



ÚRAD
JADROVÉHO DOZORU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

EDÍCIA

Bezpečnosť jadrových zariadení

2025

BN 1/2025

**Kritérium jedinej poruchy
(4. vydanie – revidované)**

Kritérium jedinej poruchy
(4. vydanie – revidované)

Vydal Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Neperiodická publikácia

Spracovatelia: Ing. Ján Husárček, CSc., riaditeľ odboru bezpečnostných analýz a technickej podpory, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Ing. Ľubica Kubišová, PhD., odbor bezpečnostných analýz a technickej podpory, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Ing. Zuzana Koreňová, PhD., odbor bezpečnostných analýz a technickej podpory, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky, aktuálne bývalý štátny zamestnanec

Gestor: Ing. Ján Husárček, CSc., riaditeľ odboru bezpečnostných analýz a technickej podpory, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky

Recenzenti: Ing. Jozef Vitek, Jadrová a vyrad'ovacia spoločnosť, a. s.
Ing. Roman Strážovec, PhD., Jadrová energetická spoločnosť Slovenska, a. s.
Ing. Jozef Baláž, PhD., Slovenské elektrárne, a. s.
Ing. Miloš Kostolányi, Slovenské elektrárne, a. s.
Ing. Tomáš Kliment, VUJE, a. s

BN 1/2025
ISBN 978-80-89706-42-6
EAN 9788089706426

Bratislava, jún 2025

Anotácia

Bezpečnostný návod opisuje vlastnosti jedinej poruchy a spôsob použitia kritéria jedinej poruchy pri projektovaní bezpečnostných systémov jadrových zariadení a v bezpečnostných správach.

aktívny komponent, bezpečnostná skupina, bezpečnostný systém, iniciačná udalosť, jadrové zariadenie, kritérium jedinej poruchy, pasívny komponent, porucha, redundancia

Abstract

The safety guide describes the properties of single failure and laid down the way of application of the single failure criterion in the design of safety systems of nuclear facilities and in safety analysis reports.

active component, safety group, safety system, initiating event, nuclear facility, single failure criterion, passive component, failure, redundancy

Obsah

Úvod.....	1
1 Predmet a účel	1
2 Rozsah platnosti.....	1
3 Použité skratky	2
4 Vymedzenie pojmov	2
5 Kritérium jedinej poruchy	5
5.1 Jediná porucha.....	6
5.2 Kritérium jedinej poruchy	6
5.3 Výnimky pri aplikácii kritéria jedinej poruchy	7
6 Analýza plnenia kritéria jedinej poruchy.....	8
6.1 Cieľ analýzy	8
6.2 Postup analýzy	8
7 Uplatnenie kritéria jedinej poruchy	10
8 Aspekty bezpečnostných systémov vyžadujúce zvláštnu pozornosť	11
9 Zoznam literatúry	12

Zoznam obrázkov

Obrázok 4.1 Stavy jadrového zariadenia	5
Obrázok 4.2 Zariadenia JZ	5

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 Kritérium jedinej poruchy (4. vydanie – revidované) 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

Kritérium jedinej poruchy je jedným zo základných princípov, ktoré sa používajú pri projektovaní systémov na zabezpečenie dostatočnej úrovne ich spoľahlivosti a dodržanie jadrovej bezpečnosti. Kritérium jedinej poruchy je v princípe požiadavka, aby systém, ktorý je projektovaný na vykonanie definovanej bezpečnostnej funkcie, bol schopný vykonať svoju úlohu napriek poruche niektorého (jedného) komponentu v rámci daného systému alebo v podpornom systéme, ktorý prispieva k jeho činnosti.

1 Predmet a účel

Predmetom tohto bezpečnostného návodu je vymedzenie pojmu „jediná porucha“ a vysvetlenie zásad uplatnenia kritéria jedinej poruchy, ktoré sú ustanovené v Prílohe č. 3 k vyhláske Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky (ďalej len ÚJD SR) č. 430/2011 Z. z. o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť v znení vyhláske ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/. Bezpečnostný návod má napomôcť adekvátnemu uplatneniu kritéria jedinej poruchy pri deterministických analýzach bezpečnosti a v projektoch zmien a rekonštrukcií jadrových zariadení.

Do návodu sú zapracované odporúčania MAAE z bezpečnostných štandardov „Safety of Nuclear Power Plants: Design, No. SSR-2/1 (Rev. 1)“ /3/ a „Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants, No. SSG-39“/4/. Návod uvádza aj odkazy na referenčné úrovne WENRA (angl. RL – Reference Levels) zverejnené v dokumente „WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors“ /5/ týkajúce sa jedinej poruchy.

Prvé štyri kapitoly bezpečnostného návodu definujú jeho predmet a účel, rozsah platnosti, obsahujú zoznam skratiek a použité pojmy. V piatej kapitole sú objasnené termíny jediná porucha a kritérium jedinej poruchy a uvedené sú výnimky z aplikácie kritéria jedinej poruchy. V šiestej kapitole je opísaný cieľ a postup spracovania analýzy plnenia kritéria jedinej poruchy. Požiadavky na uplatnenie kritéria jedinej poruchy sú zhrnuté v siedmej kapitole. Niektoré aspekty bezpečnostných systémov, ktoré vyžadujú zvláštnu pozornosť, sú uvedené v ôsmej kapitole. Odkazy na použité všeobecne záväzné právne predpisy, bezpečnostné návody ÚJD SR a ďalšie dokumenty sú v deviatej kapitole.

2 Rozsah platnosti

Tento návod spracováva používanie kritéria jedinej poruchy pre bezpečnostné systémy jadrových zariadení priradené k 3. úrovni koncepcie ochrany do hĺbky.

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, vykonávaní, hodnotení a posudzovaní deterministických analýz 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 4. vydaním bezpečnostného návodu ÚJD SR s označením Kritérium jedinej poruchy a v plnom rozsahu nahrádza BN 2/2019 Kritérium jedinej poruchy (3. vydanie – revidované a doplnené).

Tento bezpečnostný návod sa vydáva bez časového obmedzenia.

3 Použité skratky

BT	bezpečnostná trieda
DEC	podmienky rozšíreného projektu (angl. Design Extension Conditions)
IEC	Medzinárodná elektrotechnická komisia (angl. International Electrotechnical Commission)
IEEE	Inštitút elektrických a elektronických inžinierov (angl. Institute of Electrical and Electronic Engineers)
JE	jadrová elektráreň
JZ	jadrové zariadenie
MAAE	Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu
RHWG	pracovná skupina pre harmonizáciu požiadaviek na bezpečnosť jadrových reaktorov (angl. Reactor Harmonization Working Group)
ÚJD SR	Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
WENRA	Asociácia jadrových dozorov európskych krajín (angl. Western European Nuclear Regulator's Association)

4 Vymedzenie pojmov

Pojmy vymedzené na účely tohto bezpečnostného návodu sú v nasledujúcom texte.

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

Aktívny komponent je komponent, ktorého činnosť závisí od externého vstupu/podnetu, ako je napríklad podnet k činnosti (spustenie), mechanický pohyb, dodávka elektrickej energie.

Bezpečnostná funkcia je projektové alebo prevádzkové opatrenie, ktorým sa zaistuje 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 skupina je súbor zariadení, ktorý vykonáva všetky činnosti požadované pri postulovanej iniciačnej udalosti tak, aby hraničné hodnoty uvedené v zadaní na projekt neboli prekročené.

Bezpečnostný systém je systém zaisťujúci bezpečné odstavenie jadrového reaktora alebo odvod tepla z aktívnej zóny reaktora, či bazénu skladovania vyhoreného paliva (BSVP), alebo obmedzenie následkov abnormálnej prevádzky a projektových havárií. Bezpečnostné systémy pozostávajú z ochranných systémov, výkonných systémov a podporných systémov. Komponenty bezpečnostných systémov môžu umožňovať výhradne plnenie bezpečnostných funkcií alebo môžu plniť bezpečnostné funkcie pri určitých prevádzkových stavoch jadrového zariadenia, ako aj iné funkcie, nesúvisiace s jadrovou bezpečnosťou, pri ostatných prevádzkových stavoch.

Jediná porucha¹ je náhodná porucha, ktorá spôsobuje stratu schopnosti jediného systému alebo jediného komponentu plniť jeho očakávané bezpečnostné funkcie. Následné poruchy systémov, konštrukcií a komponentov, ktoré vzniknú v dôsledku náhodného výskytu jedinej poruchy, sú považované za súčasť jedinej poruchy.

Limity a podmienky bezpečnej prevádzky alebo bezpečného vyrad'ovania je označenie dokumentu, ktorý obsahuje prípustné hodnoty parametrov zariadení jadrového zariadenia, definuje jeho prevádzkové režimy alebo režimy jeho vyrad'ovania.

Ochranný bezpečnostný systém je systém, ktorý monitoruje bezpečnostne dôležité veličiny alebo stavy jadrového zariadenia, a ktorý pri zaznamenaní abnormálnych podmienok automaticky vyvolá zásah na zabránenie vzniku nebezpečných alebo potenciálne nebezpečných podmienok.

Pasívny komponent je komponent, ktorého činnosť nezávisí od externého vstupu/podnetu, ako je napríklad podnet k činnosti (spustenie), mechanický pohyb, dodávka elektrickej energie. Pasívny komponent plní svoju funkciu iba napr. v dôsledku zmeny tlaku, teploty alebo toku média. Okrem toho môžu byť do tejto kategórie zaradené aj niektoré komponenty, ktoré fungujú s veľmi vysokou spoľahlivosťou a sú založené na nevratnom deji alebo zmene. Pasívne komponenty sú napríklad výmenníky tepla, potrubia, nádoby, nádrže, kontajnery, elektrické káble a stavebné konštrukcie. Niektoré komponenty (napr. poistné membrány, spätné klapky, poistné ventily, injektory, polovodičové elektronické zariadenia) majú vlastnosti, ktoré si pre to, aby mohli byť označené ako aktívne alebo ako pasívne komponenty, vyžadujú osobitný prístup.

¹ Výraz jediná porucha je správnejší ekvivalent anglického termínu „single failure“, pre ktorý sa v legislatívnych predpisoch a publikáciách ÚJD SR vydaných pred rokom 2019 používalo označenie jednoduchá porucha.

Podporný bezpečnostný systém je súbor zariadení, ktorý zabezpečuje podporné funkcie pre ochranné a výkonné bezpečnostné systémy, ako je napr. chladenie, mazanie, elektrické napájanie.

Porucha nezistiteľná je porucha, ktorá nemôže byť zistená prostredníctvom periodických skúšok predmetnej bezpečnostnej skupiny komponentov ani prostredníctvom poruchovej signalizácie.

Porucha zistiteľná je porucha, ktorá môže byť zistená prostredníctvom periodických skúšok predmetnej bezpečnostnej skupiny komponentov alebo pomocou poruchovej signalizácie.

Postulovaná iniciačná udalosť je projektom uvažovaná udalosť, ktorá môže viesť k stavu abnormálnej prevádzky alebo k havarijným podmienkam. Primárnou príčinou vzniku postulovaných iniciačných udalostí môžu byť hodnoverné zlyhania zariadení a chyby obsluhy JZ (ktoré nastanú v JZ alebo mimo neho), človekom vyvolané udalosti alebo prírodné ohrozenia.

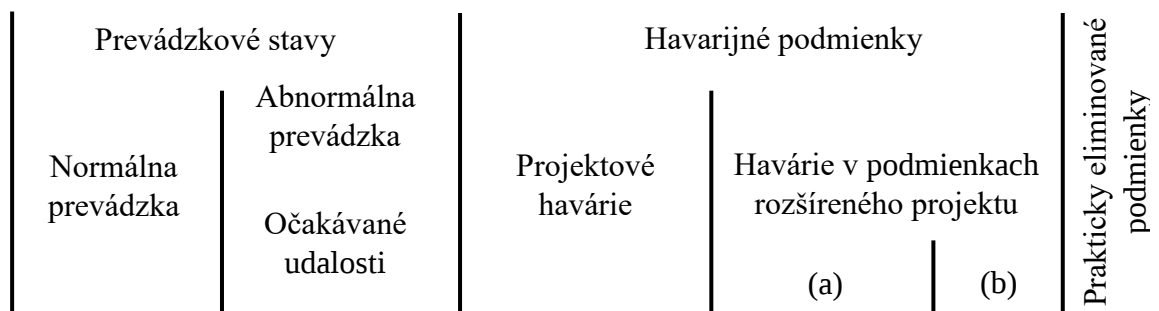
Prevádzka jadrového zariadenia sú činnosti vykonávané v jadrovom zariadení na dosiahnutie určeného účelu, na ktorý bolo jadrové zariadenie vybudované.

Projekt je jedinečný proces s výstupmi v podobe projektovej dokumentácie, predpokladov, kritérií, požiadaviek, dokumentov, záznamov, plánov, výkresov, analýz alebo výpočtov, pozostávajúci z koordinovaných alebo riadených činností vykonávaných na dosiahnutie stanoveného cieľa, v súlade s určenými špecifikáciami pre jadrové zariadenia alebo ich časti vrátane obmedzení v podobe času, nákladov a zdrojov.

Projektová havária je postulovaná udalosť vyvolávajúca havarijné podmienky, na ktoré je JZ projektované podľa stanovených projektových kritérií a konzervatívnej metodiky a pri ktorých úniky rádioaktívnych látok neprekročia ustanovené limity (SSR-2/1, definície /3/).

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

Stavy JZ uvažované v projekte JZ zahŕňajú normálnu prevádzku, abnormálnu prevádzku a havarijné podmienky podľa zobrazenia na obrázku nižšie (SSR-2/1, definície /3/):



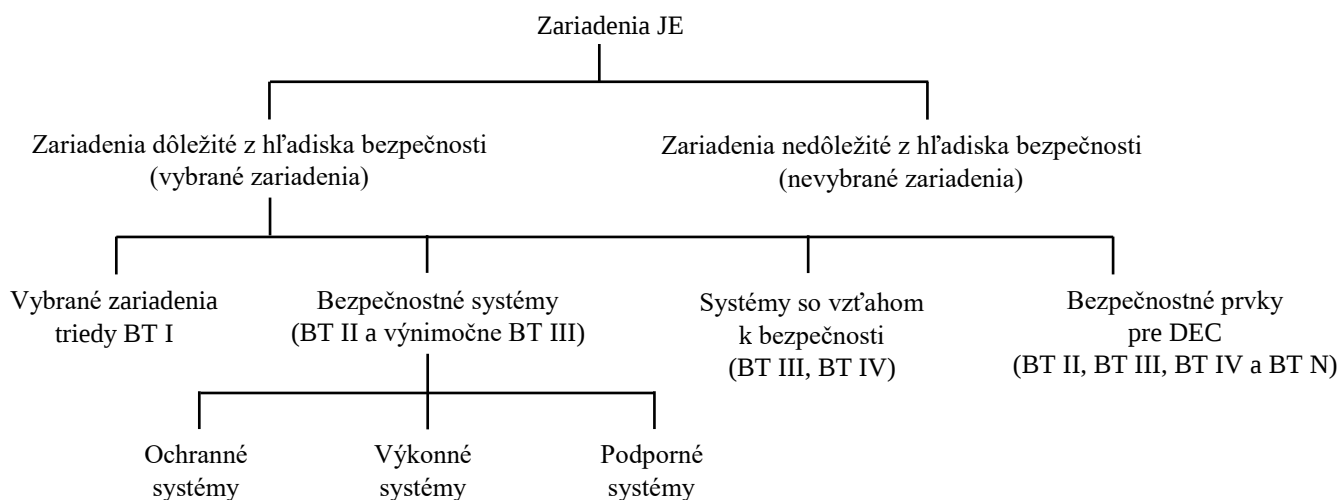
- a) Havárie bez závažného poškodenia jadrového paliva
b) Havárie s tavením jadrového paliva

Obrázok 4.1 Stavy jadrového zariadenia

Vybrané zariadenia sú systémy, konštrukcie, komponenty alebo ich časti vrátane ich programového vybavenia dôležité z hľadiska bezpečnosti jadrového zariadenia, zaradené do bezpečnostných tried podľa svojho významu pre jadrovú bezpečnosť, ako aj podľa bezpečnostnej funkcie systému, ktorého sú súčasťou, a podľa závažnosti ich prípadnej poruchy.

Výkonný bezpečnostný systém je súbor zariadení/systémov, ktoré po iniciácii ochrannými systémami zabezpečujú potrebné bezpečnostné činnosti.

Zariadenia JZ s jadrovým reaktorom sa delia na kategórie v zmysle tohto obrázku:



Obrázok 4.2 Zariadenia JZ

5 Kritérium jedinej poruchy

Kritérium jedinej poruchy je deterministické kritérium, ktoré predpisuje jednoduchý a zrozumiteľný projektový prístup na dosiahnutie minimálnej redundancie systému, podsystému alebo bezpečnostnej skupiny potrebnej pre zabezpečenie jeho spoľahlivosti. Toto kritérium vychádza zo všeobecnej skúsenosti, že aj tie komponenty, ktoré boli vyrobené na

vysokej úrovni kvality, môžu niekedy funkčne zlyhať nepredvídaným spôsobom a v čase, ktorý sa nedá predpovedať.

5.1 Jediná porucha

Pojmom „jediná porucha“ je označovaná ľubovoľná náhodná (zistiteľná) porucha ktoréhokoľvek komponentu bezpečnostnej skupiny, ktorá vedie ku strate schopnosti komponentu zabezpečiť vykonanie jeho projektom požadovanej bezpečnostnej funkcie. Jediná porucha môže vzniknúť v ľubovoľnom čase, pričom pred jej vznikom nie je známa príčina, pre ktorú porucha vznikne. Súčasťou jedinej poruchy sú všetky jej následné poruchy a poruchy vyvolané postulovanou iniciačnou udalosťou.

Predpoklad vzniku náhodnej poruchy treba uplatniť na aktívne i pasívne komponenty (potrubia, čerpadlá, armatúry, vodiče, tranzistory, spínače, motory, relé, cievky a pod.).

Jedinú poruchu treba uvažovať aj počas odstávky JZ alebo odstávky redundancie zálohovaného systému (údržba, oprava, prevádzková kontrola), prípadne v situácii, keď je pre iné ohrozenie znížené zálohovanie systému alebo komponentu.

Nesprávny postup/chybnú manipuláciu/nesprávny zásah obsluhy JZ treba pri aplikácii kritéria jedinej poruchy tiež považovať za poruchu.

Ak projektom nie je vylúčená možnosť vzniku nezistiteľnej poruchy, tak treba predpokladať jej výskyt súbežne s jedinou poruchou (SSG-39, čl. 6.17 /4/).

5.2 Kritérium jedinej poruchy

Kritérium jedinej poruchy je zamerané na zaručenie funkčnosti bezpečnostnej skupiny aj pri výskyte takých porúch v danej skupine, ktoré môžu mať vplyv na plnenie bezpečnostných funkcií v priebehu očakávaných udalostí a projektových havárií. Kritérium jedinej poruchy musí byť uplatnené v projekte jadrového zariadenia v každej bezpečnostnej skupine (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 3 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/; tiež aj SSR-2/1, požiadavka 25 /3/).

Každá bezpečnostná skupina má byť schopná vykonať všetky činnosti, na ktoré je určená, potrebné pre zaistenie bezpečnostnej funkcie, vyžadovanej pre iniciačnú udalosť uvažovanú v projekte, v prípade výskytu jedinej ľubovoľnej zistiteľnej poruchy v danom bezpečnostnom systéme v kombinácii s/so (SSG-39, čl. 6.13 /4/):

- a) ľubovoľnými nezistiteľnými poruchami (t. j. poruchy, ktoré nie sú zistiteľné prostredníctvom periodických skúšok, poruchovej signalizácie alebo anomálnou indikáciou),
- b) všetkými poruchami zapríčinenými touto jedinou zistiteľnou poruchou a nezistiteľnými poruchami,
- c) všetkými poruchami a nesprávnymi činnosťami systému, ktoré spôsobia alebo sú zapríčinené iniciačnou udalosťou, ktorá môže ovplyvniť bezpečnostnú skupinu,

d) vyradením z prevádzky (na určitú dobu) alebo obídenním časti bezpečnostného systému z dôvodu skúšania alebo údržby, ak je to vzhľadom na prevádzkové limity a podmienky povolené.

Bezpečnostná skupina vyhoví kritériu jedinej poruchy, ak sa preukáže, že splní svoju bezpečnostnú funkciu v prípade, že sa (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 3 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/):

- a) očakáva výskyt všetkých potenciálne nepriaznivých následkov postulovanej iniciačnej udalosti na danú bezpečnostnú skupinu,
- b) uvažuje najhoršia možná dovolená konfigurácia bezpečnostných systémov pri zohľadnení údržby, funkčných skúšok, prevádzkových kontrol a opráv, a
- c) v danej bezpečnostnej skupine sa vyskytne najnepriaznivejšia jediná porucha (RL E8.2 /5/).

Neplnenie kritéria jedinej poruchy je akceptovateľné len vo výnimočných prípadoch a musí byť zdôvodnené v analýze bezpečnosti (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 4 vyhlášky č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky č. 103/2016 Z. z. /2/; tiež aj SSG-39, čl. 6.15 /4/). V zdôvodnení treba preukázať, že nesplnenie kritéria jedinej poruchy má zanedbateľný vplyv na bezpečnosť JZ.

Nesplnenie kritéria jedinej poruchy treba zdôvodniť aj v takých prípadoch, ako je analýza udalostí s nízkou frekvenciou výskytu (napríklad vonkajšie ohrozenia). Osobitnú pozornosť treba venovať zabezpečeniu dlhodobej dostupnosti elektrických a ďalších podporných systémov potrebných pre činnosť a monitorovanie bezpečnostných systémov (SSG-39, čl. 6.16 /4/).

5.3 Výnimky pri aplikácii kritéria jedinej poruchy

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 relevantnom 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.

Požiadavku na analýzu jedinej poruchy netreba uplatniť/aplikovať v prípade zriedkavo sa vyskytujúcich postulovaných iniciačných udalostí, veľmi nepravdepodobných následkov iniciačných udalostí, udalostí v podmienkach rozšíreného projektu, vyradenia niektorých komponentov z prevádzky z dôvodu údržby, opravy alebo periodického skúšania iba na limitovanú dobu (primerane obmedzenú a spravidla krátku).

Na zdôvodnenie vylúčenia určitej poruchy z aplikácie kritéria jedinej poruchy možno použiť analýzu spoľahlivosti, pravdepodobnostné hodnotenie, prevádzkové skúsenosti, inžinierske posúdenie alebo ich kombináciu (SSG-39, čl. 6.17 /4/).

6 Analýza plnenia kritéria jedinej poruchy

Analýza plnenia kritéria jedinej poruchy má byť súčasťou celkovej analýzy bezpečnosti projektu jadrového zariadenia. Vykonáva sa spravidla pri projektovaní a/alebo povoľovaní daného jadrového zariadenia a tiež pri bezpečnostne významných zmenách v projekte alebo prevádzke s dopadom na funkčnosť niektorej bezpečnostnej skupiny.

Analýzu plnenia kritéria jedinej poruchy treba vykonať pre všetky bezpečnostné skupiny, ktoré vykonávajú činnosti požadované na zaistenie základných bezpečnostných funkcií (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) pri postulovaných iniciačných udalostiach s cieľom zhodnotiť súlad projektu s kritériom jedinej poruchy.

Analýzu plnenia kritéria jedinej poruchy nemožno nahradiť analýzami vykonanými v rámci pravdepodobnostného hodnotenia bezpečnosti (PSA) jadrového zariadenia, avšak môže sa nimi doplniť.

Pri analýze jedinej poruchy sa predpokladá výskyt iba jednej (jedinej) takejto poruchy (poruchy iba jedného komponentu) v danom čase, s uvažovaním všetkých jej dôsledkov v rámci hodnoteného časového intervalu.

Poruchy vyplývajúce z chýb v projekte, údržbe, prevádzke alebo vo výrobe zariadení nie sú zahrnuté do analýzy kritéria jedinej poruchy. Známe chyby by sa mali náležite riešiť prostredníctvom systému riadenia zmien, ktorý môže zohľadniť aj prevádzkové skúsenosti. Účinky neznámych chýb nemožno predpovedať, a preto kritérium jedinej poruchy nie je vhodným nástrojom na pochopenie účinkov takýchto chýb na bezpečnostnú skupinu (SSG-39, čl. 6.14 /4/).

6.1 Cieľ analýzy

Cieľom analýzy plnenia kritéria jedinej poruchy je preukázať, že požadované bezpečnostné funkcie sú zaistené pre všetky prevádzkové režimy JZ aj pri výskyte projektom uvažovaných postulovaných iniciačných udalostí tak, aby neboli prekročené stanovené limity a kritériá prijateľnosti, a že žiadna jediná porucha v príslušnej bezpečnostnej skupine nezabráni splneniu bezpečnostnej funkcie, pre ktorú je daná bezpečnostná skupina určená.

6.2 Postup analýzy

Pre každú postulovanú iniciačnú udalosť s potenciálom porušiť niektorú bezpečnostnú funkciu je potrebné:

- a) určiť/stanoviť bezpečnostné úlohy bezpečnostnej skupiny na zaistenie bezpečnostnej funkcie/bezpečnostných funkcií (napr. zasunutie regulačných kaziet/regulačných tyčí, zatvorenie armatúr pre oddelenie ochrannej obálky, dopĺňovanie chladiva do aktívnej zóny),

- b) správne identifikovať v rámci projektu daného JZ všetky systémy, konštrukcie a komponenty patriace do bezpečnostnej skupiny s požadovanou bezpečnostnou funkciou/funkciami vrátane podporných systémov potrebných na zvládnutie danej iniciálnej udalosti,
- c) určiť/stanoviť minimálny rozsah systémov alebo ich kombinácií (minimálne konfigurácie bezpečnostnej skupiny) postačujúcich na zaistenie bezpečnostnej funkcie (napr. na chladenie aktívnej zóny sú postačujúce buď dva podsystémy vysokotlakového dopĺňovania chladiva, alebo jeden vysokotlakový a jeden nízkotlakový podsystém),
- d) vykonať analýzu vplyvu jedinej poruchy na danú bezpečnostnú skupinu, t. j. predpokladať poruchu v systéme (v rozsahu a podľa požiadaviek kritéria), určiť jej následky a preukázať, že požadovaná bezpečnostná funkcia je vykonateľná aj pri vzniku jedinej poruchy v danej bezpečnostnej skupine,
- e) analýzy podľa bodu d) vykonať pre všetky poruchy v rozsahu definície jedinej poruchy na zariadení danej bezpečnostnej skupiny,
- f) v prípade, že kritérium jedinej poruchy je splnené iba prostredníctvom samostatných a nezávislých podsystémov, treba overiť ich nezávislosť, t. j. zistiť, či nemajú nejaké spoločné zariadenie alebo zraniteľné miesta, ktorých ohrozenie by mohlo viesť k strate funkčnosti nad rámec jedinej poruchy (napr. napájacie zdroje, nedostatočné fyzické oddelenie a pod.),
- g) ak nemôže byť nezávislosť podsystémov (redundancií) priamo preukázaná, treba vykonať systematické skúmanie dôsledkov potenciálnych porúch z hľadiska kritéria jedinej poruchy tak, aby uvažovaný rozsah poruchy zahŕňal aj poruchu ovplyvnených podsystémov (redundancií),
- h) v prípadoch, keď nie je splnené kritérium jedinej poruchy (bezpečnostná skupina pri výskyte jedinej poruchy nezabezpečí požadované bezpečnostné funkcie), treba rozhodnúť o modifikácii projektu alebo, v odôvodniteľných prípadoch, o pripustení výnimky (pozri kap. 5.3),
- i) pri nesplnení kritéria jedinej poruchy počas opravy, údržby alebo skúšok jedného redundantného podsystému treba stanoviť prípustnú dobu jeho vyradenia z prevádzky pri zabezpečení požadovanej spoľahlivosti systému a premietnuť túto dobu do limitov a podmienok.

Pri analýze plnenia kritéria jedinej poruchy možno využívať aj metodiky opísané napr. v dokumentoch 352-2016 IEEE Guide for General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generating Station Systems and Other Nuclear facilities, IEEE 2017 /6/, IEC 60812:2018 Failure Modes and Effects Analysis, 2018 /7/, 603-2018 IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations, IEEE 2018 /8/, 379-2014 IEEE Standard for Application of the Single-Failure Criterion to Nuclear Power Generating Station Safety Systems, IEEE 2014 /9/.

7 Uplatnenie kritéria jedinej poruchy

Na zaistenie potrebnej bezpečnosti JZ musia byť v projekte vytvorené dostatočné technické opatrenia (systémy, komponenty) tak, aby dané JZ spĺňalo požadované bezpečnostné kritériá aj v kontexte kritéria jedinej poruchy.

Pri poruche alebo zlyhaní systému dôležitého z hľadiska jadrovej bezpečnosti musí záložné zariadenie, ktoré preberá jeho funkciu, spĺňať kritérium jedinej poruchy (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. H. ods. 1 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/).

Z hľadiska plnenia kritéria jedinej poruchy musia byť analyzované minimálne nasledujúce bezpečnostné skupiny systémov a komponentov:

- a) ochranné bezpečnostné systémy – tie sa musia projektovať s najvyššou dosiahnuteľnou funkčnou spoľahlivosťou, zálohovaním a nezávislosťou jednotlivých kanálov tak, aby jediná porucha nespôsobila stratu ochrannej funkcie systému a neznížila počet nezávislých meracích a informačných kanálov týchto systémov na jeden (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. L. ods. 1 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/),
- b) ventilačné systémy (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. G. ods. 5 písm. f) vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/),
- c) systémy zaistenia elektrického napájania (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. M. ods. 6 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/, tiež aj RL E10.11 /5/); ak jediná porucha napájacích systémov nenaruší ich funkciu, pripúšťa sa aj jediná porucha elektrického systému alebo zdroja (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. M. ods. 5 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/),
- d) systémy odvodu zostatkového tepla z aktívnej zóny po odstavení reaktora a bazénu skladovania vyhoreného paliva (Príloha č. 3 časť B bod I. písm. N. ods. 2, časť B. bod II. písm. C. ods. 3 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/; tiež RL E9.9 /5/),
- e) systémy havarijného chladenia aktívnej zóny (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. C. ods. 1 písm. b) vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/),
- f) uzatváracie prvky v potrubiach primárneho okruhu, potrubiach priamo spojených s atmosférou ochrannej obálky ako aj v ostatných potrubiach prechádzajúcich stenami ochrannej obálky (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. D. ods. 11 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/),
- g) systém odvodu tepla z ochrannej obálky (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. D. ods. 14 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/),
- h) systémy na zníženie teploty a tlaku v ochrannej obálke (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. D. ods. 16 vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/),
- i) bezpečnostné systémy s výstupom pre aktiváciu systému odstavenia jadrového reaktora (Príloha č. 3 časť B bod II. písm. I. ods. 1 písm. c) a d) vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 Z. z. v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. /2/; tiež aj RL E9.7 a RL E10.7 /5/).

Pri aplikácii kritéria jedinej poruchy netreba predpokladať zlyhanie pasívnych systémov a komponentov. Ak sa však predpokladá, že pasívny systém alebo komponent nezlyhá, potom treba preukázať, že zlyhanie takéhoto komponentu alebo systému je veľmi nepravdepodobné a jeho funkcia zostáva postulovanou iniciačnou udalosťou neovplyvnená (RL E8.2 /5/).

Informácia o aplikácii kritéria jedinej poruchy v deterministických analýzach bezpečnosti je v bezpečnostnom návode ÚJD SR „Požiadavky na deterministické analýzy bezpečnosti JE s VVER-440/V213“.

8 Aspekty bezpečnostných systémov vyžadujúce zvláštnu pozornosť

Vzájomné prepojenie komponentov alebo podsystémov (napr. prostredníctvom uzatváracej armatúry alebo okruhom na zber dát, resp. na skúšanie) – pri výskyte jedinej poruchy v tomto prepojení treba analyzovať možné poruchy z hľadiska zachovania nezávislosti komponentov alebo podsystémov.

Prepojenia bezpečnostných systémov alebo ich komponentov so systémami normálnej prevádzky alebo ich komponentmi (napr. uzatváracie armatúry, vodiče od snímačov) – poruchu treba zahrnúť do analýzy jedinej poruchy.

Zariadenia na uvedenie do činnosti – akčné členy (ako napr. spínače, ovládacie armatúry), ktoré sú projektované na zapracovanie pri strate napätia, treba analyzovať i z hľadiska jedinej poruchy, ktorá má za následok prítomnosť napätia na ich vstupe.

Zariadenia na uvedenie do činnosti, projektované na zapracovanie po privedení energie, treba analyzovať i z hľadiska jedinej poruchy, ktorá má za následok neprivedenie energie (napr. strata napájania, skrat, prerušenie obvodu).

Systém na spustenie bezpečnostných systémov ako celok vrátane zariadení na vypnutie nedôležitých spotrebičov, ktorý môže obsahovať mechanické, elektrické, hydraulické alebo pneumatické komponenty, treba zahrnúť do analýzy jedinej poruchy.

Analýzu jedinej poruchy treba vykonať pre všetky druhy zásobovania energiou z hľadiska možnosti porúch spôsobených nesprávnou činnosťou zdrojov (napr. prepätie môže porušiť tranzistory, vysoký tlak môže porušiť membrány pneumatických alebo hydraulických zariadení redundantných podsystémov).

Ak činnosť bezpečnostného systému závisí na prívode chladiacej vody, mazacieho oleja alebo na práci klimatizácie, potom porucha takýchto systémov predstavuje potenciálne porušenie kritéria jedinej poruchy, pokiaľ sa nepreukáže, že takáto porucha nemôže zabrániť vykonaniu bezpečnostnej funkcie.

Pri analýze jedinej poruchy treba vziať do úvahy i tie elektrické systémy, ktoré nie sú súčasťou elektrických bezpečnostných systémov, ale sú s nimi určitým spôsobom spojené (napr. skúšobné obvody).

Ak by nesprávne spustenie bezpečnostného systému mohlo mať za následok neprijateľný vplyv na bezpečnosť, treba analýzou preukázať, že žiadna jediná porucha nespôsobí spustenie bezpečnostného systému.

Ak súlad s kritériom jedinej poruchy nie je postačujúci na splnenie požiadaviek na spoľahlivosť bezpečnostného systému, treba urobiť modifikáciu projektu alebo realizovať dodatočné technické riešenie v rámci systému tak, aby systém vyhovel požiadavkám spoľahlivosti.

9 Zoznam literatúry

- /1/ Zákon č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.
- /2/ Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 430/2011 Z. z. o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z.
- /3/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design. *IAEA Safety Standards Series* No. SSR-2/1 (Rev.1), Vienna: IAEA, 2016, p. 27, p. 65–66. [zobrazené 15. marca 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>
- /4/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants. *IAEA Safety Standards Series* No. SSG-39, Vienna: IAEA, 2016, p. 51–53. [zobrazené 15. marca 2019]. ISBN 978–92–0–102815–0. ISSN 1020–525X. Dostupné na internete: <https://www.iaea.org/publications/10838/design-of-instrumentation-and-control-systems-for-nuclear-power-plants>
- /5/ WENRA RHWG, WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors. Issue E: Design Basis Envelop for Existing Reactors. WENRA RHWG, 2021. p. 15–21. [zobrazené 17. októbra 2024]. Dostupné na internete: https://wenra.eu/sites/default/files/publications/wenra_safety_reference_level_for_existing_reactors_2020.pdf
- /6/ 352-2016 IEEE Guide for General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generating Station Systems and Other Nuclear Facilities, Revision of ANSI/IEEE Std 352-1987, IEEE 2017, ISBN 978-1-5044-3643-4.
- /7/ IEC 60812:2018 Failure Modes and Effects Analysis, Edition 3.0, IEC 2018, ISBN 978-2-8322-5915-3.
- /8/ 603-2018 IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations (Revision of IEEE Std 603-2009), IEEE 2018, ISBN 978-1-5044-5219-9.
- /9/ 379-2014 IEEE Standard for Application of the Single-Failure Criterion to Nuclear Power Generating Station Safety Systems, Revision of IEEE Std 379-2000, IEEE 2014, ISBN 978-0-7381-9124-9.

Oznámenie

K odkazu /3/ 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 autenticitu 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.

K odkazu /4/ zo Zoznamu literatúry:

Toto je preklad výňatkov z Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-39, © 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 autenticitu 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 Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-39, © 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.