali bariéry proti úniku rádioaktívnych látok. V špecifických prípadoch môže byť analýza zameraná na odhad časového intervalu, ktorý je k dispozícii do porušenia kritéria prijateľnosti, bezpečnostnej funkcie alebo fyzickej bariéry.

Deterministická analýza bezpečnosti má zahŕňať určitý stupeň konzervativizmu, ktorý zodpovedá cieľom analýzy a stavu JZ. Konzervativizmus možno do analýzy zaviesť viacerými spôsobmi, vrátane konzervatívnych kritérií prijateľnosti a konzervatívnych predpokladov týkajúcich sa počiatočných a okrajových podmienok, pohotovosti a funkčnosti systémov a komponentov, zásahov obsluhy JZ i výpočtových modelov, korelácií a predpokladov analýzy.

Požiadavky na aplikáciu rôznych prístupov pri spracovaní deterministických analýz bezpečnosti sú uvedené v Prílohe č. 3 časti B bode II. písm. E. vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/.

Tabuľka 8.1 Prístupy pre vykonávanie deterministických analýz bezpečnosti.

Č.	Prístup	Typ výpočtového programu	Predpoklady o dostupnosti systémov	Typ počiatočných a okrajových podmienok
1	Konzervatívny	Konzervatívny	Konzervatívne	Konzervatívny
2	Kombinovaný	Najlepší odhad	Konzervatívne	Konzervatívny
3	Najlepší odhad s kvantifikáciou neurčitostí	Najlepší odhad	Konzervatívne	Najlepší odhad; čiastočne najnepriaznivejšie podmienky
4	Realistický	Najlepší odhad	Najlepší odhad	Najlepší odhad

Rôzne prístupy, ktoré sa používajú na spracovanie deterministických analýz bezpečnosti, sú zhrnuté v Tabuľke 8.1. Prístupy sa líšia úrovňou konzervatívnosti súvisiacou s používaným výpočtovým programom, predpokladmi týkajúcimi sa dostupnosti systémov a počiatočnými a okrajovými podmienkami použitými v analýze.

Deterministická analýza bezpečnosti vykonaná v súlade s prístupmi č. 1, č. 2 a č. 3 sa považuje za konzervatívnu, pričom úroveň konzervatívnosti klesá od prístupu č. 1 k prístupu č. 3. Za prístupmi č. 2 a č. 3 sú v podstate odlišné typy analýz. V praxi je však možné použiť zmes prístupov č. 2 a č. 3. Je to preto, lebo je tendencia používať najlepšie odhadované vstupné dáta vždy, keď sú k dispozícii dostatočné údaje a používať konzervatívne vstupné dáta vždy, keď sú údaje nedostatočné. Rozdiel medzi týmito prístupmi je štatistická kombinácia neistôt.

Pri spracovávaní deterministických analýz bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií treba zohľadniť neurčitost' použitých parametrov, ktorá zabezpečuje konzervatívnot' výsledkov analýz (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 6 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; tiež aj SSR-2/1, ods. 5.26 /13/). Neurčitosti výpočtových programov sa berú do úvahy buď implicitne pomocou konzervatívneho alebo kombinovaného prístupu, alebo explicitne pomocou prístupu najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí (pozri sekciu 8.5 tohto bezpečnostného návodu). V prvom prípade sú výsledky analýzy vyjadrené v súbore vypočítaných konzervatívnych hodnôt parametrov, v druhom prípade sú výsledky vyjadrené vo forme kvantilov alebo pravdepodobnostných rozdelení vypočítaných parametrov.

Pri spracovávaní deterministických analýz bezpečnosti havárií v podmienkach rozšíreného projektu možno použiť realistický prístup (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 4 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/). Funkčnosť ochrannej obálky jadrového reaktora možno analyzovať realistickým prístupom (SSR-2/1, ods. 5.27 /13/).

Pri spracovávaní deterministických analýz bezpečnosti očakávaných udalostí majú byť použité dva komplementárne prístupy: realistický prístup využívajúci riadiace systémy a konzervatívnejší prístup s použitím iba bezpečnostných systémov.

8.1 Konzervatívny prístup

V konzervatívnom prístupe sú predpokladané podmienky JZ a fyzikálne modely nastavené konzervatívne tak, aby ich účinok bol nepriaznivý vo vzťahu k prešetrovaným kritériám prijateľnosti. Konzervativizmus je uplatnený na všetky hlavné atribúty deterministickej analýzy bezpečnosti, t. j. kritériá prijateľnosti, počiatočné a okrajové podmienky, pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov, zásahy obsluhy JZ a výpočtový model. Predpokladá sa, že takýto obáľkový prístup pokryje veľa podobných procesov takým spôsobom, že kritériá prijateľnosti budú splnené pri všetkých pokrytých procesoch. Použitie konzervatívneho prístupu v analýzach zvyčajne vedie k vysoko pesimistickým výsledkom.

Konzervatívny prístup sa v minulosti používal pri spracovaní analýz bezpečnosti s cieľom zjednodušiť analýzu a kompenzovať obmedzenia modelovania a poznatkov o fyzikálnych javoch s veľkým konzervativizmom. Experimentálny výskum viedol k výraznému zvýšeniu poznatkov o fyzikálnych javoch a vývoj počítačových programov zlepšil schopnosť dosiahnuť také výpočtové výsledky, ktoré presnejšie zodpovedajú experimentálnym výsledkom a zaznamenaným sekvenciám udalostí na JZ. V súčasnosti sa konzervatívny prístup používa zriedkavo, vzhľadom na jeho nevýhody (napr. potenciálne zamaskovanie dôležitých javov, konzervativizmus v rôznych parametroch, ktoré sa potenciálne vzájomne rušia) a vzhľadom na zlepšené možnosti počítačových programov. Konzervatívny prístup sa neodporúča pre súčasnú deterministickú analýzu bezpečnosti okrem prípadov, keď sú obmedzené vedecké poznatky a experimentálna podpora. Prístup však zostáva aj naďalej dôležitý, pretože mohol byť použitý v starších analýzach.

8.2 Kombinovaný prístup

Kombinovaný prístup je založený na použití modelov a počítačových programov najlepšieho odhadu (angl. best-estimate) namiesto konzervatívnych modelov a programov. Výpočtové programy s najlepším odhadom sa používajú v kombinácii s konzervatívnymi počiatočnými a okrajovými podmienkami a konzervatívnymi predpokladmi týkajúcimi sa pohotovosti a funkčnosti systémov a komponentov, zásahov obsluhy JZ i vybraných výpočtových modelov, korelácií a predpokladov analýzy za predpokladu, že neurčitosti spojené s modelmi sú pochopené a použité parametre JE sú konzervatívne založené na prevádzkových skúsenostiach. Predpokladá sa, že neurčitosti spojené s analýzou sú v dostatočnej miere prekryté pesimizmom aplikovaným na analýzu. Úplná analýza zahŕňa použitie analýz citlivosti na zdôvodnenie výberu konzervatívnych vstupných údajov. Kombinovaný prístup sa používa pri analýzach udalostí typu projektových havárií a pri konzervatívnej analýze očakávaných udalostí.

8.3 Prístup najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí

Prístup najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí umožňuje v analýze používať výpočtové programy typu najlepšieho odhadu (angl. best-estimate) spolu s realistickejšími predpokladmi. Môže sa použiť zmes najlepších odhadov a čiastočne nepriaznivých, t. j. trochu konzervatívnych počiatočných a okrajových podmienok, berúc do úvahy veľmi nízku pravdepodobnosť, že všetky parametre by sa vyskytli súčasne s najväčšou pesimistickou hodnotou. Konzervatívne predpoklady sa obvykle týkajú dostupnosti systémov. Aby sa zabezpečil celkový požadovaný konzervativizmus analýzy treba identifikovať, kvantifikovať a štatisticky kombinovať neurčitosti a posúdiť účinky neurčitostí na výsledky analýzy s cieľom potvrdiť, že skutočné parametre JZ budú ohraničené hornými a dolnými hranicami výsledkov výpočtu s primeranou úrovňou vierohodnosti. Prístup najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí obsahuje určitú mieru konzervativizmu a je akceptovaný pri analýzach udalostí typu projektových havárií a pri konzervatívnych analýzach očakávaných udalostí. Spôsoby kvantifikácie neurčitostí sú opísané v sekcii 8.5 tohto bezpečnostného návodu.

8.4 Realistický prístup

Princípom realistického prístupu je vypracovanie deterministickej analýzy, ktorej výsledky zodpovedajú reálnemu správaniu sa JZ, s prihliadnutím na úroveň znalostí o simulovaných fyzikálnych javoch, ktorých výskyt sa v priebehu analyzovaného deja očakáva, a na možnosť získania potrebných vstupných dát. Princíp je založený na použití skutočných údajov o JZ bez zámerného vnášania konzervativizmu vzhľadom na vyšetrované kritérium prijateľnosti alebo napočítané výsledky. Uplatnenie realistického prístupu znamená použiť výpočtový program najlepšieho odhadu (angl. best-estimate), uvažovať realistické počiatočné a okrajové podmienky, skutočnú činnosť systémov a komponentov a zásahov obsluhy JZ.

Realistický prístup je vhodný na realistickú analýzu očakávaných udalostí zameraných na hodnotenie schopnosti riadiacich systémov a na analýzu havárií v podmienkach rozšíreného projektu, ako aj na účely odôvodnenia predpísaných zásahov obsluhy JZ v realistickej analýze. Deterministická analýza prevádzkových udalostí, ktorá si vyžaduje zmiernenie prísnosti požiadaviek dozoru, sa tiež môže opierať o modelovanie s najlepšími odhadmi.

Niektoré aplikácie výpočtových deterministických analýz vypracovaných použitím realistického prístupu vyžadujú identifikovať neurčitosti spojené s analýzou a oceniť ich vplyv na napočítané výsledky. Ocenenie možno obmedziť na najdôležitejšie zdroje neurčitostí a vykonať ho prostredníctvom analýzy citlivosti.

8.5 Kvantifikácia neurčitostí

Kvantifikácia neurčitostí by mala byť založená na štatistickej kombinácii neistôt v podmienkach JZ a v modeloch výpočtových programov aby sa zabezpečilo, že s určenou pravdepodobnosťou dostatočne veľký počet vypočítaných výsledkov spĺňa kritériá prijateľnosti.

V rámci uvažovaných metód na riešenie neurčitostí by sa mali neurčitosti vyhodnotiť buď metódou šírenia vstupných neurčitostí, alebo extrapoláciou výstupných neurčitostí. V prvom prípade sa celková neurčitosť výstupov hodnotí vykonaním dostatočného počtu výpočtov, pričom sa menia neurčité vstupné parametre. V druhom prípade sa celková neurčitosť výstupov hodnotí na základe porovnania medzi výstupmi (výsledky výpočtu) a experimentálnymi údajmi.

Bez ohľadu na použitú metódu analýzy neurčitostí treba v dokumentácii k analýze uviesť opis použitej metódy a výsledky jej verifikácie a validácie. Tieto informácie môžu byť obsiahnuté v príslušnej technickej dokumentácii, na ktorú dokumentovaná analýza odkazuje.

Základom prístupu najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí je identifikovanie neurčitých parametrov a stanovenie hodnôt, ktoré tieto parametre môžu v rámci analýzy nadobudnúť (napr. vo forme intervalu hodnôt alebo určením pravdepodobnostnej distribučnej funkcie vrátane jej parametrov). Pritom treba uvažovať všetky zdroje neurčitostí, ktoré do analýzy vstupujú, t. j.:

- a) neurčitosti použitého výpočtového programu spojené s transformáciou fyzikálnych a chemických procesov do matematických modelov, so zjednodušeniami a aproximáciami zabudovaných korelácií, ohraničeniami a obmedzeniami výpočtového programu, neúplnosťou dátových knižníc a pod.,
- b) neurčitosti použitého modelu daného JZ spojené s detailnosťou geometrie simulovaného JZ, trojrozmernými efektmi, vplyvom mierky, zjednodušeniami riadiacich systémov a bezpečnostných systémov a pod.,
- c) neurčitosti parametrov JZ spojené s nedostupnosťou alebo neznalosťou parametrov JZ, chybami meracích prístrojov, neurčitosťami zásahových a reakčných časov riadiacich systémov a bezpečnostných systémov a pod.

Po identifikácii neurčitých parametrov možno ich počet zredukovať z praktických dôvodov a tiež vzhľadom na to, že mnohé parametre majú na priebeh napočítaných výsledkov zanedbateľný vplyv, takže sú uvažované iba neurčité parametre s výrazným vplyvom na výsledky, pričom ich celkový počet je na zvážení riešiteľa, príp. požiadaviek použitej metódy analýzy neurčitostí. Postup výberu neurčitých parametrov má byť dostatočne opísaný a zdôvodnený. Príkladom konzistentného postupu pri identifikácii neurčitých parametrov a stanovení ich relatívneho vplyvu na priebeh analýzy a prešetrované kritériá prijateľnosti je metóda PIRT (tabuľka prešetrovaných kritérií prijateľnosti – angl. Phenomena Identification and Ranking Table).

Metódy šírenia vstupných neurčitostí umožňujú pomocou regresných alebo korelačných techník zo súborov vstupných parametrov a zo zodpovedajúcich výstupných hodnôt zoradiť neurčité vstupné parametre podľa ich príspevku k výstupnej neurčitosti. Toto poradie označuje, ktorým parametrom má byť venovaná najväčšia pozornosť. Treba však vziať do úvahy, že regresné alebo korelačné techniky môžu poskytnúť nejasné alebo zavádzajúce výsledky, najmä ak nie je reakcia lineárna alebo ak je významný vplyv krížovej korelácie.

Pri stanovení rozsahu hodnôt, ktoré daný parameter môže nadobúdať, treba vychádzať z nepresností meracích údajov stanovených výrobcom, z experimentov, zo záznamov prevádzkových parametrov zariadenia, z neurčitostí stanovených vývojárom výpočtového programu a iných vhodných zdrojov. Ak to nie je možné, mali by sa použiť konzervatívne hodnoty. Vybrané vstupné parametre by mali byť buď navzájom nezávislé, alebo by mali byť identifikované a kvantifikované závislosti medzi neurčitými vstupnými parametrami. V prípade určenia rozsahu hodnôt vo forme distribučnej funkcie treba zdôvodniť jej výber a charakterizovať jej parametre. Pri všetkých použitých parametroch pri stanovovaní neurčitostí musia byť tiež uvedené odkazy na zdroje, odkiaľ boli tieto údaje použité, resp. ako boli tieto údaje odvodené.

Výber neurčitých vstupných parametrov, ktoré sa majú meniť a použité pravdepodobnostné rozdelenia, sú rozhodujúce pre spoľahlivosť výsledkov, pretože silne ovplyvňujú šírku pásma neistoty výsledkov, ktoré sú dôležité pre inžinierske aplikácie.

Pred kvantifikáciou neurčitostí treba zabezpečiť, aby:

- a) bol primerane validovaný výpočtový program použitý na analýzu,
- b) boli započítané užívateľské efekty (napr. možný nesprávny výber parametrov a hodnôt),
- c) bol minimalizovaný vplyv výpočtovej platformy (hardvéru a softvéru) na výsledky,
- d) bola kvalifikovaná metodika na kvantifikáciu neurčitostí.

Vplyv neurčitostí použitých parametrov na priebeh udalostí je zhodnotený vykonaním analýzy neurčitostí. Výsledkom je stanovenie pásma neurčitostí rozhodujúcich parametrov, ktoré preukazujú splnenie prešetrovaných kritérií prijateľnosti. Vo všeobecnosti nie je potrebné stanoviť celé pásmo neurčitostí, stačí prešetriť len hornú, resp. dolnú hranicu pásma podľa toho, či je potrebné preukázať splnenie maximálnej, resp. minimálnej hodnoty prešetrovaných kritérií prijateľnosti. Výsledok analýzy je akceptovateľný, ak je stanovený s minimálne 95 %

pravdepodobnosťou, t. j. analýza neurčitosti preukáže 95 % a vyššiu pravdepodobnosť, že kritériá prijateľnosti nebudú prekročené. V niektorých prípadoch je možné zhodnotiť neurčitosť analýzy podrobnejšie stanovením úrovne vierohodnosti. V tomto prípade sa tiež odporúča hodnota 95 % a vyššia. Splnenie kritérií prijateľnosti je prešetrované vzhľadom na hraničné (maximálne, resp. minimálne) hodnoty z napočítaného pásma neurčitostí.

9 Deterministické analýzy bezpečnosti pre rôzne stavy JZ

V tejto kapitole bezpečnostného návodu sú opísané základné prístupy, ktoré sa používajú pri vypracovávaní deterministických analýz bezpečnosti. Prístupy (metódy) sú odvodené z požiadaviek ustanovených v Prílohe č. 3 časti B bode II. písm. E. ods. 4 a 6 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/.

Analýzy udalostí typu projektových havárií musia zohľadňovať neurčitosti použitých parametrov zabezpečujúce konzervatívnosť výsledkov analýz. Môžu byť vykonané použitím buď konzervatívneho prístupu, kombinovaného prístupu, alebo realistického prístupu s ocenením neurčitostí.

Analýzy udalostí typu havárie v podmienkach rozšíreného projektu môžu byť spracované použitím realistického prístupu. Avšak, ak je na analýzu použitá metodika najlepšieho odhadu, tak treba prešetriť adekvátnosť bezpečnostných rezerv do straty integrity bariér. Analýzou citlivosti treba preukázať, že účinku nepriaznivej skokovej zmeny stavu, ktorý potenciálne vedie k skorému alebo veľkému úniku rádioaktívnych látok, možno spoľahlivo zabrániť. Toto preukázanie je obzvlášť dôležité v podmienkach rozšíreného projektu a najmä pri ťažkých haváriách, ktoré majú vyšší potenciál na degradáciu bariér vedúci k skorému alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok.

Trvanie procesu, ktorý treba v analýzach prešetriť, má pokrývať priebeh od vzniku procesu až po jeho odznenie alebo po časový bod, keď analyzovaná udalosť je plne zvládnutá.

V deterministickej analýze bezpečnosti by sa mali uvažovať len tie systémy, konštrukcie a komponenty, ktoré spĺňajú požiadavky súvisiace s príslušným stavom JZ a ich bezpečnostnou klasifikáciou.

V deterministickej analýze bezpečnosti treba brať do úvahy relevantné zmeny súvisiace so starnutím jadrového zariadenia.

Analýza zdrojového člena by sa mala vykonať pri každom type udalosti, pri ktorej nastávajú javy ovplyvňujúce zdrojový člen. Medzi typické udalosti patrí: udalosť so stratou chladiwa a únikom rádioaktívnych látok z aktívnej zóny reaktora pod ochrannú obálku alebo mimo nej; udalosti, ku ktorým dochádza mimo uzavretý priestor, napr. v bazéne skladovania vyhoreného jadrového paliva; nehody pri manipulácii s ožiareným palivom; a náhodné úniky zo systémov na spracovanie a skladovanie plynného a kvapalného rádioaktívneho odpadu. Hodnotenie zdrojového člena by malo zahŕňať predpovedanie správania sa rádioaktívnych látok rôznymi cestami úniku zo zdroja až do ich uvoľnenia do životného prostredia.

9.1 Deterministické analýzy bezpečnosti normálnej prevádzky

9.1.1 Špecifické ciele analýzy

Deterministická analýza bezpečnosti normálnej prevádzky má zahŕňať analýzu rádiologickej situácie na JZ a odhad vypúšťania rádioaktívnych látok do životného prostredia. Sú to vstupy potrebné na stanovenie dávok ožiarenia pracovníkov JZ a stanovenia dávok ožiarenia pre obyvateľstvo, faunu a flóru v okolí JZ. Vzhľadom na zložitosť rádiologickej analýzy a najmä jej silnú závislosť od organizácie prevádzky JZ, nie je v tomto bezpečnostnom návode uvedené príslušné usmernenie, ktoré však možno nájsť napr. v návode MAAE GSG-10.

Uvažované majú byť všetky režimy normálnej prevádzky a príslušné konfigurácie zariadení, na ktoré sa vzťahujú limity a podmienky bezpečnej prevádzky JZ, s osobitnou pozornosťou venovanou súvisiacim prechodovým procesom, ako sú zmeny výkonu reaktora, odstavenie reaktora, spustenie reaktora, ochladzovanie reaktora, nakladanie s čerstvým a vyhoreným jadrovým palivom vrátane výmeny paliva.

9.1.2 Kritériá prijateľnosti

Deterministická analýza bezpečnosti má posúdiť, či môže byť normálna prevádzka JZ vykonávaná tak, aby hodnoty parametrov zariadenia neprekročili limity a podmienky bezpečnej prevádzky. Pri posudzovaní projektu JZ pre normálnu prevádzku treba overiť, či pri všetkých prevádzkových režimoch a pri všetkých prechodových procesoch, ako sú definované limitmi a podmienkami bezpečnej prevádzky, je zabránené odstaveniu reaktora alebo iniciácii bezpečnostných systémov. Treba vziať do úvahy aj prechod z jedného prevádzkového režimu do druhého, ako sa predpokladá v prevádzkových predpisoch.

Deterministická analýza bezpečnosti má zahŕňať analýzu rádiologickej situácie na JZ, vrátane odhadu množstva a aktivity vypúšťaných rádioaktívnych látok do životného prostredia. Analýza má pokrývať celý projekt a prevádzku JZ. Odhadnuté dávky ožiarenia pracovníkov JZ a obyvateľstva majú byť vyhodnotené vzhľadom na limity ožiarenia a má byť preukázané, že tieto dávky sú tak nízke ako je rozumne dosiahnuteľné (SSR-2/1, požiadavka 5 /13/). Príslušné limity ožiarenia sú uvedené v zákone č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov /5/, resp. v rozhodnutí orgánu štátnej správy v oblasti radiačnej ochrany.

9.1.3 Počiatočné a okrajové podmienky

Uvažované počiatočné podmienky majú byť reprezentatívne pre všetky prevádzkové režimy v súlade s limitmi a podmienkami bezpečnej prevádzky. Použité okrajové podmienky majú brať do úvahy celý prijateľný rozsah parametrov.

Použité hodnoty treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.1.4 Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov

Systémy, ktoré sú použité v analýze, majú byť obmedzené na systémy normálnej prevádzky vrátane riadiacich systémov. Žiadne iné systémy JZ by sa nemali aktivovať počas prechodových procesov spojených s normálnymi prevádzkovými režimami a nemali by byť ani v analýze použité.

Charakteristiky systémov použité v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.1.5 Zásahy obsluhy JZ

V analýze môžu byť použité len plánované činnosti obsluhy JZ vykonávané v súlade s predpismi pre normálnu prevádzku.

Zásahy obsluhy JZ uvažované v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.1.6 Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí

Deterministická analýza bezpečnosti normálnej prevádzky by mala poskytnúť realistické zobrazenie správania JZ. Zohľadnené majú byť neurčitosti týkajúce sa správania systémov, vrátane systémov merania a regulácie.

Ak existujú neurčitosti pri predpovedaní rádiologickej situácie na JZ a dávok z ožiarenia, tak treba v analýze prijať konzervatívne predpoklady. Podrobnejšie usmernenie možno nájsť napr. v návode MAAE GSG-10.

9.2 Realistické deterministické analýzy bezpečnosti očakávaných udalostí

9.2.1 Špecifické ciele analýzy

Hlavným cieľom realistickej analýzy postulovaných iniciačných udalostí v kategórii očakávaných udalostí je overiť, či prevádzkové systémy JZ (najmä riadiace systémy) môžu zabrániť tomu, aby sa očakávané udalosti rozvinuli do havarijných podmienok a či sa JZ môže po odznení udalosti vrátiť do stavu normálnej prevádzky. Realistické analýzy majú byť zamerané na poskytnutie reakcie JZ na iniciačnú udalosť, ktorá je realistická.

Kategória postulovaných iniciačných udalostí pri očakávaných udalostiach uvažovaných v analýze má zahŕňať všetky tie, ktoré sa očakávajú počas životnosti JZ. Pri mnohých postulovaných iniciačných udalostiach riadiace systémy v kombinácii s vlastnými vnútornými charakteristikami JZ a zásahmi obsluhy kompenzujú účinky udalosti bez odstavenia reaktora alebo iných požiadaviek na zásah bezpečnostných systémov. V takýchto prípadoch môže normálna prevádzka pokračovať po odstránení poruchy.

Očakávané udalosti by spravidla nemali viesť k žiadnej zbytočnej výzve na zapôsobenie bezpečnostných systémov, ktoré sú primárne navrhnuté na ochranu JZ v prípade udalostí typu

projektových havárií. Analýza má preukázať, že ak riadiace systémy fungujú tak, ako boli navrhnuté, tak sú schopné zabrániť zapôsobeniu bezpečnostných systémov. Je však známe, že niektoré očakávané udalosti samy o sebe aktivujú bezpečnostné systémy.

9.2.2 Kritériá prijateľnosti

Realistická analýza očakávaných udalostí má byť zameraná na preukázanie, že dané postulované iniciačné udalosti nevyvolávajú žiadne poškodenie fyzických bariér (palivová matica, pokrytie paliva, tlaková hranica primárneho okruhu), ani systémov dôležitých pre bezpečnosť. Okrem toho analýza má preukázať, pokiaľ je to možné, že nie sú aktivované bezpečnostné systémy JZ (ani odstavenie reaktora).

Akakoľvek očakávaná udalosť má mať zanedbateľný rádiologický vplyv na okolie JZ. Rádiologické kritériá prijateľnosti únikov rádioaktívnych látok a z nich odhadnuté dávky z ožiarenia pri každej očakávanej udalosti treba vyhodnotiť vzhľadom na kritériá pre normálnu prevádzku. Efektívne dávky by mali byť podobné ako pri normálnej prevádzke.

9.2.3 Počiatočné a okrajové podmienky

Uvažované počiatočné podmienky majú byť reprezentatívne pre všetky prevádzkové režimy v súlade s limitmi a podmienkami bezpečnej prevádzky. Použité okrajové podmienky majú brať do úvahy celý prijateľný rozsah parametrov.

Použité hodnoty treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.2.4 Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov

V realistickej analýze očakávaných udalostí sa má predpokladať, že je k dispozícii každý systém, ktorý nie je ovplyvnený danou iniciačnou udalosťou. Okrem vlastných vnútorných charakteristík JZ sa v analýze uvažuje s činnosťou riadiacich systémov.

Charakteristiky systémov použité v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.2.5 Zásahy obsluhy JZ

V analýze sa majú použiť plánované zásahy obsluhy JZ vykonávané v súlade s predpismi pre normálnu a abnormálnu prevádzku. Ak sa predpokladá správna funkcia riadiacich systémov, tak by nemali byť uvažované žiadne zásahy obsluhy JZ počas prechodového procesu; v opačnom prípade by sa mali použiť reálne odhady času pre činnosť obsluhy.

Zásahy obsluhy JZ uvažované v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.2.6 Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí

Realistická analýza očakávaných udalostí sa má vykonať metodikou najlepšieho odhadu (pozri Tabuľku 8.1) pokrývajúcou očakávané udalosti, ktoré sa berú do úvahy pri stanovení postulovaných iniciačných udalostí. Za normálnych okolností sa neurčitosti pri realistickej analýze očakávaných udalostí neberú do úvahy. Pri analýzach spoľahlivosti prevádzky sa neurčitosti môžu aplikovať na riadiace systémy.

Výpočtové modely, korelácie a predpoklady analýzy vrátane uvažovaných neurčitostí treba opísať. Podrobný opis sa spravidla uvádza v referenčnom dokumente, na ktorý analýza odkazuje.

9.3 Konzervatívne deterministické analýzy bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií

V nasledujúcom texte návodu je opísaná metodika spracovania a hodnotenia analýz pre očakávané udalosti a udalosti typu projektových havárií. Metodika vychádza z Prílohy č. 3 časť B bod II. písm. E. vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/, referenčných úrovní WENRA a bezpečnostných štandardov MAAE.

9.3.1 Špecifické ciele analýzy

Analýzy udalostí typu projektových havárií k žiadosti o povolenie musia zohľadňovať neurčitosti použitých parametrov zabezpečujúce konzervatívnosť výsledkov analýz (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 4 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; SSR-2/1, ods. 5.26 /13/). Použiteľné prístupy zahŕňujú konzervatívny prístup, kombinovaný prístup a najlepší odhad s kvantifikáciou neurčitostí (pozri Tabuľku 8.1); realistický prístup sa nemá použiť. Konzervatívna analýza očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií má preukázať, že bezpečnostné systémy samotné v krátkodobom horizonte spolu s činnosťami obsluhy JZ z dlhodobého hľadiska sú schopné dosiahnuť bezpečný stav JZ splnením nasledujúcich bezpečnostných podmienok:

- a) odstavenie reaktora a dosiahnutie podkritického stavu počas očakávaných udalostí a po nich alebo pri udalostiach typu projektové havárie,
- b) po odstavení reaktora odvádzať zostatkové teplo z aktívnej zóny počas všetkých očakávaných udalostí alebo udalostí typu projektové havárie,
- c) znížiť potenciál úniku rádioaktívnych látok a zabezpečiť, aby únik bol pod prijateľnými rádiologickými limitmi počas očakávaných udalostí alebo projektových havárií.

Analýza má preukázať, že sú splnené kritériá prijateľnosti relevantné pre príslušné udalosti a predovšetkým, že niektoré alebo všetky bariéry proti úniku rádioaktívnych látok z JZ si zachovávajú svoju celistvosť v požadovanom rozsahu.

Analýza má stanoviť výkonové charakteristiky a body zapnutia/vypnutia bezpečnostných systémov a prevádzkové postupy, aby sa zabezpečilo, že základné bezpečnostné funkcie sú

vždy plnené. Analýza má poskytnúť základ pre projekt systémov na riadenie reaktivity a chladenie reaktora ako aj bezpečnostných systémov.

9.3.2 Kritériá prijateľnosti

Rádiologické i technické kritériá prijateľnosti kategórie očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií sú v Prílohe III. bezpečnostného návodu. Kritériá vychádzajú z ustanovení Prílohy č. 3 časti B bodu II. písm. F. vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/, referenčných úrovní WENRA a bezpečnostných štandardov MAAE.

9.3.3 Počiatočné a okrajové podmienky

Počiatočné a okrajové podmienky treba stanoviť konzervatívne (RL E8.1 /14/). Použité hodnoty treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

Konzervatívny alebo kombinovaný prístup

V konzervatívnom prístupe alebo kombinovanom prístupe treba počiatočné a okrajové podmienky vybrať z rozsahov parametrov špecifikovaných v limitoch a podmienkach bezpečnej prevádzky JZ. Príkladom počiatočných podmienok je výkon a rozloženie výkonu reaktora, tlak, teplota a prietok v primárnom okruhu. Príkladom okrajových podmienok sú body zapôsobenia a výkonové charakteristiky systémov, ako sú čerpadlá a zdroje napájania, vonkajšie zdroje a odvod hmoty a energie a ďalšie parametre, ktoré sa menia v priebehu procesu.

Vstupné údaje a predpoklady modelovania treba zvoliť nielen vzhľadom na neutrónovo-fyzikálne a termicko-hydraulické aspekty očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií, ale aj vzhľadom na rádiologické aspekty. Pri analýze zdrojového člena s únikom do životného prostredia treba určiť:

- a) inventár štiepných produktov a iných rádioaktívnych látok v palive (aktívna zóna alebo bazén skladovania vyhoreného jadrového paliva),
- b) aktivitu v primárnom okruhu vrátane uvoľnenia prchavých štiepných produktov pred udalosťou alebo počas udalosti (angl. spiking),
- c) časový priebeh a rozsah poškodenia paliva (únik spod pokrytia),
- d) frakcie rádioaktívnych látok uvoľňovaných z paliva,
- e) zadržanie rádioaktívnych látok v primárnom okruhu a únikových trasách z ochrannej obálky,
- f) rozdelenie štiepných produktov medzi parnú a kvapalnú fázu chladiacej kvapaliny,
- g) pôsobenie systémov ochrannej obálky (sprchovanie, ventilácia, filtrovanie, usadzovanie a re-suspenzia),
- h) rýchlosť úniku a umiestnenie netesností ochrannej obálky (miesta únikov),
- i) načasovanie a trvanie úniku,
- j) chemické a fyzikálne formy uniknutých rádioaktívnych látok, najmä jódu,
- k) účinnú výšku úniku do životného prostredia s prihliadnutím na energiu úniku.

Ak sa na deterministickú analýzu bezpečnosti použije výpočtový program typu najlepšieho odhadu v kombinácii s konzervatívnymi vstupmi a predpokladmi, tak treba zabezpečiť, aby neurčitosti spojené s výpočtovým programom boli kompenzované konzervatívnymi vstupmi. Analýza by mala byť doplnená štúdiou, ktorá kombinuje výsledky validácie výpočtového programu, používania konzervativizmu a použitia analýz citlivosti s cieľom vyhodnotiť a zohľadniť neurčitosti týkajúce sa modelov výpočtového programu. Tieto štúdie sa môžu líšiť v závislosti od typu prechodových procesov, a preto by sa mali vykonať špecificky pre každú deterministickú analýzu bezpečnosti.

Pri použití konzervatívneho prístupu alebo kombinovaného prístupu treba počiatočné a okrajové podmienky nastaviť na hodnoty, ktoré povedú ku konzervatívnym výsledkom parametrov týkajúcich sa bezpečnosti a ktoré sa porovnávajú s kritériami prijateľnosti. Jednotný súbor konzervatívnych hodnôt pre počiatočné a okrajové podmienky nevyhnutne nevedie ku konzervatívnym výsledkom každého bezpečnostného parametra alebo kritéria prijateľnosti. Z tohto dôvodu by mali byť konzervatívne počiatočné a okrajové podmienky zvolené individuálne v závislosti od analyzovaných prechodových procesov a kritérií prijateľnosti.

Pri výbere konzervatívnych vstupných parametrov analýzy treba vziať do úvahy:

- a) úmyselný konzervativizmus nemusí vždy viesť k zamýšľanému konzervativizmu vo výsledkoch, napr. ak rôzne predpoklady vedú ku kompenzačným účinkom a k "zrušeniu" konzervativizmu,
- b) stupeň konzervativizmu sa môže v priebehu procesu meniť a predpoklad nemusí zostať konzervatívny počas celého prechodového procesu,
- c) použitie niektorých konzervatívnych predpokladov môže viesť k zavádzajúcim alebo nerealistickým predpokladaným sledom udalostí a časovým rozvrhom,
- d) ak sú konzervatívne hodnoty parametrov vybrané na základe technického posúdenia, existuje riziko, že takýto výber nebol správne vykonaný a nevedie ku konzervatívnym výsledkom.

Na podporu konzervatívneho výberu vstupov treba pri každom prešetrovanom kritériu prijateľnosti vykonať analýzu citlivosti. Aspoň pri vybraných scenároch s mimoriadne dôležitými výsledkami je vhodné vykonať potvrdzujúcu analýzu typu najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí.

V konzervatívnej analýze sa majú na základe analýzy citlivosti použiť najobmedzujúcejšie počiatočné podmienky, ktoré sa očakávajú počas životnosti JZ. Iniciačná udalosť sa má považovať za vyskytujúcu sa v nepriaznivom čase, pokiaľ ide o počiatočné podmienky reaktora, ako je prevádzkový režim, výkon, zostatkový tepelný výkon, inventár štiepných produktov, reaktivita, teplota, tlak a množstvo chladiva.

Počiatočné podmienky, ktoré sa nemôžu vyskytnúť súčasne v kombinácii, sa nemusia brať do úvahy. Napríklad limitujúci zostatkový tepelný výkon a obmedzujúce vrcholové faktory sa v palivovej kampani nemôžu vyskytovať súčasne. Zvažované počiatočné podmienky by však mali zahŕňať tie najnepriaznivejšie kombinácie, ktoré sú možné.

Prevádzkové podmienky so zanedbateľne nízkou frekvenciou výskytu a s veľmi obmedzenou dĺžkou trvania netreba brať pri výbere konzervatívnych počiatočných podmienok do úvahy.

Pri použití konzervatívneho výpočtového programu môžu byť zakryté účinky niektorých javov alebo významne zmenené ich chronologické poradie. Preto by analýza udalostí vykonaná s konzervatívnym výpočtovým programom mala byť podporená primeranou analýzou citlivosti, ktorá preukáže, že dôležité bezpečnostné otázky nie sú zakryté konzervatívnym výpočtovým programom.

Počiatočné podmienky deterministických analýz bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií treba vyberať tak, aby vzhľadom na zvolené kritériá prijateľnosti viedli k pesimistickým výsledkom. Hodnoty prevádzkových parametrov majú byť vybrané na hranici ich povoleného rozsahu, v ktorom sa daný parameter môže vyskytovať v normálnej prevádzke, pričom sa vychádza z prevádzkových skúseností, z nastavenia regulátorov a neistoty merania parametra, z prevádzkových predpisov alebo z limitov a podmienok bezpečnej prevádzky. Hodnoty počítaných veličín môžu byť odvodené z definovaných intervalov vierohodnosti (95 %). Takto vybrané počiatočné podmienky však nemusia vždy zabezpečiť konzervatívnosť napočítaných výsledkov vzhľadom na zvolené kritériá prijateľnosti. Zostáva na zodpovednosti riešiteľa, aby urobil primerané rozhodnutia vedúce ku konzervatívnym výsledkom.

Nezávislý výber všetkých hodnôt parametrov počiatočných podmienok a ich väzieb na okrajové podmienky však môže viesť k vzájomnej protirečivosti údajov a ich fyzikálnej neakceptovateľnosti. Údaje potom nemusia byť vhodné pre výpočtovú analýzu. V takom prípade sa odporúča vybrať konzervatívny parameter (parametre) s najväčším vplyvom na výsledky podľa uvažovaných kritérií prijateľnosti a potom konzistentne použiť zostávajúce parametre.

Okrajové podmienky analýz bezpečnosti treba vyberať konzervatívne vzhľadom na prešetrované kritériá prijateľnosti.

Uplatnenie konzervativizmu v analýzach bezpečnosti spravidla smeruje k nadhodnoteniu neutrónového a tepelného výkonu jadrového reaktora, čomu treba podriaďovať výber okrajových podmienok analýzy. Výkon reaktora silne závisí od jeho počiatočnej hodnoty, rozloženia výkonu v objeme aktívnej zóny, spätnej väzby, zmeny parametrov aktívnej zóny a zostatkového tepelného výkonu reaktora po jeho odstavení.

Rozloženie výkonu v aktívnej zóne je určené neutrónovo-fyzikálnymi charakteristikami aktívnej zóny, palivovou vsádzkou a vyhorením jadrového paliva. Počiatočné rozloženie výkonu pri termicko-hydraulických analýzach treba zadávať konzervatívne so zohľadnením neurčitostí jeho stanovenia a očakávaných zmien počas palivovej kampane. Rozloženie výkonu v horúcom palivovom prútku je obmedzené maximálnym dovoleným lineárnym výkonom.

Reaktivita palivového súboru závisí od hodnôt koeficientov reaktivity a zmeny (nárast/pokles) parametrov, ktoré sú prešetrované. Smer zmeny sa môže meniť v priebehu

procesu vrátane vplyvu koeficientov reaktivity. Pre koeficienty reaktivity treba použiť ich krajné hodnoty z intervalu hodnôt pri uvažovanom stave JZ so zohľadnením neurčitostí ich stanovenia.

Zostatkový tepelný výkon nevýkonových prevádzkových režimov má byť uvažovaný maximálny so zohľadnením neurčitostí jeho stanovenia. Čas dovedenia bloku z výkonového prevádzkového režimu do uvažovaného prevádzkového režimu má byť čo najkratší, vychádzajúc z prevádzkových skúseností a limitov a podmienok bezpečnej prevádzky.

Významný vplyv na výkon reaktora má aj zavádzanie zápornej reaktivity vyvolané pôsobením automatickej ochrany reaktora. Medzi najvýznamnejšie parametre ovplyvňujúce pokles výkonu reaktora patrí trvanie pádu kaziet HRK do aktívnej zóny a integrálna hodnota vnášanej reaktivity. V prípade, že konzervatívnym je spomalenie poklesu výkonu reaktora, tak uvažovaný čas pádu kaziet HRK (regulačných tyčí, ak sú v projekte použité) treba zadávať dlhší ako je nameraná hodnota pre ľubovoľnú palivovú vsádzku. Integrálna charakteristika zavádzania zápornej reaktivity má byť minimálna. Tá má zohľadňovať neurčitosť jej stanovenia, stav palivovej kampane, teplotu i koncentráciu bóru v chladive.

Treba používať nepriaznivé hydraulické charakteristiky bezpečnostných systémov a poistných zariadení (RL E8.5 /14/). To zahŕňa prietok média, čas otvárania/zatvárania armatúr a ventilov, dĺžku dopravných trás i čas potrebný na dosiahnutie ich plnej prevádzkovej schopnosti po výzve na ich činnosť. Použité hydraulické charakteristiky majú vychádzať z meraní a zohľadňovať neurčitosti ich stanovenia. Ak sa uplatňuje konzervatívny alebo kombinovaný prístup, predpokladá sa, že bezpečnostné systémy budú fungovať s časovým oneskorením pri svojich minimálnych alebo maximálnych výkonnostných úrovniach podľa toho, čo je konzervatívne pre prešetrované kritérium prijateľnosti.

Treba používať nepriaznivé termicko-fyzikálne, štrukturálno-pevnostné, rádiologické, chemické a ďalšie vlastnosti jadrového paliva a konštrukčných materiálov. Tie majú byť stanovené pre celú očakávanú oblasť zmien parametrov alebo časové obdobie, pre ktoré má byť daná analýza platná. Pre termodynamické vlastnosti vody, vodnej pary a plynov možno používať ich stredné hodnoty bez neurčitostí ich stanovenia tak, ako sú zadefinované v použitých výpočtových programoch.

Geometrické údaje modelovaného systému treba zadávať konzervatívne vzhľadom na prešetrované kritériá prijateľnosti. Zohľadnené majú byť výrobné, montážne i stavebné tolerancie a reálne zhotovenie diela. Voľný objem hermetickej zóny má byť stanovený z vnútorného objemu hermetickej zóny po odrátaní objemu konštrukcií a zariadení, ktoré obklopuje.

Pri výpočte radiačných dávok obyvateľstva treba výšku, energiu a dĺžku trvania úniku rádioaktívnych látok (RAL), kategórie počasia, členitosť terénu, šírenie RAL, smer a rýchlosť vetra, usadzovanie a vymývanie RAL z atmosféry, spôsob života obyvateľov (čas trávený vo vnútri a mimo budov), ochranné faktory budov, v ktorých sa nachádza obyvateľstvo, rýchlosť dýchania, spotrebu potravín a ďalšie podmienky, ktoré v rozhodujúcej miere ovplyvňujú napočítané výsledky uvažovať konzervatívne vzhľadom na prešetrované limity ožiarenia.

Prístup najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí

Na rozdiel od konzervatívneho alebo kombinovaného prístupu, pri ktorom sa uplatňujú konzervatívne hodnoty, pri prístupe najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí sa hodnoty parametrov definujúcich počiatočné a okrajové podmienky stanovujú nasledovne:

- a) Pre parametre, ktorých vplyv na priebeh analyzovanej udalosti je zanedbateľný a pre parametre, pri ktorých je vplyv ich neurčitosti na priebeh analýzy prešetrovaný následne v rámci analýzy neurčitosti, sú použité reálne hodnoty (nominálna, resp. stredná alebo najpravdepodobnejšia). V prípade nemožnosti jednoznačne stanoviť reálnu hodnotu je možné použiť primerane konzervatívnu hodnotu vzhľadom na prešetrované kritériá prijateľnosti.
- b) Pre parametre, ktorých hodnota sa počas prevádzky JZ preukázateľne mení (napr. kinetické parametre), ale nie sú prešetrované v rámci analýzy neurčitosti, je použitá konzervatívne najnepriaznivejšia hodnota vzhľadom na prešetrované kritériá prijateľnosti.

V analýze celkovej neurčitosti má byť zahrnutá neurčitosť výkonnosti systémov.

9.3.4 Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov

Konzervatívne predpoklady, ktoré sa majú použiť v analýze týkajúcej sa dostupnosti a výkonnosti systémov JZ, sú zhrnuté v nasledujúcom texte. Charakteristiky systémov použité v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

Normálne prevádzkové systémy

Normálne prevádzkové systémy, ktoré sú v prevádzke na začiatku postulovanej iniciačnej udalosti a ktoré nie sú ovplyvnené udalosťou samotnou a jej následkami, naďalej fungujú.

Riadiace a bezpečnostné systémy

V analýzach bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií sa z dôvodu konzervatívnosti smie uvažovať len s činnosťou bezpečnostných systémov (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 7 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/).

S činnosťou systémov, ktoré nie sú kategorizované ako bezpečnostné, sa v analýzach očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií uvažuje len vtedy, ak majú po iniciačnej udalosti negatívny vplyv na sledované parametre (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 7 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; RL E8.3 /14/). Vo väčšine prípadov činnosť riadiaceho systému pomáha zvládnuť následky iniciačnej udalosti. V takýchto prípadoch sa má konzervatívne predpokladať, že automatika riadiaceho systému je vypnutá, ak je možné ju vypnúť. V určitých situáciách môže činnosť riadiaceho systému zhoršiť priebeh procesu očakávanej udalosti alebo oneskoriť pôsobenie ochrán. V takom prípade sa má uvažovať skutočná činnosť riadiaceho systému. Napríklad pri tlakovaní primárneho okruhu sa uvedením vstrelu kompenzátora objemu do činnosti zníži v primárnom okruhu tlak. To posunie čas, kedy je jadrový reaktor odstavený následkom dosiahnutia vysokého tlaku v primárnom

okruhu. Ak sa počas tohto oneskorenia predpokladá, že výkon reaktora ďalej rastie, vedie to ku konzervatívnejším výsledkom. Preto predpoklad, že automatický systém regulácie tlaku je v prevádzke, môže byť konzervatívnejší. Konzervatívnosť predpokladu činnosti riadiaceho systému má byť dôkladne zhodnotená. Odporúča sa vždy vykonať aj analýzu situácie s predpokladom plnej prevádzkyschopnosti riadiacich systémov.

V analýzach spracovaných konzervatívnym alebo kombinovaným prístupom treba voliť konzervatívne hodnoty časových oneskorení spracovania signálov merania a regulácie spojených so zapnutím/vypnutím bezpečnostných systémov, aby sa ich vplyv oddialil alebo znížil, keď to vedie k zhoršeniu priebehu procesu (napr. oneskorenie zapôsobenia automatickej ochrany reaktora a spomalenie zasúvania kaziet HRK do aktívnej zóny, či oneskorenie činnosti systému automatiky postupného spúšťania).

Ak je použitý prístup najlepšieho odhadu s kvantifikáciou neurčitostí, tak má byť v analýze celkovej neurčitosti zahrnutá neurčitosť časových oneskorení spracovania signálov merania a regulácie spojených so zapnutím/vypnutím bezpečnostných systémov.

V prípade rýchleho odstavenia jadrového reaktora je dovolené predpokladať, že nastane po iniciácii prvého signálu. Možno uvažovať, že zapôsobia všetky kazety HRK, s výnimkou najúčinnnejšej (zaseknutie najúčinnnejšej kazety HRK v hornej koncovej polohe). Predpoklad zaseknutia kazety HRK musí byť uvažovaný ako ďalšia deterministická požiadavka (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 8 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; RL E8.4 /14/).

Kritérium jedinej poruchy

Požiadavka na uplatnenie kritéria jedinej poruchy v projekte JZ je v Prílohe č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 3 a 4 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; RL E8.2 /14/). Interpretácia a rozsah požiadaviek pre analýzy plnenia kritéria jedinej poruchy sú vysvetlené v bezpečnostnom návode ÚJD SR BN 2/2019 Kritérium jedinej poruchy (3. vydanie – revidované a doplnené) /15/. V súlade s kritériom jedinej poruchy sa požaduje, aby bezpečnostná skupina, resp. obsluha JZ, bola schopná vykonať požadované funkcie a to i v prípade najhoršej jedinej poruchy systému alebo komponentu, ktorý je potrebný na obmedzenie následkov udalosti so zahrnutím všetkých následných zlyhaní zapríčinených jedinou poruchou a iniciačnou udalosťou (tzv. kaskádový efekt). K nesplneniu kritéria jedinej poruchy môže prísť len vo výnimočnom prípade. Nesplnenie musí byť zdôvodnené v analýze bezpečnosti.

Vo všeobecnosti sa kritérium jedinej poruchy v deterministických analýzach bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií aplikuje na bezpečnostnú skupinu. V podstate v závislosti od zvoleného kritéria prijateľnosti treba uvažovať jediné zlyhanie v systéme alebo v komponente, ktoré vedie k najväčšej výzve na činnosť bezpečnostných systémov.

Pri uvažovaní zlyhaní v dôsledku aplikácie kritéria jedinej poruchy netreba predpokladať zlyhanie pasívnych systémov a komponentov, ktoré sú navrhnuté, vyrobené, kontrolované

a udržiavané v prevádzke na zvlášť vysokej úrovni kvality. Ak sa však predpokladá, že pasívny systém alebo komponent nezlyhá, potom musí byť takýto predpoklad zdôvodnený v celom časovom intervale po iniciačnej udalosti, v ktorom sa funkcia systému alebo komponentu požaduje. Čím je tento interval dlhší, tým je dôležitejšie zvážiť možnosť zlyhania i pasívnych komponentov.

Najbežnejšou uvažovanou jedinou poruchou je zlyhanie jedného podsystému systému ochrán alebo zaistenia bezpečnosti, resp. zlyhanie prvého systému, ktorého činnosť je požadovaná. Riešiteľ však má vyšetriť aj iné jediné poruchy. V prípade, keď v analýze bezpečnosti sú dosahované minimálne bezpečnostné rezervy do prekročenia sledovaných kritérií prijateľnosti, tak sa odporúča vykonať analýzu citlivosti, ktorá určí jediná poruchu s najväčším vplyvom na zabezpečenie bezpečnostnej funkcie z hľadiska overovaných kritérií prijateľnosti. Túto jediná poruchu treba následne aplikovať v analýze bezpečnosti.

Následné zlyhania

Okrem zlyhaní podľa jedinej poruchy treba navyše v analýze zohľadniť aj zlyhania, ktoré nastanú v dôsledku iniciačnej udalosti (RL E8.6 /14/). Ak je napr. armatúra vystavená účinkom prostredia v dôsledku roztrhnutia parovodu a nie je kvalifikovaná na podmienky práce v tomto prostredí, potom v prípade, že zlyhanie armatúry má za následok konzervatívnejšie výsledky, treba takéto zlyhanie armatúry uvažovať. Vo všeobecnosti sa požaduje, aby sa v deterministickej analýze bezpečnosti uvažovalo zlyhanie takého zariadenia (systému, konštrukcie alebo komponentu), ktoré nie je kvalifikované pre špecifické havarijné podmienky, pokiaľ jeho normálna prevádzka nevedie ku konzervatívnejším výsledkom.

Strata vonkajšieho a vnútorného elektrického napájania

Okrem uvažovania jedinej poruchy a zlyhaní vyvolaných iniciačnou udalosťou treba pri udalostiach typu projektových havárií často uvažovať aj stratu vnútorných pracovných a vonkajších zdrojov elektrického napájania (SNVS). Pri SNVS sa môže predpokladať, že nastane v čase, ktorý má najnepriaznivejší vplyv na napočítané výsledky (napr. SNVS nastane buď súčasne s iniciačnou udalosťou, alebo v čase odstavenia jadrového reaktora, či turbíny). Riešiteľ má zvážiť oba prípady (so SNVS aj bez nej) a rozhodnúť, ktoré je limitujúce z hľadiska sledovaných kritérií prijateľnosti.

Pri aplikácii SNVS treba vziať do úvahy špecifikáciu iniciačnej udalosti, charakter procesu a sledované kritériá prijateľnosti. SNVS sa nemá aplikovať v prípade, keď jej uvažovanie nie je v súlade so špecifikáciou iniciačnej udalosti, zmenilo by charakter procesu a sledované kritérium prijateľnosti, ktoré bolo stanovené na začiatku procesu, by bolo prekryté iným kritériom netypickým pre uvažovanú iniciačnú udalosť. SNVS netreba uvažovať pre tieto iniciačné udalosti: chybné pripojenie odstavenej hlavnej cirkulačnej slučky, neriadený pohyb kaziet HRK, chybné zavezenie a prevádzka palivového článku v nesprávnej pozícii a zvýšenie množstva chladiča v primárnom okruhu.

Pri očakávaných udalostiach (OU) netreba SNVS uvažovať, pretože samotná SNVS je v rámci analýz bezpečnosti uvažovaná ako postulovaná iniciačná udalosť zaradená do skupiny

očakávaných udalostí. Výnimku môžu predstavovať špecifické scenáre, kedy spolu s udalosťou je uvažovaná aj SNVS, avšak aj v takomto prípade by uvažovaná udalosť spolu so SNVS mala byť zaradená do skupiny očakávaných udalostí.

Bezpečnostné prvky špeciálne navrhnuté na podmienky rozšíreného projektu

Bezpečnostné prvky špeciálne navrhnuté na podmienky rozšíreného projektu sa nemajú v konzervatívnej deterministickej analýze bezpečnosti pri očakávaných udalostiach a udalostiach typu projektových havárií používať.

9.3.5 Zásahy obsluhy JZ

Na uvedenie JZ do bezpečného a stabilného stavu po určitých udalostiach sa po určitom čase požaduje zásah obsluhy.

Pri uvažovaní zásahu obsluhy JZ možno predpokladať, že zásah bude vykonaný správne. Nepožaduje sa uvažovať, že sa obsluha pomýli pri vykonávaní zásahu, ani že nastane nejaké ďalšie zlyhanie. Avšak v súlade s praxou v niektorých štátoch môže byť chyba obsluhy JZ počas vykonávania nápravných zásahov považovaná za jedinou poruchu.

V konzervatívnej analýze sa s diagnostikou udalosti obsluhou JZ a vykonaním potrebných úkonov má uvažovať až po konzervatívne stanovenom čase. Treba predpokladať, že obsluha v priebehu prvých tridsiatich minút (30 min) očakávanej udalosti alebo udalosti typu projektovej havárie nevykoná žiadne zásahy (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. I. ods. 6 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/), ktoré sa vykonávajú z bokovej dozorne; a v priebehu prvých šesťdesiatich minút (60 min) nevykoná činnosti v teréne. V prípade jasnej a spoľahlivej indikácie však v deterministickej analýze bezpečnosti možno výnimočne uvažovať, že čas reakcie obsluhy je kratší, najmenej však desať minút a to iba v prípade, ak možno daný zásah vykonať z blokovej dozorne.

Zásahy obsluhy JZ na predchádzanie vzniku udalosti alebo na zmiernenie jej následkov prijatím správnych opatrení sa v analýze majú zohľadniť len vtedy, ak sa dá preukázať, že sekvencia udalostí a hraničné podmienky špecifické pre JE umožňujú vykonávať predpokladané činnosti. Podmienky, ktoré treba zvážiť, zahŕňajú celkový kontext, v ktorom sa uskutočňuje postupnosť udalostí, pracovné prostredie na riadiacich miestach, písomné predpisy a stav odbornej prípravy a prístup k potrebným informáciám.

Systémy a zariadenia, ktoré obsluha použije na zásah, musia byť schopné prevádzky podľa limitov a podmienok. Nesmú byť neprevádzkyschopné, napr. z dôvodu ich poškodenia následkom iniciačnej udalosti alebo vnútorného či vonkajšieho ohrozenia.

Nesprávna činnosť obsluhy môže viesť k iniciačnej udalosti. Je vhodné poznamenať, že chybu obsluhy treba uvažovať ako iniciačnú udalosť pri očakávanej udalosti a udalosti typu projektovej havárie (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 9 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/) alebo v podmienkach rozšíreného projektu, resp. pri havárii.

Analýza zlyhania obsluhy JZ môže byť predmetom pravdepodobnostného hodnotenia bezpečnosti, čo však presahuje rámec tohto bezpečnostného návodu.

Zásahy obsluhy JZ modelované v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.3.6 Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí

Konzervatívne predpoklady používané v analýze očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií majú zohľadňovať neurčitosti počiatočných a okrajových podmienok, dostupnosti systémov JZ a činností obsluhy JZ. Cieľom analýzy je preukázať s vysokou mierou vierohodnosti, že JZ má primerané bezpečnostné rezervy.

Konzervatívna analýza očakávaných udalostí by mala obsahovať rovnaké konzervatívne predpoklady, aké sa používajú pri deterministickej analýze udalostí typu projektových havárií, predovšetkým predpoklady, ktoré sa týkajú systémov na udržiavanie bezpečnostných funkcií počas týchto postulovaných iniciačných udalostí.

Termicko-hydraulická analýza aktívnej zóny jadrového reaktora pre očakávané udalosti, udalosti typu projektových havárií i ATWS má byť spracovaná i pre model horúceho kanála.

V prípade nedostatočnej znalosti konkrétnych fyzikálnych javov, ktorých výskyt sa v priebehu danej udalosti očakáva a v prípade, že takú možnosť výpočtový program ponúka, treba zvážiť aj použitie konzervatívnych korelácií zabudovaných vo výpočtovom programe (napr. výpočet prestupu tepla v rôznych režimoch alebo výpočet oxidácie pokrytia jadrového paliva) a konzervatívnych výpočtových modelov (napr. nemiešanie chladiča v tlakovej nádobe reaktora). Konzervatívne predpoklady modelovania možno použiť i na účely zjednodušenia analýzy bezpečnosti (napr. neuvažovanie premeny materských rádioizotopov na dcérske pri rádioaktívnom rozpade).

V súlade so všeobecnými pravidlami deterministickej analýzy bezpečnosti, ktorá je spracovaná konzervatívnym alebo kombinovaným prístupom, by hodnotenie zdrojových členov predpokladaných prevádzkových udalostí a udalostí typu projektových havárií malo zohľadňovať všetky významné fyzikálne procesy vyskytujúce sa počas udalosti a používať konzervatívne hodnoty údajov a koeficientov na základe špecifických podmienok JZ.

Výpočet radiačných dávok obyvateľov treba vzťahovať na reprezentatívnu osobu. Na hodnotenie ožiarenia sa používajú konzervatívne hodnoty. Spôsob ich použitia je uvedený v zákone č. 87/2018 Z. z. /5/. Odhad treba spracovať pre zákonom vymedzené vekové skupiny, pre rôzne kategórie stability počasia, pre všetky cesty ožiarenia zo všetkých zdrojov ionizujúceho žiarenia a pre všetky činnosti vedúce k ožiareniu, ktoré prichádzajú do úvahy vo vzťahu k prešetrovanému okoliu. Ak nie sú k dispozícii priame podklady na výpočet, tak v analýzach očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií treba použiť konzervatívne odhady variácií faktorov, ktoré ovplyvňujú šírenie RAL a ožiarenie reprezentatívnej osoby.

Výpočtové modely, korelácie a predpoklady analýzy treba opísať. Podrobný opis sa spravidla uvádza v referenčnom dokumente, na ktorý analýza odkazuje.

9.4 Deterministické analýzy bezpečnosti udalostí typu havárií v podmienkach rozšíreného projektu bez významného poškodenia jadrového paliva

V nasledujúcom texte návodu je opísaná metodika spracovania a hodnotenia analýz udalostí v podmienkach rozšíreného projektu bez významného poškodenia jadrového paliva. Metodika vychádza z ustanovení Prílohy č. 3 časť B bod II. písm. E. vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/, referenčných úrovní WENRA a bezpečnostných štandardov MAAE.

9.4.1 Špecifické ciele analýzy

Cieľom deterministickej analýzy bezpečnosti udalostí typu havárií v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie paliva je preukázať, že taveniu jadrového paliva možno predchádzať s primeranou úrovňou spoľahlivosti a že existuje dostatočná bezpečnostná rezerva na to, aby sa zabránilo akýmkoľvek účinkom nepriaznivej skokovej zmeny stavu.

9.4.2 Kritériá prijateľnosti

Kritériá prijateľnosti pre podmienky rozšíreného projektu majú spĺňať požiadavku ustanovenú v dokumente MAAE SSR-2/1, ods. 5.31A /13/. Projekt JZ musí byť taký, aby v podmienkach rozšíreného projektu na ochranu verejnosti stačili len časovo a priestorovo obmedzené ochranné opatrenia, a aby bolo dosť času na ich účinnú implementáciu. V týchto podmienkach sa v rozsahu v akom je to možné, majú aplikovať buď rovnaké alebo podobné rádiologické a technické kritériá prijateľnosti ako tie, ktoré sa týkajú udalostí typu projektových havárií. Únik rádioaktívnych látok má byť minimalizovaný do takej miery ako je to rozumne dosiahnuteľné.

Rádiologické i technické kritériá prijateľnosti pre kategóriu postulovaných sekvencií udalostí typu havárií v podmienkach rozšíreného projektu sú v Prílohe III. bezpečnostného návodu. Kritériá vychádzajú z ustanovení Prílohy č. 3 časť B bod II. písm. F. vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/, referenčných úrovní WENRA a bezpečnostných štandardov MAAE.

9.4.3 Počiatočné a okrajové podmienky

Ako počiatočné podmienky analýz udalostí zaradených do kategórie havárií v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie paliva môžu byť vybrané najpravdepodobnejšie hodnoty z prevádzkového intervalu hodnôt parametrov a to bez neurčitostí a výpočtových chýb. Pri dôležitých fyzikálnych parametroch (napr. inventár

rádioaktívnych látok) však treba použiť ich krajné hodnoty z intervalu hodnôt pre uvažovaný stav (začiatok alebo koniec palivovej kampane).

Pri každej udalosti zaradenej do kategórie havárie v podmienkach rozšíreného projektu má byť analyzovaný taký stav aktívnej zóny počas palivovej kampane, ktorý je z hľadiska prešetrovaných kritérií prijateľnosti najhorší. Výber konkrétneho stavu treba zdôvodniť alebo treba vykonať analýzy rôznych stavov aktívnej zóny.

Okrajové podmienky analýz udalostí v podmienkach rozšíreného projektu môžu byť zadane realisticky.

Fyzikálne parametre môžu byť prevzaté z neutrónovo-fyzikálnych a iných výpočtov alebo meraní a to bez neurčitostí a výpočtových chýb. Pri dôležitých fyzikálnych parametroch (napr. koeficienty nerovnomernosti rozloženia výkonu alebo koeficienty reaktivity) však treba použiť ich krajné hodnoty z intervalu hodnôt pre uvažovaný stav (začiatok alebo koniec palivovej kampane). Pri výpočte koeficientov reaktivity možno uvažovať rovnovážnu koncentráciu xenónu pri plnom výkone a nulovú koncentráciu xenónu pri nulovom výkone reaktora.

Použité hodnoty počiatočných a okrajových podmienok treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.4.4 Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov

Vo všeobecnosti sa v analýze udalostí zaradených do kategórie havárie v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie paliva môžu používať len tie systémy, pre ktoré je preukázané, že sú použiteľné pre túto kategóriu stavov JZ.

Pohotovosť systémov a komponentov treba uvažovať v súlade s limitmi a podmienkami bezpečnej prevádzky (napr. obmedzenie počtu prevádzkyschopných tlakových zásobníkov pripojených k jadrovému reaktoru alebo obmedzenie počtu prevádzkyschopných poschodí korýtok s vodnou náplňou v barbotážnom kondenzátore).

V analýze môžu byť použité len tie bezpečnostné systémy, ktoré nie sú ovplyvnené poruchami predpokladanými v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie paliva. Pri posudzovaní nezávislosti bezpečnostných systémov pokiaľ ide o predpokladané poruchy (napr. vnútorné záplavy), treba pozornosť venovať aj iným faktorom ovplyvňujúcim bezpečnostné systémy (napr. zablokovanie prietoku) a podporným systémom (dodávka elektrickej energie, vetranie a chladenie).

Na zabezpečenie nezávislosti medzi úrovňami ochrany do hĺbky sa v analýze podmienok rozšíreného projektu nemajú použiť prevádzkové systémy normálnej prevádzky ani abnormálnej prevádzky vrátane riadiacich systémov. To je preto, že:

- a) jedna daná sekvencia je potenciálne určená na pokrytie niekoľkých druhov postulovaných iniciačných udalostí a vzhľadom na pôvod predpokladanej iniciačnej udalosti a viacerých zlyhaní môže byť ťažké preukázať, že prevádzkový systém je vždy k dispozícii,

b) sekvencie často zhoršujú podmienky prostredia a systémy použité v analýze by mali byť primerane kvalifikované na takéto podmienky.

Ak však normálne prevádzkové systémy majú negatívny vplyv na priebeh udalosti, tak by mali byť uvažované.

V analýze udalostí zaradených do kategórie havárie v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie jadrového paliva netreba uvažovať jedinou poruchu ani nedostupnosť bezpečnostných prvkov v dôsledku údržby.

V analýze možno používať stredné charakteristiky systémov/zariadení.

Schopnosť prevádzky systémov má byť preukázaná vzhľadom na havarijné podmienky, pri ktorých sú systémy a zariadenia použité.

Charakteristiky systémov, ktoré sú použité v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.4.5 Zásahy obsluhy JZ

V súvislosti so zásahmi obsluhy JZ možno v analýze podmienok rozšíreného projektu použiť realistický prístup. V prípade uvažovania zásahu obsluhy treba preukázať, že obsluha JZ má potrebný výcvik a predpisy na riadenie havárií, ako aj dostatočný čas a informácie, podľa ktorých koná, aby bol predpoklad úspešného zásahu opodstatnený.

V analýzach sa nemá uvažovať, že obsluha začne vykonávať zásahy skôr ako v priebehu prvých tridsiatich minút (30 min) od začiatku udalosti, ak sú vykonané z blokovej dozorne, alebo že v priebehu prvých šesťdesiatich minút (60 min) vykoná činnosti v teréne. Systémy a zariadenia, ktoré obsluha použije na zásah, musia byť schopné prevádzky. Nesmú byť neprevádzkyschopné, napr. následkom iniciačnej udalosti alebo havárie, resp. nedostupné, ak vyžadujú pre svoju činnosť manuálny zásah.

Zásahy obsluhy JZ modelované v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.4.6 Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí

Požiadavky na výber, validáciu a používanie výpočtových programov špecifických pre udalosti typu projektových havárií by sa mali v zásade uplatňovať aj na analýzu udalostí typu havárií podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie paliva.

V súlade so všeobecnými pravidlami pre analýzu podmienok rozšíreného projektu sa môže na analýzu udalostí typu havárií v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie paliva použiť realistický prístup bez kvantifikácie neurčitostí, ale aj niektorý z konzervatívnejších prístupov (pozri Tabuľku 8.1). Ak sa v analýze použije realistický prístup, tak je potrebné preukázať, že existuje primeraná bezpečnostná rezerva na predchádzanie účinkom nepriaznivej skokovej zmeny stavu. Môže sa to dosiahnuť analýzou citlivosti, ktorá

v čo najväčšej možnej miere preukáže, že ak sú pre dominantné parametre prijaté konzervatívnejšie predpoklady, tak stále existujú bezpečnostné rezervy do straty integrity fyzických bariér.

Analýza udalostí typu havárií v podmienkach rozšíreného projektu má pokrývať celé trvanie procesu až do dosiahnutia bezpečného stavu alebo iného stanoveného koncového stavu (koncový stav – pozri tiež kapitolu 10 tohto bezpečnostného návodu).

Výpočet radiačných dávok treba vzťahovať na reprezentatívnu osobu. Odhad treba spracovať pre zákonom vymedzené vekové skupiny (zákon č. 87/2018 Z. z. /5/), pre všetky cesty ožiarenia zo všetkých zdrojov ionizujúceho žiarenia a pre všetky činnosti vedúce k ožiareniu, ktoré prichádzajú do úvahy. Pre charakteristiky počasia možno použiť najpravdepodobnejšie hodnoty z intervalu pozorovaných hodnôt parametrov a to bez neurčitostí a výpočtových chýb. Tiež možno použiť predpoklad reálneho spôsobu života obyvateľstva v okolí JZ vo vzťahu k času pobytu vo vnútri budov, resp. vonku, mimo budov. Treba použiť relevantné hodnoty konverzných faktorov. Tie možno prevziať zo zákona č. 87/2018 Z. z. Identifikáciu a ocenenie neurčitostí spojených s analýzou treba urobiť aspoň v obmedzenom rozsahu, napr. cez analýzu citlivosti výsledkov na najdôležitejšie parametre, resp. zdroje neurčitostí.

Výpočtové modely, korelácie a predpoklady analýzy treba opísať. Podrobný opis sa spravidla uvádza v referenčnom dokumente, na ktorý analýza odkazuje.

9.5 Deterministické analýzy bezpečnosti havárií v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva

V nasledujúcom texte návodu je opísaná metodika spracovania a hodnotenia analýz udalostí, resp. havárií v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva. Metodika vychádza z ustanovení Prílohy č. 3 časť B bod II. písm. E. vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/, referenčných úrovní WENRA a bezpečnostných štandardov MAAE.

9.5.1 Špecifické ciele analýzy

Analýza sekvencie udalostí typu havárie v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva má identifikovať ohraničujúce parametre JZ vyplývajúce z postulovaných sekvencií udalostí tavenia jadrového paliva a preukázať, že:

- JE sa po aplikácii na to určených opatrení dostane do stavu, v ktorom je funkcia ochrannej obálky dlhodobou udržateľná a tavenina je stabilizovaná,
- systémy, konštrukcie a komponenty JZ (napr. ochranná obálka a zásahy obsluhy JZ uvedené v prevádzkových predpisoch) sú schopné zabrániť skorému úniku rádioaktívnych látok alebo veľkému úniku rádioaktívnych látok ako aj obtoku ochrannej obálky,
- riadiace miesta zostávajú obývatel'né, aby umožňovali vykonávanie požadovaných činností obsluhy JZ,
- plánované opatrenia na riadenie havárií sú účinné.

Analýza má preukázať, že súlad s kritériami prijateľnosti je dosiahnutý prostredníctvom projektových charakteristík JZ a bezpečnostných prvkov implementovaných v projekte JZ na riadenie udalostí typu havária v podmienkach rozšíreného projektu v kombinácii s vykonávaním návodov na riadenie ťažkých havárií (SAMG).

9.5.2 Kritériá prijateľnosti

Rádiologické kritériá prijateľnosti z hľadiska dávok verejnosti (alebo úniku do životného prostredia), ktoré sa používajú na analýzu havárií s tavením paliva, by mali predstavovať iba také úrovne dávok, že sú potrebné len časovo a priestorovo obmedzené ochranné opatrenia mimo lokality JZ, a že existuje dostatok času na ich účinnú implementáciu v dostatočnom časovom predstihu.

Rádiologické kritériá na lokalite JZ by mali zabezpečiť obývatelnosť radiacích priestorov (napr. hlavná bloková dozorňa, núdzová bloková dozorňa a havarijný radiacný stredisko) a oblastí pre pohyb medzi nimi. Úroveň žiarenia (napr. dávkový príkon v okolitom prostredí a koncentrácia aktivity vo vzduchu) v týchto radiacích miestach JZ by mala byť iba taká, aby nebránila primeranej ochrane osôb vrátane zasahujúcich pracovníkov v súlade s odporúčaniami MAAE GSR Part 7, požiadavka 11 a 24 /12/.

Technické kritériá prijateľnosti majú vyjadrovať požiadavku na zachovanie integrity ochrannej obálky a stabilizáciu taveniny.

Rádiologické i technické kritériá prijateľnosti pre kategórie udalostí typu havária v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva sú v Prílohe III. bezpečnostného návodu. Kritériá vychádzajú z ustanovení Prílohy č. 3 časť B bod II. písm. F. vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/ a referenčných úrovní WENRA a bezpečnostných štandardov MAAE.

9.5.3 Počiatočné a okrajové podmienky

Počiatočné a okrajové podmienky analýz udalostí v podmienkach rozšíreného projektu môžu byť zadané realisticky. Treba uvažovať všetky prevádzkové režimy JZ a povolené konfigurácie (napr. otvorená TNR a hermetická zóna, najnižšia povolená úroveň vody bazéne skladovania vyhoreného jadrového paliva a pod.).

Použité hodnoty treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.5.4 Pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov

V analýze podmienok rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva je na uvedenie JZ do kontrolovaného stavu alebo na zmiernenie následkov havárií možné využiť niektoré bezpečnostné systémy ako aj systémy nesúvisiace priamo s jadrovou bezpečnosťou, prípadne dodatočné dočasné systémy na plnenie iných než pôvodne uvažovaných funkcií a za iných než predpokladaných prevádzkových podmienok (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 5

vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/). Dĺžku času, počas ktorého sú použité systémy dostupné, treba preukázať.

V analýze sa nemajú používať bezpečnostné systémy, pokiaľ sa s primeranou dôverou nepreukáže, že:

- a) ich zlyhanie nie je súčasťou žiadneho scenára, ktorý je pokrytý danou haváriou,
- b) zariadenie vydrží reálne podmienky havárie počas obdobia, ktoré je potrebné na vykonanie zamýšľanej funkcie.

Posúdenie dostupnosti zariadenia, o ktorom sa predpokladá, že bude fungovať počas havárií, má zahŕňať:

- a) okolnosti príslušnej sekvencie udalosti vrátane udalostí vyplývajúcich z vonkajšieho ohrozenia (napr. strata elektrického napájania, zemetrasenie),
- b) prostredie (napr. tlak, teplota, žiarenie) a časové obdobie, počas ktorého sa zariadenie požaduje.

V analýzach podmienok rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva sa nemusí použiť kritérium jedinej poruchy. Navyše, nemusí byť uvažovaná ani nedostupnosť systému alebo komponentu v dôsledku údržby.

Pri JZ s jadrovým reaktorom a v usporiadaní s viacerými blokmi možno v analýze použiť dostupné prostriedky podpory z iných blokov s podmienkou, že nebude ohrozená bezpečná prevádzka týchto blokov.

Charakteristiky systémov použité v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.5.5 Zásahy obsluhy JZ

V podmienkach rozšíreného projektu s tavením paliva by sa mali použiť rovnaké predpoklady týkajúce sa činností obsluhy JZ ako v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie jadrového paliva.

Zásahy obsluhy JZ modelované v analýze treba zdôvodniť v dokumentácii k analýze a uviesť odkaz na zdroje, z ktorých boli tieto údaje čerpané, resp. doplniť informáciu ako boli tieto údaje odvodené.

9.5.6 Predpoklady analýzy a riešenie neurčitostí

Analýzy podmienok rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva v porovnaní s analýzami bezpečnosti udalostí typu projektových havárií pokrývajú väčší počet a rozsah fyzikálnych procesov. Okrem neutrónových a termicko-hydraulických javov vyskytujúcich sa v podmienkach bez tavenia paliva by analýza udalosti s tavením paliva mala pokryť širokú škálu fyzikálnych procesov, ktoré by mohli nastať po poškodení paliva a mohli viesť k úniku rádioaktívnych látok do životného prostredia. Analýza má podľa potreby zahŕňať:

- a) procesy degradácie aktívnej zóny a tavenie jadrového paliva,
- b) interakcie palivo-chladiaca kvapalina (vrátane výbuchov pary),
- c) zadržanie taveniny v tlakovej nádobe reaktora,
- d) tavenie tlakovej nádoby reaktora,
- e) priamy ohrev ochrannnej obálky,
- f) distribúciu tepla v primárnom okruhu,
- g) produkciu, riadenie a spaľovanie vodíka,
- h) poruchu tesnosti alebo obtok ochrannnej obálky,
- i) interakciu taveniny s betónom,
- j) uvoľňovanie a šírenie štiepných produktov vrátane odvodušenia, aby sa zabránilo pretlaku v ochrannnej obálke,
- k) schopnosť ochladiť taveninu v tlakovej nádobe reaktora alebo mimo nej.

Analýzy spravidla vyžadujú použiť integrované výpočtové programy alebo viacero podrobných systémových výpočtových programov. Vo väčšine prípadov je na opis prúdenia chladiča, zlyhania a premiestnenia materiálu poškodených palivových článkov, uvoľnenie rádioaktívnych látok, nárast taveniny v TNR a šírenie rádioaktívnych látok pod ochrannou obálkou reaktora a v okolí JZ použitý viacrozmerný výpočtový systém.

Analýzy sú spravidla spracované s použitím realistického prístupu. V niektorých prípadoch alebo pre niektoré časti analýz je vhodné použiť konzervatívne predpoklady vzhľadom na zložitosť vzájomne sa prekrývajúcich modelovaných fyzikálnych a chemických procesov a ich neurčitostí alebo pre účely zjednodušenia analýzy (napr. adiabaticko-izochorické horenie vodíka pod ochrannou obálkou jadrového reaktora, neuvažovanie premeny materských rádioizotopov na dcérske pri rádioaktívnej premene). Keďže explicitná kvantifikácia neurčitostí nemusí byť v dôsledku zložitosti javov a nedostatočných experimentálnych údajov praktická, mali by sa vykonať analýzy citlivosti na preukázanie dostatočnosti výsledkov a záverov analýz havárií.

Výpočet radiačných dávok treba vzťahovať na reprezentatívnu osobu. Odhad treba spracovať pre zákonom vymedzené vekové skupiny (zákon č. 87/2018 Z. z. /5/), pre všetky cesty ožiarovania zo všetkých zdrojov ionizujúceho žiarenia a pre všetky činnosti vedúce k ožiarovaniu, ktoré prichádzajú do úvahy. Pre charakteristiky počasia možno použiť najpravdepodobnejšie hodnoty z intervalu pozorovaných hodnôt parametrov a to bez neurčitostí a výpočtových chýb. Tiež možno použiť predpoklad reálneho spôsobu života obyvateľstva v okolí JZ vo vzťahu k času pobytu vo vnútri budov, resp. vonku, mimo budov. Treba použiť relevantné hodnoty konverzných faktorov. Tie možno prevziať zo zákona č. 87/2018 Z. z. Identifikáciu a ocenenie neurčitostí spojených s analýzou treba urobiť aspoň v obmedzenom rozsahu, napr. cez analýzu citlivosti výsledkov na najdôležitejšie parametre, resp. zdroje neurčitostí.

Výpočtové modely, korelácie a predpoklady analýzy treba opísať. Podrobný opis sa spravidla uvádza v referenčnom dokumente, na ktorý analýza odkazuje.

9.6 Deterministické analýzy na podporu praktickej eliminácie

Projekt JZ má byť taký, aby vznik podmienok, ktoré by mohli viesť k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok, bol prakticky eliminovaný (SSR-2/1, ods. 5.31 /13/).

Preukázanie praktickej eliminácie možnosti vzniku podmienok, ktoré by mohli viesť k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok, zahŕňa deterministické úvahy a inžinierske aktivity, ako je návrh, výroba, testovanie a kontrola systémov, konštrukcií a komponentov a hodnotenia skúseností z prevádzky. Tie sú doplnené pravdepodobnostnými úvahami, pričom sa zohľadňujú neurčitosti spôsobené obmedzenými vedomosťami o niektorých fyzikálnych javoch.

Preukázanie praktickej eliminácie možnosti vzniku podmienok, ktoré by mohli viesť k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok, by malo podľa potreby zahŕňať tieto kroky:

- a) identifikáciu podmienok, ktoré by mohli ohroziť integritu ochrannej obálky alebo umožniť obtok ochrannej obálky, čo by viedlo ku skorému alebo veľkému úniku rádioaktívnych látok,
- b) vykonávanie projektových a prevádzkových opatrení s cieľom prakticky vylúčiť možnosť vzniku týchto podmienok. Návrh opatrení by mal obsahovať dostatočné bezpečnostné rezervy na vyriešenie neurčitostí,
- c) konečné potvrdenie primeranosti opatrení deterministickou analýzou, doplnené o pravdepodobnostné hodnotenie bezpečnosti a technické posúdenie.

Napriek tomu, že možno stanoviť pravdepodobnostné ciele, by demonštrácia podmienok praktickej eliminácie, ktoré by mohli viesť k skorému alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok, nemala vychádzať len z nízkych pravdepodobnostných hodnôt. Takéto sekvencie udalostí by mali byť deterministicky definované a ich praktická eliminácia by sa mala preukázať na základe výkonnosti bezpečnostných prvkov, čo zabezpečí, že sekvencie udalostí budú veľmi nepravdepodobné.

Ak sa tvrdí, že podmienky, ktoré potenciálne vedú k skorému úniku rádioaktívnych látok alebo k veľkému úniku rádioaktívnych látok, sú fyzikálne nemožné, tak treba preskúmať vlastné bezpečnostné charakteristiky systému, aby sa preukázalo, že podľa prírodných zákonov dané podmienky nemôžu nastať a že sa plnia základné bezpečnostné funkcie – kontrola reaktivity, odvod tepla a zadržanie rádioaktívnych látok vrátane obmedzenia náhodného úniku rádioaktívnych látok. V praxi je tento prístup obmedzený na veľmi špecifické prípady. Príkladom jeho použitia môže byť udalosť s nekontrolovaným uvoľnením reaktivity, pri ktorej je hlavná ochrana poskytnutá zabezpečením negatívneho koeficientu reaktivity pri všetkých možných kombináciách výkonu reaktora a tlaku chladiaceho média a teploty.

10 Dokumentovanie a aktualizácia analýz

Požiadavky na dokumentovanie analýz bezpečnosti prostredníctvom bezpečnostnej správy sú ustanovené v § 19 ods. 2 písm. j) vyhlášky č. 58/2006 Z. z. v znení neskorších predpisov /1/. Požiadavky na aktualizáciu deterministických analýz bezpečnosti vyplývajú z ustanovení § 9 ods. 1 a § 20 vyhlášky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 33/2012 Z. z. o pravidelnom, komplexnom a systematickom hodnotení jadrovej bezpečnosti jadrových zariadení v znení neskorších predpisov /4/.

Ak je to vhodné, sú výsledky a zistenia posúdenia bezpečnosti zdokumentované vo forme bezpečnostnej správy, ktorá odzrkadľuje zložitosť zariadenia alebo činností súvisiacich s radiačným rizikom (GSR Part 4, ods. 4.62 /11/). Zároveň má v bezpečnostnej správe byť v dostatočnom rozsahu a podrobnosti zdokumentované posúdenie bezpečnosti na podporu dosiahnutých záverov a poskytnutie primeraného vstupu do nezávislého overenia a preskúmania dozorným orgánom (GSR Part 4, ods. 4.64 /11/).

Zatiaľ čo samotná bezpečnostná správa má byť dostatočne komplexná na tieto účely, zvyčajne existujú ďalšie dokumenty, ktoré môžu obsahovať opis a výsledky deterministickej analýzy bezpečnosti, ktoré sa používajú ako podporné informácie na nezávislé overenie alebo preskúmanie vykonávané ÚJD SR/ÚVZ SR. Podobné pravidlá ako v prípade bezpečnostnej správy by sa mali vzťahovať na všetku dokumentáciu deterministickej analýzy bezpečnosti predkladanú dozornému orgánu.

Dokumentácia má poskytnúť zoznam všetkých stavov JZ uvažovaných v deterministickej analýze bezpečnosti, primerane zoskupených v súlade s ich frekvenciami a špecifickými výzvami pre integritu fyzických bariér proti úniku rádioaktívnych látok, ktoré sú riešené. Výber ohraničujúcich scenárov v každej skupine má byť odôvodnený. Má sa preukázať praktická eliminácia možnosti vzniku podmienok, ktoré by mohli viesť k skorému alebo veľkému úniku rádioaktívnych látok.

Súbor najdôležitejších údajov JZ použitých na vývoj modelov JZ (v skutočnosti databáza pre deterministické analýzy bezpečnosti), ktorý sa považuje za potrebný na nezávislé overenie alebo vyhodnotenie vykonanej deterministickej analýzy bezpečnosti, by sa mal poskytnúť v samostatnom dokumente alebo v samostatnej časti bezpečnostnej správy. Takéto údaje majú obsahovať informácie o geometrii, usporiadaní, množstve a vlastnostiach konštrukčných materiálov a rádioaktívnych látok na JZ, tepelných a hydraulických charakteristikách JZ, charakteristikách systémov merania a regulácie, nastavených bodoch zapnutia/vypnutia systémov, rozsahu neurčitostí v meraciach zariadeniach JZ a pod. a byť doplnené o výkresovú a inú grafickú dokumentáciu ako aj odkazy na zdrojové dokumenty, odkiaľ boli použité údaje prevzaté.

Má byť poskytnutý stručný opis výpočtových programov použitých v deterministickej analýze bezpečnosti. Okrem odkazu na dokumentáciu týkajúcu sa špecifického výpočtového programu má opis obsahovať uistenie, že výpočtový program je primeraný danému účelu a bol overený a validovaný.

V závislosti od modelovaných javov a iných charakteristík každého analyzovaného scenára majú byť pre každý scenár vybraté príslušné kritériá prijateľnosti alebo súbor kritérií, ktoré sú predložené spolu s analýzou scenára s jasným spresnením podmienok uplatniteľnosti kritérií. Kritériá majú byť zdôvodnené.

Simulačné modely a hlavné predpoklady vrátane rozsahu validácie modelu použité pri analýze na preukázanie súladu s každým špecifickým kritériom prijateľnosti, majú byť opísané. Má byť opísaná metodika použitá pre každý stav JZ.

Ak deterministická analýza zahŕňa postupné použitie rôznych výpočtových programov, prenos údajov medzi rôznymi etapami analýzy udalostí a/alebo výpočtových programov použitých v scenári má byť jasne opísaný. Zabezpečí sa tým sledovateľnosť výpočtov, čo je nevyhnutná podmienka pre nezávislé overenie, pochopenie a akceptovanie výsledkov.

Analyzovaný a prezentovaný časový úsek akéhokoľvek scenára má byť rozšírený až do okamihu, keď JZ dosiahne bezpečný a stabilný koncový stav (hoci nie všetky výpočty citlivosti sa musia nutne prezentovať v celej časovej škále). Zvyčajne sa predpokladá, že bezpečný a stabilný koncový stav je dosiahnutý, keď je palivo pokryté chladivom a je dosiahnutý dlhodobý odvod tepla z paliva a ochrannej obálky a palivo je a aj zostane podkritické (SSR-2/1, definície/11/ a /13/). V prípade, ak pri niektorých scenároch nie je možné dosiahnuť bezpečný a stabilný stav počas predvídateľného obdobia, tak treba definovať rozumný koncový stav.

Dokumentácia výsledkov deterministickej analýzy bezpečnosti by mala byť štruktúrovaná a prezentovaná vo vhodnom formáte tak, aby poskytovala jasný opis a interpretáciu priebehu udalosti. Štandardizovaný formát môže byť prijatý pri podobných analýzach, aby sa uľahčil výklad a vzájomné porovnanie výsledkov.

Dokumentácia výsledkov deterministickej analýzy bezpečnosti má zahŕňať túto informáciu:

- a) chronologický opis hlavných udalostí, ktoré boli vypočítané,
- b) opis a vyhodnotenie udalosti na základe parametrov.

Dokumentácia deterministickej analýzy bezpečnosti má podliehať príslušným postupom zabezpečovania kvality a kontrole kvality u spracovateľa analýzy i držiteľa povolenia.

10.1 Citlivé informácie v dokumentácii

Citlivé informácie obsiahnuté v správach opisujúcich deterministickú analýzu bezpečnosti, ktorých zverejnenie a následné neoprávnené použitie by mohlo ohroziť jadrovú bezpečnosť, by mali byť identifikované a primerane chránené. Toto môže zahŕňať, ale nie je obmedzené na podrobné technické údaje o projekte JZ, informácie o identifikácii a kategorizácii postulovaných iniciačných udalostí a výsledky vykonanej deterministickej analýzy bezpečnosti. Takéto informácie majú byť chránené v súlade s usmerneniami o informačnej bezpečnosti.

10.2 Aktualizácia deterministickej analýzy bezpečnosti

V súlade s odporúčaním MAAE, GSR Part 4, ods. 5.10 /11/ treba deterministickú analýzu bezpečnosti použitú v procese udeľovania povolení periodicky aktualizovať, aby sa zohľadnili zmeny konfigurácie JZ, charakteristiky konštrukcií, systémov a komponentov, prevádzkové parametre, zistenia výskumu a pokroku v znalostiach a pochopení fyzikálnych javov vrátane zmien vo výpočtových programoch, ktoré môžu mať potenciálne významný vplyv na výsledky analýzy.

Okrem pravidelných aktualizácií treba analýzu aktualizovať po každom zistení informácií, ktoré môžu odhaliť nebezpečenstvo, ktoré má inú povahu, väčšiu pravdepodobnosť alebo väčšiu veľkosť, než sa predpokladalo.

V takýchto prípadoch treba analýzu prehodnotiť, aby sa zabezpečilo, že zostane v platnosti a spĺňa ciele stanovené pre analýzu. Výsledky treba posúdiť vzhľadom na relevantné súčasné požiadavky na deterministickú analýzu bezpečnosti, vzhľadom na uplatniteľné experimentálne údaje, technické posúdenie a porovnanie s podobnými analýzami.

Ak je to potrebné, majú byť výsledky prehodnotenia vrátane nových deterministických analýz bezpečnosti zohľadnené v aktualizovanej správe o analýze bezpečnosti, pričom úroveň dokumentovania zodpovedá rozsahu vykonaných zmien a súvisiacich vplyvov.

11 Overenie analýz držiteľom povolenia

V odporúčaní MAAE, GSR Part 4 (rev. 1) požiadavka 21 /11/ sa uvádza, že držiteľ povolenia vykoná nezávislé overenie hodnotenia bezpečnosti predtým, ako sa hodnotenie bezpečnosti použije u prevádzkovateľa alebo pred jeho predložením dozornému orgánu.

Podľa znenia § 19 ods. 2 písm. j) vyhlášky č. 58/2006 Z. z. v znení neskorších predpisov /1/ musia byť analýzy bezpečnosti overené nezávislou osobou. Pod nezávislou osobou sa rozumie iná fyzická alebo právnická osoba ako tá, ktorá výpočty a analýzy vykonala.

Overenie treba vykonať a zdokumentovať ešte pred uplatnením výsledkov analýzy vzhľadom na stanovené ciele a účel analýzy.

Hlavným účelom nezávislého overovania analýz bezpečnosti držiteľom povolenia je potvrdiť, že analýzy bezpečnosti boli vypracované prijateľným spôsobom. Držiteľ povolenia má minimálne overiť, či analýzy bezpečnosti spĺňajú príslušné legislatívne požiadavky a či sú splnené kritériá prijateľnosti v súlade s hlavnou zodpovednosťou držiteľa povolenia za bezpečnosť.

Overenie by malo preveriť úplnosť predloženej dokumentácie, výber kritérií prijateľnosti, správnosť použitých vstupných údajov, výber iniciačných udalostí a havarijných scenárov a predpokladov pre zaistenie bezpečnostných rezerv.

Overenie by malo preveriť, či v analýze bol použitý vhodný prístup, metodika analýzy a validovaný výpočtový program.

Overenie by malo zhodnotiť správnosť výpočtu na základe porovnania výsledkov analýzy s výsledkami dosiahnutými alternatívnymi metódami a/alebo výpočtovými programami pre to isté JZ alebo s výsledkami získanými rovnakými metódami a/alebo výpočtovými programami pre podobné JZ.

Overenie by malo obsahovať porovnanie napočítaných výsledkov s relevantnými kritériami prijateľnosti a preverenie ich splnenia. Pozornosť treba venovať aj oceneniu citlivosti a neurčitosti napočítaných výsledkov vzhľadom na kľúčové vstupné parametre. Má tiež určiť, či treba vykonať dodatočné výpočty na dosiahnutie plného pochopenia prešetrovanej udalosti.

Ak súčasťou overenia je vykonanie nezávislých výpočtov, tak pre overenie je vhodné vybrať aspoň jeden prípad z každej skupiny iniciačných udalostí, typicky prípad s najmenším rozpätím pre kritérium prijateľnosti.

Overenie treba dokumentovať osobitnej správe o overovaní, ktorá opisuje rozsah, úroveň podrobnosti a metodiku overovania, ako aj zistenia a závery z kvalitatívneho a kvantitatívneho hodnotenia vrátane pripomienok k jednotlivým častiam analýz a výsledky nezávislých výpočtov.

12 Postup vypracovania analýzy

Vypracovanie analýzy predstavuje komplexnú úlohu, ktorá pozostáva z viacerých krokov. Každý krok je naplnený rôznymi typmi aktivít. Podrobný opis krokov a charakteristika jednotlivých aktivít sa nachádza v dokumente MAAE SRS No. 23. Zoznam hlavných krokov pozostáva z nasledovných činností:

- a) Špecifikovanie JZ a výber iniciačných udalostí (IU) – jednoznačná špecifikácia JZ a výber IU, pre ktoré bude analýza vypracovaná. Výber JZ a IU determinuje voľbu výpočtového programu, pre ktorý musí byť preukázaná schopnosť simulovať daný typ JZ a fyzikálne javy, ktoré sa očakávajú pre danú IU.
- b) Stanovenie cieľa analýzy – jasná definícia cieľa analýzy a rozsah platnosti analýzy.
- c) Výber prístupu – výber vhodného prístupu na spracovanie deterministickej analýzy podľa typu analýzy a legislatívnych požiadaviek. Tento výber ovplyvňuje ďalší postup spracovania deterministickej analýzy.
- d) Výber výpočtového programu – určenie adekvátneho výpočtového programu, resp. programov v prípade komplexnejších analýz, ktoré sú vhodné pre simulované JZ a sú validované v oblasti zamýšľaného použitia.
- e) Výber metodiky analýzy – výber vhodnej metodiky pre vypracovanie konkrétnej analýzy. Prístup spracovania, typ a cieľ analýzy a relevantné kritériá prijateľnosti determinujú ďalšie atribúty analýzy ako výber počiatočných a okrajových podmienok (môžu byť rôzne pre

rôzne prešetrované kritériá prijateľnosti), určenie pohotovosti a funkčnosti systémov a komponentov pri uvažovaní kritéria jedinej poruchy, prešetrovanie vplyvu straty vonkajšieho a vnútorného elektrického napájania a zásahov obsluhy JZ.

- f) Zber potrebných údajov o JZ – zber, preverenie a zosumarizovanie všetkých dostupných údajov o špecifikovanom JZ potrebných na vypracovanie databázy vrátane projektovej dokumentácie a výkresov, prevádzkových záznamov, reálnej obhliadky JZ a pod. Získané údaje môžu slúžiť aj pre verifikáciu a validáciu vstupného súboru.
- g) Vypracovanie databázy – systematické a formalizované spracovanie získaných údajov o JZ. Rozsah databázy závisí od zamýšľaného rozsahu použitia. Z praktického hľadiska je vhodné vypracovať databázu vo všeobecnej forme nezávislej od požiadaviek a formátu konkrétneho výpočtového programu. Údaje tak môžu byť použité pre rôzne výpočtové programy, ktoré často požadujú rovnakú informáciu, ale v rôznom formáte.
- h) Použitie inžinierskej príručky – podrobný opis údajov potrebných pre vypracovanie vstupného súboru získaných z databázy na základe požiadaviek v užívateľskom manuáli výpočtového programu. Uvedené sú zdroje použitých údajov a spôsob ich spracovania do formy vstupného súboru. Opis údajov v inžinierskej príručke je dostatočný na jednoznačnú interpretáciu a v prípade potreby opätovné vypracovanie vstupného súboru rovnakej kvality. Jednoznačne sa odporúča vykonať nezávislú previerku všetkých údajov uvedených v inžinierskej príručke. Nezávislá previerka má byť súčasťou systému manažérstva kvality.
- i) Vypracovanie vstupného súboru – vypracovanie vstupného súboru zvoleného JZ na základe údajov uvedených v inžinierskej príručke. Forma vstupného súboru je daná požiadavkami použitého výpočtového programu. Základné odporúčania na vypracovanie vstupného súboru možno obvykle nájsť v sprievodnej dokumentácii výpočtového programu a je vhodné tieto odporúčania dodržať. Z dôvodu verifikácie, validácie a optimalizácie (stabilita a/alebo rýchlosť výpočtu) je praktickejšie vypracovať komplexnejší vstupný súbor, ktorý možno následne použiť vo viacerých aplikáciách.
- j) Verifikácia a validácia vstupného súboru – súbor procesov, ktorých cieľom je preukázať správnosť použitých údajov a ich konverzie do formátu požadovaného výpočtovým programom a adekvátnosť vstupného súboru dostatočne verne simulovať očakávané fyzikálne a chemické procesy. Súhrnne sa celý postup označuje tiež ako kvalifikácia. Proces verifikácie tvorí časť programu zabezpečovania kvality. Vstupný súbor možno považovať za verifikovaný a validovaný (označuje sa tiež ako kvalifikovaný), keď je preukázaná geometrická a materiálová vernosť s modelovaným referenčným JZ, keď vstupný súbor správne reprodukuje hodnoty dôležitých parametrov modelovaného referenčného JZ počas stacionárneho stavu a keď je dosiahnutá dostatočná zhoda s dostupnými údajmi nestacionárnych stavov referenčného JZ. Kvalifikáciu je možné vykonať na kvalitatívnej aj kvantitatívnej úrovni.
- k) Príprava scenára – kvalifikovaný (verifikovaný a validovaný) vstupný súbor je upravený pre špecifický scenár. Definovaná je iniciačná udalosť, nastavené sú počiatočné a okrajové

podmienky, podľa požiadaviek výpočtového programu sú zvolené alebo aktivované potrebné modely výpočtového programu.

- l) Vykonanie výpočtu – vykonanie výpočtu podľa požiadaviek výpočtového programu a získanie výstupných súborov na spracovanie výsledkov.
- m) Preverenie výsledkov – napočítané výsledky sú nezávisle preverené napr. nezávislým odborníkom, nezávislým výpočtom, porovnaním s výsledkami podobnej analýzy (§ 19 ods. 2 písm. j) vyhlášky č. 58/2006 Z. z. v znení neskorších predpisov /1/). Všetky zistené nezhody sú odstránené.
- n) Prezentácia a vyhodnotenie výsledkov – výsledky deterministickej analýzy sú prezentované vo forme, ktorá umožňuje správne pochopenie a interpretáciu priebehu analyzovaného scenára. Prezentácia napočítaných výsledkov má byť kompletná, zobrazujúca priebeh deja od počiatočného stacionárneho stavu až po dlhodobý bezpečný (stabilný) stav JZ. Je vyhodnotené splnenie stanovených cieľov analýzy. Odporúča sa používať formalizované procedúry (napr. štandardný formát opisu), ktoré znižujú riziko formálnych chýb, sprehľadňujú uvádzané údaje a zjednodušujú kontrolu. Taktiež sa podľa možností odporúča uplatnenie dostupných pokročilých programov, ktoré umožňujú komplexnú vizualizáciu priebehu simulovanej udalosti. Podrobnejšie odporúčania a návod na formát a obsah vyhodnotenia výsledkov sa nachádzajú v kapitole 15 tohto návodu.

13 Použitie výpočtových programov na deterministickú analýzu bezpečnosti

Vzhľadom na zložitosť správania sa JZ počas simulovanej udalosti treba pri vypracovaní deterministických analýz bezpečnosti použiť výpočtové programy. Vývoj výpočtových programov presahuje rámec niekoľkých desaťročí. V súčasnosti používané výpočtové programy majú zložitú štruktúru a sú schopné modelovať väčšinu očakávaných fyzikálnych a chemických javov. Ich vhodnosť na simuláciu správania sa JZ bola potvrdená porovnaniami výpočtov s údajmi z experimentálnych zariadení a simuláciami prevádzkových udalostí.

Na komplexné ocenenie jadrovej bezpečnosti JZ treba obvykle viacero výpočtových programov, pričom vhodnosť použitia daného výpočtového programu je na zodpovednosti riešiteľa. Pomôckou na stanovenie vhodnosti použitia výpočtového programu môže byť stupeň plnenia nasledujúcich požiadaviek:

- a) výpočtový program je akceptovateľný a uznávaný na medzinárodnej úrovni, čo poskytuje istú záruku, že je adekvátny pre špecifikovanú oblasť použitia,
- b) vývoj výpočtového programu je systematický, čo dáva predpoklad na to, že nové poznatky a skúsenosti sú v ňom zapracovávané,
- c) dokumentácia výpočtového programu je adekvátna tak, aby mal užívateľ výpočtového programu dostatok informácií na jeho správnu aplikáciu. Dokumentácia má vo všeobecnosti

zahŕňať minimálne teoretickú príručku, príručku užívateľa s opisom zadávania vstupných údajov a validačnú správu,

d) je zabezpečená dôkladná verifikácia výpočtového programu,

e) výpočtový program je systematicky validovaný v rámci oblasti očakávaného použitia.

Výpočtové metódy a výpočtové programy použité v analýze bezpečnosti majú byť podrobené verifikácii a validácii (GSR Part 4, požiadavka 18 /11/). Modely používané vo výpočtových programoch majú byť primerané na tento účel.

Treba zabezpečiť, aby používateľ výpočtového programu mal dostatočné skúsenosti s používaním výpočtového programu pre daný typ JZ alebo aktivity, ktoré sú analyzované.

Minimálne požiadavky ÚJD SR na zabezpečovanie kvality výpočtových programov a ich použitie pri deterministických analýzach bezpečnosti sú v návode ÚJD SR BN 1/2019 Požiadavky na zabezpečovanie kvality softvéru pre analýzy bezpečnosti (4. vydanie – revidované a doplnené) /16/.

Vstupný súbor do výpočtového programu je súčasťou modelu, ktorý predstavuje celé JZ alebo jeho časť. Zvyčajne existuje určitá miera flexibility v tom, ako je JZ modelované. Vstupný súbor, ktorý sa používa na vykonanie analýz, má byť v súlade s pokynmi o osvedčených postupoch na používanie výpočtového programu a údaje v ňom obsiahnuté majú byť skontrolované. Kontrolu treba zdokumentovať. Údaje uvedené vo vstupnom súbore sú spravidla kompiláciou informácií nachádzajúcich sa v dokumentácii k JZ.

Výpočtová schéma (nodalizácia) má byť dostatočne podrobná, aby boli pokryté všetky dôležité javy modelovaného scenára a všetky dôležité konštrukčné charakteristiky JZ. Kvalifikovaná nodalizácia, ktorá úspešne poskytla výstupy z výpočtového programu v súlade s experimentálnymi výsledkami pre daný scenár, by sa mala v čo najväčšej možnej miere použiť pri rovnakom scenári pri vykonávaní analýzy.

Odporúča sa používať najnovšie verzie výpočtových programov, ktoré sú oficiálne vydané vývojárom výpočtového programu (angl. frozen version).

14 Vplyv riešiteľa na výsledky analýz

V súčasnosti používané výpočtové programy stále do značnej miery vyžadujú aktívnu účasť riešiteľa od zadania vstupných údajov cez výber vhodných zabudovaných korelácií a nastavení až po interpretáciu napočítaných výsledkov. Zásahy riešiteľa umožňujú udržať vysokú flexibilitu (použitie v rôznych aplikáciách) výpočtových programov, čo má na druhej strane za následok silný vplyv riešiteľa na konečný výsledok analýz. Veľakrát to bolo prakticky demonštrované počas analýz medzinárodných štandardných problémov, pri ktorých rôzni riešitelia s tým istým výpočtovým programom a rovnakou vstupnou informáciou dospeli k rozdielnym výsledkom. Identifikácia vplyvu riešiteľa bola predmetom viacerých medzinárodných štúdií, z ktorých vyplýva, že riešiteľ má rozhodujúci vplyv na výpočtovú

schému (nodalizáciu), použité počiatkové a okrajové podmienky a v určitej miere i na časový výpočtový krok.

Dôležitým sa tak stáva systematické znižovanie vplyvu riešiteľa na výsledky. To je možné zabezpečiť viacerými spôsobmi, ktoré sa dajú zhrnúť do nasledujúcich oblastí:

- a) kvalifikácia a tréning riešiteľa výpočtovej analýzy s dôrazom na systematický tréning,
- b) dôsledné uplatňovanie použitých metód pre vypracovanie výpočtových analýz,
- c) systematické vylepšovanie výpočtového programu, vrátane znižovania vplyvu riešiteľa, nezávislá previerka vykonaných výpočtových analýz, dôkladne vypracovaný a dodržiavaný program zabezpečovania kvality, aktívna účasť v skupinách používateľov jednotlivých výpočtových programov.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že stále treba klásť vysoký dôraz na kontrolu vplyvu riešiteľa na výsledky analýz a predovšetkým deterministických analýz bezpečnosti. Súčasťou dobre vypracovanej analýzy má byť záznam o kvalifikácii riešiteľa.

15 Prezentácia a vyhodnotenie výsledkov analýz

Výsledky deterministickej analýzy bezpečnosti majú byť prezentované vo forme, ktorá umožňuje správne pochopenie a interpretáciu priebehu analyzovaného deja a napočítaných výsledkov. Pri väčšom počte analýz podobného typu sa odporúča zachovávať štandardný formát, čím sa zjednoduší interpretácia, skvalitní sa a zrýchli porovnanie napočítaných výsledkov. Pre každý analyzovaný prípad treba jasne definovať, dostatočne opísať a dokumentovať (SRS No. 23, kapitola 9 /8/):

- a) prešetrované JZ,
- b) iniciačnú udalosť,
- c) počiatkové a okrajové podmienky,
- d) pohotovosť a funkčnosť systémov a komponentov,
- e) zásahy obsluhy JZ (ak boli uvažované),
- f) metódu analýzy,
- g) použitý výpočtový program a jeho validáciu pre danú oblasť použitia,
- h) prijaté predpoklady, kritériá a obmedzenia modelovania,
- i) použitý vstupný súbor vrátane nodalizačných schém a jeho validáciu,
- j) prešetrované kritériá prijateľnosti (alebo iné požiadavky na vyhodnotenie výsledkov analýz),
- k) referencie na relevantné zdroje použitých údajov.

Výsledná správa o výsledkoch analýzy má obsahovať nasledujúce informácie:

- a) časovú postupnosť hlavných udalostí,
- b) opis a vyhodnotenie priebehu odozvy JZ, jeho systému alebo konštrukcie na základe vybraných napočítaných parametrov (vrátane analýzy neurčitostí, ak je požadovaná),
- c) obrázky zobrazujúce priebeh vybraných napočítaných parametrov,
- d) vyhodnotenie splnenia prešetrovaných kritérií prijateľnosti a relevantných požiadaviek všeobecne záväzných právnych predpisov,
- e) opis alternatívnych scenárov (parametrické štúdie, analýza citlivosti) a ocenenie ich vplyvu na prešetrované kritériá prijateľnosti,
- f) zhodnotenie splnenia cieľov analýzy,
- g) referencie na relevantné zdroje použitých vstupných údajov.

Prezentácia napočítaných výsledkov má byť kompletná, zobrazujúca priebeh deja od počiatočného stacionárneho stavu až po bezpečný a stabilný stav JZ. Rozsah a formu treba zvoliť tak, aby bolo možné jednoducho pochopiť a správne interpretovať priebeh prešetrovanej udalosti a preveriť napočítané výsledky. Kľúčovým faktorom na stanovenie rozsahu a formy prezentácie výsledkov analýz je účel analýzy. Zobrazené parametre majú umožniť preverenie splnenia kritérií prijateľnosti a relevantných požiadaviek všeobecne záväzných právnych predpisov. Zoznam vhodných parametrov (SRS No. 30, kapitola 19 /9/) zaradených do prezentácie napočítaných výsledkov špecifických okruhov výpočtových deterministických analýz je uvedený nižšie. Tento zoznam nie je vyčerpávajúci, je na zvážení riešiteľa doplniť ďalšie vhodné, resp. vynechať irelevantné parametre podľa analyzovanej udalosti a cesty úniku rádioaktívnych látok mimo ich fyzické bariéry. Zhodnotenie splnenia cieľov analýzy (pozri kapitolu 5 tohto návodu) zahŕňa zhodnotenie primeranosti bezpečnostných rezerv.

Pri udalostiach, ktoré sa vyznačujú jednofázovým prúdením chladiva v primárnom okruhu typický zoznam zobrazených parametrov obsahuje:

- a) neutrónový a tepelný výkon jadrového reaktora (vrátane zostatkového tepelného výkonu),
- b) poloha mechanických orgánov regulovania neutrónového výkonu reaktora,
- c) celková reaktivita aktívnej zóny a príspevky k reaktivite v dôsledku Dopplerovho efektu, teploty a hustoty moderátora,
- d) tlak v kompenzátore objemu,
- e) tlak pary v parogenerátoroch a hlavnom parnom kolektore,
- f) teplota chladiva na vstupe a výstupe z aktívnej zóny,
- g) hladina v kompenzátore objemu,
- h) koncentrácia kyseliny boritej v aktívnej zóne,
- i) prietok chladiva cez aktívnu zónu,
- j) prietok a teplota chladiva v cirkulačných slučkách primárneho okruhu,

- k) výkon reaktora odvedený do chladiwa,
- l) výkon prevedený na sekundárnu stranu parogenerátora,
- m) prietok chladiwa a tok entalpie cez únikový otvor (podľa uvažovanej udalosti),
- n) prietok a teplota chladiwa zo systému havarijného chladenia aktívnej zóny,
- o) prietok a teplota chladiwa zo systému dopĺňovania, odpúšťania a bórovej regulácie,
- p) prietok a teplota chladiwa z normálneho, havarijného a super-havarijného napájania parogenerátorov,
- q) prietok pary na turbínu, prietok cez poistné, regulačné a redukčné armatúry sekundárneho okruhu, prietok cez technologický kondenzátor,
- r) hladina v parogenerátoroch,
- s) otáčky hlavných cirkulačných čerpadiel,
- t) maximálna teplota jadrového paliva v priemernom a horúcom palivovom prútku,
- u) maximálna teplota pokrytia palivových prútikov,
- v) minimálna hodnota rezervy do krízy prestupu tepla (DNBR),
- w) koeficient nerovnomernosti rozloženia výkonu, nad ktorým je na palivových prútkoch prekročený kritický tepelný tok (ak ku kríze prestupu tepla (DNB) dochádza),
- x) maximálna radiálna priemerovaná entalpia jadrového paliva,
- y) celkový objem chladiwa v primárnom okruhu,
- z) prietok chladiwa cez poistné a odľahčovacie ventily kompenzátora objemu, vstrek do kompenzátora objemu,
- aa) tlak v barbotážnej nádrži kompenzátora objemu,
- bb) prietok chladiwa a tok entalpie z barbotážnej nádrže kompenzátora objemu (v prípade roztrhnutia poistnej membrány nádrže).

Pre udalosti, ktoré sa vyznačujú dvojfázovým prúdením chladiwa v primárnom okruhu treba k vyššie uvedeným parametrom doplniť:

- a) tlak v hornej zmiešavacej komore tlakovej nádoby reaktora (TNR), v blízkosti únikového otvoru, v parogenerátore a v hlavnom parnom kolektore,
- b) teplota chladiwa v cirkulačných slučkách na vstupe do TNR, v šachte reaktora, dolnej a hornej zmiešavacej komore TNR a teplota nasýtenia pre tlak v kompenzátore objemu,
- c) celková a zrútená hladina v kompenzátore objemu, šachte reaktora, dolnej zmiešavacej komore TNR, aktívnej zóne, hornej zmiešavacej komore TNR, hydraulických uzáveroch horúcej a studenej vetvy cirkulačných slučiek primárneho okruhu a v parogenerátoroch,
- d) celkové uniknuté množstvo primárneho chladiwa a celkové množstvo chladiwa v primárnom a sekundárnom okruhu (parogenerátory),

- e) maximálna hrúbka zoxidovanej vrstvy pokrytia palivových prútikov,
- f) celkové množstvo produkovaného vodíka,
- g) počet poškodených palivových prútikov,
- h) deformácia palivového prútika,
- i) teplota pokrytia jadrového paliva v horúcom prútiku v rôznych vertikálnych pozíciách počas fázy zaplavovania,
- j) tlak plynu v palivovom prútiku,
- k) deformácia vnútorných častí TNR.

Pri analýze tlakových a teplotných pomerov pod ochrannou obálkou jadrového reaktora sa doplnia priebehy nasledujúcich parametrov:

- a) prietok a tok entalpie chladiva unikajúceho pod ochrannú obálku jadrového reaktora,
- b) hmota a tepelná energia dodaná do ochrannej obálky z rôznych zdrojov,
- c) tlak a teplota v rôznych priestoroch ochrannej obálky,
- d) tlakové rozdiely medzi priestormi ochrannej obálky,
- e) prietok cez vybrané otvory a armatúry ochrannej obálky,
- f) zloženie atmosféry (koncentrácia vzduchu, vodných pár, vodíka, prípadne ďalších plynov) v rôznych priestoroch ochrannej obálky,
- g) koncentrácia/množstvo aerosólov vo vybraných priestoroch ochrannej obálky,
- h) teplota vybraných konštrukcií ochrannej obálky,
- i) množstvo/výška hladiny a stredná teplota chladiva v korýtkach barbotážneho kondenzátora,
- j) množstvo/výška hladiny chladiva akumulovaného na podlahe ochrannej obálky, resp. v železobetónovej šachte reaktora,
- k) prietok a teplota chladiva re-cirkulovaného z podlahy ochrannej obálky,
- l) prietok a teplota sprchovej vody,
- m) úniky z ochrannej obálky do životného prostredia,
- n) tepelná energia odobratá sprchovým systémom, tepelným pohlcovaním a ďalšími spôsobmi.

V prípade úniku rádioaktívnych látok z jadrového paliva treba uviesť/zobraziť nasledovné parametre:

- a) zloženie a aktivita rádioizotopov v jadrovom palive, pod pokrytím palivových prútikov a v chladive,
- b) koncentrácia rádioaktívnych látok v jadrovom palive, chladive a usadeninách na konštrukciách primárneho okruhu,

- c) koncentrácia rádioaktívnych látok v atmosfére ochrannej obálky a usadeninách na konštrukciách ochrannej obálky,
- d) množstvo, zloženie, aktivita, výška, energia a časový priebeh úniku rádioaktívnych látok do životného (pracovného) prostredia (zdrojový člen), celkové trvanie úniku.

Pri rádiologických analýzach treba uviesť/zobraziť nasledovné parametre, relevantné pre príslušný prešetrovaný stav JZ (prevádzkové stavy, havarijné podmienky):

- a) spôsob vypúšťania RAL do životného prostredia, t. j. či ide o vypúšťanie do atmosféry alebo hydrosféry,
- b) zdrojový člen a jeho parametre, t. j. množstvo, zloženie, aktivita rádioaktívnych látok, výška úniku, energia úniku, časový priebeh úniku rádioaktívnych látok do životného prostredia, celkové trvanie úniku, tienenie budovami (angl. wake effect),
- c) disperzný model pre šírenie RAL do životného prostredia (do hydrosféry, do atmosféry), prenos rádionuklidov jednotlivými zložkami prostredia,
- d) v prípade disperzie do atmosféry meteorologické podmienky (kategória stability atmosféry, rýchlosť a smer vetra, vypadávanie/usadzovanie suché a mokré),
- e) charakterizácia okolitej krajiny (drsnosť povrchu),
- f) charakterizácia skúmanej lokality z hľadiska demografie, spôsobu a podmienok života obyvateľov (rozmiestnenie obyvateľstva vzhľadom na miesto výpuste/úniku, životný štýl obyvateľstva, fyziologické faktory ako je vek, pľúcna ventilácia, stravovacie návyky, aktivity, návyky),
- g) charakterizácia skúmanej lokality z hľadiska využívania krajiny (poľnohospodárstvo – pestované plodiny, ich spracovanie a spotreba, lesy, vodné plochy – lov rýb, rekreačné aktivity),
- h) uvažované expozičné cesty, trvanie expozície, prípadné zavedenie ochranných a zmierňujúcich opatrení (ukrytie, evakuácia, jódová profylaxia, zákaz používania lokálnych poľnohospodárskych produktov, potravín),
- i) výpočet radiačných dávok jednotlivca z vybraných vekových skupín obyvateľstva vo zvolených vzdialenostiach od miesta úniku, (Príloha č. 2 časť C ods. 7 zákona č. 87/2018 Z. z. /5/), relevantných pre príslušný prešetrovaný stav JZ (efektívna dávka z vonkajšieho ožiarenia, ročný úväzok efektívnej dávky z príjmu rádionuklidov), pričom treba použiť relevantné hodnoty konverzných faktorov (Príloha č. 1 zákona č. 87/2018 Z. z. /5/),
- j) určenie reprezentatívnej osoby, ktorou je jednotlivec s najvyššou efektívnou dávkou za kalendárny rok (súčet ročného úväzku efektívnej dávky z príjmu rádionuklidov a efektívnej dávky z vonkajšieho ožiarenia) na účel porovnania stanovenej efektívnej dávky s limitmi ožiarenia.

Použitie údajov majú byť viazané na konkrétnu prešetrovanú lokalitu, majú zohľadňovať dlhodobé poznatky o parametroch charakterizujúcich meteorologickú alebo hydrologickú

situáciu v okolí prešetrovaného JZ, údaje o životných návykoch vybranej skupiny osôb musia byť dlhodobo platné pričom treba vylúčiť údaje o jedincoch s extrémnymi návykmi. Ak nemožno získať údaje o životných návykoch miestnej populácie, musia sa použiť údaje z príslušných regionálnych štatistík alebo celoštátnych štatistík a pri množstve vdychovaného vzduchu a požitej vody použiť údaje podľa Prílohy č. 1 zákona č. 87/2018 Z. z /5/.

Pri analýzach tlakovo-teplotného šoku sa okrem relevantných celkových termicko-hydraulických parametrov JZ uvádzajú aj:

- a) teplota chladiva v oblasti vstupných nátrubkov TNR ako funkcia času,
- b) teplota chladiva v šachte reaktora ako funkcia pozície a času,
- c) koeficient prestupu tepla z chladiva do steny TNR,
- d) rozdelenie teploty v stenách TNR v analyzovaných oblastiach ako funkcia času,
- e) napätie po priereze stien TNR v analyzovaných oblastiach ako funkcia času,
- f) charakteristiky postulovaného defektu,
- g) napätie pre postulované defekty s ohľadom na umiestnenie čela praskliny,
- h) hĺbka a tvar praskliny ako funkcia teploty a času.

Pri analýzach udalostí s tavením jadrového paliva sa dopĺňujú parametre potrebné pre určenie miery poškodenia aktívnej zóny, TNR, primárneho okruhu a ochrannej obálky jadrového reaktora:

- a) tepelný výkon produkovaný rádioaktívnym rozpadom jednotlivých skupín rádioizotopov (celkový, pod ochrannou obálkou a v TNR),
- b) teploty jadrového paliva/trosiek/taveniny v aktívnej zóne reaktora a v TNR,
- c) teploty konštrukcií v aktívnej zóne, oporných konštrukcií v TNR, dna TNR i vybraných konštrukcií primárneho okruhu,
- d) parametre chladiva vo varnom kanáli (ak je implementovaná stratégia chladenia TNR zvonka) a teplota vonkajšieho povrchu dna TNR,
- e) zmeny geometrie aktívnej zóny vrátane tavenia a premiestnenia konštrukcií aktívnej zóny reaktora, tvorba trosky a taveniny spojené s kolapsom aktívnej zóny alebo vznikajúca ako dôsledok zaplavenia predtým odhalenej aktívnej zóny, tvorba, rast a kolaps tavených materiálov aktívnej zóny, vnútorných častí TNR a dna TNR,
- f) oxidácia konštrukčných materiálov aktívnej zóny a TNR vrátane produkcie vodíka,
- g) prietok vodíka pod ochrannú obálku, jeho re-kombinácia, resp. horenie,
- h) tlakovo-teplotné špičky vyvolané horením vodíka (a iných horľavých plynov),
- i) množstvo a teplota taveniny v železobetónovej šachte reaktora po porušení TNR,
- j) produkcia plynov v dôsledku tepelnej interakcie taveniny s betónom šachty reaktora,

- k) zmeny geometrie železobetónovej šachty reaktora v dôsledku tepelnej interakcie taveniny s betónom šachty reaktora.

V prípade výpočtu radiačných dávok treba pri udalostiach s tavením jadrového paliva doplniť nasledovné parametre:

- a) prognózované efektívne a ekvivalentné (na očné šošovku a kožu) individuálne dávky v definovaných časoch od začiatku úniku (2 hodiny, 2 dni, 7 dní, 1 mesiac, 1 rok) a definovaných vzdialenostiach od JZ (miesta úniku).

16 Zabezpečovanie kvality

Pretože výpočtové programy a ich užívatelia vplývajú na kvalitu výsledkov analýz, odporúča sa, aby organizácia, ktorá vykonáva analýzy alebo sa zúčastňuje na ich vykonávaní, mala vypracovaný, zavedený a pravidelne vyhodnocovaný systém manažérstva kvality. Systém manažérstva kvality má stanovovať zodpovednosti, vymedzovať právomoci a obsahovať postupy, požiadavky i kritériá na zabezpečovanie kvality softvéru, vstupné údaje, spracovanie údajov a kvalifikáciu riešiteľov. V systéme manažérstva kvality majú byť rozpracované nasledujúce požiadavky:

- a) Akúkoľvek činnosť môže vykonávať len kvalifikovaný riešiteľ. Kvalifikácia riešiteľa má byť preukázaná a zdokumentovaná.
- b) Analýza je vykonaná podľa odsúhlasených návodov a predpísaných postupov. Možno používať len dostatočne známe a overené metódy.
- c) Pôvod a verzia použitých výpočtových programov je jasne dokumentovaná a doložená, aby bolo možné plne vyhodnotiť každú vykonanú analýzu. Výpočtové programy sú pre použitú oblasť verifikované a validované. Verifikácia a validácia sú zdokumentované.
- d) Všetky zdroje vstupných údajov sú jasne dokladované. Odvodenie vstupných údajov z prvej informácie na ich použitie vo výpočtovom programe a modeli je zdokumentované spôsobom, ktorý dovoľuje ich náležitú kontrolu a overenie. Použitá štruktúra údajov má byť vhodná na ich opätovné použitie, doplnenie a opravu. Opis údajov je dostatočne detailný, aby kvalifikovaný posudzovateľ (oponent) mohol údaje prekontrolovať, porozumieť im a overiť si ich.
- e) Je výhodné mať základný súbor vstupných údajov a všetky výpočty vykonávať zo základného súboru po vykonaní jeho nevyhnutných zmien (zmeny v počiatočnom stave, v činnosti bezpečnostných systémov a pod.). Všetky vykonané zmeny majú byť zdokumentované tak, aby boli sledovateľné podľa dátumu, kedy boli urobené i podľa spôsobu ich použitia. Použité vstupné údaje majú byť identifikovateľné pre potrebu neskoršej kontroly. Údaje, ktoré sú potrebné na zopakovanie analýzy treba uchovať.
- f) Pre každý analyzovaný prípad treba urobiť a zdokumentovať výstižný opis vstupných údajov, základných predpokladov a systémov, aby bolo možné jednoznačne interpretovať a prípadne zopakovať napočítaný výsledok.

- g) Výskyt prípadných možných chýb spôsobených riešiteľom (analytikom) má byť obmedzený na minimum. Znamená to, že príslušné predpisy na predchádzanie chýb má vyvinúť organizácia, ktorá vykonáva analýzy bezpečnosti, aby sa využili skúsenosti nahromadené pri využívaní výpočtových programov. Z toho istého dôvodu by sa mal prenos údajov medzi výpočtovými programami (databankou so vstupnými údajmi a výpočtovým programom) uskutočňovať automaticky.
- h) Výsledky analýz sú v takej forme, kvalite a úplnosti, aby bolo možné kontrolovať, či boli splnené všetky stanovené požiadavky i kritériá a zároveň, aby bolo možné pochopiť priebeh analyzovanej udalosti, vzájomné súvislosti medzi rôznymi javmi, ako aj presvedčiť sa o správnosti vykonanej analýzy. Odporúča sa, aby bola štruktúra výsledkov rovnaká pri všetkých analyzovaných prípadoch. Výsledky analýzy musia byť uchovávané počas dostatočne dlhého obdobia.
- i) Výpočty a analýzy sú bezpodmienečne prekontrolované posudzovateľom (kvalifikovaný pracovník, ktorý sa priamo nepodieľa na daných výpočtoch a analýzach). Pre kontrolu náležitostí a správnosti výpočtov môže byť použitá nezávislá previerka a kontrola výpočtov alebo porovnanie výsledkov s výsledkami získanými použitím iných metód, napr. orientačnými výpočtami a alternatívnymi výpočtovými postupmi. Nevylučuje sa ani použitie iných zodpovedajúcich metód. Proces kontroly, všetky pripomienky i nezrovnalosti odhalené počas kontroly majú byť zdokumentované. V dokumentácii ku kontrole má byť zvlášť uvedené, ktoré časti výpočtov a ktoré výsledky boli kontrolované a akými metódami. Autor analýzy má na vznesené pripomienky a námietky odpovedať a odstrániť zistené chyby a nezhody. Chyby a nezhody zistené počas kontroly majú byť odstránené a vyriešené ešte pred použitím výsledkov analýzy.
- j) Kontrola podľa bodu i) nevylučuje kontrolu vykonanú nezávislou osobou, t. j. inou fyzickou alebo právnickou osobou ako je tá, ktorá výpočty a analýzy vykonala.
- k) Analýzy bezpečnosti vypracované na účely bezpečnostnej správy musia byť overené nezávislou osobou – § 19 ods. 2 písm. j) vyhlášky č. 58/2006 Z. z. v znení neskorších predpisov /1/.

17 Deterministické analýzy bezpečnosti k žiadosti o povolenie

Deterministické analýzy bezpečnosti sú požadované na základe ustanovenia Prílohy č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 9 a časti B bod II. písm. E. ods. 1 až 3 a ods. 5 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/. Sú neoddeliteľnou súčasťou dokumentácie predkladanej na ÚJD SR v rámci správneho konania (§ 19 ods. 2 písm. j) vyhlášky č. 58/2006 Z. z. v znení neskorších predpisov /1/), napr. konania na uvádzanie JZ do prevádzky alebo prevádzku, či zvýšenie nominálneho tepelného výkonu jadrového reaktora alebo používanie nového jadrového paliva.

Deterministické analýzy bezpečnosti majú pokrývať všetky stavy JZ a všetky prevádzkové režimy vrátane režimu nízkeho výkonu alebo odstaveného reaktora, keď môže byť znížená pohotovosť bezpečnostných systémov alebo riadiacich systémov.

Držiteľ povolenia preveruje aktuálnosť deterministických analýz bezpečnosti v rámci pravidelného, komplexného a systematického hodnotenia jadrovej bezpečnosti jadrových zariadení.

Pri vypracúvaní deterministických analýz bezpečnosti má byť preukázané, že:

- a) sú spracované podľa predpísanej metodiky,
- b) majú požadovaný rozsah,
- c) sú spracované podľa zavedeného systému manažérstva kvality,
- d) plnia stanovený cieľ analýzy.

Pri deterministických analýzach bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií treba použiť buď kombinovaný prístup alebo realistický prístup s ocenením neurčitostí, aby bola zabezpečená konzervatívnosť výsledkov analýz (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 6 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/). Deterministické analýzy bezpečnosti v podmienkach rozšíreného projektu môžu byť vykonané realistickým spôsobom (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. E. ods. 4 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/). Avšak aspoň v obmedzenom rozsahu treba vykonať aj ocenenie neurčitostí.

Deterministické analýzy bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií, pri dodržaní požiadaviek všeobecne záväzných právnych predpisov kladených na projekt JZ (Príloha č. 3 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/) musia preukázať, že:

- a) kritériá prijateľnosti sú splnené (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. A. ods. 12 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/),
- b) použitý bezpečnostný prístup zabezpečuje dostatočné prostriedky na udržanie JZ v prevádzke, primeranú reakciu okamžite po postulovanej iniciačnej udalosti a uľahčenie riadenia jadrového zariadenia pri všetkých v projekte uvažovaných postulovaných iniciačných udalostiach, počas nich a po nich, ako aj pri haváriách v podmienkach rozšíreného projektu (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. B. ods. 1 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/),
- c) v projekte je zachovaný systematický prístup k určovaniu systémov, konštrukcií a komponentov, ktoré sú potrebné na splnenie bezpečnostných funkcií v rôznom čase po postulovaných iniciačných udalostiach (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. B. ods. 2 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/),
- d) predpokladaná reakcia JZ na každú postulovanú iniciačnú udalosť je jedna z nasledujúcich, ktorú je možné podľa poradia dôležitosti rozumne dosiahnuť (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. B. ods. 3 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/):

- postulovaná iniciačná udalosť nespôsobí žiadny závažný efekt týkajúci sa bezpečnosti, alebo spôsobí iba zmenu v JZ vedúcu k novému bezpečnému stavu prostredníctvom vnútorných charakteristík,
- po postulovanej iniciačnej udalosti zostane JZ v bezpečnom stave prostredníctvom pasívnych bezpečnostných charakteristík alebo pôsobením bezpečnostných systémov, ktoré sú stále prevádzkyschopné a do činnosti sú uvedené ako reakcia JZ na postulovanú iniciačnú udalosť,
- po postulovanej iniciačnej udalosti je JZ uvedené do bezpečného stavu pomocou špecifikovaných procedurálnych činností.

Výsledky analýz udalostí v podmienkach rozšíreného projektu majú preukázať účinnosť zavedených opatrení na zmiernenie rádiologických následkov v prípade výskytu týchto udalostí, resp. havárií alebo pomôcť stanoviť opatrenia na predchádzanie ich vzniku a zmiernenie ich následkov.

V špecifických prípadoch môže byť deterministická analýza bezpečnosti zameraná na odhad časového intervalu, ktorý je k dispozícii do porušenia kritéria prijateľnosti, bezpečnostnej funkcie alebo fyzickej bariéry.

18 Praktické odporúčania pre spracovateľa analýz predkladaných k žiadosti o povolenie

V nasledujúcom texte sú zhrnuté niektoré praktické odporúčania pre spracovateľa deterministických analýz bezpečnosti očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií s použitím kombinovaného prístupu.

Pri analýze udalosti s vystrelením kazety HRK z aktívnej zóny jadrového reaktora treba použiť trojrozmerný model kinetiky reaktora vzhľadom na nerovnomernosť rozdelenia výkonu reaktora počas udalosti. Teplotu a tlak chladiwa na vstupe do aktívnej zóny i prietok chladiwa cez aktívnu zónu možno vzhľadom na krátkosť trvania procesu považovať za konštantné. Konzervatívne treba zadať uvoľnenú kladnú reaktivitu a zápornú reaktivitu vnášanú pôsobením spätných väzieb i zasúvaním HRK. Pri zasúvaní HRK treba uvažovať zaseknutie vystrelenej HRK spolu s ďalšou HRK v hornej koncovej polohe.

Analýza aktívnej zóny jadrového reaktora s chybným zavezením palivového článku a prevádzkou palivového článku v nesprávnej pozícii má byť spracovaná pre začiatok palivovej kampane. Analýza má preukázať, že prevádzka s deformovaným neutrónovým a tepelným poľom je buď identifikovateľná, alebo nevedie k porušeniu kritérií prijateľnosti.

V analýze udalostí s neriadeným pohybom HRK (regulačných tyčí, ak sú v projekte použité) treba zhodnotiť vplyv deformácie neutrónového poľa na meranie neutrónového toku v aktívnej zóne jadrového reaktora.

Udalosť s chybným pripojením odstavenej hlavnej cirkulačnej slučky je charakterizovaná asymetriou v rozložení neutrónového i tepelného výkonu v objeme aktívnej zóny reaktora. Počiatočné hodnoty parametrov, ako sú výkon reaktora, teplota chladiva, počet pracujúcich hlavných cirkulačných slučiek, koncentrácia bóru v chladive odstavenej slučky, treba zadať v súlade s limitmi a podmienkami bezpečnej prevádzky. V analýze majú byť použité najväčšie negatívne hodnoty koeficientov reaktivity od teploty chladiva a koncentrácie bóru pri súčasnom použití koeficientov pre slabú spätnú väzbu od teploty paliva. Analýza má byť spracovaná s použitím trojrozmerného modelu kinetiky reaktora. Osobitnú pozornosť treba venovať miešaniu chladiva v šachte reaktora a dolnej zmiešavacej komore reaktora, otváraniu hlavnej uzatváraciej armatúry a činnosti hlavného cirkulačného čerpadla v pripájanej slučke.

V termicko-hydraulických analýzach odozvy aktívnej zóny jadrového reaktora na havárie s únikom primárneho chladiva treba zvoliť umiestnenie a veľkosť únikového otvoru i prietok chladiva cez únikový otvor tak, aby viedli k maximalizácii ohrevu aktívnej zóny. V analýze má byť použité konzervatívne rozdelenie výkonu v objeme aktívnej zóny jadrového reaktora a nepriaznivé charakteristiky systému automatickej ochrany reaktora, dodávky chladiva z pasívnych i aktívnych systémov havarijného chladenia aktívnej zóny. Pozornosť treba venovať generovanej a nahromadenej energii v primárnom a sekundárnom okruhu, prietoku chladiva cez hlavné cirkulačné čerpadlo poškodenej slučky, nodalizácii primárneho okruhu, aktívnej zóny reaktora i modelu zalievania aktívnej zóny.

V analýzach úniku chladiva z primárneho do sekundárneho okruhu treba stanoviť počiatočnú aktivitu chladiva podľa limitov a podmienok bezpečnej prevádzky. Uvažovať treba náhle zvýšenie koncentrácie v chladive rozpustných rádioaktívnych látok, uniknutých do chladiva z mikrotrhlín v pokrytí palivových článkov (izotopy jódu).

Analýza udalostí s roztrhnutím parovodu má byť spracovaná pre stav reaktora na plnom výkone i stav na minimálne kontrolovanom výkone. Koeficienty reaktivity a činnosť systému havarijného dopĺňovania chladiva má byť volená s cieľom maximalizovať možnosť obnovenia kritickosti palivového súboru aktívnej zóny jadrového reaktora. Miesto a veľkosť úniku je treba voliť tak, aby únik sekundárneho chladiva bol maximálny. Majú byť prešetrené následné zlyhania vyvolané iniciačnou udalosťou (záplava, zaparenie, reaktívne sily pôsobiace na parovod pri intenzívnom výtoku chladiva, švihy potrubia).

V tlakovo-teplotných analýzach ochrannej obálky jadrového reaktora (krátkodobá závislosť) zameraných na preukázanie splnenia maximálneho dovoleného tlaku, teploty a tlakových rozdielov pôsobiacich na vnútorné konštrukcie ochrannej obálky treba maximalizovať energiu zmesi pary, vzduchu a vodných kvapiek pod ochranou obálkou, hydraulický odpor a zotrvačnosť hlavných spojovacích trás pri minimalizácii odvodu energie a hmoty z ochrannej obálky. Pozornosť treba venovať hydraulickému odporu spojovacích trás medzi hydraulickými objemami, výmene tepla s konštrukciami ochrannej obálky i prenosu vodných kvapiek cez hydraulické spojenia. Dostatočnosť detailnosti nodalizácie má byť potvrdená analýzou citlivosti.

V tlakovo-teplotných analýzach ochrannej obálky jadrového reaktora (dlhodobá závislosť) treba venovať pozornosť odvodu tepla do konštrukcií a vedeniu tepla v konštrukciách ochrannej obálky, odvodu tepla cez systémy havarijného chladenia aktívnej zóny i prúdeniu atmosféry. Treba uvažovať všetky zdroje vodíka vrátane vodíka uvoľneného z unikajúceho primárneho chladiva, vodíka vyprodukovaného rádiologickým rozkladom vody nahromadenej na podlahách ochrannej obálky, vodíka vyprodukovaného v reakcii voda – kov v aktívnej zóne i chemickou reakciou sprchovej vody a materiálov pod ochrannou obálkou.

V analýzach procesov tlakovo-teplotných šokov (TTS analýzy) z pohľadu tlakovej nádoby reaktora (TNR) treba vybrať okrajové podmienky tak, aby maximalizovali tlak v primárnom okruhu a chladenie šachty a dolnej zmiešavacej komory TNR. V analýzach TTS treba používať také vlastnosti materiálov TNR, ktoré zaručia konzervatívne posúdenie odolnosti TNR proti náhlemu lomu, to znamená, že výpočtové analýzy TTS povedú ku stanoveniu konzervatívnych hodnôt dovolenej kritickej teploty krehkosti. Je to potrebné s ohľadom na zmeny vlastností materiálov TNR, ku ktorým dochádza kontinuálne počas prevádzky v dôsledku vplyvu rýchlych neutrónov.

Štrukturálno-pevnostné analýzy zaťaženia vnútorných častí reaktora počas havárie s únikom primárneho chladiva treba zamerať na prešetrenie splnenia kritérií prijateľnosti PH3e a PH8 (Príloha III).

V termicko-mechanických analýzach palivových prútikov treba maximalizovať napätie v pokrytí palivových prútikov pri súčasnom použití nepriaznivých pevnostných vlastností materiálu pokrytia palivového prútika. Odhadnutý počet poškodených palivových prútikov treba využiť pri stanovení aktivity uvoľnenej z jadrového paliva v priebehu udalosti.

V analýzach úniku rádioaktívnych látok mimo fyzické bariéry treba maximalizovať aktivitu rádioizotopov akumulovaných v primárnom okruhu, aktivitu obsiahnutú i uvoľnenú z palivových prútikov, resp. zo systémov a komponentov JZ mimo ich fyzické bariéry. Množstvo rádioizotopov zachytených na konštrukciách primárneho okruhu, sekundárneho okruhu a pod ochrannou obálkou má byť čo najmenšie.

Pri výpočte radiačných dávok treba vychádzať z účelu analýzy. Pri posudzovaní krátkodobého ožiarenia obyvateľstva treba uvažovať také meteorologické podmienky (šírenie RAL), cesty ožiarenia (externé ožiarenie z mraku, depozitu, interné ožiarenie z inhalácie) a spôsob života obyvateľov (pobyt mimo budov), ktoré vedú k maximalizácii individuálnej dávky reprezentatívnej osoby, spravidla na hranici ochranného pásma JZ. Pri posudzovaní dlhodobého ožiarenia je možné uvažovať štatisticky najpravdepodobnejšie meteorologické podmienky v danej lokalite, získané viacročným meraním. Uvažovaný je tiež príspevok od príjmu potravín (angl. ingestion).

19 Zoznam literatúry

- /1/ Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 58/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovovania dokumentácie jadrových zariadení potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam v znení neskorších predpisov.
- /2/ Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 430/2011 Z. z. o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z.
- /3/ Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 431/2011 Z. z. o systéme manažérstva kvality v znení vyhlášky č. 104/2016 Z. z.
- /4/ Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 33/2012 Z. z. o pravidelnom, komplexnom a systematickom hodnotení jadrovej bezpečnosti jadrových zariadení v znení neskorších predpisov.
- /5/ Zákon č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
- /6/ Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 99/2018 Z. z. o zabezpečení radiačnej ochrany.
- /7/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants. *IAEA Safety Standards Series* No. SSG-2 (Rev. 1), Specific Safety Guide, Vienna: IAEA, 2019. [zobrazené 25. 07. 2019]. ISBN 978-92-0-102119-9. ISSN 1020-525X. Dostupné na internete: <https://www.iaea.org/publications/12335/deterministic-safety-analysis-for-nuclear-power-plants>
- /8/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Accident Analysis for Nuclear Power Plants. *IAEA Safety Reports Series* No. 23, Vienna: IAEA, 2002, p. 59-60. [zobrazené 21. 05. 2019]. ISBN 92-0-115602-2. ISSN 1020-6450. Dostupné na internete: <https://www.iaea.org/publications/6388/accident-analysis-for-nuclear-power-plants>
- /9/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors. *IAEA Safety Reports Series* No. 30, Vienna: IAEA, 2003, p. 60-62. [zobrazené 21. 05. 2019]. ISBN 92-0-110603-3. ISSN 1020-6450. Dostupné na internete: <https://www.iaea.org/publications/6714/accident-analysis-for-nuclear-power-plants-with-pressurized-water-reactors>
- /10/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Best Estimate Safety Analysis for Nuclear Power Plants: Uncertainty Evaluation. *IAEA Safety Reports Series* No. 52, Vienna: IAEA, 2008, p. 199. [zobrazené 21. 05. 2019]. ISBN 978-92-0-108907-6. ISSN 1020-6450. Dostupné na internete: <https://www.iaea.org/publications/7768/best-estimate-safety-analysis-for-nuclear-power-plants-uncertainty-evaluation>
- /11/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for Facilities and Activities. *IAEA Safety Standards Series* No. GSR Part 4 (Rev. 1), Vienna: IAEA, 2016, p. 26. [zobrazené 21. 05. 2019]. ISBN 978-92-0-109115-4. ISSN 1020-525X. Dostupné na internete: <https://www.iaea.org/publications/10884/safety-assessment-for-facilities-and-activities>
- /12/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CIVIL

- AVIATION ORGANIZATION, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, INTERPOL, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, PREPARATORY COMMISSION FOR THE COMPREHENSIVE NUCLEAR-TEST-BAN TREATY ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. *IAEA Safety Standards Series* No. GSR Part 7, Vienna: IAEA, 2015, p. 34 a p. 54. [zobrazené 21. 05. 2019]. ISBN 978-92-0-105715-0. ISSN 1020-525X. Dostupné na internete: <https://www.iaea.org/publications/10905/preparedness-and-response-for-a-nuclear-or-radiological-emergency>
- /13/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design. *IAEA Safety Standards Series* No. SSR-2/1 (Rev. 1), Vienna: IAEA, 2016, p. 19 a p. 37-40. [zobrazené 21. 05. 2019]. ISBN 978-92-0-109315-8. ISSN 1020-525X. Dostupné na internete: <https://www.iaea.org/publications/10885/safety-of-nuclear-power-plants-design>
- /14/ Harmonization of Reactor Safety in WENRA Countries. Annex 1, Issue E – Design Basis Envelop for Existing Reactors and Issue F – Design Extension for Existing Reactors. Report by WENRA Reactor Harmonization Working Group. WENRA, 2014. p. 13-23. [zobrazené 21. 05. 2019]. Dostupné na internete: http://www.wenra.org/media/filer_public/2016/07/19/wenra_safety_reference_level_for_existing_reactors_september_2014.pdf
- /15/ HUSÁRČEK, Ján, Ing. CSc. a Ing. Zuzana KOREŇOVÁ, PhD. Kritérium jedinej poruchy (3. vydanie – revidované a doplnené [online]. Bratislava: ÚJD SR, 2019, BN X/2019, p. 13. [zobrazené 26. 06. 2019]. *EDÍCIA Bezpečnosť jadrových zariadení*. ISBN 978-80-89706-26-6. Dostupné na internete: [https://www.ujd.gov.sk/ujd/WebStore.nsf/viewKey/BN_2-2019/\\$FILE/BN_2_2019.pdf](https://www.ujd.gov.sk/ujd/WebStore.nsf/viewKey/BN_2-2019/$FILE/BN_2_2019.pdf)
- /16/ HUSÁRČEK, Ján, Ing. CSc. Požiadavky na zabezpečovanie kvality softvéru pre analýzy bezpečnosti (4. vydanie – revidované a doplnené [online]. Bratislava: ÚJD SR, 2019, BN 1/2019, p. 16. [zobrazené 21. 05. 2019]. *EDÍCIA Bezpečnosť jadrových zariadení*. ISBN 978-80-89706-25-9. Dostupné na internete: [https://www.ujd.gov.sk/ujd/WebStore.nsf/viewKey/BN_1-2019/\\$FILE/BN%20x-2019%20Software_%20fin%C3%A1l%20s%20ISBN.pdf](https://www.ujd.gov.sk/ujd/WebStore.nsf/viewKey/BN_1-2019/$FILE/BN%20x-2019%20Software_%20fin%C3%A1l%20s%20ISBN.pdf)
- /17/ HUSÁRČEK, Ján, Ing. CSc. a Ing. Ľubica KUBIŠOVÁ, PhD. Požiadavky na bezpečnosť jadrových zariadení vo vzťahu k prírodným rizikám [online]. Bratislava: ÚJD SR, 2018, BNS I.4.5/2018, p. 24. [zobrazené 21. 05. 2019]. *EDÍCIA Bezpečnosť jadrových zariadení*. ISBN 978-80-89706-22-8. Dostupné na internete: [https://www.ujd.gov.sk/ujd/WebStore.nsf/viewKey/BNS_I_4_5_2018/\\$FILE/BNS_I_4_5_2018.pdf](https://www.ujd.gov.sk/ujd/WebStore.nsf/viewKey/BNS_I_4_5_2018/$FILE/BNS_I_4_5_2018.pdf)

Oznámenie

K odkazu /8/ zo Zoznamu literatúry:

Toto je preklad výňatkov z Accident Analysis for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Reports Series No. 23, © IAEA 2002. Tento preklad pripravil Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky. Autentická verzia tohto materiálu je verzia v anglickom jazyku, ktorá je distribuovaná Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu (MAAE) alebo v mene MAAE oprávnenými subjektmi. MAAE nezodpovedá za presnosť, kvalitu vyhotovenia a autentickosť prekladu a jeho publikáciu a neprijíma žiadnu zodpovednosť za prípadné straty, alebo škody z toho vyplývajúce, či vzniknuté priamo, alebo nepriamo z použitia tohto prekladu.

This is a translation of extracts from Accident Analysis for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Reports Series No. 23, © IAEA 2002. This translation has been prepared by the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic. The authentic version of this material is the English language version distributed by the IAEA or on behalf of the IAEA by duly authorized persons. The IAEA makes no warranty and assumes no responsibility for the accuracy or quality or authenticity or workmanship of this translation and its publication and accepts no liability for any loss or damage, consequential or otherwise, arising directly or indirectly from the use of this translation.

K odkazu /9/ zo Zoznamu literatúry:

Toto je preklad výňatkov z Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors, IAEA Safety Reports Series No. 30, © IAEA 2003. Tento preklad pripravil Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky. Autentická verzia tohto materiálu je verzia v anglickom jazyku, ktorá je distribuovaná Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu (MAAE) alebo v mene MAAE oprávnenými subjektmi. MAAE nezodpovedá za presnosť, kvalitu vyhotovenia a autentickosť prekladu a jeho publikáciu a neprijíma žiadnu zodpovednosť za prípadné straty, alebo škody z toho vyplývajúce, či vzniknuté priamo, alebo nepriamo z použitia tohto prekladu.

This is a translation of extracts from Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors, IAEA Safety Reports Series No. 30, © IAEA 2003. This translation has been prepared by the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic. The authentic version of this material is the English language version distributed by the IAEA or on behalf of the IAEA by duly authorized persons. The IAEA makes no warranty and assumes no responsibility for the accuracy or quality or authenticity or workmanship of this translation and its publication and accepts no liability for any loss or damage, consequential or otherwise, arising directly or indirectly from the use of this translation.

K odkazu /10/ zo Zoznamu literatúry:

Toto je preklad výňatkov z Best Estimate Safety Analysis for Nuclear Power Plants: Uncertainty Evaluation, IAEA Safety Reports Series No. 52, © IAEA 2008. Tento preklad

pripravil Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky. Autentická verzia tohto materiálu je verzia v anglickom jazyku, ktorá je distribuovaná Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu (MAAE) alebo v mene MAAE oprávnenými subjektmi. MAAE nezodpovedá za presnosť, kvalitu vyhotovenia a autentickosť prekladu a jeho publikáciu a neprijíma žiadnu zodpovednosť za prípadné straty, alebo škody z toho vyplývajúce, či vzniknuté priamo, alebo nepriamo z použitia tohto prekladu.

This is a translation of extracts from Best Estimate Safety Analysis for Nuclear Power Plants: Uncertainty Evaluation, IAEA Safety Reports Series No. 52, © IAEA 2008. This translation has been prepared by the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic. The authentic version of this material is the English language version distributed by the IAEA or on behalf of the IAEA by duly authorized persons. The IAEA makes no warranty and assumes no responsibility for the accuracy or quality or authenticity or workmanship of this translation and its publication and accepts no liability for any loss or damage, consequential or otherwise, arising directly or indirectly from the use of this translation.

K odkazu /11/ zo Zoznamu literatúry:

Toto je preklad výňatkov z Safety Assessment for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev. 1), © IAEA 2016. Tento preklad pripravil Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky. Autentická verzia tohto materiálu je verzia v anglickom jazyku, ktorá je distribuovaná Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu (MAAE) alebo v mene MAAE oprávnenými subjektmi. MAAE nezodpovedá za presnosť, kvalitu vyhotovenia a autentickosť prekladu a jeho publikáciu a neprijíma žiadnu zodpovednosť za prípadné straty, alebo škody z toho vyplývajúce, či vzniknuté priamo, alebo nepriamo z použitia tohto prekladu.

This is a translation of extracts from Safety Assessment for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev. 1), © IAEA 2016. This translation has been prepared by the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic. The authentic version of this material is the English language version distributed by the IAEA or on behalf of the IAEA by duly authorized persons. The IAEA makes no warranty and assumes no responsibility for the accuracy or quality or authenticity or workmanship of this translation and its publication and accepts no liability for any loss or damage, consequential or otherwise, arising directly or indirectly from the use of this translation.

K odkazu /12/ zo Zoznamu literatúry:

Toto je preklad výňatkov z Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, © IAEA 2015. Tento preklad pripravil Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky. Autentická verzia tohto materiálu je verzia v anglickom jazyku, ktorá je distribuovaná Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu (MAAE) alebo v mene MAAE oprávnenými subjektmi. MAAE nezodpovedá za presnosť, kvalitu vyhotovenia a autentickosť prekladu a jeho publikáciu a neprijíma žiadnu

zodpovednosť za prípadné straty, alebo škody z toho vyplývajúce, či vzniknuté priamo, alebo nepriamo z použitia tohto prekladu.

This is a translation of extracts from Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, © IAEA 2015. This translation has been prepared by the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic. The authentic version of this material is the English language version distributed by the IAEA or on behalf of the IAEA by duly authorized persons. The IAEA makes no warranty and assumes no responsibility for the accuracy or quality or authenticity or workmanship of this translation and its publication and accepts no liability for any loss or damage, consequential or otherwise, arising directly or indirectly from the use of this translation.

K odkazu /13/ zo Zoznamu literatúry:

Toto je preklad výňatkov z Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), © IAEA 2016. Tento preklad pripravil Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky. Autentická verzia tohto materiálu je verzia v anglickom jazyku, ktorá je distribuovaná Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu (MAAE) alebo v mene MAAE oprávnenými subjektmi. MAAE nezodpovedá za presnosť, kvalitu vyhotovenia a autenticnosť prekladu a jeho publikáciu a neprijíma žiadnu zodpovednosť za prípadné straty, alebo škody z toho vyplývajúce, či vzniknuté priamo, alebo nepriamo z použitia tohto prekladu.

This is a translation of extracts from Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), © IAEA 2016. This translation has been prepared by the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic. The authentic version of this material is the English language version distributed by the IAEA or on behalf of the IAEA by duly authorized persons. The IAEA makes no warranty and assumes no responsibility for the accuracy or quality or authenticity or workmanship of this translation and its publication and accepts no liability for any loss or damage, consequential or otherwise, arising directly or indirectly from the use of this translation.

Príloha I. Kategorizácia iniciačných udalostí

Na účely deterministických analýz bezpečnosti a ich vyhodnotenie sú všetky iniciačné udalosti, udalosti vedúce k podmienkam rozšíreného projektu a havárie zoskupené do obmedzeného počtu kategórií, ktoré zodpovedajú stavu JZ podľa frekvencie výskytu (uvádzané pravdepodobnostné hodnoty jednotlivých kategórií sú ilustratívne a sú uvažované viac kvalitatívne ako kvantitatívne):

- a) Očakávané udalosti (stredná frekvencia výskytu $> 10^{-2}$ /rok) sú definované ako relatívne časté odchýlky od normálnych prevádzkových podmienok JZ vyvolaných nesprávnou činnosťou systémov alebo chybami obsluhy JZ. Tieto udalosti nemajú vážne bezpečnostné následky, ktoré by po odstránení príčin udalosti znemožňovali pokračovať v prevádzke JZ. Úniky rádioaktívnych látok a z nich odhadnuté dávky neprekračujú ustanovené limity ožiarenia a má byť preukázané, že tieto dávky sú tak nízke ako je rozumne dosiahnuteľné.
- b) Udalosti typu projektových havárií sú definované ako zriedkavé odchýlky od normálnych prevádzkových podmienok JZ, ktorých výskyt je možný, ale málo pravdepodobný a sú uvažované v projekte JZ (stredná frekvencia výskytu $10^{-4} - 10^{-2}$ /rok). Pri týchto udalostiach môže byť poškodenie JZ také, že jeho rýchle uvedenie do prevádzky len odstránením prvotnej príčiny udalosti nie je možné. Únik rádioaktívnych látok do okolia má byť minimalizovaný do takej miery ako je to rozumne dosiahnuteľné a nebude vyžadovať zavedenie žiadnych ochranných opatrení v okolí JZ.
- c) Udalosti v kategórii havárie v podmienkach rozšíreného projektu sú závažnejšie ako projektové alebo sú to udalosti s viacnásobným zlyhaním (zariadení, obsluhy, bezpečnostných systémov), ktoré nebolo v projekte JZ uvažované. Výskyt udalostí v kategórii havárie v podmienkach rozšíreného projektu je nepravdepodobný (stredná frekvencia výskytu $10^{-6} - 10^{-4}$ /rok). Úniky rádioaktívnych látok do okolia majú byť minimalizované tak ako je to rozumne praktické/uskutočniteľné a skoré úniky alebo veľké úniky majú byť prakticky eliminované.
- d) Havárie (ťažké havárie), ktoré majú extrémne nízku frekvenciu výskytu ($< 10^{-6}$ /rok). Sú vyvolané pôsobením extrémnych podmienok alebo viacnásobným zlyhaním (zariadení, obsluhy, bezpečnostných systémov). Poškodenie jadrového paliva a rádiologické následky na obyvateľstvo (v oblasti ohrozenia, prípadne aj za hranicou oblasti ohrozenia v závislosti od konkrétnej situácie) si môžu vyžadovať aplikovanie ochranných opatrení na zmiernenie rádiologických následkov. Pri nových JZ musia byť udalosti s tavením jadrového paliva (ktoré by mohli viesť k skorým únikom rádioaktívnych látok alebo veľkým únikom rádioaktívnych látok mimo JZ) prakticky eliminované. V prípade, ak udalosti s tavením jadrového paliva nie je možné prakticky eliminovať, tak musia byť prijaté také projektové opatrenia, aby bolo potrebné aplikovať iba územne a časovo obmedzené ochranné opatrenia obyvateľstva (žiadne trvalé premiestnenie, evakuácia iba v bezprostrednej blízkosti JZ, obmedzené ukrytie, žiadne dlhodobé obmedzenia na konzumáciu potravín), pričom má byť k dispozícii dostatočný čas na implementáciu týchto ochranných opatrení.

Príloha II. Iniciačné udalosti

Uvedený zoznam iniciačných udalostí pri deterministických analýzach bezpečnosti je spracovaný pre JZ s VVER-440/V213. Má charakter odporúčania a môže byť zmenený (rozšírený alebo zúžený). Je na riešiteľovi, aby rozhodol, ktoré iniciačné udalosti budú použité v analýze bezpečnosti a tie následne prešetril. Iniciačné udalosti použité v analýze treba zdôvodniť.

II.1 Iniciačné udalosti pri výkonových prevádzkových režimoch

Iniciačné udalosti pri výkonových prevádzkových režimoch JZ sú rozdelené do dvoch kategórií: očakávané udalosti (OU) a udalosti typu projektových havárií (PH).

- 1 Zvýšenie odvodu tepla z primárneho okruhu sekundárnym okruhom
 - 1.1 Porucha v systéme napájacej vody, ktorá znižuje teplotu napájacej vody OU
 - 1.2 Porucha v systéme napájacej vody, ktorá zvyšuje prietok napájacej vody OU
 - 1.3 Porucha regulácie tlaku v sekundárnom okruhu, ktorá vedie k zvýšeniu prietoku pary z parogenerátorov OU
 - 1.4 Chybné otvorenie poistného ventilu parogenerátora, prepúšťacej stanice do atmosféry alebo prepúšťacej stanice do kondenzátora OU
 - 1.5 Spektrum roztrhnutí parných potrubí vo vnútri alebo mimo ochrannnej obálky PH
- 2 Zníženie odvodu tepla z primárneho okruhu sekundárnym okruhom
 - 2.1 Porucha systému kontroly a riadenia, ktorá vedie k zníženiu prietoku pary z parogenerátorov OU
 - 2.2 Porucha v systéme napájacej vody, ktorá znižuje prietok napájacej vody OU
 - 2.3 Strata vonkajšieho elektrického zaťaženia OU
 - 2.4 Zatvorenie rýchlo uzatváracích ventilov turbíny OU
 - 2.5 Uzatvorenie armatúr na parovodoch OU
 - 2.6 Strata vákua v kondenzátore OU
 - 2.7 Výpadok hlavných napájacích čerpadiel OU
 - 2.8 Strata vnútorných a vonkajších zdrojov elektrického napájania OU
 - 2.9 Roztrhnutie potrubí napájacej vody PH
- 3 Zníženie prietoku primárneho chladiva cez reaktor
 - 3.1 Chybné uzatvorenie jednej hlavnej uzatváraciej armatúry v cirkulačnej slučke OU
 - 3.2 Zaseknutie rotora jedného hlavného cirkulačného čerpadla PH
 - 3.3 Zlomenie hriadeľa na jednom hlavnom cirkulačnom čerpadle PH
 - 3.4 Rôzne kombinácie výpadkov hlavných cirkulačných čerpadiel OU
 - 3.5 Blokovanie prietoku chladiva v palivovom článku PH

4	Poruchy reaktivity a zmeny rozloženia výkonu	
4.1	Nekontrolované vyťahovanie skupiny kaziet HRK pri spúšťaní	OU
4.2	Nekontrolované vyťahovanie skupiny kaziet HRK na výkone	OU
4.3	Neriadený pohyb kaziet HRK	
	a) pád jednej kazety HRK do aktívnej zóny	OU
	b) vytiahnutie jednej kazety HRK z pracovnej skupiny kaziet HRK	PH
	c) rozsúhlasenie polohy jednej kazety HRK v skupine kaziet HRK	-
4.4	Chybné pripojenie odstavenej cirkulačnej slučky	PH
4.5	Vystrelenie kazety HRK z aktívnej zóny	PH
4.6	Znižovanie/zníženie koncentrácie bóru v primárnom chladive	OU/PH
4.7	Chybné zavezenie a prevádzka palivového článku v nesprávnej pozícii	PH
5	Zvýšenie množstva chladiva v primárnom okruhu	
5.1	Chybné uvedenie do činnosti havarijného chladenia aktívnej zóny reaktora	OU
5.2	Chybná činnosť normálneho systému dopĺňovania, ktorá zvyšuje množstvo chladiva v primárnom okruhu	OU
6	Strata primárneho chladiva	
6.1	Spektrum postulovaných roztrhnutí potrubí tvoriacich tlakový celok s primárnym okruhom	PH
6.2	Roztrhnutie parného potrubia medzi kompenzátorom objemu a poistnými ventilmi	PH
6.3	Chybné otvorenie poistného ventilu kompenzátora objemu	PH
6.4	Úniky z primárnej na sekundárnu stranu parogenerátora	
	a) roztrhnutie rúrky parogenerátora	PH
	b) netesnosť primárneho kolektora až do odtrhnutia veka kolektora	PH
6.5	Roztrhnutie impulznej rúrky systému kontroly a riadenia alebo inej rúrky pripojenej k primárnemu okruhu a prechádzajúcej stenou ochrannej obálky	PH
6.6	Chybné otvorenie jednej spätnnej alebo uzatváracej armatúry oddeľujúcej primárny okruh od nízkotlakovej časti systému	PH
7	Úniky rádioaktivity zo systémov alebo komponentov	
7.1	Únik alebo porucha v systéme rádioaktívnych plynových odpadov	PH
7.2	Únik alebo porucha v systéme rádioaktívnych kvapalných odpadov	PH
7.3	Pád palivového článku počas výmeny jadrového paliva	PH
7.4	Pád kontajneru s čerstvým alebo vyhoreným jadrovým palivom do bazénu skladovania, resp. bazénu výmeny	PH
8	Termicko-hydraulická odozva ochrannej obálky jadrového reaktora na projektové havárie	
8.1	Spektrum havárií s únikom primárneho alebo sekundárneho chladiva pod ochrannú obálku jadrového reaktora	PH

9	Tlakovo-teplotné šoky	
9.1	Spektrum udalostí s únikom chladiva z primárneho okruhu	TTS
9.2	Chybné otvorenie poistného (odľahčovacieho) ventilu kompenzátora objemu	TTS
9.3	Úniky chladiva z primárnej do sekundárnej strany parogenerátora	TTS
9.4	Nesprávne uvedenie do činnosti systému havarijného dopĺňovania chladiva do primárneho okruhu	TTS
9.5	Chybná činnosť normálneho systému dopĺňovania, ktorá zvyšuje množstvo chladiva v primárnom okruhu	TTS
9.6	Nesprávne uvedenie do činnosti elektrických ohrievačov kompenzátora objemu	TTS
9.7	Chybné otvorenie poistného ventilu parogenerátora, prepúšťacej stanice pary do atmosféry alebo prepúšťacej stanice do kondenzátora	TTS
9.8	Spektrum roztrhnutí parných potrubí vo vnútri alebo mimo ochranného obálky	TTS
9.9	Roztrhnutie potrubí napájacej vody	TTS
9.10	Chladenie tlakovej nádoby reaktora zvonka	TTS
10	Zaťaženie vnútorných častí reaktora počas udalosti s únikom primárneho chladiva (angl. LOCA – loss of coolant accident)	

II.2 Iniciačné udalosti pri nevýkonových prevádzkových režimoch

Uvedený zoznam iniciačných udalostí pri odstavenom jadrovom zariadení a otvorenom jadrovom reaktore (SD) je všeobecný. Niektoré uvádzané iniciačné udalosti môžu byť významné len pri určitých prevádzkových režimoch, iné môžu byť vylúčené vzhľadom na prijaté administratívne a technické opatrenia.

1	Udalosti s reaktivitou	
1.1	Znižovanie koncentrácie bóru v dôsledku chybnej funkcie systému dopĺňovania a bórovej regulácie	SD
1.2	Chybné pripojenie odstavenej cirkulačnej slučky	SD
1.3	Znižovanie koncentrácie bóru v dôsledku prieniku vody bez bóru pri premývaní filtrov systému normálneho dopĺňovania a bórovej regulácie	SD
1.4	Znižovanie koncentrácie bóru v dôsledku vody bez bóru prenikajúcej cez netesné tepelné výmenníky	SD
2	Strata chladiva z primárneho okruhu	
2.1	Spektrum udalostí vedúcich k úniku chladiva z primárneho okruhu následkom porušenia tesnosti potrubí (systémov primárneho okruhu) alebo následkom nesprávnej činnosti obsluhy JZ (údržba, testovanie, ľudská chyba) pri zatvorenom reaktore	SD
2.2	Spektrum udalostí vedúcich k úniku chladiva z primárneho okruhu následkom porušenia tesnosti systémov primárneho okruhu alebo následkom nesprávnej činnosti obsluhy JZ (údržba, testovanie, ľudská chyba) pri otvorenom reaktore	SD

- | | | |
|-----|---|----|
| 3 | Strata odvodu zostatkového tepla následkom degradácie cirkulácie primárneho chladiva | |
| 3.1 | Poddrenážovanie primárneho okruhu | SD |
| 3.2 | Prienik nekondenzujúceho plynu do primárneho okruhu (vrátane prieniku nekondenzujúceho plynu z izolovanej cirkulačnej slučky) | SD |
| 4 | Strata odvodu zostatkového tepla následkom porúch zariadení (napr. uzavretie hlavnej uzatváracej armatúry, strata prietoku cez technologický kondenzátor, strata technickej vody dôležitej, strata elektrického napájania a ďalšie) | |
| 4.1 | Strata odvodu zostatkového tepla z aktívnej zóny alebo primárneho okruhu pre zatvorený reaktor | SD |
| 4.2 | Strata odvodu zostatkového tepla z aktívnej zóny alebo primárneho okruhu pre otvorený reaktor | SD |
| 5 | Zvýšenie množstva chladiva v primárnom okruhu | |
| 5.1 | Neočakávaná činnosť systému normálneho doplňovania, ktorá zvyšuje množstvo chladiva v primárnom okruhu | SD |
| 5.2 | Neočakávané uvedenie do činnosti havarijného systému chladenia aktívnej zóny | SD |
| 5.3 | Zapnutie elektrických ohrievačov kompenzátora objemu | SD |
| 6 | Udalosti s chladením bazénu skladovania vyhoreného paliva | |
| 6.1 | Spektrum udalostí vedúcich k úniku chladiva z bazénu skladovania vyhoreného paliva | SD |
| 6.2 | Strata chladenia bazénu skladovania vyhoreného paliva | SD |
| 7 | Poškodenie bazénu skladovania vyhoreného paliva počas výmeny jadrového paliva | |
| 7.1 | Poškodenie palivovej kazety zavážacím strojom | SD |
| 7.2 | Pád kazety s vyhoreným jadrovým palivom do jadrového reaktora alebo bazénu skladovania vyhoreného paliva | SD |

II.3 Iné iniciačné udalosti vyvolané vnútornými ohrozeniami

- 1 Pád bremena následkom zlyhania zdvíhacích zariadení
- 2 Požiare, výbuchy, záplavy
- 3 Účinky letiacich úlomkov, prúdenia média alebo úniku tekutín z porušených systémov, konštrukcií a komponentov alebo z iných zariadení v JZ, účinky vibrácií, švihov potrubí a zrútených konštrukcií

II.4 Iniciačné udalosti v kategórii havárie v podmienkach rozšíreného projektu bez významnej degradácie jadrového paliva

Udalosti v podmienkach rozšíreného projektu môžu byť vyvolané ľubovoľnou iniciačnou udalosťou uvedenou v predchádzajúcej časti návodu v prípade mimoriadneho zlyhania

zariadenia alebo obsluhy neuvažovaného v projekte JZ, pôsobením rôznych vierohodných kombinácií náhodne vzniknutých jednotlivých udalostí vrátane vnútorných a vonkajších ohrození. Udalosti a ich scenáre s únikom rádioaktívnych látok mimo ich fyzické bariéry pokrývajú všetky prevádzkové režimy daného JZ. Zahrňujú reaktor i bazén skladovania vyhoreného jadrového paliva (BSVP).

- 1 Udalosti s veľmi nízkou frekvenciou výskytu nepovažované za projektové nehody
 - 1.1 Roztrhnutie viacerých teplo-výmenných rúrok parogenerátora DEC
 - 1.2 Roztrhnutie parovodu spojené so súčasným prasknutím teplo-výmennej rúrky parogenerátora DEC
 - 1.3 Roztrhnutie hlavných tlakových komponentov (napr. nátrubok TNR, kompenzátor objemu, primárny kolektor v parogenerátore, parogenerátor) DEC
- 2 Očakávané udalosti so zlyhaním automatickej ochrany reaktora kombinované so zlyhaním zasunutia mechanických orgánov regulovania
 - 2.1 Nekontrolované vyťahovanie skupiny regulačných orgánov počas spúšťania alebo pri prevádzke na výkone ATWS
 - 2.2 Strata napájacej vody ATWS
 - 2.3 Strata vnútorných a vonkajších zdrojov elektrického napájania (SNVS) ATWS
 - 2.4 Strata vákua v kondenzátore ATWS
 - 2.5 Výpadok turbíny ATWS
 - 2.6 Strata vonkajšieho elektrického zaťaženia ATWS
 - 2.7 Uzatvorenie armatúr na parovodoch ATWS
 - 2.8 Chybné otvorenie poistného ventilu parogenerátora, prepúšťacej stanice do atmosféry, alebo prepúšťacej stanice do kondenzátora ATWS
- 3 Očakávané udalosti alebo projektové nehody spojené s viacerými poruchami v bezpečnostných systémoch
 - 3.1 Strata vnútorných zdrojov i vonkajších zdrojov elektrického napájania počas špecifikovaného časového úseku DEC
 - 3.2 Úplná strata napájacej vody DEC
 - 3.3 Únik primárneho chladiva kombinovaný so zlyhaním jedného systému havarijného chladenia aktívnej zóny (vysokotlaková alebo nízkotlaková časť) DEC
 - 3.4 Strata chladiva v reaktore v režime chladenia prirodzenou cirkuláciou DEC
 - 3.5 Nekontrolované zriedenie kyseliny boritej v reaktore DEC
 - 3.6 Strata odvodu tepla z aktívnej zóny pri odstavenom reaktore DEC
 - 3.7 Strata chladenia bazénu skladovania vyhoreného jadrového paliva DEC
- 4 Udalosti zahrňujúce viaceré zlyhania
 - 4.1 Strata požadovaných bezpečnostných systémov potrebných v dlhodobej fáze po postulovanej iniciačnej udalosti DEC
 - 4.2 Dlhodobá strata konečného odvodu tepla DEC
 - 4.3 Úplná strata technickej vody DEC

II.5 Iniciačné udalosti v kategórii havárie v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva

Rámcové sekvencie havárií v podmienkach rozšíreného projektu s tavením jadrového paliva, ktoré by mali byť rozvinuté podľa špecifik projektu a charakteristík lokality JZ (Bohunice/Mochovce), sú nasledujúce:

- a) strata schopnosti chladiť jadrové palivo (v reaktore alebo BSVP), ktorú vyvolala strata vonkajšieho elektrického napájania (pracovné i núdzové zdroje) spojená s čiastočnou alebo úplnou stratou vnútorných zdrojov elektrického napájania a stratou konečného odvodu tepla,
- b) strata integrity systému chladenia reaktora vo vnútri hermetickej zóny spojená so stratou chladiva bez dostupnosti systémov núdzového chladenia aktívnej zóny alebo s prekročením schopností systémov núdzového chladenia,
- c) strata integrity systému chladenia reaktora mimo hermetickej zóny/BSVP spojená so stratou chladiva bez dostupnosti systémov núdzového chladenia aktívnej zóny/BSVP alebo s prekročením schopností systémov núdzového chladenia,
- d) pád ťažkého bremena do BSVP.

Príloha III. Kritériá prijateľnosti

Uvádzané kritériá sú spracované pre JZ s VVER-440/V213. Vztťahujú sa na integritu jadrového paliva, integritu primárneho okruhu, sekundárneho okruhu, ochrannej obálky a tlakovej nádoby reaktora. Sú definované pre prevádzkové stavy a havarijné podmienky. Sú stanovené zvlášť pre rôzne prevádzkové režimy. Pokrývajú jadrový reaktor i bazén skladovania vyhoreného jadrového paliva (BSVP).

Kritériá sú previazané s konkrétnymi hodnotami kritérií uvedenými v programoch zabezpečovania kvality jadrových zariadení, resp. plánoch kvality vybraných zariadení požadovaných v prílohe č. 6 vyhlášky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 431/2011 Z. z. o systéme manažérstva kvality v znení vyhlášky č. 104/2016 Z. z. a v zákone č. 87/2018 Z. z.

Použité hodnoty kritérií prijateľnosti treba zdôvodniť. Kritériá treba porovnať s výsledkami deterministických analýz bezpečnosti s cieľom preukázať, že je dosiahnutá požadovaná úroveň bezpečnosti JZ.

III.1 Výkonové prevádzkové režimy

1 Kritériá prijateľnosti pri očakávaných udalostiach

OU1 Pravdepodobnosť vzniku krízy prestupu tepla na ktoromkoľvek mieste aktívnej zóny je nízka. Požaduje sa s 95 % pravdepodobnosťou pri 95 % úrovni vierohodnosti, aby na najviac zaťaženom palivovom prútiku nedošlo ku kríze prestupu tepla. Korelácia použitá pre výpočet krízy prestupu tepla musí byť založená na experimentálnych údajoch, ktoré sú platné pre konkrétne jadrové palivo, ako aj pre príslušné podmienky chladenia.

OU2 Nedôjde k lokálnemu taveniu jadrového paliva.

OU3 Tlak v primárnom i v sekundárnom okruhu je nižší ako 110 % projektových hodnôt.

OU4 Výpočtové hodnoty radiačných dávok v okolí jadrového zariadenia sú nižšie ako ustanovené limity ožiarenia obyvateľstva/autorizované limity. Príslušné limity ožiarenia sú uvedené v zákone č. 87/2018 Z. z./v rozhodnutí orgánu štátnej správy v oblasti radiačnej ochrany.

OU5 Po očakávanej udalosti je v jadrovom reaktore zaistená a udržiavaná podkritickosť jadrového paliva.

2 Kritériá prijateľnosti pri udalostiach typu projektových havárií

- PH1 Nedôjde k deštrukcii palivových prútikov. Radiálna spriemerovaná entalpia jadrového paliva v žiadnej axiálnej pozícii prútika neprekročí limitnú hodnotu pre čerstvé jadrové palivo ani pre vyhorené jadrové palivo (kritérium sa uplatňuje pri haváriách s poruchami reaktivity a zmenou rozloženia výkonu).
- PH2 Nedôjde k lokálnemu taveniu jadrového paliva.
- PH3 Je zabezpečené krátkodobé i dlhodobé chladenie palivových prútikov podľa nasledujúcich parametrov:
- a) teplota pokrytia palivových prútikov neprekročí 1 200 °C,
 - b) lokálna oxidácia pokrytia neprekročí 17 % z počiatočnej hrúbky pokrytia,
 - c) celkové množstvo vodíka z chemickej reakcie pokrytia s vodou alebo parou neprekročí 1 % z hypotetického množstva, ktoré by vzniklo pri zreagovaní všetkých pokrytí palivových článkov v aktívnej zóne,
 - d) vypočítané zmeny v geometrii aktívnej zóny reaktora zaručia možnosť ochladenia aktívnej zóny,
 - e) je zabezpečená pohyblivosť kaziet HRK a nesmie dôjsť k ich taveniu,
 - f) je zabezpečené dlhodobé chladenie aktívnej zóny.
- PH4 Tlak v primárnom i v sekundárnom okruhu je nižší ako 110 % projektových hodnôt.
- PH5 Najvyššia teplota, tlaky, tlakové rozdiely v ochrannnej obálke a úniky vzduchu cez netesnosti ochrannej obálky neprekračujú projektom povolené hodnoty.
- PH6 Po udalosti typu projektová havária je v jadrovom reaktore zaistená a udržiavaná podkritickosť jadrového paliva.
- PH7 Postulovaný defekt nespôsobí krehký alebo húževnatý lom tlakovej nádoby reaktora pre celý súbor očakávaných udalostí a udalostí typu projektových havárií.
- PH8 Vnútorne časti reaktora musia odolať dynamickým účinkom pri abnormálnej prevádzke a pri projektových haváriách tak, aby bolo zaistené bezpečné odstavenie reaktora a udržiavaná podkritickosť a dostatočné chladenie aktívnej zóny.
- PH9 Poškodenie jadrového paliva je menšie ako najviac prípustné.
- PH10 Výpočtové hodnoty radiačných dávok reprezentatívnej osoby v okolí jadrového zariadenia sú nižšie ako 10 mSv/rok. JZ vo svojich plánoch kvality môžu mať ustanovenú aj nižšiu hodnotu kritéria prijateľnosti.

Poznámka:

Stratu tesnosti pokrytí palivových prútikov je možné predpokladať pri splnení aspoň jednej z nasledujúcich podmienok:

- a) Došlo k prehriatiu pokrytia. Poškodenie pokrytí sa predpokladá u všetkých prútikov, na ktorých vznikla kríza prestupu tepla s výnimkou prípadov, kedy sa dá spoľahlivými modelmi preukázať menšie poškodenie.
- b) Došlo k prehriatiu jadrového paliva. To sa predpokladá, ak radiálne spriemerovaná entalpia jadrového paliva prekročí 586 J/g v akejkolvek axiálnej pozícii.
- c) Uplatnil sa akýkoľvek iný mechanizmus poškodenia, napr. mechanický účinok vystrelenej kazety HRK alebo nafúknutie a roztrhnutie pokrytia počas ohrevu pri nízkom tlaku.

III.2 Nevýkonové prevádzkové režimy

- SD1 Podkritickosť jadrového paliva v jadrovom reaktore a v bazéne skladovania vyhoreného paliva je zachovaná.
- SD2 Ak je jadrový reaktor zatvorený, potom pre jadrové palivo a pokrytie palivových prútikov platia tie isté kritériá prijateľnosti ako pri haváriách s únikom primárneho chladiva pri výkonových prevádzkových režimoch.
- SD3 Ak je jadrový reaktor otvorený, potom nedôjde k odhaleniu palivových článkov a ani k varu chladiva v palivovej časti aktívnej zóny.
- SD4 Nedôjde k odhaleniu palivových článkov a ani k varu chladiva v palivovej časti v bazéne skladovania vyhoreného paliva.
- SD5 Pevnostné limity týkajúce sa hraníc primárneho okruhu a k nemu pripojených systémov sú dodržané.
- SD6 Poškodenie jadrového paliva je menšie ako najviac prípustné.
- SD7 Výpočtové hodnoty radiačných dávok reprezentatívnej osoby v okolí jadrového zariadenia sú nižšie ako 10 mSv/rok. JZ vo svojich plánoch kvality môžu mať ustanovenú aj nižšiu hodnotu kritéria prijateľnosti.

III.3 Kritéria prijateľnosti pri udalostiach v kategórii havárie v podmienkach rozšíreného projektu

- DEC1 Pri udalostiach, počas ktorých je zabránené závažnému poškodeniu jadrového paliva, platia kritériá prijateľnosti stanovené pre udalosti typu projektových havárií s tým, že je možné použiť modifikované hodnoty kritérií prijateľnosti najvyššieho tlaku

v primárnom okruhu, najvyššieho tlaku v sekundárnom okruhu a tlaku pod ochrannou obálkou jadrového reaktora ako aj modifikované kritériá prijateľnosti chladenia jadrového paliva v otvorenom reaktore a bazénu skladovania vyhoreného jadrového paliva.

DEC2 V podmienkach rozšíreného projektu musí byť podkritickosť reaktora zabezpečená dlhodobo a pri skladovaní vyhoreného jadrového paliva vždy (RL F4.6 /14/).

DEC3 Pri havarijných scenároch s nezanedbateľnou pravdepodobnosťou výskytu nedôjde k zlyhaniu ochrannej obálky jadrového reaktora následkom jej tlakového a teplotného zaťaženia. Funkčnosť ochrannej obálky jadrového reaktora môže byť analyzovaná na základe realistického prístupu.

DEC4 Nedôjde k okamžitým zdravotným následkom na obyvateľstvo. Výpočtové hodnoty radiačných dávok v okolí jadrového zariadenia sú porovnané s kritériami na prijímanie ochranných opatrení. Na základe výsledkov týchto porovnaní sú navrhnuté opatrenia na zvýšenie bezpečnosti jadrového zariadenia a sú odporúčané opatrenia na ochranu obyvateľstva v okolí havarovaného jadrového zariadenia. Príslušné kritériá na prijímanie ochranných opatrení sú uvedené v Prílohe č. 12 k zákonu č. 87/2018 Z. z.