

**Státní úřad  
pro jadernou bezpečnost**

**Jaderná  
bezpečnost**

# **PRAVDĚPODOBNOSTNÍ HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI**

**bezpečnostní návod JB-1.6**

**SÚJB  
prosinec 2010**

Jaderná bezpečnost

**PRAVDĚPODOBNOSTNÍ HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI**

Vydal: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, prosinec 2010

Účelová publikace bez jazykové úpravy

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>4</b>
	DŮVOD VYDÁNÍ .....	4
	CÍL .....	4
	PŮSOBNOST .....	4
	PLATNOST .....	4
<b>2</b>	<b>POUŽITÉ ZKRATKY A POJMY .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>VLASTNÍ NÁVOD .....</b>	<b>8</b>
	VÝCHODISKA .....	8
	CÍLE A ZÁSADY .....	8
	VLASTNÍ PROVEDENÍ.....	10
<b>4</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>105</b>
	Příloha 1: Reactor Safety Reference Levels – Issue O: Probabilistic Safety Analysis (PSA), WENRA, 2008.....	105
<b>5</b>	<b>REFERENCE.....</b>	<b>108</b>

# 1 ÚVOD

## DŮVOD VYDÁNÍ

(1.1) Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) je ústředním orgánem státní správy, který vykonává státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany.

(1.2) V rámci své pravomoci a působnosti, v souladu se zásadami činnosti správních orgánů a mezinárodní praxí, vydává bezpečnostní návody, ve kterých dále rozpracovává požadavky jaderné bezpečnosti.

## CÍL

(1.3) Tento bezpečnostní návod *Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti* je součástí série bezpečnostních návodů, které rozpracovávají požadavky, které definovala asociace WENRA vydáním Referenčních úrovní – „WENRA Reactor Safety Reference Levels, 2008“ a „Waste and Spent Fuel Safety Reference Levels Report, 2006“ (dále jen jako „Referenční úrovně“) a dále rozpracováním požadavků Mezinárodní agentury pro atomovou energii.

(1.4) Návod je určen pro držitele povolení k provozu jaderného zařízení, kterému nabízí preferovaný postup, jehož dodržení mu zajistí, že jeho aktivity v dané oblasti budou v souladu s požadavky Atomového zákona, jeho prováděcími předpisy a naplní příslušné Referenční úrovně WENRA a doporučení IAEA.

## PŮSOBNOST

(1.5) Tento návod se primárně soustředí na jaderná zařízení ve smyslu Úmluvy o jaderné bezpečnosti - „civilní“ jaderné elektrárny. Jeho principy a postupy lze v omezené míře vztáhnout také na další jaderná zařízení, zejména výzkumné reaktory.

## PLATNOST

(1.6) Toto vydání se ověřuje po dobu 12 měsíců od vydání návodu SÚJB. V tomto období se návrhy na změnu a doplnění příslušných částí realizují postupem, který určí SÚJB. Před uplynutím doby platnosti na základě vydaných změn a doplnění, v souladu s novými poznatky vědy a techniky a získaných zkušeností s praktickým používáním připraví SÚJB vydání nové, které na toto bezprostředně naváže.

## 2 POUŽITÉ ZKRATKY A POJMY

ALARA	As Low as Reasonably Achievable Princip “Tak nízko, jak je rozumně dosažitelné”
AOT	Allowed Outage Time Přípustná doba nepohotovosti zařízení (doba provedení dle LaP)
AZ	Aktivní zóna
CCDF	Conditional Core Damage Frequency Podmíněná frekvence výskytu poškození paliva v AZ
CCDP	Conditional Core Damage Probability Podmíněná pravděpodobnost výskytu poškození paliva v AZ
CCF	Common Cause Failure Porucha se společnou příčinou
CD	Core Damage Poškození paliva v AZ
CDF	Core Damage Frequency Frekvence výskytu poškození paliva v AZ
CDP	Core Damage Probability Pravděpodobnost výskytu poškození paliva v AZ
EC	European Commission Evropská komise
EOP	Emergency Operation Procedure Předpis pro zvládání mimořádných událostí
EU	Evropská unie
FDF	Fuel Damage Frequency Frekvence výskytu poškození paliva na JE (v AZ i mimo AZ)
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis Analýza příčin a následků poruch
HAZOP	Studie nebezpečí a provozuschopnosti
HCC	Hlavní cirkulační čerpadlo
IAEA	International Atomic Energy Agency Mezinárodní agentura pro atomovou energii
ICCDP	Incremental CCDP Přírůstek podmíněné CDP

INPO	Institute of Nuclear Power Operations Institut pro provoz jaderných elektráren
I.O.	Primární okruh
IPSART	International Probabilistic Safety Assessment Review Team Mezinárodní kontrolní mise PSA organizovaná IAEA
IRS	International Reporting System for Operating Experience Mezinárodní systém zpráv zpětné vazby
IU	Iniciační událost
JE	Jaderná elektrárna
JZ	Jaderné zařízení
LaP	Limity a podmínky bezpečného provozu
LERF	Large Early Release Frequency Frekvence výskytu velkého časného úniku RAL z kontejnmentu JE
LOCA	Loss of Coolant Accident Havárie s únikem chladiva I.O.
LOSP	Loss of Off-Site Power Ztráta napájení vlastní spotřeby
LPSPSA	Low Power and Shutdown PSA PSA pro nízkovýkonové stavy a odstávky
MKŘ	Minimální kritický řez
NEA	OECD/Nuclear Energy Agency Agentura pro jadernou energii v rámci OECD
PDS	Plant Damage State Stav poškození bloku
PG	Parogenerátor
PpBZ	Předprovozní bezpečnostní zpráva
PSA	Probabilistic Safety Assessment Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti
PSR	Periodic Safety Review Periodické hodnocení bezpečnosti
QA	Quality Assurance Zajištění jakosti
RAL	Radioaktivní látky

RAW (RIF)	Risk achievement worth (risk increase factor), někdy se také označuje jako risk increase ratio Importanční míra (míra důležitosti)
RI-ISI	Risk-Informed Inservice Inspections Rizikově informované provozní kontroly
RRW (RDF)	Risk reduction worth (risk decrease factor), někdy se také označuje jako risk decrease ratio Importanční míra (míra důležitosti)
SAMG	Severe Accident Management Guidelines Návody pro zvládnání nadprojektových a těžkých havárií
SGCR	Steam Generator Collector (někdy též Header) Rupture Roztržení kolektoru PG
SGTR	Steam Generator Tube Rupture Roztržení teplosměnné trubky PG
SKŘ	Systém kontroly a řízení
SPI	Safety Performance Indicators Indikátory bezpečného provozu
SSC	Systems, Structures and Components Systémy, konstrukce (objekty) a komponenty
STI	Surveillance Test Interval Interval provozních testů (zkoušek a kontrol)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TNR	Tlaková nádoba reaktoru
WANO	World Association of Nuclear Operators Světová asociace jaderných provozovatelů
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association Asociace západních dozorných orgánů

## 3 VLASTNÍ NÁVOD

### VÝCHODISKA

(3.1) Požadavek na pravidelné provádění hodnocení, ověřování a v přiměřeně dosažitelné míře trvalé zvyšování jaderné bezpečnosti jaderných zařízení systematickým a prokazatelným způsobem je uveden např. ve článku 6 odst. 2 Směrnice Rady 2009/71/EURATOM [1]. Význam komplexního a systematického hodnocení bezpečnosti jaderných zařízení, které se má provádět v průběhu celé doby jejich životnosti, zdůrazňuje rovněž například čl. 14 Úmluvy o jaderné bezpečnosti [2].

(3.2) Doporučení IAEA pro tuto oblast jsou zahrnuty v dokumentu Fundamental Safety Principles SF-1 [10], kde jsou uvedeny obecné principy, které jsou dále konkrétněji rozpracovány v General Safety Requirements Part 4, Safety Assessment for Facilities and Activities [11]. Safety Guide IAEA SSG-3 [12] pak již podrobně rozpracovává vlastní problematiku PSA 1. úrovně a SSG-4 [13] provádí totéž pro PSA 2. úrovně. V materiálu IAEA-TECDOC-1106 [14] je rozebrána problematika „Living PSA“.

(3.3) V harmonizační studii pracovní skupiny pro reaktorovou bezpečnost asociace WENRA vydané v roce 2006 a aktualizované v roce 2008 jsou pro tematickou oblast O - Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti jaderného zařízení stanoveny požadavky platné v zemích EU [9].

(3.4) Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti slouží k systematickému a komplexnímu provedení kvantitativního ohodnocení bezpečnosti provozu JE. Výsledky lze využívat v rámci rizikově orientovaných rozhodovacích procesů.

(3.5) Pojem „bezpečnost“ v tomto návodu zahrnuje jadernou bezpečnost a radiační ochranu ve smyslu zákona č. 18 /1997 Sb., §2, písm. d) o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů.

### CÍLE A ZÁSADY

(3.6) PSA by mělo být provedeno pro všechna jaderná zařízení, jejichž součástí je jaderný reaktor, tedy i pro výzkumná zařízení; pro poslední uváděná JZ lze ovšem použít doporučení shrnutá v tomto návodu pouze v omezené míře.

(3.7) Studie PSA by měla v našich podmínkách popisovat a modelovat skutečný aktuální stav konkrétní JE (tzv. specifická PSA).

(3.8) Její aktuálnost by měla být udržována v rámci programu „Living PSA“, jehož cílem je zahrnutí aktuálního stavu zařízení (např. provedené modifikace), aktuálního stavu provozních předpisů a dalších informací používaných při konstrukci PSA modelu, jako např. termo-hydraulických analýz, jakož i zahrnutí aktualizovaných spolehlivostních dat (jejich aktualizace je založena zejména na získání specifických provozních údajů z příslušné JE či z elektráren jí typově příbuzných).



(3.9) Studie PSA může mít až tři úrovně:

1. úroveň - hodnocení selhání zařízení JE z pohledu tavení AZ, resp. obecněji poškození jaderného paliva na JE.
2. úroveň - hodnocení odezvy kontejnmentu na havarijní scénáře z 1. úrovně, určení frekvencí úniků RAL mimo kontejnment a hermetické prostory JE, vč. jejich kvalitativních a kvantitativních charakteristik.
3. úroveň - navazuje na 2. úroveň; hodnocení následků úniků RAL mimo prostory JE a jejich vliv na obyvatelstvo a životní prostředí.

(3.10) PSA 1. úrovně bylo již provedeno na většině jaderných elektráren ve světě. V posledních letech se také značně rozšířil počet JE, kde se provádí PSA 2. úrovně. V požadavcích na nově projektovaná jaderná zařízení se objevují požadavky na splnění kritérií akceptovatelnosti rizika používající veličinu LERF, kterou lze určit právě pouze pomocí 2. úrovně PSA. Naproti tomu PSA 3. úrovně bylo dosud vypracováno pouze pro několik JE.

(3.11) V dokumentu jsou zmíněny všechny tři úrovně PSA, nicméně podrobně se soustředí zejména na 1. úroveň. Rozpracování návodu pro PSA 2. úrovně bude doplněno. PSA 3. úrovně zatím není v České republice aktuální.

(3.12) Za úplnost PSA, jeho kvalitu a závěry nese odpovědnost držitel povolení k provozu daného jaderného zařízení. PSA je zpracována, dokumentována a udržována v souladu se systémem řízení jakosti držitele povolení.

(3.13) Tento dokument shrnuje doporučení pro vytváření a organizaci projektu pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti, které se provádí pro zajištění uspokojivé úrovně jaderné bezpečnosti na jaderných zařízeních s jaderným reaktorem, ať již v době projektování nebo při jejich provozu.

(3.14) PSA studie by měla být zpracována a udržována dle aktuálních a ověřených metodik a v souladu s nejlepší mezinárodní praxí. Uvedená doporučení mají za cíl zajistit technickou kvalitu studie PSA, jakož i kvalitu jejích aplikací. Obecně je možno říci, že cílem je zajistit vysokou kvalitu rizikově informovaného rozhodování.

## **VLASTNÍ PROVEDENÍ**

### **Obecné zásady pro provádění a používání PSA**

(3.15) Tato kapitola rozebírá některé obecné aspekty tvorby PSA studie a jejího následného využití v praxi, jako například rozsah PSA studie, její validace, projekt „living PSA“, možnosti využití a slabá místa PSA, jakož i pravděpodobnostní bezpečnostní cíle. Jsou zde shrnuta některá hlavní doporučení mající vztah k těmto aspektům a rovněž jsou zde uvedeny některé obecné informace potřebné pro porozumění dalšímu textu tohoto Návodu.

### **Rozsah PSA studie**

(3.16) Rozsah PSA studie by měl být v korelaci s bezpečnostními cíli či kritérii, pokud nějaká byla stanovena. Bezpečnostní cíle či kritéria obvykle nespecifikují, které hazardy a provozní režimy provozu JE mají být uvažovány. Z tohoto důvodu by při využívání výsledků PSA pro verifikaci toho, že odpovídají stanoveným bezpečnostním cílům či kritériím, měla být používána plnorozsahová PSA studie zahrnující kompletní seznam IU včetně interních i reálně možných externích hazardů a všechny provozní režimy JE, kromě případů, kdy jsou bezpečnostní cíle či kritéria formulovány pro omezený rozsah PSA nebo jsou užity alternativní přístupy k prokázání toho, že riziko z nezahrnutých IU a hazardů, případně provozních režimů, které nejsou obsaženy v PSA modelu, neohrozí naplnění zmíněných bezpečnostních cílů či kritérií.

(3.17) Velkou předností PSA je, že poskytuje explicitní rámec pro analýzy neurčitostí při hodnocení rizika. Jako nedílná součást PSA by měla být provedena identifikace zdrojů neurčitostí a mělo by být správně porozuměno jejich vlivu na PSA model a jeho výsledky, neboť při použití výsledků PSA pro podporu rozhodovacího procesu je třeba vliv neurčitostí brát v úvahu.

(3.18) Rozsah PSA studie, jak ve smyslu zahrnutí problematiky jednotlivých potenciálních rizik (tj. vnitřní IU, vnitřní a vnější hazardy), tak ve smyslu zahrnutí jednotlivých provozních režimů i ve smyslu různých úrovní vrcholových událostí (tj. 1., 2., případně 3. úrovně PSA) závisí v konečném důsledku především na dalším předpokládaném využití této studie.

(3.19) V našich podmínkách se předpokládají aplikace PSA, které vyžadují zahrnutí všech provozních režimů (PSA pro výkonové, nízkovýkonové stavy i odstávky), všech potenciálně možných (pravděpodobných) IU včetně interních i externích hazardů i možnost stanovení úniků radioaktivních látek mimo ochrannou obálku (PSA 2. úrovně). Rovněž je třeba mít z hlediska rizika zmapovány ostatní zdroje radioaktivity, které se nacházejí v lokalitě příslušné jaderné elektrárny, jako např. vyhořelé palivo v bazénu skladování, vyhořelé palivo v meziskladu, či jaderné odpady.

(3.20) Každá JE by tedy měla mít k dispozici specifickou PSA 1. i 2. úrovně zahrnující všechny provozní režimy, všechny možné zdroje radioaktivity a všechny možné zdroje rizika. PSA 3. úrovně se nepožaduje.

(3.21) Pro některé aplikace je možno použít PSA studii s omezeným rozsahem. Vždy je však třeba tuto skutečnost uvést v příslušné dokumentaci a zdůvodnit, že chybějící rozsah neovlivní

vyhodnocení aplikace.

### **Validace a nezávislá kontrola PSA**

(3.22) Pro tvorbu vlastní PSA i pro provádění analýz, jejichž výsledky slouží jako vstupní informace, se zpravidla využívá komerčně dostupné programové vybavení. Je třeba mít k dispozici certifikát, který by potvrzoval, že daný software je dostatečně kvalitní a ověřený pro provádění daného typu analýz. Mělo by být prokázáno, že použité analytické metody adekvátně reprezentují probíhající procesy. Rovněž by mělo být prokázáno, že pracovníci organizace, která bude s daným programovým vybavením pracovat, jsou na dostatečné odborné úrovni, aby byli schopni příslušné analýzy provádět. Zmíněný certifikát v našich podmínkách představuje pozitivní „Stanovisko odborné hodnotící komise k použití hodnoceného výpočtového programu“ dle VDS 30 [8].

(3.23) Je třeba, aby PSA studie byla podrobena nezávislému hodnocení, které by mělo být schopno odhalit metodické i jiné nedostatky, jakož i potvrdit případnou další využitelnost pro provádění jednotlivých aplikací. Takové hodnocení může poskytnout například IAEA v rámci svých IPSART misí. Rovněž je možno k němu využít jinou nezávislou odborně fundovanou technickou organizaci, tj. organizaci, která se nepodílela na vzniku dané konkrétní PSA studie ani není spojena ekonomickými či jinými vazbami s jejím dodavatelem či vlastníkem. Vzhledem k velikosti českého trhu je vhodné volit k tomuto účelu organizaci ze zahraničí.

### **Program „living PSA“**

(3.24) Během doby provozu JE se zpravidla provádí řada modifikací původního projektu, upravují se provozní i havarijní předpisy, jakož i způsob testování a údržby zařízení. Všechny tyto změny mohou mít vliv na jadernou bezpečnost. Rovněž se během provozu nashromáždí specifická spolehlivostní data; může se jednat o frekvence některých iniciačních událostí, pravděpodobnosti selhání jednotlivých zařízení, nepohotovosti zařízení v důsledku provádění periodických testů či plánované i neplánované údržby. Během času rovněž dochází k nashromáždění nových technických informací, k vývoji sofistikovanějších analytických metod i nástrojů, které umožňují lepší či adekvátnější hodnocení bezpečnostně významných jevů, které se mohou na JE vyskytnout; v důsledku toho se mohou změnit některé předpoklady či východiska, které byly uplatněny při tvorbě PSA modelu.

(3.25) Vše výše uvedené by mělo být zahrnováno do studie PSA; tato aktualizace studie se nazývá v mezinárodní praxi „living PSA“. PSA by měla být udržována aktuální během celého životního cyklu JE, aby bylo zajištěno, že bude poskytovat správné podklady, prakticky využitelné při rizikově informovaném rozhodování. Aktualizace PSA studie je tedy potřebná zejména z hlediska jejích aplikací. Pokud mají aplikace PSA sloužit jako podklad pro rizikově informované rozhodování, měly by být prováděny s modelem, který věrně odráží realitu a současnou úroveň poznatků o JE. Stav PSA by měl být kontrolován v pravidelných, periodicky se opakujících intervalech, s cílem ověřit, že představuje reprezentativní model JE a splňuje cíle, pro které byla vytvořena.

(3.26) Pokud se objeví změny mající významný vliv na model PSA či jeho výsledky, měla by být uvedená aktualizace PSA provedena nejpozději do jednoho roku (viz [14]). V případě, že

žádná taková změna nenastala, se doporučuje provést revizi PSA po pěti letech. PSA by měla být aktualizována rovněž v rámci periodického hodnocení bezpečnosti (PSR), které se zpravidla provádí pravidelně po deseti letech.

### **Využití PSA při rizikově informovaném rozhodování**

(3.27) PSA studie a její aplikace by měla být využívána během celého životního cyklu JE pro účely rizikově informovaného rozhodování, spolu s deterministickými bezpečnostními analýzami a kritérii ochrany do hloubky (podrobněji viz kapitola Aplikace PSA). Její výsledky mohou být rovněž využívány pro informování veřejnosti o stavu jaderné bezpečnosti na JE.

(3.28) PSA může poskytnout užitečné nálezy a výsledky např. pro pracovníky JE (řídící pracovníci, inženýři, provozní personál i pracovníci údržby), dozorné orgány, projektanty a dodavatele, jako podklad pro rozhodování o:

- ❖ změnách projektu JE,
- ❖ optimalizaci provozu či údržby zařízení JE,
- ❖ provedení bezpečnostních analýz a výzkumných prací,
- ❖ aktivitách dozorného orgánu.

(3.29) Pro využívání PSA v rizikově informovaném rozhodování je třeba stanovit jistá pravidla. Tato pravidla se budou lišit v závislosti na konkrétním typu aplikace. Pokud budou jako argumenty při rozhodování používány numerické výsledky PSA, je třeba mít stanoveny referenční hodnoty, které budou představovat limity, jejichž překročení není z pohledu jaderné bezpečnosti žádoucí, tj. kritéria přijatelnosti rizika.

(3.30) PSA je možno využít v následujících oblastech:

- a) vlastní PSA
  - stanovení frekvence poškození paliva (CDF nebo FDF)
  - stanovení tříd úniků Ra látek a odpovídajících frekvencí (např. LERF)
  - určení nejvýznamnějších havarijních sekvencí
  - určení dominantních přispěvatelů k riziku.
- b) aplikace PSA
  - podpora rozhodovacího procesu v oblasti jaderné bezpečnosti
  - vyhodnocení celkového rizika a prokázání vyrovnanosti profilu rizika
  - využití při projektování JE
  - odhalení slabých míst projektu u již provozované JE
  - určování priorit opatření sloužících ke zvyšování bezpečnosti JE
  - identifikace a hodnocení modifikací projektu i předpisů
  - posuzování stávajících LaP a hodnocení jejich změn
  - hodnocení provozních událostí
  - vývoj a validace havarijních předpisů (EOP a SAMG)
  - optimalizace údržby
  - optimalizace testových intervalů
  - optimalizace provozních kontrol
  - periodické hodnocení bezpečnosti JE
  - podklad pro vytvoření vnitřního i vnějšího havarijního plánu

- příprava plánu inspekcí.

## Omezení PSA

(3.31) Každá PSA studie má v sobě obsaženy značné nejistoty (viz odst. 3.182, 3.183). Tyto nejistoty jsou několika typů:

- ❖ nejistoty vyplývající z neúplnosti modelu PSA nebo jeho částí použitých při konkrétní aplikaci
- ❖ nejistoty související s použitými modely a předpoklady, které byly v PSA přijaty
- ❖ nejistoty související s parametry použitými v modelu PSA.

(3.32) Při každé aplikaci PSA je třeba všechny tyto nejistoty pozorně zvážit a posoudit jejich vliv na získané výsledky. Provedený rozbor je třeba podrobně zdokumentovat v předkládaných podkladech, které mají sloužit pro kvalifikované rizikově informované rozhodování.

## Pravděpodobnostní bezpečnostní cíle

(3.33) Pokud je cílem PSA určit významné přispěvatele k riziku nebo zvolit mezi různými možnostmi projektu či konfigurace zařízení JE, není nutno mít k dispozici žádné referenční hodnoty. Ovšem pokud je PSA použita jako podklad pro rozhodnutí, zda:

- vyčíslené riziko je akceptovatelné,
- navržená změna projektu či provozu JE je akceptovatelná,
- je nutno provést změnu s cílem snížit riziko,

tak je třeba specifikovat pravděpodobnostní referenční hodnoty jako určitý návod pro projektanty, provozovatele, dozorné orgány a další zúčastněné strany, který by sloužil naplňování jejich role při zajišťování požadované úrovně jaderné bezpečnosti na dané JE. V některých státech se tyto referenční hodnoty formulují jako bezpečnostní cíle, které představují orientační hodnoty, jejichž dosažení je cílem, k němuž se směřuje. V jiných státech se takové referenční hodnoty naopak formulují jako kritéria, která reprezentují limit, jenž by neměl být překročen. Rovněž numerické hodnoty zmiňovaných kritérií se liší stát od státu.

(3.34) Obecně je možno uvažovat o pravděpodobnostních cílech pro následující kategorie jevů:

- ❖ pravděpodobnost selhání bezpečnostního systému
- ❖ pravděpodobnost selhání bezpečnostní funkce
- ❖ frekvence poškození paliva v AZ (CDF) nebo obecněji, frekvence poškození paliva v JE (FDF) – tyto veličiny je možno získat pomocí PSA 1. úrovně
- ❖ frekvence úniků radioaktivních materiálů mimo prostor ochranné obálky (obvykle se uvádí veličina LERF) – tento typ údajů lze získat z PSA 2. úrovně
- ❖ frekvence negativních důsledků na zdraví obyvatelstva nebo na životní prostředí – pro získání těchto informací je třeba PSA 3. úrovně.

(3.35) Pro pravděpodobnost selhání bezpečnostní funkce či bezpečnostního systému lze stanovit pravděpodobnostní cíl na funkční či systémové úrovni. Taková hodnota pravděpodobnosti je užitečná pro kontrolu toho, že daná úroveň redundance a diverzity je

adekvátní. Uvedený pravděpodobnostní cíl bude zpravidla specifikován projektantem. Při hodnocení bezpečnosti by mělo být zkontrolováno, zda je takovému kritériu vyhověno. Pokud tomu tak nebude, a bude se jednat o bezpečnostně významné zařízení, mělo by se uvažovat o provedení přiměřeného opatření.

(3.36) Při stanovování pravděpodobnostních cílů je třeba důsledně rozlišovat mezi projektovanou a již provozovanou JE. Pro projektovanou JE je možno po dodavateli projektu požadovat splnění pravděpodobnostních kritérií, která budou vždy přísnější, než cíle pro již provozovaná zařízení.

(3.37) V literatuře [16] se požaduje splnění následujících kritérií

pro CDF

- ❖  $1 \times 10^{-4}$  / rok pro již provozovanou JE
- ❖  $1 \times 10^{-5}$  / rok pro nově navrhovanou JE

a pro LERF

- ❖  $1 \times 10^{-5}$  / rok pro již provozovanou JE.

(3.38) V uvedeném dokumentu není výslovně uvedeno, pro jaký rozsah PSA se tato kritéria uvažují, nicméně lze předpokládat, že se jedná o plně rozsahovou PSA.

(3.39) Výše uváděné číselné údaje představují střední hodnoty uvedených měř rizika (CDF, LERF) získané výpočtem PSA modelu.

(3.40) V dokumentu [16] není uvedena číselná hodnota LERF pro nově budované JE; stanoví pouze následující kvalitativní cíl: prakticky eliminovat havarijní sekvence, které by mohly vést k velkým časným únikům radioaktivity, zatímco těžké havárie které by mohly způsobit pozdější selhání kontejnmentu, by měly být v projektu uvažovány na základě best estimate analýz a za použití realistických předpokladů, jejich následky by měly vyžadovat ochranná opatření pouze místně i časově omezená.

(3.41) Tento dokument rovněž nezmiňuje žádné kritérium pro frekvence negativních důsledků na zdraví obyvatelstva či na životní prostředí. V některých zemích se tento typ následků hodnotí pomocí veličiny „riziko úmrtí obyvatele“, která se požaduje menší nebo rovna hodnotě  $1 \times 10^{-6}$  / reaktor rok [16].

## **Organizace projektu tvorby a udržování PSA studie 1. úrovně pro provoz bloku na výkonu**

### **Vymezení cílů a rozsahu projektu**

(3.42) Tato kapitola obecně popisuje proces tvorby PSA studie. V našich podmínkách mají všechny současně provozované jaderné elektrárny PSA studii již zpracovanou. V případě výstavby nových bloků se předpokládá, že PSA studie bude dodána v rámci kontraktu. V takovém případě bude třeba mít k dispozici skupinu kvalifikovaných pracovníků, kteří budou schopni již existující PSA převzít, pravidelně jí aktualizovat a používat jí k provádění aplikací.

### **Řízení projektu**

(3.43) Řízení tvorby PSA studie i jejího využívání pro aplikace závisí na konkrétních podmínkách, zejména na tom, které organizace se budou na těchto činnostech podílet (PSA může vytvářet a udržovat držitel povolení, může si najmout externí organizaci apod.), jakož i na rozsahu studie a na záměrech, které se studií bude držitel povolení mít (využití pro konkrétní aplikace).

(3.44) Pokud jsou výše uvedené výchozí podmínky určeny, je možno přistoupit k vytvoření řídicí struktury projektu. Je třeba stanovit metodiku, která se bude používat, požadavky na lidské zdroje, organizaci týmu, požadavky na příslušná školení, navrhnout časový harmonogram projektu, zvážit objem potřebných finančních prostředků, vytvořit program zajištění jakosti a zajistit nezávislé zhodnocení hotové studie.

(3.45) PSA studie je obvykle zadávána dodavatelem projektu JE, provozovatelem JE nebo dozorným orgánem. Studii vytváří většinou výzkumná pracoviště, nezávislí konzultanti, vysoké školy případně je možná i kombinace uvedených institucí. V některých případech se na tvorbě studie podílí i provozovatel JE, který může nezanedbatelně přispět svými provozními znalostmi.

(3.46) PSA studie by měla být vytvářena co nejdříve, nejlépe již ve fázi projektování JE, aby bylo možno včas korigovat případná slabá místa projektu.

(3.47) Během provozu JE by měla být PSA studie (model i dokumentace) pravidelně aktualizována a udržována v souladu s nejnovějším vývojem v oboru.

(3.48) Vzhledem k tomu, že PSA studie se vytváří poměrně dlouhou dobu, je třeba si předem stanovit pevný termín, ke kterému se bude uvažovat stav JE; změny projektu či předpisů, které budou provedeny po tomto datu, je možno zahrnout v rámci pozdější aktualizace studie.

(3.49) Dokumentace PSA studie by měla být jasná, srozumitelná, systematická, zdroje informací a souvislosti snadno dohledatelné, aby bylo možno podle ní provádět pozdější aktualizaci, aplikace, jakož i nezávislé posouzení kvality.

## **Výběr metodických postupů, software**

(3.50) Metodika a vhodné pracovní postupy by měly být stanoveny před vlastním vytvářením PSA studie tak, aby během vlastních prací docházelo k pokud možno již jen minimálním metodickým změnám. Je třeba pečlivě naplánovat především lidské kapacity (tj. potřebnou kapacitu specialistů na různé oblasti), dále je třeba zvolit vhodné výpočtové prostředky, především pak software, ve kterém se bude PSA studie vytvářet a kvantifikovat. Je třeba vytvořit vcelku podrobný časový harmonogram předpokládaných prací.

## **Pracovní tým**

(3.51) Členové pracovního týmu, který má vytvořit PSA studii, by měli mít podrobnou znalost zařízení i provozu JE a měli by ovládat techniky používané při tvorbě PSA. Je žádoucí, aby se na tvorbě PSA podíleli i zástupci provozovatele JE a případně i dodavatele technologie. V případě, že se jedná o tým, který PSA studii vytváří poprvé, měli by jeho členové projít odpovídajícím výškolením.

(3.52) Provozovatel JE by měl mít k dispozici pracovní tým, ať už interní nebo externí, který by zajistil kontinuální vývoj PSA studie (např. dodané v rámci kontraktu na výstavbu nového zdroje), včetně její aktualizace a aplikací PSA.

## **Zajištění kvality**

(3.53) Program zajištění kvality zahrnuje aktivity, které jsou potřebné pro dosažení přiměřené kvality PSA a aktivity nutné k ověření tohoto faktu. Přiměřená kvalita PSA znamená, že výsledný produkt je použitelný, bez chyb a že splňuje předem stanovené cíle (včetně rozsahu studie). Program zajištění kvality by měl představovat systematický přístup ke všem aktivitám ovlivňujícím kvalitu PSA včetně verifikace toho, zda daná oblast PSA byla uspokojivě provedena a pokud by tomu tak nebylo, zda byla přijata nutná nápravná opatření.

(3.54) Zajištění kvality PSA by mělo představovat integrální část projektu PSA; předpis, ve kterém by byla zachycena tato problematika, by měl být integrální součástí postupů používaných při tvorbě PSA studie. Postupy pro zajištění jakosti by měly být vytvořeny pro všechny aktivity související s PSA, tj pro organizaci projektu, dokumentaci i vlastní technickou práci, kde by měly zajistit soulad mezi cíli, rozsahem studie, metodikou a její aplikací, použitými předpoklady a kvantifikací. Obecné požadavky na řízení dokumentace jsou uvedeny např. v lit. [17].

## **Požadavky na dokumentaci**

(3.55) Primárním cílem dokumentace PSA studie by mělo být naplnění požadavků jejich uživatelů, zejména pro provádění jejich aplikací. Možní uživatelé PSA jsou následující:

a) provozovatel JE (řídící i výkonní pracovníci)



- b) projektant a dodavatel zařízení JE
- c) státní dozorný orgán a organizace poskytující mu technickou podporu
- d) jiné státní instituce
- e) veřejnost.

(3.56) Někteří z uvedených uživatelů využijí pouze souhrnnou zprávu, jiní budou potřebovat všechnu dokumentaci, včetně PSA modelu.

(3.57) Dokumentace PSA obsahuje pracovní složky, vstupní a výstupní výpočetní soubory, korespondenci, předběžné zprávy a závěrečnou zprávu. Dokumentace PSA by měla být kompletní, dobře strukturovaná, jasná a snadno sledovatelná, kontrolovatelná a aktualizovatelná. Měla by být prezentována sledovatelně a posloupným způsobem, tj. popis provádění analýzy ve finální dokumentaci by měl v maximální možné míře dokumentovat provedené práce tak, jak byly skutečně postupně prováděny. Dále by měla stanovit prostředky pro budoucí možné rozšíření analýz, včetně integrace nových témat, použití zdokonalených modelů, rozšíření rozsahu PSA a jeho užití pro alternativní aplikace. Pro uživatele je rovněž klíčová explicitní prezentace použitých předpokladů i omezení PSA.

(3.58) V dokumentaci by měly být uvedeny všechny potřebné informace, které by umožňovaly opětné získání výsledků studie. Všechny analytické meziprodukty, výpočty, předpoklady atd., které nebudou publikovány ve zprávách majících externí využití, by měly být uchovány (jako např. poznámky, pracovní listy, výsledky výpočtů). Je to velmi důležité pro rekonstrukci a aktualizaci všech podrobností provedené analýzy v budoucnu.

(3.59) Doporučuje se, aby výsledná dokumentace PSA studie byla rozdělena do několika dokumentů:

- ❖ Souhrnná zpráva
- ❖ Hlavní zpráva
- ❖ Přílohy k hlavní zprávě

(3.60) Souhrnná zpráva by měla obsahovat popis hlavních cílů PSA studie, jejího rozsahu, hlavních výsledků a závěrů. Rovněž by zde měly být uvedeny nejdůležitější předpoklady použité při konstrukci PSA modelu. Ve zprávě by měly být rovněž popsány údaje, které jsou obsahem Hlavní zprávy a jejích příloh, a to včetně uvedení odkazů – cílem toho je umožnit snadnou orientaci v uvedených dokumentech.

(3.61) Tento dokument by měl sloužit jako základní materiál, který by stručným a srozumitelným způsobem podával všechny podstatné informace o PSA a jejích výsledcích i závěrech a rovněž jako výchozí podklad pro provedení nezávislé kontroly PSA studie.

(3.62) Hlavní zpráva by měla podávat jasnou a přehlednou formou popis kompletní PSA studie, včetně popisu dané JE, cílů studie, popisů použitých metod, spolehlivostních údajů, uvažovaných iniciačních událostí, uvažované odezvy bloku, napočtených výsledků a z nich vyplývajících závěrů.

(3.63) Tento dokument by měl sloužit jako zdroj podrobnějších informací pro zájemce o PSA studii a její výsledky, jako podkladový materiál pro potřeby aplikací PSA i pro potřeby aktualizace PSA. Rovněž lze očekávat jeho široké využívání při provádění nezávislé kontroly PSA studie.

(3.64) Přílohy Hlavní zprávy by měly obsahovat podrobná data, záznamy inženýrských výpočtů, modely atd. Přílohy by měly být strukturovány tak, aby to odpovídalo v maximální možné míře oddílům a kapitolám Hlavní zprávy.

(3.65) Výše uvedené představuje pouze obecné požadavky na dokumentaci PSA studie. Podrobnější požadavky na dokumentaci jednotlivých aspektů PSA jsou uvedeny v dalším textu, v rámci obsahu jednotlivých dílčích kapitol.

## Seznámení s JE

(3.66) Tvůrci PSA studie i autoři jejích aplikací by měli být podrobně seznámeni s JE; měli by znát jak její zařízení, tak provozní náležitosti včetně problematiky testování a údržby. Do této oblasti patří i podrobná znalost předpisů pro zvládání abnormálních a havarijních stavů (EOP), jakož i předpisů pro zvládání nadprojektových havárií (SAMG).

(3.67) Zdroje informací, jejichž znalost je potřebná pro vytvoření kvalitní a komplexní PSA studie i jejích aplikací, jsou následující:

- ❖ předprovozní bezpečnostní zpráva
- ❖ limity a podmínky
- ❖ provozní předpisy obsahující popisy systémů, které mohou mít vliv na jadernou bezpečnost, včetně popisu jejich provozu
- ❖ operativní schémata
- ❖ prováděcí projekt potrubních tras
- ❖ výkresy elektrických zařízení
- ❖ schémata zařízení SKŘ
- ❖ dokumentaci popisující vedení kabelových tras bezpečnostně významných zařízení
- ❖ dispoziční schémata podlaží stavebních objektů
- ❖ předpisy pro zvládání abnormálních stavů
- ❖ předpisy pro zvládání havarijních stavů (EOP)
- ❖ předpisy pro zvládání nadprojektových havárií (SAMG)
- ❖ předpisy popisující testování zařízení
- ❖ předpisy popisující údržbu zařízení
- ❖ harmonogramy plánovaných odstávek JE
- ❖ analýzy poskytující podklady pro popis předpokládaného chování JE po vzniku uvažovaných iniciačních událostí a pro stanovení kritérií úspěchu systémů uplatňujících se v odezvě bloku na tyto iniciační události (pokud to již není obsaženo v Předprovozní bezpečnostní zprávě)
- ❖ přehled mimořádných událostí, které na dané JE nastaly během provozu (obvykle je ve formě databáze)
- ❖ přehled o poruchách zařízení, které se vyskytly během provozu dané JE (obvykle je ve formě databáze)
- ❖ informace o výskytu mimořádných událostí a o poruchách zařízení z jiných, typově shodných či blízkých JE
- ❖ požadavky dozorného orgánu vztahující se k bezpečnostně významnému zařízení
- ❖ topologie místa a jeho okolí potřebná pro hodnocení externích událostí
- ❖ další relevantní dokumentace.

(3.68) Jako velmi efektivní zdroj informací se rovněž jeví přímá ústní komunikace s pracovníky JE. Z důvodu zajištění kvality PSA i jejích aplikací se doporučuje nastavit dobrou úroveň komunikace mezi tvůrci PSA a managementem JE, který by měl určit potřebné pracovníky pro konzultační činnost, jakož i pro zajištění zpětné vazby po dokončení příslušných etap PSA či po provedení konkrétní aplikace této studie.

(3.69) Samozřejmostí se rovněž jeví provádění obhlídek zařízení přímo na místě.

## PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu

(3.70) Tato kapitola se zabývá požadavky na jednotlivé technické aspekty PSA studie 1. úrovně vytvářené pro JE provozovanou na výkonu, přičemž se zabývá pouze vnitřními iniciačními událostmi.

(3.71) Nejprve je třeba vymezit celkový přístup a rovněž popsat metodiku, která bude využívána při vytváření PSA studie 1. úrovně. Zmíněné by mělo umožňovat modelování všech havarijních sekvencí, které povedou k poškození paliva v aktivní zóně, počínaje vznikem iniciační události a dále stanovením všech kombinací selhání bezpečnostních systémů či lidského faktoru. Obvykle se k tomu využívá kombinace stromů událostí a stromů poruch, přičemž je možno vytvářet model pomocí tzv. „velkých stromů událostí a malých stromů poruch“ nebo „malých stromů událostí a velkých stromů poruch“, případně pouze pomocí stromů událostí nebo pouze pomocí stromů poruch. Zvolený přístup k modelování může být ovlivněn i programovým vybavením, které bude použito pro konstrukci i výpočty PSA modelu.

(3.72) PSA 1. úrovně by měla být vytvářena s využitím „best estimate“ modelů, předpokladů a dat. Pokud se ovšem objeví významné neurčitosti či nejistoty, je třeba se vždy přiklonit ke konzervativnímu řešení.

(3.73) PSA model by měl být konstruován s ohledem na budoucí využití při jeho aplikacích.

(3.74) Programové vybavení, které se bude využívat pro konstrukci a výpočty modelu, by mělo umožňovat vytvoření rozsáhlé logické struktury, která by byla schopna zachytit rozvoj všech pravděpodobných havarijních sekvencí v celé jejich složitosti, dále provádění potřebných výpočtů (kvantifikace modelu) v rozumném časovém intervalu a poskytovat všechny hlavní výsledky, které se od PSA očekávají (tj. výslednou hodnotu CDF včetně uvedení použité hodnoty odseku výpočtu, seznam MKR, seznam havarijních sekvencí, hodnoty hlavních používaných importančních měr). Software by měl rovněž umožňovat výpočty jednotlivých havarijních sekvencí, jakož i provedení analýzy neurčitostí a citlivostních analýz.

(3.75) PSA zahrnuje následující prvky, které budou podrobněji rozebírány v následujícím textu:

- Analýza iniciačních událostí (jejich výběr a seskupení)
- Analýzu havarijních sekvencí
- Analýzu systémů
- Analýzu závislostí
- Analýzu CCF
- Analýzu selhání lidského činitele
- Analýzu dat
- Kvantifikaci PSA modelu včetně importancí
- Citlivostní studie, analýzu neurčitostí.

### Analýza iniciačních událostí

(3.76) Na počátku vytváření PSA studie je třeba vytvořit seznam iniciačních událostí, které mohou potenciálně vést k poškození paliva v aktivní zóně buď přímo (roztržení TNR) nebo v případě, že dojde během odezvy bloku k selhání zařízení, které zajišťuje jednu nebo

více bezpečnostních funkcí, či k selhání lidského faktoru. Při vytváření PSA 1. úrovně pro provoz bloku na výkonu se jedná pouze o takové iniciační události, které mohou nastat během výkonových režimů provozu JE.

(3.77) Vytvoření seznamu iniciačních událostí je systematický proces, při němž se zpravidla využívá několika zdrojů informací a analytických postupů:

- ❖ generický seznam IU pro daný typ JE,
- ❖ IU analyzované v Předprovozní bezpečnostní zprávě
- ❖ analýza informací o vyskytnuvších se IU na dané JE i na dalších JE založených na stejném či podobném projektu
- ❖ FMEA nebo HAZOP či jiná podobná analytická metoda,
- ❖ deduktivní analýza, pomocí níž je možno vysledovat selhání či zřetězení více selhání, která mohou vést ke ztrátě zajištění bezpečnostní funkce.

(3.78) Vzniklý seznam IU by měl být maximálně kompletní, přičemž by měly být zahrnuty jak události, které představují úplnou ztrátu funkce nějakého zařízení, tak i výpadek části tohoto zařízení (např. úplná ztráta napájení PG, redukce dodávky napájecí vody do PG). Výpadky části zařízení mohou totiž představovat významného přispěvatele k celkovému riziku. Rovněž by měly být vzaty do úvahy všechny možné dovolené konfigurace zařízení při provozu bloku na výkonu (např. provoz bloku na výkonu s jedním odstaveným HCC apod.).

(3.79) V seznamu IU by měly být uvedeny všechny IU, které mají velmi nízkou frekvenci výskytu, nicméně se u nich dají očekávat velmi vážné následky (např. ztráta integrity TNR). Tento aspekt je významný zejména z pohledu pozdějšího rozvoje PSA do 2., případně i 3. úrovně.

(3.80) Pokud se analyzovaný blok nachází v lokalitě s více bloky, měly by být uvažovány i IU, jejichž vznik může současně ovlivnit i sousední bloky, např. LOSP. Rovněž by měly být zahrnuty IU, které mohou ohrozit jadernou bezpečnost na sousedním bloku.

(3.81) Při vytváření seznamu IU by se mělo přihlížet k IU, které byly zahrnuty v PSA pro stejný či podobný typ JE. Při výskytu rozdílů je třeba zvážit, zda zahrnout další IU či zdůvodnit, proč naopak některá IU není uvažována.

(3.82) Nutným krokem, který je třeba provést při vytváření seznamu IU, je rovněž analýza informací o IU, které se vyskytly na dané JE (pokud se jedná o již provozovanou elektrárnu), případně na JE typově příbuzných. Tento postup by měl zajistit, že nedojde k opomenutí žádné IU, která již skutečně nastala.

(3.83) Rovněž by se měly určit jednotlivé příčiny, které mohou způsobit vznik dané IU. Pro IU, které mohou být vyvolány více příčinami nebo kde je třeba pro jejich vznik více příčin najednou, se obvykle využívá strom poruch, pomocí něhož se taková IU dá vyjádřit.

### Transienty

(3.84) PSA by měla obsahovat všechny možné transienty, které mohou na daném typu JE nastat. Obvykle se jedná o následující typy událostí:

- ❖ zvýšený odvod tepla z reaktoru (roztržení parovodů, nežádoucí otevření pojistných armatur na parovodech),
- ❖ snížený odvod tepla z reaktoru (prasknutí potrubních tras napájecí vody, ztráta dodávky napájecí vody do PG,

- ❖ omezení průtoku primárního chladiva (výpadek HCČ),
- ❖ nežádoucí změny reaktivity (neřízené vysouvání řídicí tyče, vystřelení řídicí tyče, neřízené snižování koncentrace kyseliny borité v chladivu primárního okruhu),
- ❖ zvyšování objemu chladiva v primárním okruhu (falešný start čerpadel systému havarijního chlazení AZ),
- ❖ veškeré události, které mohou způsobit havarijní, resp. rychlé odstavení reaktoru
- ❖ ztráta vnější sítě (přestože se nejedná o typickou „vnitřní“ událost),
- ❖ ztráta podpůrných systémů (elektrické napájení, chladicí voda, SKŘ, chlazení místností, tlakový vzduch apod.).

### Úniky chladiva z primárního okruhu

(3.85) PSA 1. úrovně pro provoz bloku na výkonu by měla obsahovat kompletní seznam všech IU, které mohou vést ke ztrátě chladiva z I.O. (události typu LOCA). Tento typ událostí se rozděluje podle velikosti úniku a podle místa, kde k úniku dochází. Je třeba identifikovat události, které mohou vést k úniku chladiva I.O. mimo ochrannou obálku (SGTR, SGCR, LOCA do technologických systémů); tyto události mohou být z hlediska celkového rizika značně významné, neboť při nich dochází k nevratné ztrátě primárního chladiva.

### Seskupování IU

(3.86) Vzhledem k velkému množství potenciálně možných IU a vzhledem k tomu, že po řadě z nich bude následovat víceméně shodná odezva bloku, by se měly před vlastní analýzou havarijních sekvencí seskupit IU do skupin reprezentujících daný typ IU. IU zahrnuté do příslušné skupiny by měly mít stejné nebo velice podobné následující atributy:

- ❖ rozvoj havárie po vzniku IU,
- ❖ kritéria úspěchu systémů uvažovaných v odezvě bloku,
- ❖ vliv na zařízení uvažované v odezvě bloku na danou IU,
- ❖ předpokládanou odezvu provozního personálu,
- ❖ přiřazení stavů poškození bloku koncovým stavům havarijních sekvencí.

(3.87) Kritéria úspěchu použitá pro danou skupinu IU by měla být konzervativní, tj. měla by se použít kritéria úspěchu odpovídající té události ze skupiny, která nejvýznamněji ohrožuje jadernou bezpečnost.

(3.88) Při seskupování IU by se neměl do PSA vnášet příliš konzervativní přístup.

(3.89) Výběr IU i jejich seskupování by měl být v PSA studii pečlivě zdokumentován, přičemž by měly být uvedeny i zdroje (včetně podpůrných analýz apod.), z nichž se vycházelo při jejich definování, aby bylo možno vše zpětně dohledat.

### **Analýza havarijních sekvencí**

(3.90) Dalším krokem analýzy je stanovení odezvy bloku na každou vybranou skupinu IU. V odezvě bloku se zkoumá zajištění relevantních bezpečnostních funkcí pomocí příslušného zařízení (SSC) JE. Bezpečnostní funkce, které je třeba zajistit, obecně závisí na typu reaktoru.

(3.91) Odezva bloku na IU se modeluje pomocí rozvoje jednotlivých havarijních sekvencí,

přičemž se vždy uvažuje jednak úspěšné zapracování daného zařízení (většinou systému), jednak jeho možné selhání. Koncové stavy havarijních sekvencí pak reprezentují buď uvedení bloku do stabilního stavu reprezentujícího úspěšné zajištění všech relevantních bezpečnostních funkcí nebo poškození paliva v AZ (CD).

### Poškození paliva v AZ

(3.92) Pro takto obecně pojmenovaný jev je třeba stanovit exaktní kritérium. Toto kritérium se pro tlakovodní reaktory obvykle definuje pomocí teploty povlaku paliva.

### Bezpečnostní funkce, bezpečnostní systémy a kritéria úspěchu

(3.93) Analýza havarijních sekvencí by měla být provedena pro všechny skupiny IU definované v předchozím kroku analýzy. Pro každou skupinu IU by měly být stanoveny bezpečnostní funkce, které je třeba splnit pro úspěšné zvládnutí havárie, tj. pro zabránění poškození paliva v AZ.

(3.94) Typické bezpečnostní funkce pro tlakovodní reaktory jsou následující:

- Odstavení reaktoru a udržení podkritičnosti
- Odvod tepla z AZ
- Udržení integrity primárního okruhu
- Udržení integrity kontejnmentu.

(3.95) Ke každé bezpečnostní funkci je třeba přiřadit zařízení JE (především bezpečnostní systémy, ale v některých případech je možno uvažovat i systémy provozní), které ji může zajišťovat a rovněž kritéria úspěšnosti tohoto zařízení při jejím zajišťování po vzniku konkrétní IU.

(3.96) Při definování kritérií úspěchu by rovněž mělo být identifikováno zařízení (systémy či jejich části), které bude vyřazeno v důsledku vzniku dané IU. Tato deterministická skutečnost totiž může významně příslušná kritéria úspěchu ovlivnit. Příkladem takové situace může být vznik LOCA na smyčce, do níž je zaústěno potrubí jedné linie systému havarijního chlazení AZ nebo vytvoření takového prostředí v místě umístění zařízení, které neodpovídá projektovým požadavkům na příslušné zařízení – např. zaplavení, zapáření, velký nárůst či naopak pokles teploty apod. Rovněž sem spadá vyřazení podpůrných systémů v důsledku vzniku IU, jako např. elektrického napájení, chlazení apod.

(3.97) V kritériích úspěchu by měla být rovněž specifikována doba, po kterou se požaduje provoz uvažovaného zařízení. Jedná se o dobu, po kterou je třeba provozovat dané zařízení, aby bylo dosaženo bezpečného, stabilizovaného odstavného stavu bloku a vytvořeny podmínky pro udržení tohoto stavu. Pro většinu IU se předpokládá trvání této doby 24 hodin, v některých případech to může být méně ale i podstatně déle; závisí to na charakteru příslušné IU.

(3.98) V kritériích úspěchu by měla být stanovena nejen kritéria pro systémy zajišťující přímo plnění požadovaných bezpečnostních funkcí, ale i pro systémy podpůrné, které jsou potřebné pro jejich provoz.

(3.99) V kritériích úspěchu by měly být rovněž uvedeny zásahy provozního personálu potřebné pro dosažení bezpečného, stabilizovaného odstavného stavu bloku. Tato část práce by měla

představovat výsledek spolupráce mezi provozním personálem, systémovými analytiky a odborníkem, který provádí analýzu selhání lidského faktoru.

(3.100) V dokumentaci PSA by měl být uveden přehlednou formou (např. formou tabulky) vztah mezi konkrétní IU, relevantními bezpečnostními funkcemi, bezpečnostními systémy, které je mohou zajišťovat, podpůrnými systémy, které jsou třeba k provozu hlavních systémů a akcemi provozního personálu, které jsou potřebné pro uvedení bloku do bezpečného, stabilního stavu.

#### Analýzy umožňující stanovení kritérií úspěchu

(3.101) Při stanovování kritérií úspěchu bezpečnostních systémů i podpůrných systémů uvažovaných v odezvě bloku na jednotlivé IU je třeba se opírat o dostupné analýzy – termo-hydraulické, neutronové, materiálové apod. Pokud je to možné, tak by tato kritéria měla být realistická, tj. neměla by být přehnaně konzervativní, jak tomu obvykle bývá v deterministických analýzách, spíše se doporučuje přístup založený na „best estimate“ podpůrných analýzách. Pokud by v některém případě nebylo možno použít realistická kritéria, například z důvodu neexistence příslušné analýzy, je možno použít kritéria konzervativní, ale je třeba na to upozornit v příslušné části dokumentace PSA, a je třeba rovněž pečlivě zhodnotit, jaký vliv mají takto pojatá kritéria na riziko a obecně na všechny hlavní výsledky PSA (zda významně neovlivňují získanou hodnotu CDF, hodnoty importančních měř apod.).

(3.102) Programové vybavení používané pro provádění těchto analýz by mělo být verifikováno a validováno a organizace, která je používá k výpočtům, by měla prokázat dostatečnou kvalifikaci – v našich podmínkách by měla mít již jednou výše zmíněné pozitivní “Stanovisko odborné hodnotící komise k použití hodnoceného výpočtového programu“ dle VDS 30 [8].

#### Modelování havarijních sekvencí

(3.103) Měly by být identifikovány všechny havarijní sekvence, které mohou nastat po vzniku každé uvažované skupiny IU. To se běžně provádí pomocí stromů událostí, v nichž se modeluje úspěšné zpracování i selhání bezpečnostních systémů, podpůrných systémů i lidských zásahů, které mohou zajišťovat jednotlivé uvažované bezpečnostní funkce. Detailnost rozvoje stromu událostí, tj. která zařízení či lidské zásahy budou uvedeny přímo v jeho záhlavích, záleží na uvážení autorů studie; rozvoj stromu může být značně podrobný (a o to jednodušší pak budou příslušné stromy poruch) nebo naopak jednodušší a přehlednější, s tím ovšem, že pak bude třeba konstruovat složitější stromy poruch.

(3.104) Analýza stromem událostí by měla pro každou skupinu IU identifikovat všechny bezpečnostní funkce, které je třeba po jejím vzniku zajistit, i zařízení (systémy), které je možno využít pro jejich zajišťování, včetně kritérií úspěchu. V záhlaví stromů událostí se obvykle uvádí požadavek na prvosledové bezpečnostní systémy, jejichž zafungování se očekává během rozvoje IU, dále situace, které odezvu bloku nějakým způsobem komplikují (např. pojistný ventil kompenzátoru objemu či PG se zasekne v otevřené poloze apod.), jakož i hlavní lidské zásahy.

(3.105) Struktura stromu událostí by měla zohledňovat všechny závislosti, které mohou vzniknout v rozvoji havarijních sekvencí. Nejpřirozenější je strom konstruovat chronologicky tak, jak budou postupně kladeny požadavky na uvažovaná zařízení či lidské akce. Měly by být



zjištěny a modelovány všechny závislosti, které mohou nastat v důsledku selhání zařízení či následkem lidských chyb. To by mělo zahrnovat jak závislosti v rámci jednotlivých systémů, tedy poruchy se společnou příčinou, tak i závislosti (interakce) mezi různými systémy.

(3.106) Analýza havarijních sekvencí by měla odhalit všechny možné kombinace úspěšného zafungování i selhání bezpečnostních systémů i lidského faktoru ve vztahu k uvažované skupině IU. Měla by identifikovat všechny sekvence vedoucí k úspěchu (tj. k dosažení bezpečného, stabilního stavu bloku), jakož i všechny sekvence, které by vedly k poškození paliva v AZ v důsledku nezajištění některé z potřebných bezpečnostních funkcí.

#### Koncové stavy havarijních sekvencí, stavy poškození AZ

(3.107) Při analýze havarijních sekvencí se identifikují sekvence, v nichž budou zajištěny všechny požadované bezpečnostní funkce (a tedy nedojde k poškození paliva v AZ) i sekvence, kde některá z bezpečnostních funkcí zajištěna nebude (a tedy nastane poškození paliva). Toto rozdělení koncových stavů sekvencí je postačující pro 1. úroveň PSA. Jelikož se však v současné době již standardně předpokládá provedení dalších analýz, které by zhodnotily úniky radioaktivních látek z ochranné obálky, tj. vytvoření PSA 2. úrovně, je třeba seskupit sekvence, které vedou k poškození paliva, do stavů poškození elektrárny (PDS), které vytváří interface mezi PSA 1. úrovně a PSA 2. úrovně. Z hlediska efektivnosti prováděných analýz by se to mělo provést rovněž v rámci PSA 1. úrovně. Tato část práce by měla být prováděna ve spolupráci s analytiky, kteří budou vytvářet PSA 2. úrovně.

(3.108) Charakteristiky PDS závisí na přístupu analytika, nicméně obvykle zahrnují následující atributy (zde jsou uvedeny pouze atributy pro provoz bloku na výkonu; analogické informace pro nízkovýkonové stavy a odstávky jsou uvedeny v odst. 3.481:

- ❖ typ IU, která nastala (neporušený I.O. nebo LOCA),
- ❖ zařízení JE (systémy), které selhalo, čehož následkem došlo k poškození paliva v AZ,
- ❖ výše tlaku v I.O. (vysoký, nízký) v okamžiku poškození paliva v AZ,
- ❖ doba, v níž nastalo poškození paliva v AZ (brzo nebo pozdě - ve vztahu k okamžiku odstavení reaktoru),
- ❖ integrita ochranné obálky (neporušená, selhala, selhalo zařízení zajišťující izolaci obálky, obtok obálky – SGTR nebo interfacing LOCA),
- ❖ dostupnost zařízení sloužícího k ochraně ochranné obálky (sprchový systém, systémy odvodu tepla z kontejnmentu, rekombinátory vodíku),
- ❖ dostupnost elektrického napájení, střídavého i stejnosměrného, jakož i doby potřebné pro jeho zajištění pomocí nápravných akcí,
- ❖ akce, o které se pokoušel provozní personál a jež selhaly.

(3.109) Havarijní sekvence vedoucí k poškození paliva v AZ by měla být charakterizována fyzikálním stavem, do něhož se blok dostane na jejím konci, jakož i potenciální dostupností systémů, které by mohly omezit únik radioaktivních látek nebo mu úplně zabránit.

(3.110) Dokumentace PSA 1. úrovně pro provoz bloku na výkonu by měla obsahovat sestavené stromy událostí, popisy v nich uvedené havarijních sekvencí, i popis logiky stromu událostí. V dokumentaci by měl být vysvětlen význam jednotlivých vrcholových hradel, zejména pak hradel, která skrývají komplexnější soubor zařízení či lidských akcí. Pokud byly přijaty při konstrukci stromů událostí nějaké zjednodušující předpoklady, měl by být v dokumentaci podrobně vysvětlen jejich vliv na model. V dokumentaci by rovněž měly být popsány jednotlivé PDS včetně toho, jak byly vymezeny.

## **Analýza systémů**

- (3.111) Dalším krokem PSA je modelování selhání zařízení (zpravidla systémů), které je uvažováno v rozvoji havarijních sekvencí. Obvykle se to provádí pomocí stromů poruch, jejichž vrcholovým hradlem je událost definovaná v záhlaví stromů událostí. Stromy poruch se rozvíjí pomocí logických hradel až do úrovně primárních událostí, které reprezentují selhání komponent (tj. čerpadel, armatur, rozvaděčů atd.), nepohotovost komponent z důvodu provádění plánované či neplánované údržby nebo testů, poruchy se společnou příčinou redundantních komponent, selhání provozního personálu a někdy také makrokomponenty, které reprezentují větší celky, které nebylo možné či vhodné podrobněji rozmodelovat.
- (3.112) Rozsah stromů poruch a to, co v nich bude uváděno, záleží na celkovém přístupu k vytváření logického modelu, tj. na jeho rozdělení mezi stromy událostí a stromy poruch.

### Stromy poruch

- (3.113) Stromy poruch představují logický model reprezentující selhání bezpečnostně významných zařízení, které je uvažováno ve vrcholových hradlech stromů událostí.
- (3.114) Kritéria selhání definovaná ve vrcholových událostech stromů poruch by měla být logicky inverzní ke kritériím úspěchu uvažovaným při rozvoji havarijních sekvencí. V některých případech bude třeba vytvořit více stromů poruch pro jeden bezpečnostně významný systém, aby bylo možno uvažovat různá kritéria úspěchu, která mohou být požadována pro různé skupiny IU nebo pro různé větve jednoho stromu událostí v závislosti na rozvoji havárie. Uvedené může být provedeno rovněž v jednom složitějším stromu poruch pomocí přepínačů, jimiž bude možno připojovat část modelu s požadovanými kritérii úspěchu.
- (3.115) Primární události uvažované v modelu by měly odpovídat dostupným datům pro selhání komponent. Hranice aktivních i pasivních komponent a uvažované způsoby selhání těchto komponent by měly odpovídat těm, které jsou definovány v dostupné databázi spolehlivostních údajů.
- (3.116) Stromy poruch by měly být rozvinuty do úrovně primárních událostí, které by reprezentovaly relevantní způsoby poruch příslušných komponent (čerpadel, armatur, atd.) i selhání příslušných lidských akcí. Stromy poruch by měly obsahovat všechny primární události, které mohou vést buď přímo nebo v kombinaci s dalšími primárními událostmi k modelované vrcholové události. Zvolená detailnost analýzy je plně v kompetenci analytika, který ji provádí, ale měla by být v souladu s dostupnými spolehlivostními daty i s předpokládanými aplikacemi PSA studie.
- (3.117) Primární události uvažované ve stromu poruch by měly být získány pomocí systematické analýzy – např. pomocí FMEA, aby bylo možno odhalit všechny důležité způsoby selhání komponent i všechny akce provozního personálu (jak ty, které mohou způsobit nefunkčnost příslušného zařízení, tak ty, jejichž selhání způsobí, že dané zařízení nebude uvedeno do žádoucího stavu), které mohou způsobit vrcholovou událost příslušného stromu poruch.
- (3.118) Ve stromu poruch by měly být obsaženy všechny komponenty bezpečnostně

významného systému, jejichž provoz či změna polohy se během odezvy na IU požaduje; stejně tak by tam měly být uvedeny i všechny příslušné komponenty podpůrných systémů. Zahrnuje to i pasivní komponenty, jejichž selhání může vést k selhání celého systému, jako např. filtry (ucpání filtru) apod. Strom poruch by měl rovněž explicitně modelovat funkční závislosti i závislosti mezi selháním komponent. Pokud by došlo k opomenutí a tyto závislosti by nebyly do modelu explicitně zahrnuty, došlo by k významnému zkreslení výsledků PSA a k podhodnocení relativního významu podpůrných systémů. Detailnost modelování komponent ve stromu poruch by měla být taková, aby dostatečně zajišťovala, že bude možno modelovat všechny hardwarové závislosti. Např. pokud stejný chladicí systém bude dodávat chladicí médium k více zařízením uvažovaným v modelu, měl by se tento systém explicitně rozmodelovat.

(3.119) V případě, že bude použita makrokomponenta pro modelování skupiny komponent, je třeba ověřit, že poruchový mód každé ze zahrnutých komponent má stejný vliv na modelovaný systém, jako poruchový mód makrokomponenty. Všechny makrokomponenty použité v modelu musí být funkčně nezávislé, tj. nesmí obsahovat komponenty, které by byly obsaženy v jiné makrokomponentě nebo by byly v jiné části modelu uvedeny samostatně.

(3.120) Ve stromech poruch je třeba zohlednit možnost, že některé části zařízení, případně i celé linie systémů, mohou být nepohotové z důvodu testování nebo provádění plánované či neplánované údržby. Všechny takové případy je třeba identifikovat a explicitně namodelovat. Lze to udělat např. pomocí primárních událostí, reprezentujících nepohotovost zařízení v důsledku provádění testů nebo údržbářských aktivit, které se doplní do stromu poruch.

(3.121) Způsob modelování nepohotovosti zařízení v důsledku provádění údržby by měl být v souladu s Limity a podmínkami i s údržbářskou praxí na JE. Při modelování vyřazení zařízení při provádění údržby se obvykle předpokládá soulad s LaP (tj. neměly by se uvažovat konfigurace nad rámec LaP, např. neprovozuschopnost tří divizí systému havarijního chlazení AZ při provozu bloku na nominálním výkonu).

(3.122) Je třeba vytvořit systém pro jednoznačné označování primárních událostí i hradel ve stromech poruch (nomenklaturu), které by se konzistentně používalo v celém modelu.

(3.123) PSA model by měl být konsistentní s jeho dalším předpokládaným využitím v aplikacích PSA. Např. pokud se předpokládá jeho využití v monitoru rizika, model by měl být symetrický, takže by se v něm měly modelovat všechny uvažované IU ve všech místech, kde mohou nastat, jednotlivé smyčky I.O., všechny linie bezpečnostních systémů, jakož i stav normálně provozovaných zařízení, tj. konkrétní zařízení navolené jako pracující, v rezervě atd., aby byla vytvořena možnost následného výběru konkrétní provozní konfigurace JE.

#### Potřebné informace pro modelování systémů

(3.124) Před vlastním modelováním zařízení (systémů) by měl být proveden stručný popis každého systému, který by shrnoval základní informace potřebné pro jeho korektní namodelování. V tomto popisu by měly být uvedeny následující informace:

- ❖ funkce systému,
- ❖ poruchové módy systému,
- ❖ hranice systému,
- ❖ vztah systému k ostatním systémům (závislosti),

- ❖ způsob provozu systému, který je uvažován v PSA modelu (v případě, že systém má více než jeden),
- ❖ seznam komponent systému, které musí být v provozu či které musí změnit polohu s uvedením jejich normálního stavu,
- ❖ zda jsou komponenty systému uváděny do provozu ručně či automaticky,
- ❖ podmínky, které musí být splněny pro to, aby došlo k automatickému spuštění či změně polohy komponent systému.

(3.125) Pro každý modelovaný systém by měl být sestrojen jednoduchý obrázek, na němž by byly zachyceny všechny modelované komponenty včetně stavu, ve kterém se normálně nacházejí (např. armatura otevřena – uzavřena atd.), potrubní či kabelové trasy systému uvažované v modelu a rovněž závislosti na podpůrných systémech (el. napájení, chlazení, apod.).

(3.126) Popis systému s příslušným obrázkem by měl poskytovat dostatečný základ pro sestrojení stromu poruch. Z toho rovněž vyplývá, že by měl umožnit nezávislému odborníkovi úplně porozumět hotovému stromu poruch, ať by se již jednalo o člena nezávislého hodnotícího týmu nebo o inspektora dozorného orgánu v případě rizikově informovaného rozhodování.

#### Pasivní systémy

(3.127) Současným trendem je zajišťovat některé z bezpečnostních funkcí pomocí pasivních systémů, které mají vyšší spolehlivost než systémy aktivní, neboť nepotřebují podpůrné systémy (jako např. chlazení, dodávku el. proudu apod.) pro zajištění svého úspěšného fungování po vzniku případné havárie. Jedná se zejména o systémy zajišťující havarijní chlazení AZ a odvod zbytkového tepla. V současnosti ovšem není k dispozici mnoho zkušeností s modelováním těchto systémů v PSA.

(3.128) Okrajové podmínky pro provoz těchto pasivních systémů by měly být stanoveny pomocí termo-hydraulických analýz a také pomocí experimentů a testů. Tyto okrajové podmínky budou záviset na teplotě, tlaku, objemu chladiva apod. parametrech bloku. Pokud příslušné okrajové podmínky nenastanou, nelze předpokládat zapracování relevantního pasivního systému.

(3.129) V PSA je třeba modelovat pravděpodobnost selhání zmíněných pasivních systémů. Model by měl zahrnovat možnost selhání dosažení okrajových podmínek pro provoz daného systému, selhání komponent systému (jako např. zpětná klapka či odlehčovací ventil neotevře, ucpání potrubní trasy apod.) a selhání lidského faktoru, pokud bude požadován pro úspěšné zapracování systému. Model by měl rovněž zohlednit nejistoty obsažené v podpůrných analýzách. To vše lze provést pomocí standardních technik používaných při konstrukci stromů poruch.

#### Systémy založené na počítačové technologii

(3.130) Tento typ systémů se stále více prosazuje v řídicích a ochranných systémech JE. Modelování těchto systémů v PSA je ovšem poměrně obtížné. Zatím neexistuje konsensus v tom, jak modelovat selhání programového vybavení, což představuje značný problém, jelikož selhání software představuje dominantního přispěvatele k pravděpodobnosti selhání těchto systémů. V současnosti nelze exaktně odvodit hodnotu pro pravděpodobnost selhání

software; odhad tohoto parametru se provádí pouze na základě toho, jak je zajištěna kvalita při jeho vytváření. Přitom se zkoumá, zda u autorské firmy existuje postup pro minimalizaci pravděpodobnosti vzniku chyb při jeho vytváření, jestli existuje adekvátní kontrola umožňující detekci chyb v programu, a jestli se uplatňuje adekvátní testování hotového programového vybavení.

- (3.131) Poznámka 1: V USA jsou už publikovány hodnoty (best practice) pro pravděpodobnost selhání SW, které se objevují v jejich PSA.
- (3.132) Poznámka 2: V tomto kontextu se pod pojmem „pravděpodobnost selhání software“ rozumí pravděpodobnost toho, že po vzniku IU přijdou správné vstupní signály (tj. parametry vstupních veličin) na vstup do počítačového systému avšak nedojde k vygenerování správných výstupních signálů v důsledku selhání software v systému obsaženého.
- (3.133) Odhad spolehlivosti software by tedy měl brát v úvahu všechny relevantní faktory týkající se jeho navrhování, vlastního vytváření i testování.
- (3.134) Pokud budou řídicí a ochranný systém nebo obecně dva diverzní systémy zajišťující stejnou bezpečnostní funkci založeny na počítačové technologii, je třeba podrobně zkoumat, zda mezi nimi neexistují nějaké hardwarové závislosti nebo závislosti v programovém vybavení a pokud tomu tak je, je třeba to brát v úvahu.

### **Analýza závislostí**

- (3.135) Zpracování problematiky závislostí v logické struktuře modelu PSA 1. úrovně je třeba věnovat zvláštní pozornost. Závislé poruchy totiž často představují jedny z hlavních přispěvatelů k celkovému riziku provozu bloku.
- (3.136) Existují čtyři typy závislostí, které se mohou objevit:
1. funkční závislosti v důsledku sdílení některých komponent, společných spouštěcích systémů, společných zařízení zajišťujících izolaci nebo společných podpůrných systémů (napájení, chlazení, SKŘ, ventilace atd.),
  2. fyzikální závislosti způsobené vznikem IU, která může způsobit selhání zařízení bezpečnostních systémů, což může nastat v důsledku švihů potrubí, nárazem vystřelených částí zařízení, vlivem tryskajícího média nebo vlivem okolního prostředí,
  3. závislosti vyvolané lidskými zásahy v důsledku chyb provozního personálu při opravách, plánované údržbě, testování nebo při provádění kalibrace, které vedou k nedostupnosti nebo k selhání více než jednoho zařízení, které tak nebude k dispozici při odezvě na vzniklou IU,
  4. závislosti způsobující selhání komponent v důsledku nedostatků v projektu, chyb při výrobě a montáži, jakož i v důsledku nesprávného provozování – tento typ závislostí se zohledňuje pomocí poruch se společnou příčinou (viz dále v textu).
- (3.137) Vždy je třeba provést podrobnou analýzu projektu i provozu JE, aby bylo možno identifikovat všechny potenciální závislosti, které by mohly vést k nepohotovosti komponent bezpečnostních systémů nebo ke snížení jejich spolehlivosti při odezvě na uvažované IU.
- (3.138) Všechny fyzikální a funkční závislosti by měly být explicitně modelovány pomocí stromů událostí či stromů poruch. Stromy poruch by měly zohledňovat všechny hardwarové a funkční závislosti, které by mohly mezi systémy nastat, tj. tyto závislosti by měly být

identifikovány a explicitně modelovány. Je vhodné tyto závislosti uvést v přehledné tabulkové formě, v tzv. matici závislostí, která může analytikovi pomoci při konstrukci stromu poruch, jakož i členovi kontrolní mise při nezávislé kontrole modelu. Tento typ závislostí se nezahrnuje do poruch se společnou příčinou, kam se naopak zahrnují všechny závislosti, které není možno explicitně definovat. Lidské interakce a závislosti mezi selháními komponent jsou diskutovány dále v textu, v podkapitolách týkajících se lidského faktoru a poruch se společnou příčinou.

(3.139) Závislosti mezi systémy, které by mohly vznikat v důsledku sdílení některých komponent nebo podpůrných systémů, by rovněž měly být identifikovány a explicitně modelovány ve stromech poruch. Tento typ závislostí se může vyskytnout např. mezi bezpečnostními systémy, které zajišťují stejnou bezpečnostní funkci nebo s nimi souvisejícími podpůrnými systémy.

### **Poruchy se společnou příčinou**

(3.140) Závislé poruchy, které mohou způsobit selhání více komponent současně a které mohou vznikat v důsledku nedostatků v projektu, chyb při výrobě a montáži, jakož i v důsledku nesprávného provozování se modelují pomocí poruch se společnou příčinou. Existuje řada metod, které umožňují modelovat tento typ poruch v PSA.

(3.141) Ve stromech poruch by měly být identifikovány a modelovány poruchy se společnou příčinou, které mohou způsobit vyřazení skupiny redundantních komponent. Během analýz by měly být identifikovány všechny relevantní skupiny komponent, jakož i všechny důležité způsoby selhání.

(3.142) Každá pravděpodobnost poruchy se společnou příčinou pro každý uvažovaný způsob poruchy by měla být podrobně zdůvodněna, přičemž by se měla brát do úvahy úroveň redundance v systému, uspořádání komponent (úroveň jejich oddělenosti), kvalifikace zařízení apod. a rovněž provozní a údržbářská praxe.

(3.143) Pokud je to možné, tak by pravděpodobnosti vzniku poruch se společnou příčinou měly být založeny na specifických datech, získaných na dané JE a měly by brát do úvahy rovněž data z provozu JE jí typově blízkých, jakož i data generická.

### **Analýza lidského faktoru**

(3.144) Při vytváření PSA modelu je třeba identifikovat selhání provozního personálu, která mohou mít za následek selhání úspěšné odezvy bloku na uvažované IU a tato selhání zahrnout do modelu. Identifikaci možných lidských selhání, jejich zahrnutí do příslušných částí modelu, jakož i kvantifikaci primárních událostí reprezentujících tato selhání je třeba provádět pomocí strukturovaného a systematického přístupu, který by měl zajistit, že bude provedena komplexní analýza tohoto fenoménu. Vzhledem k vysokému stupni redundance, diversity i spolehlivosti bezpečnostně významných systémů představují lidská selhání významného přispěvatele k celkovému riziku. Z tohoto důvodu je třeba analýze lidského faktoru věnovat zvýšenou pozornost. Důležitým krokem je zejména výběr vhodných metod, pomocí nichž se budou jednotlivé typy lidských selhání hodnotit. Použité metody a postupy by měly být

podrobně zdokumentovány.

- (3.145) Cílem analýzy lidského faktoru by mělo být stanovení pravděpodobností lidských selhání, které budou vzájemně konzistentní a budou v souladu s ostatními analýzami provedenými v rámci PSA 1. úrovně.
- (3.146) Analýza lidského faktoru by měla být prováděna v úzké spolupráci s pracovníky provozu i údržby JE, aby bylo zajištěno, že bude respektovat projekt i provozní zvyklosti a zkušenosti jak za normálních tak za havarijních podmínek. Pokud to není technicky možné (např. u elektrárny ve fázi projektování či výstavby), měl by analytik využít informace z projektově blízkých JE nebo by měl podrobně uvádět všechny předpoklady, na nichž zakládá svojí analýzu.

#### Identifikace lidských zásahů

- (3.147) Pro identifikaci lidských zásahů, které je třeba uvažovat v PSA 1. úrovně, by měl být použit strukturovaný a systematický postup. Měly by být zahrnuty všechny typy lidských zásahů, které jsou uvedeny v následujících odstavcích, pokud lidské selhání může představovat příspěvek k CDF.
- (3.148) Měly by být zahrnuty lidské chyby, které mohou nastat ještě před vlastním výskytem IU, a které mohou potenciálně způsobit selhání nebo neprovozeroschopnost bezpečnostně významných zařízení nebo systémů (obvykle se tento druh lidských zásahů označuje jako typ A). Tato selhání mohou nastat během údržby či oprav zařízení, jakož i při provádění testů nebo při kalibrování různých přístrojů. Pokud taková chyba nebude včas odhalena, může postižená komponenta či skupina komponent být neprovozeroschopná v případě požadavku na její zapracování po vzniku IU. Zejména významné jsou případy, kdy taková chyba může způsobit současnou neprovozeroschopnost více linií bezpečnostních systémů. Tyto zdroje neprovozeroschopnosti jsou součástí modelů komponent nebo jsou modelovány na systémové úrovni. Systematické prozkoumání pracovních postupů používaných na JE by mělo umožnit identifikaci všech úkolů, kdy se provádí opravy, údržba, testy či kalibrace přístrojů na bezpečnostně významném zařízení, které je uvažováno v PSA 1. úrovně a s těmito činnostmi souvisejících možných lidských chyb typu A. Provedená revize pracovních postupů by měla umožnit stanovení potenciálu vzniku těchto selhání a jejich vlivu na neprovozeroschopnost či selhání bezpečnostně významného zařízení.
- (3.149) Analýza lidského faktoru by měla dále zahrnovat lidská selhání, která mohou přímo způsobit vznik IU (tento typ lidských chyb se obvykle označuje jako typ B). Stanovení tohoto typu lidských chyb je opět třeba provádět systematickým přístupem. Je třeba prověřit, zda daný typ lidských chyb je uvažován ve frekvencích vzniku relevantních IU, tj. zda do nich jsou zahrnuta statistická data reprezentující výskyt odpovídajících událostí.
- (3.150) Analýza lidského faktoru by měla zahrnovat rovněž ta lidská selhání, která mohou nastat během odezvy bloku na IU (lidská selhání typu C). Tento typ chyb má potenciál způsobit selhání bezpečnostně významného zařízení. Tyto lidské chyby představují obvykle nejvýznamnějšího přispěvatele k riziku způsobenému lidským faktorem v rámci PSA 1. úrovně. Při identifikaci chyb typu C je třeba systematicky prostudovat všechny příslušné předpisy, které se zabývají odezvou bloku na všechny možné IU. Výsledkem tohoto studia by mělo být identifikování všech možných potenciálních selhání, jakož i vliv těchto selhání na nepohotovost či selhání zařízení bezpečnostně významných systémů.

(3.151) Aby bylo možno lépe vnímat vliv lidských chyb na výsledky PSA, měly by být tyto chyby modelovány jako primární události ve stromech poruch nebo uvedeny přímo v záhlaví stromů událostí.

#### Stanovení pravděpodobností vzniku lidských selhání

(3.152) Kvantifikace lidských selhání by měla zohledňovat faktory, které mohou mít vliv na chování provozního personálu, včetně úrovně stresu, doby, která je k dispozici na provedení zásahu, dostupnosti povozních předpisů, úrovně tréninku, okolního prostředí apod. Metody použité pro kvantifikaci lidských chyb by měly odpovídat aktuálnímu stavu vědění v této oblasti.

V následující tabulce je uvedena stručná charakteristika některých metod, jež je možno využít při provádění konkrétních analýz spolehlivosti obsluhy JE.

<b>Metoda</b>	<b>Charakteristika metody</b>
SHARP [32]	Obecný pracovní rámec pro analýzu spolehlivosti lidského činitele, definující základní body celého procesu zajištění analýzy.
THERP [31], ASEP	První klasická metoda analýzy spolehlivosti obsluhy jaderných elektráren s velkým množstvím generických dat využitelných při kvantifikaci pravděpodobností lidských selhání, obsahuje množství informací o vlivu vnějších podmínek a organizačních faktorů na práci obsluhy. Metoda ASEP je zčásti zmodernizovanou, kompaktní verzí metody THERP. Hlavní oblastí využití metody THERP je analýza závislostí mezi akcemi obsluhy (závislých selhání), je možno jí adaptovat na některé speciální případy selhání akcí obsluhy (selhání při údržbě s odloženým efektem - zanechání armatury ve špatné pozici, chybná kalibrace). Metoda ASEP je i v současné době hlavním nástrojem pro kvantifikaci manipulativní části akcí obsluhy.
HCR	Speciální metoda analýzy, která ve spektru faktorů ovlivňujících činnost obsluhy vyzdvihuje dostupný čas. Pravděpodobnost selhání akce se odečítá ze spojitě křivky vyjadřující časově závislou korelaci. Ostatní vnější podmínky pro práci jsou zohledněny výběrem křivky nejlépe reprezentující aktuální situaci (metoda podle úrovně rozpracovanosti poskytuje různě početnou množinu křivek). Analýzy spolehlivosti obsluhy českých jaderných elektráren vycházejí z aktuální úrovně zabezpečení podmínek pro její práci (symptomově založené procedury), jejichž důkladné studium vede k závěru, že rozhodující většina akcí modelovaných ve studiích PSA těchto elektráren je prováděna v relativním dostatku času. Časově závislé křivky tak má smysl používat pouze ve velmi speciálních případech možného nedostatku času (časová okna kratší než 30 minut), kde je pravděpodobnost včasného nepřistoupení k akci jedním z přispěvatelů k celkové pravděpodobnosti selhání.



Metoda	Charakteristika metody
DT	Metoda analýzy zaváděná v řadě variant v devadesátých letech, rozkládající potenciál pro selhání obsluhy na množinu konkrétních přispěvatelů a v jisté míře zohledňující i interakce mezi těmito přispěvateli. Pro kvantifikaci modelových případů selhání využívá tato metoda často sběr dat na plnorozsahovém trenážeru. Od poloviny 90.let jde o základní prostředek pro kvantifikaci pravděpodobnosti chybného zpracování informace operátorem.
HEART	Populární metoda z druhé poloviny osmdesátých let, využívající rovněž rozklad podmínek ovlivňujících potenciál pro selhání obsluhy na množinu konkrétních faktorů. Způsob rozkladu je originální, jiný než v podobných metodách z této skupiny a umožňující tak analýzu některých situací, obvyklejšími metodami stěží postižitelných. V současné době je tato metoda aktualizována pod názvem NARA. V současnosti je uvedená metoda stále častěji nahrazována metodou druhé generace CREAM, která má mnohem sofistikovanější základy a širší možnosti využití.
SLIM	Zajímavá, speciální metoda analýzy, založená na maximálním využití zkušeností personálu elektrárny, které jsou získávány a tříděny při formálním skupinovém transferu informace (panelu expertů) využívajícím standardizovaných dotazníků. Zpracovatel analýzy definuje soubor analyzovaných zásahů a množinu faktorů ovlivňujících jejich provedení a subjekt interview pro každý faktor v kombinaci s každou akcí hodnotí pomocí předdefinované stupnice důležitost faktoru a míru jeho negativního prosazení. Data od několika desítek specialistů z elektrárny jsou formálně statisticky zpracována a vyhodnocena. Pravděpodobnosti selhání všech hodnocených akcí jsou odvozeny interpolací z kalibračních hodnot pravděpodobností selhání získaných z externích zdrojů.
ATHEANA [33, 34, 35]	Metoda je formálně přiřazovaná k metodám druhé generace analýzy spolehlivosti lidského faktoru a někdy označována za nástupce pracovního rámce SHARP. Ve skutečnosti si tato metoda udržuje řadu rysů SHARP, které výrazně obohacuje o nové koncepty (error forcing concept, error of commission, obecný důraz na analýzu kognitivních aktivit, důraz na analýzu závislostí - tento prvek není v metodice SHARP dostatečně podpořen, rozsáhlé využití provozní zkušenosti - tento prvek rovněž není ve SHARP přítomen, v daném případě ovšem z objektivních důvodů, protože v době vzniku SHARPU byl celkový objem provozní zkušenosti ve srovnání se současným stavem výrazně limitován.
CREAM [36]	Asi nejznámější a nejužitečnější metoda analýzy spolehlivosti lidského faktoru druhé generace, speciálně zaměřena na hodnocení selhání akcí vyžadujících kognitivní (duševní) aktivity, tj. oblast, která je poněkud statickými schémata řady jiných metod v podstatě nepokryta.

(3.153) V dokumentaci by měl být proveden kvalitativní popis každé lidské akce, v němž by byly identifikovány všechny důležité aspekty s ní spojené, zejména pak

- ❖ časování akce,

- ❖ odpovídající předpisy,
- ❖ okolní prostředí,
- ❖ provozní praxe, tj. struktura personálního obsazení a rozdělení zodpovědností,
- ❖ dostupnost informace,
- ❖ vliv předchozích akcí.

(3.154) Je zjištěno, že lidská selhání jsou také ovlivněna kulturou bezpečnosti na JE. Zatím ale není vypracován postup, jak toto zohlednit při jejich kvantifikaci.

#### Hodnocení závislostí mezi lidskými selháními

(3.155) Mezi některými lidskými chybami zahrnutými do PSA modelu existují závislosti. Mohou nastat v důsledku nedokonalých předpisů, chybné diagnózy apod. Tyto závislosti by měly být během analýzy lidského faktoru zjištěny a kvantitativně ohodnoceny.

(3.156) Měly by být identifikovány MKŘ, které obsahují více lidských chyb. To je možno technicky provést tak, že se zadá vysoká pravděpodobnost lidských chyb, např. 0,9 a přepočítá se model, v důsledku čehož veškeré takové MKŘ budou mezi dominantními. V těchto MKŘ je třeba prověřit stupeň závislosti mezi jednotlivými lidskými chybami a zahrnout je do jejich kvantifikace.

#### **Analýza dat**

(3.157) V této kapitole jsou rozebírány požadavky na data pro frekvence vzniku IU, pravděpodobnosti selhání komponent a data pro nepohotovosti komponent v důsledku provádění testů, plánované či neplánované údržby. Data pro poruchy se společnou příčinou a pro selhání lidského faktoru jsou rozebírána v předchozích kapitolách (Poruchy se společnou příčinou a Analýza lidského faktoru).

(3.158) Jedním z hlavních problémů je odpověď na otázku, odkud získat data, jež by bylo možno použít pro kvantifikaci. Obecně je možno říci, že nejvhodnější jsou data specifická, získaná z provozu analyzované JE, případně ještě z elektráren podobného typu, pokud se ukáží jako relevantní, jelikož tímto přístupem je možno získat statisticky významnější datový soubor. Specifická data ovšem nebudou k dispozici pro nově postavenou JE ani pro JE, která byla teprve nedávno spuštěna. V takovém případě by se měla využít data z elektráren, které byly postaveny na základě stejného nebo podobného projektu, a pokud ani tam není možné příslušná data získat, nezbyvá než se obrátit k datům generickým.

(3.159) Pokud v dostupných zdrojích dat nelze zjistit žádnou poruchovou událost, je třeba provést odhad příslušného parametru (tj. frekvence vzniku IU, pravděpodobnosti selhání komponenty apod.). Při provádění tohoto odhadu by se měla porovnat data z různých zdrojů, pokusit se objasnit rozdíly mezi v nich uvedenými daty a vybrat si ten, který v daném případě nejlépe odpovídá dané JE.

(3.160) Pokud se bude používat kombinace specifických dat a generických dat z různých zdrojů, je třeba odhad provést pomocí metody, která umožňuje sofistikovanou integraci dat z různých zdrojů, např. Bayesovský přístup.

### Frekvence vzniku IU

- (3.161) Ke každé skupině IU uvažovaných v PSA modelu by měla být přiřazena frekvence vzniku. Ta by měla zohledňovat všechny možné příčiny jejího vzniku.
- (3.162) Frekvenci vzniku některých typů IU je možno získat pomocí stromu poruch, v němž se namodelují veškerá možná selhání zařízení i možná lidská selhání, která mohou buď jednotlivě nebo v kombinaci vést ke vzniku dané IU. Hodnota získaná výpočtem stromu poruch by měla být konzistentní s provozní zkušeností.
- (3.163) Určená frekvence IU, které se již vyskytly, by měla odpovídat provozním zkušenostem na analyzované JE i na JE podobného typu.
- (3.164) Frekvence stanovená pro skupinu IU by měla představovat součet frekvencí vzniku jednotlivých IU zahrnutých do skupiny.
- (3.165) V dokumentaci PSA studie 1. úrovně by měl být uveden popis každé skupiny IU definované pro danou JE včetně popisu jednotlivých IU tvořících skupinu, hodnota frekvence jejího vzniku, popis toho, jak byla tato frekvence stanovena, a indikace úrovně neurčitostí.

### Pravděpodobnosti selhání komponent

- (3.166) Všechny primární události reprezentující v PSA modelu selhání komponent, je třeba kvantifikovat, tj. přiřadit jim spolehlivostní data, která musí být konzistentní s typem komponenty, jejími hranicemi definovanými v modelu, způsobem jejího provozu a uvažovaným způsobem poruch.
- (3.167) Zvolené hodnoty pravděpodobností selhání komponent je třeba podrobně zdůvodnit.
- (3.168) Pro komponenty, u nichž se předpokládá delší doba provozu (jako např. čerpadla), by měla být stanovena požadovaná doba provozu. Tato doba by měla zohledňovat čas potřebný pro dosažení bezpečného, stabilního odstavného stavu, či pro uplatnění dlouhodobé nápravné akce.
- (3.169) V dokumentaci PSA by měla být přehledně uvedena všechna data použitá pro kvantifikaci selhání komponent v PSA modelu. Popis by měl obsahovat stanovení hranic komponent, jejich způsobů poruch, střední hodnotu pravděpodobnosti jejich selhání, informace o neurčitostech spojených s daty, odkazy na použité zdroje dat, jakož i zdůvodnění toho, proč byl daný údaj uplatněn v modelu.

### Nepohotovost komponent z důvodu provádění údržby či testů

- (3.170) Při kvantifikaci primárních událostí je třeba rovněž brát do úvahy možnost, že zařízení JE bude nepohotové v důsledku provádění plánované či neplánované údržby nebo testů. Numerické hodnoty použité pro četnosti těchto činností a pro jejich dobu trvání by měly realisticky odrážet praxi, která je uplatňována v JE, případně která je pro danou JE plánována. Pokud je to možné, měla by být důsledně využívána specifická data získaná z rozborů dokumentace údržby na analyzované JE, která je možno doplnit analogickými daty z JE stejného či příbuzného typu. Pokud tento přístup není možno uplatnit, je možno využít data generická, případně i data získaná od výrobce zařízení, ale je třeba zdůvodnit, že použitá data

odpovídají skutečnosti pro danou JE.

(3.171) Data použitá pro nepohotovosti zařízení v důsledku testů či provádění údržby by opět měla být uvedena v dokumentaci PSA, včetně zdůvodnění toho, jak byly odvozeny jejich hodnoty.

### **Kvantifikace, MKŘ, importanční míry**

(3.172) Model PSA představuje logickou strukturu, pomocí níž lze kvantifikovat riziko provozu JE. To se provádí pomocí spolehlivostních dat; požadavky na ně byly rozebírány v předchozích kapitolách. Při kvantifikaci se využívají postupy Booleovské algebry.

(3.173) Před vlastním provedením kvantifikace PSA modelu je třeba se ujistit o tom, že model neobsahuje žádné logické smyčky; pokud ano, je třeba tyto smyčky ve vhodném místě přerušit. V dokumentaci PSA studie je pak třeba tyto logické smyčky popsat, včetně toho, jakým způsobem byly přerušeny.

(3.174) Kvantifikace PSA modelu by se měla provádět pomocí programového vybavení, které bylo validováno a verifikováno. K dispozici je řada komerčně dostupných kódů (např. RiskSpectrum® PSA Professional, WinNupra® PSA). Uživatel by měl být s používaným kódem podrobně seznámen, měl by ho umět správně používat a být si vědom omezení, která daný programový prostředek má.

(3.175) Výsledkem kvantifikace PSA modelu by měl být soubor následujících výsledků:

- ❖ hodnota celkové CDF,
- ❖ seznam dominantních MKŘ,
- ❖ seznam dominantních havarijních sekvencí,
- ❖ příspěvky jednotlivých skupin IU k celkové CDF,
- ❖ hodnota odseku výpočtu,
- ❖ výsledky importančních měr (RRW, RAW, případně dalších),
- ❖ výsledky citlivostních studií a analýz neurčitostí,
- ❖ frekvence stavů poškození AZ, pokud daná PSA má být východiskem pro PSA 2. úrovně.

(3.176) Po provedení kvantifikace je třeba zkontrolovat, zda získané MKŘ představují reálný rozvoj havárie, který by odpovídal modelovaným havarijním sekvencím, a zda skutečně vedou k poškození paliva v AZ. Rovněž je třeba prověřit, zda v získaném seznamu MKŘ nechybí řezy, které by tam bylo možno logicky očekávat – toto může představovat náročný úkol a vyžaduje to značné porozumění zkonstruovanému PSA modelu. Rovněž by měly být odstraněny MKŘ, které obsahují vzájemně se vylučující události, případně provedena taková úprava modelu, aby tyto řezy již nevznikaly.

(3.177) Vzhledem k rozsahu získaných výsledků není prakticky možno prověřit všechny MKŘ; kontrola zmíněná v předchozím odstavci by se tedy měla provést pro všechny MKŘ, které představují „významné přispěvatele k riziku“, přičemž by mělo být v dokumentaci definováno, co se tímto termínem přesně myslí. Je možno to provést pomocí absolutního nebo relativního kritéria (např. pomocí poměru k celkové CDF). Analogicky by měl být definován i termín „významná havarijní sekvence“.

(3.178) Po provedení první kvantifikace PSA modelu je rovněž možno zvážit zahrnutí

nápravných akcí (recovery) do modelu tam, kde se to jeví potřebné (např. tam, kde použitý konzervativní přístup vedl k významnému nadhodnocení rizika) a kde to skutečný stav JE reálně umožňuje.

(3.179) Omezení zakomponovaná ve výpočtových programech a také potřeba provádění kvantifikace PSA modelu v rozumném čase vyžadují stanovení odseku výpočtu. Toto opatření způsobí, že MKŘ s nízkou frekvencí nebudou zahrnuty do výpočtů (budou z nich nevratně odstraněny). Tuto veličinu je třeba stanovit velice citlivě, aby nedocházelo k významnému podhodnocení počítané hodnoty CDF; výpočet by měl konvergovat.

(3.180) V dokumentaci PSA by měly být podrobně uvedeny všechny výše zmíněné výsledky, včetně komentářů k nim. Srozumitelně by měly být popsány rovněž hlavní MKŘ a dominantní havarijní sekvence, jakož i importanční míry pro primární události. Cílem je, aby se odborně fundovaný čtenář mohl v získaných výsledcích orientovat, aniž by musel složitě zkoumat, co znamenají použité kódy označující jednotlivé primární události objevující se ve výsledcích.

### Importanční míry

(3.181) Importanční míry pro primární události, systémy, lidský faktor, skupiny IU apod. by měly být stanoveny a využity k interpretaci výsledků PSA. Importanční míry, které se při kvantifikaci PSA obvykle využívají, jsou následující:

- Risk reduction worth
- Risk achievement worth
- Fussell–Vesely importance
- Birnbaum importance.

### **Analýza neurčitostí a citlivostní analýzy**

#### Typy neurčitostí

(3.182) Každá PSA studie má v sobě obsaženy značné nejistoty. Tyto nejistoty jsou několika typů:

- ❖ nejistoty vyplývající z neúplnosti modelu PSA nebo jeho částí použitých při konkrétní aplikaci (prakticky není možno identifikovat a do PSA zahrnout úplně všechny havarijní scénáře, které by se mohly vyskytnout),
- ❖ nejistoty související s použitými modely a předpoklady, které byly v PSA přijaty (souvisí s použitou metodikou, použitými předpoklady či aproximacemi, jakož i s vlastním modelováním; některé lze stanovit pomocí citlivostních studií)
- ❖ nejistoty související s parametry použitými v modelu PSA (je možno je relativně snadno určit pomocí analýz neurčitosti).

(3.183) Při každé aplikaci PSA je třeba všechny tyto nejistoty pozorně zvážit a posoudit jejich vliv na získané výsledky. Provedený rozbor je třeba podrobně zdokumentovat v předkládaných podkladech, které mají sloužit pro kvalifikované rizikově informované rozhodování.

### Citlivostní studie

- (3.184) Měly by být provedeny citlivostní studie, jejichž cílem bude stanovit citlivost výsledků PSA 1. úrovně na použité předpoklady a zadané spolehlivostní údaje. To by se mělo provést zejména u těch předpokladů a dat, která vykazují vysokou míru neurčitostí a které mohou mít významný vliv na výsledky PSA. Prakticky to lze provádět tak, že se použijí alternativní předpoklady, u dat pak tak, že se stanoví údaje v určitém rozsahu (např. 1/10 a 10 x vyšší, než původní spolehlivostní údaj).
- (3.185) Pro určení toho, co se bude považovat za „významný vliv na výsledky PSA“, je třeba stanovit buď numerické kritérium (absolutní nebo relativní) nebo kvalitativní kritérium (vznik nové havarijní sekvence) nebo kombinaci obou (vznik nové významné havarijní sekvence).
- (3.186) Výsledky citlivostní studie mohou být využity k dokumentaci toho, zda je projekt JE vyvážený, zda existují slabá místa v projektu nebo v provozování JE, či zda stanovené kritérium nebo limit využívající míru rizika CDF může být překročen.
- (3.187) Citlivostní studie mohou být prováděny jak pro jeden vybraný předpoklad nebo parametr, tak pro kombinaci předpokladů.

### Analýzy neurčitostí

- (3.188) Pro stanovení neurčitostí ve výsledcích PSA 1. úrovně, které vyplývají z dat použitých pro kvantifikaci PSA modelu, by měly být provedeny analýzy neurčitosti.
- (3.189) Pro parametry použité při kvantifikaci PSA modelu by měla být specifikována rovněž příslušná statistická rozdělení jejich neurčitostí. Mělo by to být provedeno v rámci analýzy dat. Z těchto statistických údajů budou následně vyplývat i neurčitosti v získaných výsledcích PSA 1. úrovně, tj. hodnotě CDF. Výsledky analýz neurčitosti mohou poskytnout určitou indikaci toho, zda může dojít k překročení stanoveného kritéria nebo limitu využívajícího míru rizika CDF.

## Obecné metodické aspekty PSA 1. úrovně pro interní a externí hazardy

### Úvod

(3.190) K havárii JE může dojít kromě náhodných selhání zařízení či lidských selhání, které mohou způsobit vznik IU, rovněž i působením dalších hazardů, které mohou být rozděleny na:

a) Vnitřní hazardy způsobené zdroji, které se nacházejí uvnitř areálu JE, ať už uvnitř nebo vně budov. Příkladem tohoto typu hazardů mohou být vnitřní požáry, vnitřní záplavy, vystřelení částí turbíny, transportní havárie uvnitř areálu nebo únik toxických látek ze skladiště umístěného uvnitř JE.

b) Externí hazardy způsobené zdroji, které se nacházejí vně areálu JE. Příkladem uvedeného typu hazardů mohou být zemětřesení, vnější požáry (které mohou zasáhnout území JE – například požár okolních lesních porostů), vnější záplavy, extrémní větry a větrem vymrštěné předměty, dopravní havárie, úniky toxických látek z okolních provozů a extrémní meteorologické události.

(3.191) Zmíněné hazardy mohou poškodit zařízení JE a tím způsobit havárii, která může vést až k poškození AZ (nebo k jinému nežádoucímu koncovému stavu rozvoje havarijní sekvence, uvažovanému v PSA 1. úrovni). Často tyto události mohou způsobit současné poškození více zařízení a rovněž nepříznivě ovlivnit personál JE. Oba typy hazardů by měly být v rámci PSA 1. úrovně analyzovány.

### Postup analýzy

(3.192) Při identifikaci interních a externích hazardů i při analýze jejich příspěvků k CDF by měl být uplatněn konzistentní přístup. Hlavní etapy analýzy obou typů hazardů jsou následující:

- 1) sběr výchozích informací týkajících se interních a externích hazardů
- 2) identifikace hazardů (vyskytujících se samostatně i v možných kombinacích)
- 3) rozřídění hazardů dle kvantitativních i kvalitativních kritérií
- 4) hraniční analýzy
- 5) podrobné analýzy.

(3.193) Zatímco etapy analýzy „identifikace“ a „rozřídění“ jsou podobné pro interní i externí hazardy, tak hraniční analýzy a podrobné analýzy mohou zahrnovat jevy, které budou specifické pro konkrétní hazard (např. šíření v případě vzniku interních požárů). V této kapitole jsou rozebírána pouze obecná doporučení pro oba typy hazardů týkající se jejich identifikace a třídění; doporučení specifická pro hraniční analýzy a podrobné analýzy jsou uvedena v následujících kapitolách Specifika PSA 1. úrovně pro interní hazardy a Specifika PSA 1. úrovně pro externí hazardy.

(3.194) V rámci analýzy by měly být zváženy všechny potenciální interní a externí hazardy, které mohou ohrozit JE. Všechny identifikované hazardy by měly být rozříděny dle kvalitativních i kvantitativních kritérií a podrobeny hraniční analýze, případně i přiměřené detailní analýze.

(3.195) Jak již bylo zmíněno v odst. 3.173, aby bylo možno vyloučit logické smyčky, odpojují

se z modelu některé části, které reprezentují náhodná selhání komponent. Např. aby bylo možno počítat s PSA modelem, je třeba odstranit logickou smyčku mezi technickou vodou důležitou a el. napájením, což se provádí odpojením částí modelu reprezentujících relevantní el. rozvaděče. Závislá selhání takových zařízení (jejichž náhodné poruchy byly z modelu odpojeny) vzniklá v důsledku poškození některým typem hazardu je třeba v modelu zohlednit.

### **Sběr výchozích informací**

(3.196) Před vlastním prováděním analýz interních a externích hazardů je třeba shromáždit všechny dostupné informace, které by se mohly týkat této problematiky. Tyto informace by měly minimálně obsahovat následující:

- a) informace týkající se interních a externích hazardů, které byly uvažovány v rámci projektu (jsou obsaženy v PpBZ)
- b) seznam a umístění budov JE, konstrukcí, systémů i komponent
- c) plán JE, topografii areálu a jeho okolí
- d) informace o rozmístění potrubních linií, dopravních cest a o skladech nebezpečných látek uvnitř i vně areálu JE
- e) umístění průmyslových celků v blízkém okolí JE
- f) historické informace o výskytu všech možných interních i externích typů hazardů v lokalitě, blízkém okolí apod.

(3.197) Výchozí informace by měly být doplňovány a rozšiřovány během provádění vlastní analýzy hazardů v závislosti na potřebné úrovni detailů pro vyřídění hazardů, hraniční analýzy nebo podrobné analýzy jednotlivých hazardů.

### **Identifikace hazardů**

(3.198) Smyslem této části analýzy je vytvořit kompletní seznam fyzikálně možných interních i externích hazardů, které se mohou reálně vyskytnout v dané lokalitě. Příklady konkrétních hazardů jsou uvedeny v následujících odstavcích:

(3.199) Interní hazardy uvnitř areálu JE:

- a) vnitřní požáry
- b) vnitřní záplavy
- c) vystřelení částí zařízení
- d) exploze vnitřního zařízení
- e) pády břemen.

(3.200) Externí hazardy způsobené přírodními podmínkami:

- a) zemětřesení (seismicita)
- b) vnější požáry
- c) vnější záplavy
- d) extrémní větry
- e) biologické fenomény, jako např. abnormální výskyt ryb v chladící nádrži
- f) extrémní meteorologické podmínky.



(3.201) Externí hazardy způsobené lidskou činností:

- a) exploze vně JE
- b) únik toxických látek vně JE
- c) pády letadel.

(3.202) K zajištění toho, aby proces identifikace hazardů byl komplexní a zpětně výsledovatelný, by měl být aplikován následující dvoukrokový postup:

- 1) Metody užívané pro analýzy interních a externích hazardů jsou mezinárodně dostupné. V prvním kroku by se měly zahrnout všechny hazardy uvedené v různých publikacích IAEA (viz např. [18, 19, 20]) a na ně navazujících studiích.
- 2) Ve druhém kroku je třeba zahrnout všechny hazardy specifické pro danou JE a danou lokalitu.

(3.203) Při provádění analýzy existující JE by mělo být nedílnou součástí identifikace hazardů zmapování lokality a obhlídka JE na místě.

(3.204) Měl by být vytvořen seznam možných kombinací hazardů. Kombinace hazardů mohou mít významně vyšší vliv na jadernou bezpečnost JE než jednotlivé hazardy uvažované samostatně, přičemž frekvence výskytu takových kombinací může být srovnatelná s frekvencí vzniku jednotlivých hazardů (např. vysoká úroveň hladiny v důsledku bouřkových srážek a protržení přehradní hráze v důsledku téhož jevu). Proces identifikace hazardů by měl obsahovat identifikaci všech kombinací hazardů, které mohou mít významný vliv na riziko.

(3.205) Na základě seznamu jednotlivých interních a externích hazardů by měly být stanoveny možné kombinace hazardů. Pro tyto účely by měl být využit úplný seznam potenciálních hazardů, a to ještě před tím, než bude přistoupeno k provedení třídících analýz. Obvykle kombinace hazardů zahrnují především hazardy způsobené přírodními podmínkami (např. kombinace extrémního větru a vysoké úrovně hladiny jezera). Avšak mohou se vyskytnout i kombinace hazardů způsobených přírodními podmínkami a lidskou činností a neměly by tedy být a priori vylučovány (např. nárůst rizika lodní havárie v případě extrémního počasí).

(3.206) Obecně by měl být přístup použitý při identifikaci realistického souboru kombinací hazardů založen na systematickém prověření závislostí mezi všemi interními i externími hazardy. Měly by být zváženy následující případy kombinací hazardů:

- a) hazardy mohou potenciálně nastat za stejných podmínek a ve stejnou dobu (např. extrémní vítr a sněhové srážky)
- b) jeden externí hazard může vyvolat další hazardy (např. zemětřesení způsobí protržení přehradní hráze, důsledkem čehož je vnější záplava)
- c) externí hazardy mohou způsobit interní hazardy (např. zemětřesením vyvolané interní požáry a záplavy)
- d) jeden interní hazard může způsobit jiné interní hazardy (např. interní záplavy způsobené vystřelením částí zařízení).

(3.207) Měl by být zhodnocen vliv kombinací hazardů na jednotlivé bezpečnostní funkce, tj. jak mohou dané kombinace hazardů ovlivnit rozdílné bezpečnostní funkce nebo stejnou funkci vážnějším způsobem než jednotlivý hazard.

## Roztřídění hazardů

- (3.208) Proces postupného výběru (třídění) se obecně provádí s cílem minimalizovat další analýzy hazardů, jejichž vliv na riziko je minimální a naopak podrobně se soustředit na ty, jejichž příspěvek k riziku je významný. Tento proces by měl být aplikován konzistentně a kritéria výběru by měla být specifikována způsobem, který zajistí, že nebude opomenut žádný rizikově významný přispěvatel z oblasti interních či externích hazardů relevantních pro danou lokalitu a danou JE. Výsledky procesu výběru hazardů by měly být prezentovány v dokumentaci PSA 1. úrovně.
- (3.209) Obvykle se používají následující kritéria výběru, která mohou být aplikována buď jednotlivě nebo v kombinaci:
- Na základě kvalitativních argumentů je možno tvrdit, že hazard nevede ke vzniku IU. Pro externí hazardy je toto kritérium obecně aplikováno, když hazard nemůže vzniknout dostatečně blízko JE, aby jí mohl negativně ovlivnit. Přijatelnost tohoto kritéria bude rovněž záviset na stupni (velikosti) daného hazardu.
  - Hazard se bude pomalu rozvíjet a je možno prokázat, že bude dostatek času k eliminaci zdroje ohrožení nebo zajistit adekvátní protiopatření.
  - Hazard je zahrnut v definici jiného hazardu.
  - Hazard má významně nižší střední hodnotu frekvence výskytu než jiné hazardy s podobnými neurčitostmi a nebude mít horší následky než zmíněné hazardy. Přitom platí, že neurčitosti při stanovování frekvence hazardu vyloučeného z výše uvedeného důvodu z dalších analýz nebudou významně ovlivňovat celkové riziko.
- (3.210) Kvantitativní kritéria použitá pro vyloučení hazardů z další analýzy by měla záviset na celkových cílech PSA 1. úrovně a měla by uvádět do souladu CDF od interních IU a od interních i externích hazardů. Hazardy, které mají velmi nízkou frekvenci výskytu, ale velmi vážné potenciální následky z hlediska úniků radioaktivních látek, by měly být v PSA 1. úrovně ponechány vzhledem k dalším analýzám v rámci PSA 2. úrovně.
- (3.211) Žádná z kritérií uvedených v odst. 3.209 není možno aplikovat na vnitřní hazardy, které mohou vzniknout uvnitř budov JE. Tyto hazardy by neměly být vyloučeny jako kategorie, ale vždy by měly být předmětem buď hraniční nebo podrobné analýzy.
- (3.212) Měly by být specifikovány nejvýznamnější parametry mající vztah k potenciálním škodám v důsledku interních a externích hazardů. Pokud potenciální škody nelze vymezit jedním parametrem, mělo by být uplatněno více parametrů. Všechny parametry stanovené pro hazardy by měly být uvažovány při provádění analýz výběru (např. úroveň vodní hladiny a tlak od průtoku).
- (3.213) Následující externí hazardy by neměly být během procesu výběru vyloučeny z dalších analýz:
- zemětřesení (seismicita)
  - hazardy způsobené lidskou činností
  - extrémní větry.
- (3.214) Aby bylo možno vyloučit specifické hazardy z kategorie extrémní vítr, mělo by být ověřeno, že klimatické podmínky specifické pro danou lokalitu dovolují předpokládat, že se tam daný konkrétní hazard nevyskytne v dostatečné síle. Extrémní větry s dostatečným potenciálem pro poškození JE by měly být vyloučeny pouze v případech, kdy je možno prokázat, že frekvence výskytu rychlosti větru překračující nebezpečnou mez je zanedbatelná.

Kombinace extrémních větrů s ostatními hazardy, jako jsou dešťové srážky nebo záplavy by měly být rovněž zváženy. Při provádění vylučovacích analýz je třeba rovněž zvážit možnost přemísťování objektů větrem (zejména v případě tornád), které se mohou projevovat jako neřízené stěly vymrštěné proti zařízení JE.

- (3.215) Při provádění výběru hazardů typu vnější záplavy by se mělo brát v úvahu následující:
- a) umístění JE s hlediska vzdálenosti od řek nebo jezer a možnost jakéhokoli zaplavení, které může danou oblast zasáhnout
  - b) doba potřebná pro vydání výstrahy
    - i. může být dostatečně dlouhá, aby umožňovala odstavení z provozu v případě JE umístěných v blízkosti řek (např. více jak jeden den před událostí)
    - ii. rovněž časově závislé pravděpodobnosti úspěchu při reakci na varování a úspěšnosti potenciálních nápravných akcí by měly být zohledněny
  - c) typ konstrukce v místě pro zadržování vody
  - d) je možné, že jiné, sousední plochy budou zaplaveny v případě vzniku záplav a že úroveň hladiny bude vyšší, než se očekávalo.
- (3.216) Pro všechny interní hazardy vznikající mimo budovy JE a pro všechny externí hazardy by měl být zjištěn přibližný maximální účinek hazardu, který by mohl nastat (daný pesimistickými předpoklady o následujících událostech, které se mohou vyskytnout po vzniku havárie) a využít při procesu výběru.
- (3.217) Když nemohou být uplatněna kritéria výběru na hazard jako celek, ale mohou být aplikována na hazard určitého stupně (velikosti), měl by být daný hazard rozdělen do podkategorií a kritéria výběru by se měla uplatňovat na každou takto vzniklou podkategorii, aby se bylo možno vyhnout vyloučení hazardů, jež mají sice nízkou frekvenci vzniku, ale velký potenciál pro způsobení škod.
- (3.218) IU, které se mohou vyskytnout na JE, mohou být způsobeny vlivem jednotlivých hazardů nebo kombinacemi dvou i více hazardů. Při používání kritérií výběru je třeba dávat pozor na to, aby hazardy, jejichž kombinovaný vliv může vést k vážným následkům, nebyly vyloučeny z dalších úvah, i kdyby každý z nich uvažovaný nezávisle měl zanedbatelný příspěvek k riziku.
- (3.219) Při aplikaci kritérií výběru by mělo být provedeno přezkoumání aktuálního stavu JE i jejího okolí, aby bylo možno verifikovat, že změny v původním projektu JE nejsou významné nebo že jsou zohledněny v PSA. Změny, které mají potenciál pro vznik nového typu hazardu nebo mohou vést k nárůstu frekvence vzniku nějakého hazardu, by měly být důkladně prozkoumány.

## Specifika PSA 1. úrovně pro interní hazardy

### Úvod

(3.220) V této kapitole jsou uvedena doporučení pro analýzu následujících typů interních hazardů (ostatní možné hazardy zde nejsou rozebírány, ale obecně by pro ně platil podobný přístup):

- a) vnitřní požáry
- b) vnitřní záplavy
- c) pády břemen
- d) vystřelení částí turbíny
- e) vnitřní exploze.

### Hraniční analýzy a podrobné analýzy PSA 1. úrovně pro interní hazardy

(3.221) Hazardy, které mohou nastat uvnitř budov JE, by měly být uvažovány v rámci hraničních analýz a / nebo podrobných analýz; konzervativní vylučovací analýzy bývají obvykle vynechány (bylo demonstrováno v mnoha studiích, že interní hazardy často představují významného přispěvatele k celkovému riziku provozu JE). K hraničním analýzám a podrobným analýzám v rámci PSA 1. úrovně pro interní hazardy by měl být uplatněn konzistentní přístup. V typickém případě to zahrnuje následující činnosti:

- a) sběr podpůrných informací týkajících se lokality a dané JE, který se provádí za pomoci obhlídek zařízení na místě, pokud je lze provést
- b) charakteristiku hazardů: identifikace hazardů, výpočty frekvence jejich vzniku a analýzy jejich vlivu na JE
- c) integraci PSA pro interní hazardy do PSA 1. úrovně pro interní IU
  - i) stanovení IU způsobených interními hazardy
  - ii) identifikaci nutných revizí existujících stromů událostí a stromů poruch, které byly sestrojeny v rámci PSA 1. úrovně pro interní IU
  - iii) analýzy specifických závislostí a CCF
  - iv) analýzu specifických dat
  - v) analýzu specifických aspektů lidských zásahů
- d) kvalitativní a / nebo kvantitativní výběr
- e) kvantifikaci příspěvků interních hazardů k CDF (analýzu výsledků, citlivostní studie, analýzy neurčitostí a importančních měr)
- f) dokumentaci (se zvláštním zřetelem k předpokladům a referencím použitým při analýze, včetně zajištění kvality).

(3.222) Některé interní hazardy (vnitřní exploze, požáry, záplavy atd.) mohou nastat v různých částech JE (místnosti, budovy nebo kdekoli v areálu JE). V takových případech by charakteristika hazardu měla specifikovat:

- a) za prvé celkovou hranici analýzy JE tak, že budou uvažovány všechny lokality, které by mohly přispět k danému hazardu

- b) za druhé uzavřené lokality v JE o nichž je možno předpokládat, že existující ochranná opatření v projektu JE (fyzická separace, bariéry, izolační zařízení atd.) budou zabráňovat šíření poškození mimo danou lokalitu.

(3.223) Příspěvky CDF od interních hazardů, které zbudou po provedení vylučovací analýzy, by měly být stanoveny pomocí PSA 1. úrovně pro interní hazardy. Toto PSA by mělo počítat s modelem pro odezvu JE na interní IU pro výkonové, nízkovýkonové stavy a odstávky, jehož existence je nezbytným předpokladem pro rozvoj PSA pro interní hazardy. Výsledky analýzy hazardů mohou vést k zařazení dalších IU k již existujícím (např. úplná ztráta informací na blokové dozorně následkem požáru). V takových případech by měly být doplněny nové havarijní sekvence a integrovány do PSA modelu 1. úrovně.

(3.224) Pro účely zjednodušených kvantitativních hodnocení rizika vyplývajících ze specifických interních hazardů nebo pro vylučování uzavřených lokalit JE specifikovaných v odst. 3.222 může být stanovena CDF bez použití podrobného PSA modelu pro interní hazardy. V takovém případě lze využít následující obecný vzorec pro výpočet kumulativního příspěvku k CDF:

$$f_{\text{hcd}} = \sum f_{\text{hli}} \times \text{CCDP}_i$$

kde:

$f_{\text{hcd}}$  je příspěvek specifického interního hazardu k CDF

$f_{\text{hli}}$  je frekvence výskytu specifického interního hazardu v lokalitě JE 'i'

$\text{CCDP}_i$  je podmíněná CDP pro lokalitu JE 'i' odhadnutá pomocí PSA modelu pro interní IU, který je upraven za pomoci konzervativních předpokladů v souladu s dopady interního hazardu na lokalitu JE 'i'.

(3.225) Analýza vlivu hazardu na JE by měla uvažovat dopady selhání komponent způsobeného hazardem na IU obsažené v PSA a na související zmírňující bezpečnostní funkce. Za účelem snížení přílišného konservatismu vedoucího k nadhodnocení rizika spojeného s hazardy by měla být prováděna podrobná analýza založená na fyzikálních studiích (tj. simulacích požárních scénářů nebo scénářů šíření záplav).

(3.226) Potenciální selhání ochranných prvků jako jsou bariéry nebo fyzické oddělení, které může vést k rozšíření poškození do dalších lokalit JE, by mělo být stanoveno pomocí prostředků specifické podrobné analýzy hazardů.

(3.227) Základní informace o lokalitě a o JE by měly být získány ze schémat nebo z databází. Pro provozovanou JE by měly být tyto informace verifikovány a doplněny pomocí obhlídek zařízení provedených na místě.

(3.228) Jelikož informace získané v rámci obhlídek zařízení JE na místě mohou představovat významný zdroj dat pro vypracování PSA 1. úrovně pro interní hazardy, měly by být tyto obhlídky dobře naplánovány, organizovány a důkladně zdokumentovány.

(3.229) Obhlídky zařízení JE na místě je nejlépe provádět na počátku procesu vývoje PSA pro interní hazardy, ovšem některé činnosti (tj. podrobné analýzy vybraných hazardů) mohou vyžadovat další obhlídky věnované konkrétním problémům.

(3.230) Výsledná CDF způsobená hazardem bude dána kombinací pravděpodobností selhání bezpečnostně významných komponent, které byly vyvolány hazardem a nezávislých selhání uvažovaných v PSA modelu.

## **Analýzy interních požárů**

### Obecné aspekty

(3.231) Požární PSA 1. úrovně je pravděpodobnostní analýza požárních událostí, které se mohou vyskytnout uvnitř areálu JE a jejich potenciálního vlivu na jadernou bezpečnost. Při používání pravděpodobnostního modelu by se mělo brát v úvahu následující:

- a) možnost vzniku požáru na kterémkoli místě JE
- b) potenciální možnost šíření požáru do dalších míst
- c) detekce požáru, potlačování požáru a ohraničení požáru
- d) možnost poškození zařízení v důsledku spuštění zařízení pro potlačení požáru (např. sprchování a záplava vyvolaná systémy hašení může poškodit zařízení, které by jinak vydrželo požár, nebo mohou být změněny způsoby poruch takového zařízení).
- e) vlivy požáru na jednotlivé části zařízení (komponenty, stejně jako s nimi související SKŘ a kabeláž). Uvažované vlivy by měly obsahovat nové způsoby poruch, které mohou být následkem falešných zapracování zařízení v důsledku zkratů
- f) možnost poškození takového zařízení a v případě vážných požárů i narušení integrity konstrukcí JE (zdí, stropů, sloupů, nosníků střech atd.)
- g) vliv náhodných selhání zařízení a lidských chyb
- h) vlivy požáru na lidské zásahy, a to jak přímé (např. potřeba evakuovat blokovou dozornu), tak nepřímé (např. zavádějící informace způsobené falešnými indikacemi).

(3.232) Fyzická separace redundantních tras bezpečnostně významných zařízení (požární bariéry mezi nimi) může limitovat rozsah poškození zařízení požárem. Z toho důvodu kvantifikace příspěvku požáru k CDF pomocí modelu požární PSA 1. úrovně by měla obecně zahrnovat pravděpodobnosti náhodných poruch zařízení nezasaženého požárem a pravděpodobnost, že zařízení se bude testovat nebo se na něm bude provádět údržba.

(3.233) V požární PSA 1. úrovně by měl být uvažován vliv kouře a to z následujících hledisek:

- a) kouř může způsobit selhání elektronických přístrojů
- b) pravděpodobnost lidských selhání může být vyšší v důsledku neobvyklých podmínek prostředí způsobených požárem (kouř, který může být toxický nebo pouze iritující, horko)
- c) přítomnost kouře si může vynutit evakuaci blokové dozorny.

(3.234) V rámci požární PSA 1. úrovně pro nízkovýkonové stavy a odstávky by měly být zvažovány následující aspekty:

- a) specifika metodiky PSA 1. úrovně pro interní IU pro nízkovýkonové stavy a odstávky, jak jsou uvedena v kapitole PSA 1. úrovně pro nízkovýkonové stavy a odstávky.
- b) vyřazování jednotlivých požárních scénářů by mělo být prováděno separátně, přičemž by se měla věnovat pozornost větším požárním zatížením a vyššímu počtu potenciálně zápalných zdrojů, zejména dočasně umístěných hořlavin souvisejících s prováděním údržby během nízkovýkonových stavů a odstávek
- c) dostupnost prostředků požární ochrany
- d) potenciální cesty pro další šíření požáru (např. některé dveře mohou být otevřené během odstávky)
- e) vyšší obsazenost různých míst na JE během odstávky může zvýšit schopnost detekovat požár

- f) provozní a konfigurační změny na JE související s požáry, která jsou implementována pro kontrolu hořlaviny a která jsou prováděna jako kompenzační opatření při odstavení systémů a komponent.

(3.235) Deterministická analýza požárních hazardů se provádí v rámci vytváření projektu (viz [19]). Z projektu i z provozu JE (viz [21]) by měly vyplynout důležité vstupy do požární PSA 1. úrovně, například seznam komponent a kabelů včetně jejich umístění, rozdělení JE na požární úseky by mělo brát v potaz funkční analýzy, jakož i podrobné analýzy vlivu požárů prováděných v rámci projektování prostředků požární ochrany.

(3.236) Přístup k provádění požární PSA 1. úrovně by měl být založen na systematické analýze všech lokalit uvnitř hranic dané JE. Pro usnadnění tohoto zkoumání by měla být JE rozdělena na jasně oddělené jednotky (požární úseky), které se prozkoumávají individuálně. Na počátku analýzy může být užitečné využít pro volbu těchto fyzických zón rozdělení JE provedené v projektu. Kritéria pro stanovení požárních úseků by měla být zdůvodněna a zdokumentována. Při definování požárních úseků pro účely provedení požární PSA může analytik uplatnit určitou flexibilitu. Například může uvažovat několik úseků jako úsek jeden, pokud to usnadní vyřazovací proces. Rozdělení JE do velkého počtu malých zón nemusí být nutné, zejména na počátku provádění PSA analýzy.

(3.237) Proces tvorby požární PSA 1. úrovně obsahuje kroky uvedené v odst. 3.238 – 3.286. Pro účely tohoto návodu se požární scénář definuje pomocí pojmů zdroj iniciace požáru a rozsah poškození požárem uvnitř požárního úseku. Podle úrovně detailů požární PSA 1. úrovně závisí frekvence související s konkrétním požárním scénářem na frekvenci vzniku požáru a na pravděpodobnosti potlačení tohoto požáru.

### Sběr dat

(3.238) Sběr dat a jejich hodnocení v rámci požární PSA 1. úrovně je zaměřen na přípravu potřebných údajů. Analytik by se měl soustředit na sběr dat potřebných pro modelování rizika interních požárů specifických pro danou JE. Rovněž některá data použitá v PSA 1. úrovně pro interní IU budou muset být přehodnocena z důvodů zahrnutí specifických podmínek způsobených vznikem požáru.

(3.239) Specifická data pro danou JE by měla obsahovat:

- a) kabelové trasy na JE včetně kabelových kanálů, kabelovodů, kabelových lávek a přepážek
- b) fyzikální charakteristiky požárních úseků a jejich inventáře (viz odst. 3.241)
- c) údaje o požárních událostech
- d) informace o komponentách týkající se jejich potenciálu pro to stát se zápalným zdrojem specifické pro jednotlivé požární úseky (tj. selhání komponent, které by mohlo vyvolat požár, prchavé hořlaviny)
- e) stanovení spolehlivosti detekce požáru a spolehlivosti prostředků pro potlačení požáru
- f) lidské zásahy při výskytu požáru a pravděpodobnosti lidských selhání
- g) dostupnost a způsobilost požárního útvaru
- h) charakteristika systémů pro potlačení požárů (časování spuštění systému, prostředky pro potlačení požáru, které mohou zapříčinit poškození zařízení nebo zabránit vstupu personálu do požárního úseku)
- i) způsoby poruch zařízení vyvolané požárem a kritéria pro poškození požárem.

(3.240) Z důvodu značného objemu sesbíraných informací pro požární PSA 1. úrovně a také pro usnadnění práce s nimi je vhodné tato data spravovat ve formě databáze.

#### Analýzy požárních úseků

(3.241) Pro účely požární PSA by měly být všechny budovy a konstrukce zahrnuté do analýzy rozčleněny do jasně odlišených požárních úseků, které budou vyšetřovány samostatně. Požární úseky by měly být charakterizovány nejméně:

- a) jejich fyzickými hranicemi (zdi, dveře, komínové klapky, průchodky atd.)
- b) prvky požární ochrany
- c) požární odolností bariér obklopujících daný požární úsek
- d) komponentami a kabely nacházejícími se uvnitř daného požárního úseku
- e) sousedními požárními úseky a jejich propojeními
- f) ventilačními trasami (potrubí) které mohou propojovat daný požární úsek s dalšími úseky, které s ním přímo nesousedí
- g) požárním zatížením (např. typ, množství, zda je chráněno nebo nechráněno, umístění, místní rozložení, zda je trvalé nebo dočasné)
- h) potenciálními zápalnými zdroji (např. typ, množství, umístění)
- i) předpisy pro kontrolu hořlavého materiálu
- j) možností detekce požáru personálem
- k) přístupností místa (např. pro požární útvar).

(3.242) Informace získané z dokumentace by měly být verifikovány v rámci obhlídek zařízení JE provedených na místě v každém jednotlivém požárním úseku, vykonaných na všech místech a v maximálním možném rozsahu. Tato verifikace by měla zajistit, že použitá data budou skutečně reprezentovat aktuální stav a skutečné podmínky provozu na dané JE.

(3.243) Stanovení frekvence vzniku požáru v daném požárním úseku je důležitou součástí požární PSA 1. úrovně a mělo by být provedeno buď před vyřazováním jednotlivých požárních úseků nebo na začátku vyřazování úseků na základě kvantitativních kritérií pro nejdůležitější požární úseky, které nebudou vyloučeny v rámci kvalitativního vylučovacího procesu. Frekvence vzniku požáru související se zápalnými zdroji by měla být stanovena s využitím doporučení uvedených v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu, za maximálního možného uplatnění údajů specifických pro danou JE. Pokud není dostatek specifických dat, je možno pro stanovení frekvence vzniku požáru využít společně s dostupnými specifickými daty rovněž data generická, která budou upravena s ohledem na aktuální zápalné zdroje (včetně zdrojů, které vznikají následkem prací s otevřeným ohněm) a množství hořlavých materiálů trvale či dočasně umístěných v daném požárním úseku.

#### Výběr zařízení pro požární PSA 1. úrovně

(3.244) Na podkladě posouzení komponent JE uvažovaných v PSA 1. úrovně pro interní IU by měl být sestaven seznam zařízení, které bude modelováno v požární PSA. Uvedený seznam by měl obsahovat zařízení, jehož selhání následkem požáru:

- a) může vést na IU
- b) může ovlivnit způsobilost bezpečnostních funkcí zmírnit následky IU (prvosledové bezpečnostní systémy a podpůrné systémy)
- c) může ovlivnit akce operátora po vzniku IU vyvolané požárem (typ C lidských zásahů)



d) může vést na falešné zapracování funkcí, které mohou způsobit další nebezpečné stavy na JE, ať už za provozu bloku nebo při odstávce.

(3.245) Zmíněná selhání mohou vzniknout následkem výpadku silového či ovládacího napětí nebo ze zkratů vedoucích k falešnému zapracování či k chybnému výstupu z instrumentace monitorování stavu JE a alarmů. Hloubka analýzy falešného zapracování zařízení by měla být přizpůsobena záběru PSA a měla by se soustředit na zařízení nebo způsoby jeho selhání, které obvykle nejsou v PSA 1. úrovně uvažovány.

(3.246) Měly by být identifikovány komponenty a všechny související prvky modelu důležité pro požární PSA 1. úrovně. Podklady pro vyloučení nebo zahrnutí způsobů poruch komponent do PSA modelu pro interní požáry by měly být systematicky přezkoumány s cílem zjistit validitu předpokladů učiněných v souvislosti se selháními způsobenými požárem a pokud to je nutné, měl by být rozšířen model pro interní požární IU.

(3.247) Integrovaná součástí tohoto přezkoumávání by měla být rovněž identifikace a analýza všech kabelů a obvodů souvisejících s komponentami specifikovanými v odst. 3.244 – 3.246. Rovněž by mělo být uvažováno potenciální poškození neelektrických obvodů požárem, jako například linií ovládacího vzduchu.

(3.248) Pro každý požární úsek by měl být sestaven seznam zařízení majícího význam pro PSA 1. úrovně. V pozdějších fázích podrobné analýzy pak bude třeba stanovit přesněji rozmístění komponent uvnitř daného požárního úseku.

#### Vyřazování požárních scénářů dle ovlivnění zařízení

(3.249) Vyřazování požárních scénářů na základě toho, jak mohou ovlivnit zařízení JE, by mělo být uplatněno pro vyřazení nevýznamných scénářů při uplatnění kvalitativních kritérií. Proces vyřazování začíná stanovením kritických požárních úseků a lokalit, načež se při uplatnění pesimistických předpokladů stanoví požární scénáře, a to jak v jednom požárním úseku, tak i takové, které zohledňují možnost rozšíření požáru do více úseků. Kritéria používaná pro vyřazování jednotlivých požárních scénářů by měla brát v úvahu charakteristiky těch požárních úseků, které se týkají uvažovaného scénáře.

(3.250) Pokud se provádí vyřazování požárních scénářů podle jejich vlivu na zařízení, mělo by být založeno minimálně na následujících kritériích nebo na jejich kombinaci; požární úsek je možno vyloučit na podkladě zanedbatelného vlivu na jadernou bezpečnost, pokud:

a) hodnota požárního zatížení na jednotku plochy je pod stanovenou prahovou hodnotou kritéria přijatelnosti

NEBO

b) platí všechny následující podmínky:

i) daný požární úsek neobsahuje žádné zařízení, jehož selhání může vyvolat IU nebo vyžadovat ruční odstavení bloku

A

ii) žádné bezpečnostně významné systémy (tj. systémy potřebné pro bezpečné odstavení bloku) ani jejich kabely nebo podpůrné systémy nejsou umístěny v daném požárním úseku

A

iii) potenciál pro šíření vlivů požáru do jiných požárních úseků obsahujících bezpečnostně významná zařízení je velmi nízký.

- (3.251) Pro účely vyřazování jednotlivých požárních scénářů by se mělo předpokládat, že všechny komponenty a kabely vystavené požáru selžou, tj. obvykle se přijímají pesimistické předpoklady, že prvky detekce a hašení požáru jsou buď nedostatečně efektivní nebo neprovozuschopné. Ostatní ochranná opatření, jako požární kryty, protipožární nátěry nebo pouzdra nejsou obvykle brány v úvahu.
- (3.252) Při vyřazování požárních úseků na základě ovlivnění zařízení by se měly rovněž zohledňovat požární scénáře, při nichž může být na podkladě pesimistických předpokladů o šíření požáru zasaženo více požárních úseků současně. Pro každý požární úsek se definuje soubor úseků, do nichž by se mohl případný požár rozšířit (patří mezi ně všechny sousedící požární úseky jakož i další úseky, které jsou propojeny společnou ventilací s daným požárním úsekem). Takže všechny možné kombinace požárních úseků by měly být analyzovány s pohledu potenciálu šíření požáru do sousedních či ventilací propojených požárních úseků. Aby bylo možno omezit počet kombinací, které by se měly uvažovat, měly by být přijaty obecné předpoklady, týkající se spolehlivosti a efektivity prvků požárních bariér (např. současně se vyskytující nezávislá selhání bariér lze považovat za velmi nepravděpodobná).
- (3.253) V analýzách by měl být uvažován i požár, který se může rozšířit z vnějšího prostoru JE do požárních úseků uvnitř budov (např. potenciální rozšíření požáru venkovního transformátoru do strojovny).
- (3.254) V lokalitách, kde je umístěno více jaderných bloků, by měla být zahrnuta do analýz i možnost rozšíření požáru z jednoho bloku do požárního úseku druhého bloku. Rovněž by měla být uvažována možnost vzniku požáru ve společných prostorách (např. dieselgenerátory sdílené více bloky, rozvodny).

### Wyřazování požárních scénářů dle velikosti příspěvku k CDF

#### *Integrace interních požárů do PSA modelu pro interní IU*

- (3.255) Vyřazování požárních úseků dle velikosti jejich příspěvku k CDF na základě kvantitativního kritéria je zaměřeno na vyloučení dalších požárních úseků nebo komplexů více úseků zasažených stejným požárem z těch, které zbyly po prvním vyřazování prováděném na základě vlivu požárů na zařízení JE.
- (3.256) V tomto kroku by měl být napočten příspěvek požárů k CDF pomocí PSA modelu vytvořeného na základě již existujícího PSA modelu pro interní IU. Takový model je možno požit k výpočtu CCDP pro specifické požární scénáře. V této etapě by měly být přijaty pesimistické předpoklady pro stanovení frekvencí výskytu požárních scénářů a související podmíněné nedostupnosti požadovaných bezpečnostních funkcí následkem požáru týkající se rozvoje a šíření požárů, vlivů požárů na zařízení a souvisejících lidských zásahů (tj. akcí zaměřených na snížení následků požárů): všechno zařízení nacházející se uvnitř uvažovaného požárního úseku by se mělo považovat za vyřazené a prostředky detekce a hašení požárů za nevěrohodné.
- (3.257) Na základě uvedených předpokladů by měl být upraven PSA model pro interní IU pro každý jednotlivý požární úsek za účelem zmapování vlivů požáru uvnitř požárního úseku a na související IU a způsoby poruch zařízení. To umožní napočíst CCDP pro všechny požární úseky, z nichž je možno dále spočíst celkový příspěvek požárů k CDF za pomoci vzorce uvedeného v odst. 3.224.

*Analýza lidského faktoru*

- (3.258) Při stanovování příspěvku požáru k CDF nebo při výpočtu CCDP by měly být zrevidovány pravděpodobnosti lidských selhání věrohodné pro PSA 1. úrovně pro interní IU, s uvážením odchylek od EOP a specifických procedur pro zmírnění následků požárů. Jakákoli odchylka od předpokladů použitých při analýze lidského faktoru v PSA 1. úrovně pro interní IU by měla být zdůvodněna a zdokumentována.
- (3.259) Při aplikaci přístupu k analýze lidského faktoru, který je shrnut v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu, by měly být analyzovány faktory přímo ovlivňující kvalitu práce obsluhy (performance shaping factors), přičemž by se měly brát v úvahu specifické vlivy požárů, jako např. dodatečný stres, potenciální existence vzájemně si odporujících signálů, kouř, výpadek osvětlení a obtíže při vstupu do oblasti zasažené požárem nebo při průchodu skrz takovou oblast.
- (3.260) Měla by být prověřena proveditelnost lidských akcí zaměřených na nápravu situace, které jsou brány jako důvěryhodné v PSA 1. úrovně pro interní IU. Například může být obtížné provést konkrétní nápravnou akci v místnosti, která je zasažena požárem. Měly by být rovněž prozkoumány možné sekundární vlivy požáru na kvalitu ovzduší na blokové dozorně a na pravděpodobnost vzniku lidských chyb.

*Kvantifikace příspěvku požárů k CDF pro účely vyřazování*

- (3.261) V rámci vyřazování událostí na základě kvantitativních kritérií by měl být hodnocen příspěvek požáru v každém požárním úseku k CDF, s ohledem na odpovídající frekvenci požárního scénáře, v souladu s obecnou formulí uvedenou v odst. 3.224.
- (3.262) Vyřazování dle kvantitativních kritérií by mělo být založeno na pesimisticky stanovené CCDP nebo na absolutním příspěvku požáru k CDF. Měla by být stanovena dvě kvantitativní kritéria pro vyloučení jednotlivých požárních úseků dle hodnoty jejich příspěvku k CDF:
- kumulativní příspěvek od všech vyřazených požárních úseků k CDF by se měl nacházet pod stanovenou hodnotou; tato hodnota by měla být stanovena buď jako specifická absolutní hodnota nebo pomocí relativního vyjádření (např. příspěvek interních IU k CDF).
  - kritérium pro vyřazení konkrétního požárního úseku by mělo být stanoveno na hodnotu dostatečně vysokou na to, aby umožňovala vyřadit některé méně významné scénáře, ale zároveň dostatečně nízkou na to, aby se neztratily rizikově významné požární scénáře.
- (3.263) Při vyřazování na základě hodnoty příspěvku požáru k CDF by se měla uvažovat rovněž frekvence poškození více úseků jedním požárem současně (jako součin frekvence vzniku požáru v jednom úseku a podmíněné pravděpodobnosti rozšíření požáru do dalších úseků).
- (3.264) Výsledkem vyřazovacího procesu (jak na základě ovlivnění zařízení, tak dle příspěvku k CDF) bude nakonec seznam požárních scénářů přiřazených k jednotlivým požárním úsekům, které mohou reprezentovat významné přispěvatele k riziku a které mají být dále podrobně analyzovány. Pro každý požární scénář uvedený na výše zmíněném seznamu by měl být vytvořen kvantitativní PSA model umožňující další analýzy.

## Podrobná analýza požárů

### *Analýza požárních scénářů*

- (3.265) Podrobná analýza požárů by měla usilovat o snížení úrovně konservativismu v požárních scénářích identifikovaných v rámci vyřazovacího procesu. Vliv požárních bariér uvnitř požárního úseku a dalších prostředků požární ochrany, umístění bezpečnostně významného a požárně významného zařízení v požárním úseku a ostatní aspekty jako rozvoj a šíření požáru by měly být brány v úvahu. Měly by být uvažovány a zhodnoceny všechny vlivy požáru, včetně plamenů, oblaků kouře, tryskání paliva, sálavého tepla z horkých plynů, vysokoenergetického spalování a dýmu. Obecně lze doporučit provedení obhlídky zařízení na místě, zaměřené na shromáždění podpůrných informací pro verifikaci podrobné analýzy prováděné v rámci požární PSA.
- (3.266) Měly by být použity realističtější modely pro hodnocení lidských zásahů, jejichž cílem je snížit pravděpodobnost poškození zařízení, rozvoj a šíření požáru, vlivy požáru na zařízení a kabely atd.
- (3.267) Měly by být zhodnoceny vlivy požáru a možného rozšíření kouře a toxických plynů na lidské akce. Je třeba poznamenat, že přetlak způsobený požárem může bránit otevření dveří, čímž zabrání přístupu do míst, odkud je možno zmírnit následky požáru.
- (3.268) Volba specifických nástrojů pro modelování a analýzy vývoje a šíření požárů (např. software pro simulace požárů) by měla být zdůvodněna a zdokumentována.
- (3.269) Požární scénáře by měly popisovat časově závislý průběh požáru, který vznikne ve vybraném požárním úseku, jakož i následná selhání komponent a kabelů. Požární scénář by měl být vyjádřen v PSA modelu pro interní požáry, například pomocí stromu událostí, který by popisoval šíření požáru, kde jsou modelovány všechny důležité prvky ovlivněné rozvojem požáru (projekt i kvalita požárních bariér, model vývoje a šíření požárů, kritéria pro rizikové poškození komponent včetně kabelů, prvky sloužící pro požární ochranu a potlačení požárů). Doporučení uvedená v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu by měla být aplikována i při rozvoji popisovaných stromů událostí pro šíření požárů.
- (3.270) Pro požární scénáře, které jsou analyzovány, by měla být zhodnocena spolehlivost lidských zásahů i spolehlivost komponent systémů sloužících k detekci a potlačení požárů na základě metodických doporučení uvedených v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu.
- (3.271) V požárních scénářích by měly být brány v úvahu cesty, které mohou být relevantní pro šíření požáru (např. ventilace, kabelové kanály, selhavší požární bariéry).
- (3.272) Pro požární úseky uvažované v podrobné požární analýze by měla být data frekvence výskytu požárního scénáře doplněna dalšími údaji specifickými pro daný požární úsek, jako je nestálé zápalné zdroje, hořlavost, možná přítomnost požárního zatížení atd.
- (3.273) Stanovená účinnost a doba odezvy automatických a manuálních možností detekce a potlačení požáru by měla být řádně doložena pro jednotlivé požární scénáře, současně se specifickou pravděpodobností nepotlačení požáru.

*Analýza požáru blokové dozorny*

(3.274) Model PSA 1. úrovně pro interní požár na blokové dozorně by měl brát v úvahu specifické prvky související s místem jeho vzniku, jako např. všeobecný vliv požáru blokové dozorny na všechny bezpečnostní systémy, potenciál pro falešná zapůsobení systémů a ovlivnění činností operátora. Poslední uvedené by mělo zahrnovat:

- a) vliv požáru a kouře na dostupnost instrumentace a souvisejícího zařízení
- b) schopnost důležitých prvků pro detekci požáru a jeho potlačení, včetně potenciálního nepříznivého vlivu zaplavení
- c) použití alternativního místa pro bezpečné odstavení beroucí v úvahu aspekty dostupnosti a další možná omezení
- d) vliv rozšíření kouře a toxických plynů.

(3.275) Dále by měla být brána v úvahu možnost rozšíření požáru uvnitř skříně, včetně přítomnosti fyzických bariér stejně jako prostorová separace redundantních komponent.

*Analýza požárů v místnostech obsahujících elektrická zařízení*

(3.276) Místnosti, v nichž se nachází elektrické zařízení, místnosti spínačů, místnosti, kde jsou nataženy kabely a ostatní místnosti obsahující řídicí systémy jsou náchylné k tomu, aby se staly přirozenými centry sblížení zařízení a elektroinstalace. Obsahují elektrická zařízení a kabely, které mohou příslušet k více než jedné linii bezpečnostního systému. Z tohoto důvodu je zde potenciální vliv požáru na redundantní zařízení potřebné pro bezpečné odstavení i na ostatní zařízení uvažované v PSA pravděpodobně větší, než vliv požáru na ostatní části JE, což by mělo být bráno v úvahu.

(3.277) Také zde existuje vyšší pravděpodobnost jednotlivých nebo násobných falešných zapůsobení elektrických komponent, protože mohou nastat v těchto místech elektrické zkraty způsobené požárem. V rámci analýzy falešných zapůsobení elektrických komponent by měla být identifikována jednotlivá selhání obvodů způsobená požárem a odhadnuty související podmíněné pravděpodobnosti.

*Analýza požárů rozšířených do více požárních úseků*

(3.278) Analýza požárů rozšířených do více požárních úseků se zaměřuje na identifikaci rizikově významných požárních scénářů, které mohou zasáhnout více než jeden požární úsek. Mělo by se předpokládat, že požár se může rozšířit z jednoho požárního úseku do dalšího přes společné bariéry nebo ventilačním potrubím, které je připojeno k požárnímu úseku. V porovnání s analýzou prováděnou v rámci vyřazovacího procesu by měla být podrobná analýza zmíněného fenoménu založena na modelu rozvoje požáru, analytickém modelu šíření požáru a modelu potlačování požáru.

(3.279) Stejně jako analogická analýza pro jeden požární úsek by i podrobná analýza požárů rozšířených do více požárních úseků měla uvažovat intenzitu šíření požáru, šíření produktů spalování a / nebo přenos tepla do sousedních (nebo propojených) požárních úseků.

### *Analýza kombinovaných hazardů*

- (3.280) Potenciál pro výskyt dalších následných interních hazardů, (např. záplavy způsobené zapracováním hasícího zařízení, které vypouští velké množství vody, výbuch nebezpečných látek způsobený požárem, požár způsobený explozí) by měl být rovněž zvážen v rámci požární PSA 1. úrovně.
- (3.281) pokud to není provedeno v rámci PSA pro externí hazardy (např. zemětřesení, blesky, externí požáry, pád letadla) zvláštní pozornost by měla být věnována v kvalitativních analýzách ostatním hazardům, které mohou být vyvolány interními požáry: požární úseky, kde by kombinovaný vliv požáru a dalšího hazardu mohl mít významný vliv na jadernou bezpečnost, zdroje požáru, jejichž zapálení může být způsobeno jinými hazardy, falešné zapracování nebo degradace systémů likvidace požárů, problémy při ručním potírání požáru, atd. (viz doporučení týkající se PSA pro externí hazardy uvedené v kapitole Specifika PSA 1. úrovně pro externí hazardy).
- (3.282) Minimálně by měly být brány v úvahu následující vlivy ostatních hazardů vyvolaných interními požáry na faktory přímo ovlivňující kvalitu práce obsluhy:
- a) dostupnost zařízení v místech, které může být zasaženo požárem
  - b) potenciální nárůst úrovně stresu
  - c) selhání indikací a falešné signály
  - d) ostatní vlivy požáru na chování operátora.

### Kvantifikace rizika způsobeného vnitřními požáry

- (3.283) Specifický PSA model vytvořený pro podrobnou analýzu požárů (např. model požáru blokové dozorny, modely pro ocenění vlivu falešného zapůsobení jedné nebo více komponent vyvolaného požárem atd.) by měl být zahrnut do kompletního modelu PSA 1. úrovně.
- (3.284) Finální kvantifikace příspěvku interních požárů k CDF by měla být provedena pro všechny požární úseky, které nebyly vyřazeny z dalších podrobných analýz v rámci vylučovacího procesu. Výsledky i model použitý pro kvantitativní vyřazení požárních úseků na základě frekvence vzniku příslušného požáru by měly být součástí PSA modelu pro požární IU. Výsledky PSA 1. úrovně pro požární IU by měly být interpretovány pomocí identifikace hlavních přispěvatelů k CDF (tj. požární úseky, požární scénáře, lidské zásahy). Předpoklady mající vztah k vyřazování jednotlivých požárů z podrobných analýz by měly být prověřeny v této závěrečné fázi analýzy, s cílem zvážit, zda přispěvatelé k CDF, kteří byli na jejich podkladě vyřazeni, nemají být opět připojeni do podrobného PSA modelu.
- (3.285) Kvantifikace PSA modelu pro interní požáry, analýza neurčitostí a citlivostní analýzy by měly být prováděny dle doporučení uvedených v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu. Měly by být provedeny analýzy neurčitostí s cílem identifikovat zdroje neurčitostí a ocenit je. Měly by být provedeny citlivostní studie a analýzy importančních měř s cílem identifikovat prvky PSA 1. úrovně pro interní požáry, které jsou významné z hlediska rizika. Citlivostní studie by měly být provedeny rovněž pro ocenění vlivu důležitých předpokladů. Měla by být stanovena relativní významnost různých přispěvatelů k napočteným výsledkům.

### Dokumentace PSA 1. úrovně pro vnitřní požáry

(3.286) PSA 1. úrovně pro interní požáry by měla být zdokumentována způsobem, který usnadní kontrolu, aplikace a aktualizace PSA studie. Konkrétně by dokumentace měla obsahovat následující informace:

- a) popis hlavních prvků požární ochrany specifických pro danou JE, včetně pasivních i aktivních zařízení
- b) rozdělení JE do požárních úseků
- c) popis specifických metod a dat použitých při hodnocení interních požárů
- d) specifické změny provedené v PSA modelu 1. úrovně pro interní IU zaměřené na zahrnutí vlivu interních požárů
- e) charakteristiku požárních úseků
- f) odůvodnění vyřazení jednotlivých požárních úseků z dalších analýz
- g) výsledky analýz jednotlivých požárních scénářů, tj. blokové dozorní, místností obsahujících elektrická zařízení, požárů rozšířených do více požárních úseků, kombinovaných hazardů atd.
- h) hlavní závěrečné výsledky PSA 1. úrovně pro interní požáry, tj. CDF jakož i vybrané dílčí výsledky, kvalitativní nálezy a doporučení
- i) zprávu o obhlídkách zařízení JE provedených na místě, jejichž smyslem bylo získat či verifikovat informace potřebné pro provedení požární PSA.

### **Analýza interních záplav**

#### Obecné aspekty

(3.287) PSA 1. úrovně pro interní záplavy je pravděpodobnostní analýza událostí souvisejících s úniky kapalin (nejčastěji vody), které mohou nastat uvnitř budov JE, a potenciálního vlivu takových úniků na jadernou bezpečnost. Proces rozvoje analýz tohoto typu obvykle probíhá postupem uvedeným v odst. 3.288 – 3.313.

#### Sběr dat a hodnocení potenciálu interních záplav

(3.288) Na provozovaných JE by měla být provedena obhlídka zařízení na místě specificky zaměřená na problematiku záplav, jejímž smyslem je verifikovat přesnost informací získaných z nákresů, schémat, předpisů a ostatních zdrojů informací, jakož i obdržet potřebné údaje o možnostech vzájemného ovlivňování v prostoru pro každý jednotlivý zdroj interní záplavy, kteréžto údaje jsou potřebné pro analýzy vlivů záplav na zařízení JE.

(3.289) Možné interní záplavy by měly být identifikovány a charakterizovány (viz [20]) již v rámci projektu JE. Při provádění tohoto kroku analýzy by mělo být zvaženo následující:

- a) možné zdroje záplav: potrubí, nádrže umístěné uvnitř budov, bazény, armatury, tepelné výměníky, napojení na venkovní zdroje vody (např. jezero, řeka), na systémy či konstrukce sdílené více bloky atd.
- b) možné mechanismy vzniku záplav: prasknutí, úniky, roztržení, falešné nebo vyžádané spuštění sprchovacího systému (např. sprchového systému kontejnmentu nebo

- hasícího zařízení) nebo lidské selhání za provozu nebo během činností souvisejících s údržbou zařízení (např. chybná pozice či nechtěné otevření armatury)
- c) Charakteristiky záplav: kapacita (v závislosti na tom, zda zdrojem záplavy je uzavřený nebo otevřený systém), průtok, teplota a tlak, možnost produkce páry
  - d) alarmy související se záplavou, systém detekce úniků, kapacita drenáží a ochrana komponent před zaplavením (jako např. signál na odstavení zařízení z provozu)
  - e) kritická výška zaplavení komponent relevantní pro PSA a rozměry místností v zatopených částech JE.
- (3.290) Při identifikaci potenciálních záplav by měla být věnována zvláštní pozornost podmínkám odstávky, jelikož v této době jsou často ručně přestavovány trasy systémů.
- (3.291) Měly by být zjištěny lokality v JE, které mohou být zasaženy interními záplavami, jakož i cesty možného dalšího šíření vody. Při tom by měla být věnována pozornost aspektům, které by signalizovaly možnost ovlivnění více bloků současně, a rovněž by měla být brána na zřetel potenciální možnost selhání bariér v důsledku nahromadění většího množství vody.
- (3.292) JE by měla být rozdělena na fyzicky oddělené lokality, přičemž každá z těchto lokalit by měla být úplně nezávislá na ostatních z hlediska potenciálního vlivu záplavy na zařízení i z hlediska jejího dalšího šíření.
- (3.293) Frekvence vzniku interních záplav by měla být vyčíslena ve smyslu doporučení, která jsou uvedena v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu. V maximální možné míře by měla být využívána data specifická pro danou JE, pokud budou k dispozici. Pokud nebudou existovat zdroje specifických dat, je možno využít data generická nebo dostatečně zdůvodněný expertní odhad.
- (3.294) Hlavními vstupními informacemi při stanovení frekvence vzniku záplavy jsou četnosti selhání potrubí a frekvence jeho prasknutí společně s příslušnými neurčitostmi. Měla by být vybrána data potrubních systémů, která reprezentují závažné zdroje interních záplav. Dále by měly být vyčísleny frekvence a závažnost záplav způsobených lidským faktorem, které by zohledňovaly procedury a provozní zkušenost specifickou pro danou JE.

#### Identifikace scénářů záplav

- (3.295) Pro každou interní záplavu by měly být identifikovány konstrukce, systémy a komponenty, které by mohly být touto záplavou zasaženy. V závislosti na rozsahu analýzy by mohly být relevantní následující možnosti ovlivnění zařízení záplavou:
- zatopení, teplota, tlak, sprchování, pára, švih potrubí nebo tryskající médium jako následek roztržení vysokoenergetického potrubí nebo spojů armatur. Mělo by být zajištěno, že analýza bude v maximální možné míře kompletní.
- (3.296) Při uvažování komponent zasažených interní záplavou by se mělo brát v úvahu výškové umístění zařízení, bariéry, dveře a drenáže. Měla by být rovněž uvažována potenciální možnost ucpání drenáží.
- (3.297) Rovněž by měla být zhodnocena možnost rozšíření záplavy z jedné lokality do jiné, včetně uvažování selhání bariéry.
- (3.298) Měly by být brány v úvahu všechny možné cesty, jimiž by se mohla záplava rozšířit, například drenáže zařízení a možnost, že normálně uzavřené dveře nebo poklapy budou



zanechány otevřené.

(3.299) Měla by být identifikována poloha skříní a rozvaděčů bezpečnostně významných komponent včetně výškové kóty, jakož i dalších citlivých zařízení. Tímto způsobem může být zjištěna zranitelnost komponent v souvislosti se zaplavením konkrétní místnosti.

(3.300) Měl by být posouzen potenciální vliv zaplavení na provoz JE. Analýza tohoto aspektu by měla obsahovat falešné signály na start či změnu polohy komponent nebo systémů v důsledku záplavy, které mohou iniciovat jednotlivé havarijní sekvence.

#### Vyřazování scénářů záplav dle ovlivnění zařízení

(3.301) Mělo by být provedeno vyřazování scénářů záplav podle jejich vlivu na zařízení. Kritické scénáře záplav je možno vybrat na základě posouzení toho, jak potenciální záplavy jednotlivých částí JE ovlivní jadernou bezpečnost (a ty, které jí ovlivní zanedbatelně, vyloučit). Na podkladě následujících kvalitativních kritérií je možno vyloučit části JE z dalších analýz:

a) platí obě následující podmínky:

i) část JE neobsahuje žádné zařízení, jehož selhání může vyvolat IU

A současně

ii) žádné systémy potřebné pro bezpečné odstavení bloku ani jejich podpůrné systémy nejsou umístěny v místech vzniku záplavy ani v místech, kam se záplava může rozšířit

NEBO

b) část JE neobsahuje žádné potenciální zdroje záplav, které by postačovaly pro vyřazení bezpečnostně významného zařízení ani se do nich nemůže rozšířit záplava z jiné části JE, která by takové zařízení mohla vyřadit.

#### Vyřazování událostí dle velikosti příspěvku k CDF

##### *Integrace interních záplav do PSA modelu pro interní IU*

(3.302) Některé interní záplavy je možno dále vyřadit z dalších analýz na podkladě velikosti jejich příspěvku k CDF. Z toho důvodu by měl být upraven model PSA 1. úrovně pro interní IU, aby obsáhl fenomény související s interními záplavami (jak modely systémů, tak lidské zásahy).

(3.303) Mělo by být provedeno kompletní prověření analýzy lidského faktoru v PSA 1. úrovně pro interní IU. Pokud bude uplatněn přístup k analýze lidského faktoru obsažený v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu, měly by být analyzovány faktory přímo ovlivňující kvalitu práce obsluhy se zřetelem k specifikům záplav. Mělo by být provedeno přehodnocení a upravení pravděpodobností lidských selhání beroucích v úvahu specifické postupy pro zmírnění záplav. Minimálně by se měly zvážit následující vlivy záplav na faktory přímo ovlivňující kvalitu práce obsluhy operátora:

- a) dostupnost zařízení v místech, které může být zaplaveno a / nebo vliv nepříznivých podmínek prostředí vzniklých v důsledku záplavy nebo výskyt páry či sprchování
- b) potenciální nárůst úrovně stresu
- c) selhání indikací a falešné signály
- d) ostatní vlivy na chování operátora.

### *Kvantifikace příspěvku záplav k CDF pro účely vyřazování*

- (3.304) Při kvantitativním vylučování scénářů záplav by měl být uplatněn konzervativní přístup, který předpokládá, že všechny komponenty v oblasti zasažené záplavou budou vyřazeny. Pokud po uplatnění tohoto předpokladu nedojde k významnému nárůstu CDF (napočteného např. dle vzorce uvedeného v odst. 3.224), může být daná interní záplava vyloučena z dalších analýz.
- (3.305) Měla by být stanovena kvantitativní kritéria pro vyloučení interních záplav dle hodnoty jejich příspěvku k CDF. Příkladem takových kritérií může být:
- kumulativní příspěvek od všech vyřazených scénářů interních záplav k CDF by se měl nacházet pod stanovenou hodnotou
  - kritérium pro vyřazení konkrétního scénáře interní záplavy by mělo být stanoveno na hodnotu dostatečně vysokou na to, aby umožňovala vyřadit některé méně významné scénáře, ale zároveň dostatečně nízkou na to, aby se neztratily rizikově významné scénáře.

### Podrobná analýza záplav

#### *Analýzy scénářů záplav*

- (3.306) Kvantitativní podrobná analýza interních záplav by měla obsahovat následující prvky:
- časové výpočty (rychlost změny úrovně hladin) pro nápravné akce
  - analýzu lidského faktoru pro další lidské zásahy potřebné pro zmírnění havarijních sekvencí záplav
  - rozvoj stromů událostí a stromů poruch pro jednotlivé havarijní scénáře (na základě PSA 1. úrovně pro interní IU nebo konstrukce úplně nových modelů, bude-li potřeba)
  - kvantifikace odpovídajících stromů událostí a stromů poruch pro zařízení, které selže v důsledku záplavy a analýza výsledků, včetně citlivostních studií a analýz neurčitosti.
- (3.307) Všechny potenciálně přispívající IU by měly být analyzovány z hlediska prostředků detekce a jejich ovládání. Prostředky detekce a jejich ovládání by pak měly být uvažovány při stanovování pravděpodobností událostí typu „nebude detekováno“ a „nebude provedena izolace“.
- (3.308) Scénáře záplav by měly popisovat časově závislý průběh záplavy mající původ v určité části JE a následná selhání komponent. Scénáře záplav mohou být reprezentovány pomocí stromů událostí pro záplavy, v němž jsou modelovány všechny důležité prvky ovlivňující rozvoj záplavy (protizáplavové bariéry, detekce a izolace zdrojů záplav) a pravděpodobnosti selhání komponent. Obecně lze též doporučit provedení obhlídky zařízení JE zaměřené na uvedenou problematiku, jejímž účelem je shromáždit informace sloužící verifikaci podrobné analýzy záplav.
- (3.309) Další lidské akce, které mohou být potřebné pro zmírnění rozvoje záplav, by měly být identifikovány a oceněny s ohledem na pravděpodobnost jejich úspěchu či selhání při detekci a potlačování záplav. To například zahrnuje izolaci a následné obnovení dodávky elektrického proudu. Při analýze lidského činitele by se měla brát v úvahu možnost ztráty systémů kontroly a řízení, jakož i falešné signály, které mohou vzniknout v důsledku záplavy.

### *Analýzy kombinací hazardů*

- (3.310) Záplavy a poškození konstrukcí, systémů a komponent následkem roztržení vysokoenergetického potrubí by měly být rovněž analyzovány v rámci PSA pro interní záplavy, pokud to již nebylo provedeno v rámci PSA pro interní IU.
- (3.311) Zaplavení způsobené zapracováním systému hašení požárů, který vypouští velké množství vody, by mělo být vyřešeno v rámci požární PSA 1. úrovně (viz odst. 3.280, 3.281).

### Kvantifikace rizika způsobeného vnitřními záplavami

- (3.312) Výsledky a model použitý pro kvantitativní posouzení a vyřazení scénářů záplav na základě nízkých hodnot frekvence jejich vzniku, jakož i modely vytvořené pro provedení podrobných analýz uvažovaných interních záplav by měly být zahrnuty do celkového PSA modelu. Pak by měla být provedena finální kvantifikace příspěvků interních záplav k CDF, včetně identifikace hlavních přispěvatelů (např. zdrojů záplav, havarijních scénářů) a prověření předpokladů týkajících se výběru, neurčitostí a citlivostních analýz. Obecně by se mělo postupovat podle doporučení uvedených v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu.

### Dokumentace PSA 1. úrovně pro interní záplavy

- (3.313) PSA 1. úrovně pro interní záplavy by mělo být zdokumentováno způsobem, který usnadní kontrolu, aplikace a aktualizace PSA studie. Konkrétně by dokumentace měla obsahovat následující informace:
- popis specifických metod a dat použitých při hodnocení interních záplav
  - specifické změny provedené v PSA modelu 1. úrovně pro interní IU zaměřené na zahrnutí vlivu interních záplav
  - zdůvodnění oprávněnosti vyřazení konkrétních scénářů záplav z dalších analýz
  - výsledky podrobné analýzy havarijních scénářů záplav, včetně popisu scénářů a podstatných předpokladů uplatněných v analýze
  - hlavní závěrečné výsledky PSA 1. úrovně pro interní záplavy, tj. CDF, kvalitativní nálezy a doporučení
  - zprávu o obhlídkách zařízení JE provedených na místě.

### **Ostatní interní hazardy**

#### Analýza pádů břemen

- (3.314) PSA se normálně soustředí na selhání chlazení jaderného paliva v AZ, případně v bazénu skladování. Ovšem k poškození paliva může dojít i jiným mechanismem, například v důsledku pádu těžkého břemene do reaktoru, do bazénu skladování, případně na zařízení systémů, které zajišťují kritické bezpečnostní funkce. Potenciální možnost pádu těžkého břemene (např. blok ochranných trub, víko reaktoru, koš AZ, stínící válec, kontejner na uskladnění vyhořelého paliva, betonové stínící bloky apod.) by měla být analyzována

s ohledem na jeho potenciál poškodit konstrukce, systémy či komponenty požadované pro zajištění kritických bezpečnostních funkcí nebo s ohledem na jeho potenciál přímo mechanicky poškodit palivové komplety.

- (3.315) Jestliže trasa, po které se provádí transport konkrétního těžkého břemene, není vedena nad palivem ani nad kritickým zařízením, je možno daný konkrétní havarijný scénář vyloučit.
- (3.316) Pravděpodobnostní analýza by měla brát v úvahu kromě reaktorového sálu rovněž další místa na JE, kde se manipuluje s těžkými břemeny. Například na některých JE je otevřený prostor na strojovně, kde je umístěn systém dohlazování bloku, který může být ohrožen pádem transportovaného břemene.
- (3.317) Měl by být vyčíslen příspěvek pádu těžkých břemen k celkové CDF, kromě případů, kdy je možno danou událost vyloučit na podkladě pravděpodobnostní analýzy.
- (3.318) Model PSA 1. úrovně pro pády těžkých břemen by měl být konzistentní s modelem vytvořeným pro interní IU, které mohou vzniknout během nízkovýkonových stavů a odstávek.
- (3.319) Měla by být uvažována veškerá zvedací zařízení na JE. Měla by být identifikována a podrobně prozkoumána všechna místa, kde by mohlo padající břemeno nepříznivě zasáhnout bezpečnostně významné komponenty. Z uvedeného důvodu by měla být provedena obhlídka zařízení na místě.
- (3.320) Veškeré operace s břemeny by měly být identifikovány a analyzovány na základě procedur používaných při odstávce bloku.
- (3.321) Frekvence IU by měly být stanoveny v souladu s doporučeními uvedenými v kapitolách PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu a PSA 1. úrovně pro nízkovýkonové stavy a odstávky. Výpočty by měly zahrnout selhání mechanických zařízení, lidské chyby a možná selhání automatických ochranných funkcí. Pokud tak nebude provedeno v rámci analýzy externích hazardů, měly by být rovněž zohledněny při stanovování frekvence IU fenomény jako zemětřesení nebo pád letadla.
- (3.322) Pro každou událost spojenou s pádem těžkého břemene by měl být přijat konzervativní předpoklad, že spadne maximální možný náklad, nebo by měl být analyzován charakter padajícího objektu a příčiny jeho pádu, pokud se to ukazuje jako potřebné. Možný směr, rozměr, tvar a energie padajícího předmětu nebo střel vygenerovaných padajícím břemenem by měly být charakterizovány a měly by být posouzeny vlivy na budovy a na zařízení JE.
- (3.323) Pokud se předpokládá, že bude provedeno PSA 2. úrovně, měly by být pro každý konkrétní případ pádu břemene stanoveny potenciální radiologické důsledky a příspěvek k frekvenci příslušného PDS.

#### Analýza vystřelení částí turbíny

- (3.324) Příspěvek rozpadu turbíny (např. selhání rotoru turbíny) k CDF by měl být stanoven, kromě případů, kdy je možno danou událost vyloučit na podkladě pravděpodobnostní analýzy. V kontextu analýzy vystřelení částí turbíny by měl být rovněž uvažován vliv požáru v důsledku vzplanutí vodíku nebo spalování oleje na komponenty relevantní z hlediska PSA.
- (3.325) Analýza rozpadu turbíny by měla zahrnovat jak normální provozní rychlosti, tak rychlosti vyšší.

- (3.326) Mělo by být stanoveno, kam mohou letět střely vzniklé rozpadem turbíny a vyhodnocena pravděpodobnost ovlivnění budov, v závislosti na orientaci a umístění turbíny.
- (3.327) Měla by být stanovena následná pravděpodobnost selhání bezpečnostně významného zařízení uvnitř budov, přičemž by se mělo brát v úvahu procento střel s dostatečnou kinetickou energií umožňující průnik pláštěm budov.
- (3.328) V první fázi by mělo být uvažováno pouze zařízení, které bylo zahrnuto v rozvoji havarijních sekvencí identifikovaných v PSA 1. úrovni.
- (3.329) Pravděpodobnosti selhání vyplývající z nárazu vystřeleného zařízení společně s náhodnými selháními bezpečnostně významného zařízení, které nebylo poškozeno rozpadem turbíny a frekvence výskytu rozpadu turbíny by měly být použity při výpočtu frekvencí selhání, které vedou na s touto událostí související stavy poškození AZ nebo na velké úniky radioaktivních látek.
- (3.330) Měla by být provedena obhlídka zařízení na místě pro ověření předpokladů použitých v analýze, které se týkají ochrany konstrukcí, budov a vybraného zařízení proti vystřeleným částem turbíny.

#### Analýza interních explozí

- (3.331) Obecný postup provádění PSA 1. úrovně pro interní hazardy lze uplatnit i v tomto případě, přičemž by mělo být zohledněno, že JE je projektována tak, aby byla pravděpodobnost vzniku interních explozí i jejich následky minimalizovány. Analýza vnitřních výbuchů, způsobených vnitřními požáry nebo naopak takové požáry vyvolávající, by měla být provedena v rámci PSA 1. úrovně pro interní požáry.
- (3.332) Projekt budov JE v podstatě obsahuje prevenci i zmírnění vlivu explozí (viz [19]). Pro tyto účely se používá systematická analýza explozí, jejímž smyslem je charakterizovat potenciální zdroje výbuchů (základní vlastnosti a množství výbušných látek, jejich umístění), potenciální vliv prudkého spalování nebo výbuchů na JE (přetlak, náraz nebo přemístění břemen, požár nebo rozžhavení) a prvky prevence. PSA 1. úrovně pro interní exploze by měla spoléhat hlavně na informace a data sesbíraná v průběhu zmíněných analýz, které umožňují kvalitativní výběr a vyřazení některých scénářů explozí.
- (3.333) Měla by být provedena obhlídka zařízení na místě, jejímž cílem by byla identifikace potenciálních zdrojů explozí a rovněž verifikace použitých předpokladů.
- (3.334) Pro zbývající scénáře popisovaného typu by měla být stanovena frekvence vzniku exploze za použití doporučení uvedených v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu. Při kvantifikaci by mělo být bráno v úvahu množství výbušných látek nacházejících se v areálu JE, lidské aktivity, které mohou způsobit výbuch a efektivita prostředků prevence (zařízení pro detekci vodíku, detektory úniku výbušných tekutých nebo plyných látek, ventilace, atd.).
- (3.335) Příspěvek vnitřních explozí k CDF by měl být stanoven, kromě případů, kdy je možno danou událost vyloučit na podkladě pravděpodobnostní analýzy.

## Specifika PSA 1. úrovně pro externí hazardy

### Úvod

(3.336) V této kapitole jsou uvedena vybraná doporučení pouze pro některé typy externích hazardů, které obvykle nelze v PSA studii zanedbat:

- a) zemětřesení (seismicita)
- b) extrémní větry
- c) vnější záplavy
- d) externí hazardy způsobené lidskou činností.

### Obecné aspekty hraničních analýz pro externí hazardy

(3.337) Nejprve by se měly provést hraniční analýzy s cílem redukovat seznam externích hazardů, pro něž bude dále prováděna podrobná analýza, která by se měla zaměřit především na nejvýznamnější havarijní scénáře. Hraniční analýzy by měly být provedeny takovým způsobem, aby z nich průkazně vyplývalo, že možné poškození AZ následkem specifického hazardu je zanedbatelné v porovnání s jinými zdroji hazardů.

(3.338) V rámci hraniční analýzy by měly být uvažovány všechny potenciální vlivy zahrnutých hazardů (tedy těch, pro něž je prováděna analýza) na danou JE.

(3.339) Kumulativní příspěvek externích hazardů vstupujících do hraniční analýzy by měl být vyčíslen a uveden v závěrečných výsledcích PSA 1. úrovně.

(3.340) Soubor scénářů pro specifický hazard by měl být vytvořen, pokud všechny vlivy hazardu na JE nemohou být pokryty jedním scénářem, což ovšem není typický případ.

(3.341) V rámci hraniční analýzy by měly být rovněž zváženy kombinace externích hazardů.

(3.342) Hraniční analýza by měla být založena na realistických nebo konzervativních modelech a datech. Takové modely a data zahrnují následující:

- a) hodnocení frekvence výskytu hazardu (např. odhad frekvence překročení určité intenzity)
- b) analýzy vlivu hazardu na JE (např. zátěž související s hazardem)
- c) analýzy odezvy JE (např. křehkost)
- d) model PSA 1. úrovně, data, atd. pro JE.

### Zemětřesení (seismicita)

(3.343) Jelikož zemětřesení představuje významného přispěvatele k riziku v mnoha PSA studiích, měla by se provést podrobná analýza tohoto fenoménu. Nejprve je ovšem třeba provést hraniční analýzy s cílem optimalizovat následnou podrobnou analýzu. Sekundární efekty způsobené zemětřesením, jako např. následné požáry a záplavy je v této analýze rovněž třeba zvážit. Podrobný návod pro provádění seismického hodnocení včetně zahrnutí jeho výsledků do PSA je uveden v lit. [22].

### Extrémní větry

- (3.344) Předmětem hraniční analýzy, případně i navazující detailní analýzy by měly být rovněž různé typy extrémních větrů, v závislosti na umístění dané JE, v našich podmínkách zejména extrémní vítr, bouřky a efekty související s tornády.
- (3.345) Kombinace extrémních větrů s dalšími hazardy by měly být rovněž uvažovány a pozornost věnována možným závislostem (např. extrémní vítr a vysoká úroveň vodní hladiny).

### Vnější záplavy

- (3.346) V rámci PSA 1. úrovně by měly být hodnoceny následující možnosti vzniku vnějších záplav:
- vysoká úroveň hladiny řek a jezer
  - větrné bouře
  - extremní srážky
  - zvlnění hladiny jezera vlivem rezonance dna a břehů
  - zaplavení v důsledku sesuvu půdy
  - zaplavení způsobené lidskými aktivitami (např. selhání přehradních hrází, protipovodňových či jiných typů hrází).
- (3.347) Při provádění analýzy by měla být zvážena kombinace vnějších záplav s jinými možnými hazardy, přičemž by měla být věnována pozornost možným závislostem (např. mezi vysokou úrovní hladiny a možným selháním přehradní hráze).
- (3.348) V rámci analýzy by mělo být rovněž provedeno zhodnocení následků prudkých dešťů a z nich vyplývajících možností náhlých záplav, jako je např. možné nahromadění vody na střechách budov a na nízkopoložených plochách JE.

### Ostatní externí hazardy způsobené přírodními podmínkami

- (3.349) V rámci hraniční analýzy by měl být sestaven kompletní seznam tohoto typu hazardů (tedy rovněž dalších kromě výše uváděných, které se mohou v dané lokalitě vyskytnout). K tomuto účelu může být využit jednak přehled hazardů analyzovaných v PpBZ, jednak seznam uvedený v kapitole Obecné metodické aspekty PSA 1. úrovně pro interní a externí hazardy. Při sestavování tohoto seznamu je třeba věnovat pozornost zejména specifikům dané lokality.
- (3.350) Rovněž by měla být zvážena možnost výskytu kombinací hazardů způsobených přírodními podmínkami, přičemž by měla být věnována pozornost možným závislostem (např. mezi nepříznivým počasím a extrémními větry).

### Externí hazardy způsobené lidskou činností

(3.351) V rámci PSA 1. úrovně by měly být zváženy minimálně následující možné zdroje tohoto typu hazardů:

- a) rozšíření požáru ze sousedních podniků či provozů
- b) exploze pevných látek nebo oblaku plynu ze sousedních provozů nebo v důsledku dopravní havárie či havárie transportního potrubí
- c) úniky chemických látek z okolních provozů nebo v důsledku dopravní havárie či havárie transportního potrubí
- d) pád letadla
- e) srážka lodi se zařízením sloužícím pro přívod vody do JE

(3.352) Rovněž následující zdroje mohou být uvažovány jako hazardy zmíněného typu:

- a) vystřelené části zařízení z jiných provozů umístěných v areálu JE
- b) výkopové (důlní) práce vně i uvnitř areálu JE
- c) elektromagnetická interference (např. magnetická či elektrická pole vytvořená radarem, rádiem nebo mobilními telefony).

### **Parametrizace externích hazardů**

#### Obecné aspekty

(3.353) Měly by být definovány nejdůležitější parametry související s potenciálem poškození následkem externích hazardů. Není-li možno charakterizovat potenciál poškození jedním parametrem, je třeba udávat více parametrů.

#### Zemětřesení (seismicita)

(3.354) Zemětřesení je charakterizováno následujícími parametry:

- a) intenzita, která představuje indikátor pro stanovení následků a poškození
- b) pohyby půdy, tj. zrychlení, rychlost (šíření otřesů), posuv
- c) frekvenční rozsah, který je obvykle reprezentován spektrem odezvy
- d) úplnou historií seismické události vyjádřenou v parametrech zrychlení, rychlost (šíření otřesů), posuv atd.

(3.355) I když je pro zjednodušení udán pouze jeden parametr charakterizující zemětřesení (např. špičkové zrychlení povrchu půdy), tak by při hodnocení vlivu zemětřesení měly být zváženy rovněž ostatní níže uvedené parametry:

- a) rozsah frekvence je potřebný pro zahrnutí vibrací relé a pro stanovení odezvy a porušitelnosti konstrukcí a komponent, jakož i stresových faktorů pro lidská selhání
- b) znalost místní geologie představuje důležitý faktor, který by měl být brán v úvahu ve vztahu k sekundárním efektům, jako je zkapalňování zeminy, pokles terénu, nestability svahů, propady půdy, zlomy povrchu nebo jeho rozpraskání.

(3.356) Spektrální zrychlení nebo střední spektrální zrychlení přes vybrané pásmo frekvencí by mělo být užito, pokud budou k dispozici data o něž se lze opřít při jeho odhadu.



(3.357) Vibrační pohyby půdy způsobené jakýmkoli z hlediska lokality významným zemětřesením by neměly být vyloučeny z úvah, jelikož seismické vlny mohou zasáhnout jakýkoli bod na povrchu Země.

(3.358) Pohyby Země vyvolané zemětřesením by neměly být z analýz PSA vyloučeny.

#### Extrémní větry

(3.359) Různé parametry by měly být uvažovány v závislosti na typu větru:

- a) dynamické zatížení způsobené poryvy větru a zatížení větrem zprůměrnované přes časový úsek (např. 10 minut) představuje nejdůležitější parametry charakterizující tradiční typy větrů (nikoli tornáda atd.).
- b) rotační rychlost, tlakový rozdíl a oblast, kudy vede trasa tornád a potenciál působení (tj. velikost a rychlost) předmětů vržených tornádem představují hlavní parametry pro charakterizování tornád atd.

#### Vnější záplavy

(3.360) Potenciál poškození vlivem externích záplav může být charakterizován výtokem, rychlostí, úrovní vodní hladiny, trváním a působením vln. Některé, případně všechny tyto parametry by měly být stanoveny při charakterizování externích záplav. Obvykle se využívají následující parametry:

- a) řeka: úroveň vodní hladiny, výtok / rychlost a trvání záplavy
- b) jezero: úroveň vodní hladiny, trvání záplavy a rychlost
- c) Vlny: výška, délka, perioda, rychlost a směr větru
- d) náhlé zvýšení vln: výška, množství vody přelévající se přes hráz v rámci jedné vlny a jejich počet za sekundu
- e) zvlnění hladin vlivem rezonance dna a břehů: frekvence oscilací a výška vln
- f) led: tloušťka a rychlost stékání.

(3.361) Rychlost, směr a trvání větru, který se může vyskytnout současně se záplavami, by měly být brány rovněž v úvahu jako potenciálně kombinovaný hazard.

#### Ostatní externí hazardy způsobené přírodními podmínkami

(3.362) Na konkrétním místě se může vyskytnout široká škála hazardů způsobených přírodními podmínkami. Pro každý jednotlivý hazard by měly být stanoveny parametry, které vymezují všechny potenciální následky související s daným hazardem.

(3.363) Parametry pro každý jednotlivý hazard by měly být vybrány takovým způsobem, aby umožňovaly analýzy kombinovaných následků hazardů.

#### Externí hazardy způsobené lidskou činností

(3.364) Pro tento typ hazardů by měly být definovány parametry na podkladě jejich konkrétního potenciálu poškození, např.:

- a) Pro řadu hazardů vznikajících následkem dopravy představuje reálné nebezpečí výbuch nebo únik nebezpečných látek. Klíčové parametry by tedy měly být množství převáženého materiálu nebo maximální množství, které může uniknout v důsledku nehody.
  - b) Pro úniky z blízkých průmyslových provozů jsou vhodnými parametry charakter látky a maximální množství, které může uniknout.
  - c) Pro srážku by se klíčové parametry měly vztahovat k nárazu, tj. hmotnost a rychlost dopadajícího objektu (např. nákladní loď narážející do zařízení sloužícího k přívodu vody nebo letadlo narážející do konstrukce).
  - d) Pokud je externí hazard způsoben výbuchem nastávajícím po přímém nárazu (např. pád letadla), tak klíčové parametry by měly zahrnovat kombinace množství paliva v nádržích a hmotnost motorů, které mohou poškodit konstrukce.
  - e) Pro hazardy jako je havárie potrubí jsou vhodnými parametry množství látky, která by mohla uniknout a její základní vlastnosti a tlak.
- (3.365) Každý hazard vyvolaný lidskou činností může mít za následek kombinaci různých nežádoucích faktorů, jež by měly být uvažovány. Například pád letadla může způsobit přímé poškození, výbuch, požár a vibrace. Podobně havárie potrubí může způsobit výbuch doprovázený tlakovou vlnou (impulsivní zatížení vyplývající z prudkého spalování nebo detonace), požár a vibrace. Následkem toho mohou být rovněž vystřeleny části zařízení, které mohou zasáhnout různé části JE. Při charakterizování tohoto typu externích hazardů je třeba brát v úvahu jak primární, tak sekundární efekty. Bez ohledu na původ iniciátoru by měly být tyto efekty vyjádřeny pomocí následujících parametrů:
- a) nárazy
  - b) tepelné zatížení
  - c) zatížení vibracemi
  - d) šíření toxických plynů, atd.
- (3.366) Při explozích oblaků plynů je třeba brát v úvahu rovněž možnost jejich unášení větrem směrem k JE.
- (3.367) Kombinace hazardů vyvolaných lidskou činností s jinými jevy by rovněž měla být zvážena; pozornost by měla být věnována zejména možným závislostem (např. únik chemických látek rychlost větru a jeho směr).

### **Podrobná analýza externích hazardů**

- (3.368) Pro všechny hazardy, které nebudou vyloučeny v rámci vyřazovacího procesu a pro které z hraniční analýzy vyplývá, že je obtížné dospět k závěrům a doporučením nebo odhadnout významnost jejich příspěvku k riziku, by měla být provedena podrobná analýza.
- (3.369) Jestliže hraniční analýza nemůže poskytnout uspokojivé výsledky pro celý zkoumaný hazard, ale pouze pro hazardy určitého stupně, měl by být dotyčný hazard rozdělen na podkategorie a stanoveny odpovídající havarijní scénáře, pro něž by měla být provedena podrobná analýza. Vytvořený model PSA 1. úrovně pro interní IU je nezbytnou podmínkou pro provádění podrobných analýz externích hazardů.
- (3.370) Podrobná analýza by měla být založena na realistickém modelování i datech obsažených v komplexním PSA modelu, který umožňuje modelovat všechny fenomény související s uvažovaným externím hazardem.

(3.371) Při provádění podrobných analýz by měl být rovněž uvažován kombinovaný vliv externích hazardů v případech, že mají společný původ (např. extrémní vítr a blesky) nebo mezi nimi existují další závislosti (např. vysoká úroveň vodní hladiny v důsledku srážek a selhání přehradní hráze).

## **Stanovení frekvence vzniku externích hazardů**

### Obecné aspekty

(3.372) Před stanovením frekvence externích hazardů je třeba získat detailní relevantní informace z lokality, v níž je umístěna JE, týkající se vzájemného vztahu mezi odolností (reprezentováno některými parametry pro hazard) a frekvencí výskytu všech potenciálně možných externích hazardů („pravděpodobnostní křivka porušitelnosti“). Při stanovení frekvence by měly být využívány informační zdroje specifické pro danou JE a danou lokalitu.

(3.373) Externí hazardy jsou charakterizovány četnými parametry, některé z nich mají pravděpodobnostní charakter. Pro zjednodušení se obvykle pravděpodobnostní křivka porušitelnosti popisuje pomocí omezeného počtu parametrů (typický případ je jeden parametr). Ostatní parametry potřebné pro kompletní popis hazardu jsou obvykle uvažovány v rámci analýzy odezvy a hodnocení porušitelnosti.

(3.374) Analýza hazardů (stanovení frekvence překročení konkrétní intenzity) by měla být založena na pravděpodobnostním hodnocení specifickém pro danou lokalitu, které odráží současné dostupné údaje, informace specifické pro zkoumanou lokalitu, jakož i údaje o tom, jak je daná JE skutečně postavena a provozována, pokud jsou taková data k dispozici. Navíc by měla být při analýze využita data z historie nebo fenomenologické modely, případně oboje. Rovněž by měla být vždy použita aktuální data o výskytu hazardů a současné metodické přístupy, jsou-li k dispozici. Obvykle se vytváří množina pravděpodobnostních křivek porušitelnosti pro vyjádření neurčitostí při popisování hazardu.

(3.375) Měly by být provedeny analýzy časových trendů, aby bylo možno potvrdit, že neexistují trendy směřující k nárůstu frekvence vzniku hazardů. Krátkodobé trendy objevující se v době bezprostředně před prováděním analýzy, které ukazují snížení frekvencí vzniku hazardů, by neměly být obecně brány v potaz, ledaže by bylo naprosto zřejmé, že nemají náhodný charakter.

(3.376) Pokud jsou frekvence vzniku hazardů stanoveny na regionálním nebo generickém podkladě, měla by být provedena korelační analýza s cílem porozumět míře, v níž jsou použitá data ještě aplikovatelná na danou lokalitu a danou dobu. Neurčitosti související s použitím regionálních nebo generických dat by se měly odrážet v množině pravděpodobnostních křivek porušitelnosti, pokud byly vytvořeny.

(3.377) Pokud je pro odvození pravděpodobnostních křivek porušitelnosti použito expertní odvození nebo jiný expertní postup, měl by být pro tuto činnost vypracován předpis, podle kterého se bude postupovat. Předpis by měl zajistit, že bude existovat formální, vysoce strukturovaný a zdokumentovaný proces, který bude splňovat alespoň následující podmínky:

- a) jsou vybráni kvalifikovaní experti schopní hodnotit relativní věrohodnost mnoha alternativních hypotéz za účelem objasnění dostupných informací
- b) bude udržena nezávislost názoru expertů

- c) využití, odůvodnění a pozadí informací pro provedení expertního odhadu je zdokumentováno takovým způsobem, který umožňuje zpětnou vysledovatelnost a reprodukovatelnost
- d) jsou určeny neurčitosti a variability při expertních odhadech; jsou zhodnoceny vlivy nebo dopady těchto neurčitostí a variabilit
- e) závěry založené na výsledcích procesu mají důvěryhodný základ.

### Zemětřesení (seismicita)

- (3.378) Frekvence vzniku zemětřesení v dané lokalitě by měla být založena na pravděpodobnostní analýze zemětřesení specifické pro danou lokalitu.
- (3.379) Měla by být vypracována komplexní databáze aktuální k datu provádění analýzy, která by odrážela současný stav znalostí včetně:
- a) geologických, seismologických a geofyzikálních údajů
  - b) topografii místa
  - c) geotechnické a geofyzikální vlastnosti lokality.
- (3.380) Součástí sběru dat by měl být rovněž přehled historicky doložených, geologicky zjištěných a / nebo přístroji zaznamenaných zemětřesení.
- (3.381) Všechny důvěryhodné zdroje potenciálně nebezpečných zemětřesení by měly být brány v úvahu. Zdroje zemětřesení by měly být charakterizovány umístěním a geometrií, maximální velikostí zemětřesení (maximálním magnitudem) a frekvencí opětovného výskytu. Náhodné (statistické) a epistemické neurčitosti by měly být rovněž obsaženy v charakteristice daného zdroje.
- (3.382) Proces využívání expertního odhadu při charakterizování zdroje zemětřesení by měl být ve shodě s doporučeními uvedenými v odstavci 3.377.
- (3.383) Rozsah parametrů použitých při charakteristice zemětřesení by měl být dostatečně rozsáhlý a podrobný, aby umožňoval provedení správného odhadu seismického rizika a měl by být konzistentní s fyzikálními daty a s jejich interpretací.
- (3.384) Pro spodní hraniční hodnotu konkrétního parametru užitou při analýze by mělo být prokázáno, že zemětřesení s jakoukoli nižší hodnotou daného parametru nezpůsobí žádné poškození konstrukcí a komponent, a to včetně těch, které se nacházejí mimo lokalitu JE, jako jsou rozvody el. proudu a potrubní sítě, jimiž se přepravují nebezpečné látky.
- (3.385) Při odhadu frekvence výskytu zemětřesení by mělo být zajištěno, že velikost uvažované oblasti a záběr zkoumání je adekvátní pro charakteristiku všech důvěryhodných zdrojů zemětřesení, které mohou přispět k stanovení frekvence výskytu pro konkrétní parametr.

### Extrémní větry

- (3.386) Model použitý pro výpočet frekvencí a intenzit extrémních větrů by měl být založen na specifických datech, která odrážejí současné informace specifické pro danou lokalitu a region. Analýza by měla zahrnovat jako minimum ty nejhorší povětrnostní podmínky, se kterými se lze v dané lokalitě setkat. Současné krátkodobé trendy, které by vykazovaly snižování frekvence výskytu extrémních větrů, by neměly dominovat při hodnocení frekvence

hazardu daného typu.

(3.387) Při výpočtu frekvencí výskytu a intenzity tornád by měla být aplikována nejvyspělejší metodika a aktuální údaje o výskytu, intenzitách atd. tohoto atmosférického jevu. Tyto výpočty by měly obsahovat následující prvky:

- a) různé intenzity tornád s frekvencí jejich výskytu
- b) korelace šířky území, které bylo poškozeno působením tornáda, s jeho délkou
- c) korelace oblasti postižené tornádem s jeho intenzitou
- d) variace v intenzitě tornáda podél trasy, kudy procházelo
- e) variace v intenzitě tornáda napříč trasou, kudy procházelo (tj. v šířce zasaženého území)
- f) variace v rozdílu tlaků tornáda napříč trasou, kudy procházelo (tj. v šířce zasaženého území).

### Vnější záplavy

(3.388) Výpočty frekvencí a následků externích záplav, které se mohou vyskytnout v dané lokalitě, by měly být založeny na pravděpodobnostní analýze, která bude odrážet aktuální informace specifické pro danou lokalitu, jež budou k dispozici. Jestliže budou k dispozici specifická data pouze za krátké časové období, měla by být použita data o záplavách ze širšího regionu, přičemž by měla být prokázána aplikovatelnost takových údajů (tj. může být provedena korelační analýza za účelem potvrzení aplikovatelnosti zmíněného typu dat pro danou lokalitu).

(3.389) Neurčitosti v modelech a hodnotách parametrů by měly být patřičně zváženy aby bylo možno získat soubor pravděpodobnostních křivek porušitelnosti, z něhož může být odvozena střední hodnota (mean) pro tento soubor křivek.

(3.390) Analýza frekvencí a následků extrémní záplavy způsobené říčními vodami by měla zahrnovat záplavy následkem selhání jedné nebo více (kaskády) přehradních hrází.

(3.391) Výpočty frekvencí a následků externích záplav způsobených jezerními vodami, které se mohou vyskytnout v dané lokalitě, by měly být založeny na pravděpodobnostní analýze, která bude odrážet aktuální informace specifické pro danou lokalitu, jež budou k dispozici. Vliv větrem vyvolaných vln by měl být rovněž brán v úvahu, včetně možného přemístění většího množství vody při tornádu.

### Ostatní externí hazardy způsobené přírodními podmínkami

(3.392) Komplexní databáze by měla být vytvořena a využívána k podpoře stanovení frekvencí libovolného hazardu způsobeného přírodními podmínkami. Databáze by měla obsahovat všechny relevantní informace potřebné pro realistické a zdůvodněné stanovení pravděpodobnostních křivek porušitelnosti. Konkrétně by měly být v databázi obsaženy dostupné historické informace o výskytu hazardů v blízkém okolí dané lokality a v okolním regionu.

(3.393) Frekvence konkrétního hazardu způsobeného přírodními podmínkami by měla být stanovena pomocí jak dat specifických pro danou lokalitu, tak údajů pro širší region. Při aplikaci regionálních dat by se měla uplatnit korelační analýza jako podpůrný prostředek.

(3.394) V konkrétních případech, kdy nejsou k dispozici ani data specifická pro danou lokalitu ani data z okolního regionu, je možno využít generická data. V takovém případě by jejich aplikovatelnost na analyzovanou lokalitu měla být podrobně prošetřena a všechny předpoklady použité v rámci analýzy by měly být podrobně zdokumentovány.

### Externí hazardy způsobené lidskou činností

(3.395) Při stanovení frekvence konkrétních hazardů vyvolaných lidskou činností by měly být shromážděny a použity přiměřené informace (opět je vhodné tato data evidovat ve formě databázového souboru). Dané informace by měly obsahovat minimálně následující údaje potřebné pro realistické a odůvodněné stanovení frekvencí vzniku tohoto typu hazardů:

a) kvalitativní a kvantitativní informace týkající se skladby výbušných, nebezpečných nebo toxických látek uskladněných v areálu JE i mimo něj v rámci předem stanoveného poloměru působnosti v dosahu zařízení JE:

i) potenciální zdroje hazardů (v rámci předem stanoveného poloměru působnosti v dosahu zařízení JE):

• vně areálu JE:

- skladiště olejů
- ropovody, plynovody
- automobilová doprava
- železniční doprava
- lodní doprava
- další možnosti.

• uvnitř areálu JE:

- sklady (kyseliny, hydrazin, atd.).

ii) vzdálenost potenciálních zdrojů hazardů od JE (v kilometrech):

- od konstrukcí
- od budov v nichž je umístěno bezpečnostně významné zařízení
- od sání ventilace.

b) umístění vojenských nebo výcvikových zařízení, z nichž může být ohrožena JE a popis frekvence provádění výcvikových aktivit.

c) potenciál pro vznik havárií a frekvenci jejich výskytu, jakož i potenciální následky (výtěžnost výbuchu).

### **Analýza porušitelnosti konstrukcí a komponent**

#### Obecné aspekty

(3.396) Porušitelnost konstrukcí a komponent by měla být oceněna na základě informací specifických pro danou JE, pokud budou k dispozici, a v rozsahu potřebném pro splnění cílů analýzy (hraniční analýzy nebo podrobné analýzy) a za využití akceptovatelných inženýrských metod. V těchto analýzách by měly být zohledněny nálezy z obhlídky zařízení provedené na JE.

(3.397) Analýza porušitelnosti by neměla být omezena pouze na konstrukce nacházející se v areálu JE, ale měla by zahrnovat i zařízení mimo JE, jako např. elektrická vedení, potrubní systémy, jimiž se přepravují nebezpečné látky apod., jelikož selhání těchto zařízení může

způsobit vznik IU, jako LOSP nebo výbuch doprovázený tlakovou vlnou. Taková selhání mohou spolu vzájemně souviset zejména v případech, kdy porušitelnosti jsou nízké.

(3.398) Analýza porušitelnosti by měla obsahovat rovněž neurčitosti základních informací, zejména v případech, kdy budou použita místo specifických dat z dané JE data generická.

### Zemětřesení (seismicita)

(3.399) Seznam konstrukcí a komponent pro analýzu porušitelnosti následkem zemětřesení by měl obsahovat všechny konstrukce a komponenty, které jsou modelovány v seismické PSA 1. úrovni. Základní soubor komponent by měl vycházet ze seznamu komponent uvažovaných v PSA 1. úrovni. Tento soubor by měl být dále doplněn o další zařízení, které by v případě svého selhání mohlo přispívat k CDF nebo k LERF.

(3.400) Všechny realistické způsoby poruch konstrukcí a komponent, které by narušovaly provozuschopnost zařízení během zemětřesení a po něm, by měly být identifikovány během prozkoumávání projektové dokumentace a při obhlídkách zařízení na místě.

(3.401) Porušitelnost by měla být oceněna pro všechny relevantní způsoby poruch konstrukcí (např. sesouvání, převrnutí, povolání pod tlakem, nadměrné posuny), zařízení (např. selhání ukotvení, náraz sousedních zařízení či konstrukcí, selhání vzpěr, funkční selhání) a zemského povrchu (např. zkapalňování, nestabilita svahu, nerovnoměrné sedání půdy doprovázené vznikem trhlin, které byly shledány jako kritické).

(3.402) Analýza porušitelnosti by měla být podpořena obhlídkou zařízení na místě. Tato obhlídka by se měla soustředit na ukotvení, laterální seismické opory a potenciální interakce mezi konstrukcemi, systémy a komponentami. Zejména by měla být věnována pozornost možnosti, že zařízení, které není kvalifikováno na podmínky zemětřesení, může spadnout na zařízení, které na zmíněné podmínky kvalifikováno je.

(3.403) Rovněž by se v rámci obhlídky zařízení měla věnovat pozornost požárům a záplavám, které mohou vzniknout následkem zemětřesení.

(3.404) Výpočty parametrů souvisejících s porušitelností následkem zemětřesení (např. medián seismické kapacity konstrukcí a jeho variabilita) by měly být založeny na datech specifických pro danou JE, která budou doplněna o data z aktuálně se vyskytнувších zemětřesení, data z testů porušitelnosti a data z generických kvalifikačních testů.

(3.405) Pokud konstrukce a komponenty, které mají nízkou porušitelnost, jsou vyřazeny na podkladě generických dat, mělo by být ověřeno, že tato data byla použita konzervativním způsobem a že nebyly zanedbány žádné prvky, relevantní pro danou lokalitu a danou JE.

(3.406) Seismické odezvy konstrukcí a komponent a jejich stupeň selhání by měly být stanoveny na základě spektra odezvy zemětřesení specifického pro danou lokalitu založeného na parametrech pohybů zemské kůry (např. průměrného spektrálního zrychlení).

(3.407) Neurčitosti v iniciačním zrychlení zemského povrchu a vlastnostech konstrukcí a zemského povrchu by měly být brány v úvahu při vytváření spojitých pravděpodobnostních rozdělení pro odezvy konstrukcí a komponent umístěných v různých budovách.

(3.408) U všech konstrukcí a komponent, které se vyskytují v dominantních havarijních sekvencích, by mělo být zajištěno, že všechny související parametry porušitelnosti specifické pro danou lokalitu jsou odvozeny na základě informací specifických pro danou JE. To je

nezbytné pro vyvarování se zkreslení příspěvku zemětřesení k výsledkům PSA 1. úrovně a nálezů z něj vyplývajícím.

### Extrémní větry

(3.409) Při hodnocení vlivu extrémních větrů by měly být věnována pozornost specifickým vlastnostem vnějších bariér (tj. zdem a střechám), které ohraničují bezpečnostně významné konstrukce, dále všem konstrukcím, systémům a komponentám, které jsou vystaveny povětrnostním podmínkám a následkům poškození zařízení vlivem předmětů vymrštěných větrem, které mohou způsobit vznik IU. Mělo by být provedeno zmapování budov JE a jejich okolí s cílem stanovit počet a typy objektů, která by mohly být přemístěny extrémním větrem a které by se mohly za těchto podmínek stát střelou vrženou proti zařízení JE. Rovněž pravděpodobnosti zásahu takovým vymrštěným předmětem by měly být stanoveny na podkladě nejnovějších metodických postupů.

(3.410) Na základě hodnocení by měly být stanoveny specifické, realistické porušitelnosti extrémními větry pro danou JE pro takové konstrukce, systémy či komponenty nebo jejich kombinace, jejichž poškození může vyvolat IU.

(3.411) Při hodnocení porušitelnosti konstrukcí a komponent následkem působení extrémního větru by měla být použita data specifická pro danou JE. V rámci hodnocení by měly být uvažovány rovněž konstrukce, které sice nemají bezpečnostní význam, ale které by mohly svým pádem do nebo na bezpečnostně významná zařízení způsobit jejich poškození. Při takovém hodnocení by měly být využity nálezy z obhlídky zařízení JE, které představují významný zdroj informací týkajících se uvedené problematiky.

(3.412) Měla by být sestrojena množina křivek porušitelnosti odpovídající konkrétnímu způsobu poruchy každé konstrukce nebo komponenty a vyjádřena pomocí mediánu kapacity rychlosti větru a charakteristik neurčitostí (např. logaritmických standardních odchylek), reprezentujících náhodnost kapacity a neurčitost v mediánu kapacity konstrukcí nebo komponent.

### Vnější záplavy

(3.413) Analýza selhání přehradní nádrže by měla být provedena pro případ vysoké úrovně hladiny v dané řece a měla by být stanovena příslušná frekvence.

(3.414) Při hodnocení porušitelnosti konstrukcí a komponent následkem externích záplav by měla být použita data specifická pro danou JE. Při hodnocení by měly být uvažovány rovněž konstrukce, které sice nemají bezpečnostní význam, ale které mohou způsobit poškození bezpečnostně významných konstrukcí svým pádem do nich nebo na ně. Při takovém hodnocení by měly být využity nálezy z obhlídky zařízení JE, které představují významný zdroj informací týkajících se uvedené problematiky. Do úvah by měly být zahrnuty všechny konstrukce umístěné na nízkopoložených místech, zejména pak přírůdky do konečných tepelných jímek.

(3.415) Analýza porušitelnosti by měla zahrnovat potopení, dynamické zatížení konstrukcí a komponent vlivem vln a rovněž selhání základů (eroze půdy).



### Ostatní externí hazardy způsobené přírodními podmínkami

(3.416) Platí zde všechny obecné aspekty a doporučení pro analýzu porušitelnosti uvedené výše u ostatních typů externích hazardů (zemětřesení, extrémní vítr, vnější záplavy), pokud jsou pro tento typ hazardů aplikovatelné.

### Externí hazardy způsobené lidskou činností

(3.417) Platí zde všechny obecné aspekty a doporučení pro analýzu porušitelnosti uvedené výše u ostatních typů externích hazardů (zemětřesení, extrémní vítr, vnější záplavy), pokud jsou pro tento typ hazardů aplikovatelné.

## **Integrace externích hazardů do modelu PSA 1. úrovně**

### Obecné aspekty

(3.418) Prakticky ve všech případech se jako základ pro modelování externích hazardů využívá PSA model 1. úrovně pro interní IU. Zmíněný model by měl být upraven tak, aby bylo možno zahrnout odlišné aspekty vznikající vlivem externích hazardů. Významnější vliv hazardu, který by mohl vést na odlišné kategorie IU (např. velká či malá LOCA, transient) nebo který by vedl přímo na poškození AZ, by měl být posouzen při výběru příslušného stromu událostí z PSA modelu pro interní IU (např. při využití stromu událostí pro konkrétní hazard). V lit. [12], Appendix II je uveden příklad takového stromu událostí pro zemětřesení. Vhodné pravděpodobnostní křivky porušitelnosti pro důležité konstrukce, systémy a komponenty a rovněž jejich porušitelnost by měly být začleněny do PSA modelu pro externí hazardy. Všechny významné závislosti, korelace a neurčitosti související s konkrétním hazardem by měly být zohledněny v PSA modelu pro externí hazardy. Pravděpodobnosti nápravných akcí a lidských selhání, která se mohou vyskytnout po odstavení reaktoru, by měly být zrevidovány, aby bylo možno zhodnotit vliv externích hazardů na věrohodné nápravné akce a lidské akce uvažované v PSA modelu pro interní IU.

(3.419) Model PSA 1. úrovně pro externí hazardy by měl věrně odrážet reálný stav projektu i provozu analyzované JE.

### Zemětřesení (seismicita)

(3.420) Model PSA 1. úrovně pro interní IU by měl být upraven; měly by do něj být zahrnuty aspekty specifické pro zemětřesení, které jsou odlišné od odpovídajících aspektů modelu pro interní IU.

(3.421) Na některých JE jsou uvedeny požadavky na ruční odstavení v souboru opatření pro případ vzniku zemětřesení určité intenzity (např. 50% projektového zemětřesení). Model seismické PSA 1. úrovně by měl tento požadavek vyjadřovat, a to i pro případy, kdy turbína má vysokou seismickou kapacitu a kde se lze vyhnout automatickému odstavení reaktoru.

(3.422) V modelu seismické PSA 1. úrovně by měly být zahrnuty všechny důležité IU způsobené zemětřesením, které by mohly vést k poškození AZ. Konkrétně by měly být

modelovány IU vedoucí k následujícím typům scénářů:

- a) poruchy velkých zařízení (např. TNR, parogenerátory, kompenzátor objemu)
- b) LOCA různých rozsahů a z různých míst I.O.; rovněž by měly být zahrnuty velmi malé LOCA způsobené zemětřesením vzniklé na drobných potrubích (např. impulsní trubičky)
- c) LOSEP (rozpad rozvodné sítě)
- d) Transienty (s uvažováním selhání zregulování na vlastní spotřebu i bez tohoto selhání) včetně ztráty různých podpůrných systémů.

(3.423) Model PSA 1. úrovně pro interní IU by měl být doplněn o nové havarijní scénáře, které se v něm nevyskytují a jež jsou vyvolány zemětřesením. Model PSA 1. úrovně pro interní IU by měl být rozšířen v rámci zahrnování seismické IU rovněž z toho důvodu, aby bylo možno zahrnout specifické komponenty nebo dosud neuvažované způsoby selhání komponent, jako např. selhání pasivních komponent (konstrukcí, budov, distribučních systémů, kabelových lávek, vibrace relé atd.). Měly by být také uvažovány účinky na zařízení nacházející se uvnitř reaktoru, konkrétně uvíznutí (zadrhnutí) řídicí tyče následkem zemětřesení.

(3.424) Do modelu seismické PSA 1. úrovně by měly být zahrnuty všechny konstrukce, systémy a komponenty uvažované v PSA 1. úrovně pro interní IU, jakož i zařízení, jehož poškození následkem zemětřesení může nějak ovlivnit havarijní sekvence.

(3.425) Model seismické PSA 1. úrovně by měl obsahovat všechna selhání zařízení nezpůsobená zemětřesením, neprovozní schopnosti a lidské chyby, které mohou mít měřitelný vliv na CDF.

(3.426) Při modelování poškození konstrukcí, systémů a komponent následkem zemětřesení by měly být důkladně zváženy všechny závislé poruchy zařízení umístěného v budově, která bude zemětřesením poškozena. Případy, kdy budou závislosti tohoto typu vyloučeny z modelu nebo jestliže jejich význam bude v modelu snížen, by měly být podrobně zdůvodněny.

(3.427) Do modelu seismické PSA 1. úrovně by měly být přiměřeně začleněny hodnocení zemětřesení, porušitelnost v důsledku zemětřesení, závislosti mezi konstrukcemi, systémy a komponentami, selhání nezpůsobená zemětřesením, neprovozní schopnosti a lidské chyby.

(3.428) Důkladné prověření a s tím související změny modelu by měly být provedeny v souvislosti s nápravnými akcemi a lidskými selháními. Nápravné akce, které nemohou být provedeny v důsledku zemětřesení určité úrovně, by měly být z modelu odstraněny nebo by měly být příslušné pravděpodobnosti selhání při jejich provádění navýšeny.

(3.429) Všechny lidské chyby uvažované v modelu v rámci odezvy bloku na IU, které byly zahrnuty v PSA modelu pro interní IU, by měly být zrevidovány a upraveny pro specifické podmínky zemětřesení. Minimálně následující efekty zemětřesení působící na faktory přímo ovlivňující kvalitu práce obsluhy by měly být brány v úvahu:

- a) přístupnost konkrétních konstrukcí, systémů a komponent po zemětřesení
- b) nárůst úrovně stresu
- c) selhání indikací nebo falešné indikace
- d) selhání systémů komunikace
- e) scénáře s následnými požáry a záplavami
- f) ostatní aplikovatelné faktory ovlivňující chování operátora.

(3.430) Požáry a záplavy vznikající v důsledku zemětřesení by měly být zahrnuty v seismické

PSA 1. úrovně, ledaže by bylo jednoznačně zdůvodněno, že jiné poškození zařízení způsobené zemětřesením omezuje účinky tohoto typu událostí.

(3.431) Při provádění kvantifikace PSA modelu by kromě výsledné CDF měly být získány rovněž další klíčové informace, jako např. informace o všech havarijních sekvencích a MKŘ.

(3.432) Integrace a kvantifikace modelu seismické PSA by měla být provedena takovým způsobem, aby neurčitosti všech parametrů vstupujících do modelu (tj. frekvence výskytu zemětřesení, porušitelnost v důsledku zemětřesení, závislosti a aspekty týkající se analýzy systémů) byly v tomto modelu správně zahrnuty, aby bylo možno získat správné charakteristiky neurčitostí výsledné CDF.

#### Extrémní větry

(3.433) Model PSA 1. úrovně by měl zahrnovat všechny IU způsobené extrémními větry a měl by tak kompletně, jak je to potřebné, modelovat všechny efekty vyvolané uvedeným fenoménem.

(3.434) Zahrnutí havarijních sekvencí vyvolaných extrémními větry by mělo obsahovat pravděpodobnostní křivky porušitelnosti specifické pro zkoumanou lokalitu a porušitelnost všech konstrukcí, systémů a komponent, jejichž poškození může vést k vyřazení zařízení modelovaného v PSA 1. úrovně. Ostatní prvky uvažované v modelu by měly obsahovat neprovozoschopnosti nebo selhání zařízení a lidského faktoru, které nesouvisejí s extrémními větry. Pravděpodobnosti lidských chyb by měly být upraveny tak, aby byly zahrnuty efekty vyvolané extrémními větry na faktory přímo ovlivňující kvalitu práce obsluhy.

#### Vnější záplavy

(3.435) Zahrnutí havarijních sekvencí vyvolaných externí záplavou by mělo obsahovat pravděpodobnostní křivky porušitelnosti specifické pro zkoumanou lokalitu a porušitelnost všech konstrukcí, systémů a komponent, jejichž poškození může vést k vyřazení zařízení modelovaného v PSA 1. úrovně. Ostatní prvky uvažované v modelu by měly obsahovat neprovozoschopnosti nebo selhání zařízení a lidského faktoru, které nesouvisejí s externím zaplavením. Pravděpodobnosti lidských chyb by měly být upraveny tak, aby byl zahrnut efekt zaplavení na faktory přímo ovlivňující kvalitu práce obsluhy (zejména dostupnost zařízení).

(3.436) Neurčitosti, závislosti a korelace by měly být podrobně osvětleny, aby bylo možno modelovat havarijní sekvence pro IU způsobené externím zaplavením.

#### Ostatní externí hazardy způsobené přírodními podmínkami

(3.437) Platí zde všechny obecné aspekty a doporučení pro integraci do PSA modelu uvedené výše u ostatních typů externích hazardů (zemětřesení, extrémní vítr, vnější záplavy).

#### Externí hazardy způsobené lidskou činností

(3.438) Platí zde všechny obecné aspekty a doporučení pro integraci do PSA modelu uvedené

výše u ostatních typů externích hazardů (zemětřesení, extrémní vítr, vnější záplavy).

## Dokumentace a prezentace výsledků

### Obecné aspekty

(3.439) Dokumentace třídící (vylučovací) analýzy, hraničních analýz i detailních analýz prováděných pro externí hazardy v rámci PSA 1. úrovně by měla být vypracována takovým způsobem, aby usnadňovala posouzení provedených prací, jakož i budoucí aplikace a aktualizace PSA studie:

- a) vyloučení každého konkrétního hazardu by mělo být zdokumentováno, přičemž by měly být popsány postupy, které byly aplikovány, včetně detailů použité metody, jakož i přijaté předpoklady a jejich zdůvodnění
- b) Měl by být proveden popis metod aplikovaných pro stanovení pravděpodobnostních křivek porušitelnosti pro každý jednotlivý hazard včetně:
  - (i) dat použitých při stanovení pravděpodobnostních křivek porušitelnosti
  - (ii) technické interpretace, které představují podklad pro vstupy a výsledky
  - (iii) základní předpoklady a s nimi související neurčitosti.
- c) Měl by být vyhotoven podrobný seznam konstrukcí, systémů a komponent, které jsou předmětem analýzy porušitelnosti, obsahující:
  - (i) umístění každé konstrukce, systému a komponenty
  - (ii) klíčové předpoklady a metody použité při analýze porušitelnosti
  - (iii) dominantní způsob poruch pro jednotlivé konstrukce, systémy či komponenty
  - (iv) zdroj informací využitých při analýze.
- d) Ty konstrukce, systémy a komponenty, které nejsou předmětem analýzy porušitelnosti, by rovněž měly být probrány a měl by být uveden důvod, který vedl k jejich vyřazení z modelu PSA 1. úrovně.
- e) Konkrétní úpravy provedené v modelech interních IU by měly být důkladně zdokumentovány včetně zdůvodnění jednotlivých úprav PSA modelu.
- f) Rovněž by měly být popsány konečné výsledky hraničních analýz a podrobných analýz, zejména CDF, dominantní MKŘ a dominantní havarijní sekvence pro každý scénář související s daným externím hazardem. Měly by být respektovány obecné zásady pro vytváření dokumentace uvedené v odst. 3.55 - 3.65.

(3.440) Měly by být uvedeny hlavní výstupy PSA 1. úrovně pro externí hazardy:

- a) CDF a příslušná distribuční křivka dokumentující neurčitosti
- b) výsledky citlivostních studií
- c) seznamy dominantních havarijních sekvencí a MKŘ
- d) technický rozbor dominantních sekvencí a dominantních MKŘ
- e) popis hlavních přispěvatelů k neurčitostem; měly by být probrány přispěvatelé k epistemickým i náhodným neurčitostem.

### Zemětřesení (seismicita)

(3.441) Měly by být popsány specifické metody použité při charakterizování zdrojů zemětřesení a vybrané parametry. Podrobně by měla být zdokumentována konkrétní

interpretace, která představuje základ pro vytváření vstupů do modelu a výsledky.

(3.442) V dokumentaci seismické PSA 1. úrovně by měly být uvedeny následující informace:

- a) seznam konstrukcí, systémů a komponent zahrnutých v seismické PSA 1. úrovně
- b) charakteristika porušitelnosti a technické podklady pro její stanovení u všech konstrukcí, systémů a komponent
- c) pravděpodobnosti poškození pro rozsah zemětřesení modelovaný v PSA 1. úrovně
- d) významné způsoby poruch pro konstrukce, systémy a komponenty a umístění všech těchto zařízení
- e) konkrétní úpravy provedené v modelech vnitřních IU uvažovaných v PSA 1. úrovně, jejichž cílem je zohlednění vlivu zemětřesení
- f) komplexní informace o závislostech (zejména prostorové interakce) modelované v seismické PSA 1. úrovně, stejně jako veškeré předpoklady použité při vylučování nebo snižování vlivu závislostí

(3.443) Podrobně by mělo být popsáno, na základě čeho došlo k vyloučení každé konstrukce, systému či komponenty z analýzy.

(3.444) Měla by být zdokumentována metodika a postupy použité při kvantifikaci porušitelnosti následkem zemětřesení. Měly by být zahrnuty následující aspekty seismické analýzy porušitelnosti:

- a) analýza odezvy JE na zemětřesení
- b) jednotlivé kroky vyřazovacího procesu
- c) obhlídka JE
- d) prozkoumání projektové dokumentace
- e) identifikace kritických způsobů poruch pro všechny konstrukce, systémy a komponenty
- f) výpočty porušitelnosti pro všechny konstrukce, systémy a komponenty.

(3.445) Postupy pro obhlídku JE, složení týmu, který jí prováděl, jakož i vlastní pozorování a závěry z něj by měly být podrobně zdokumentovány.

### Extrémní větry

(3.446) Dokumentace PSA 1. úrovně pro extrémní větry by měla být provedena takovým způsobem, aby usnadňovala kontrolu, aplikace a aktualizace PSA studie. V dokumentaci by měly být zahrnuty následující informace:

- a) popis specifických metod a dat použitých pro stanovení pravděpodobnostních křivek porušitelnosti pro extrémní větry
- b) konkrétní změny provedené v PSA modelu, které zohledňují efekty způsobené extrémními větry
- c) seznam všech konstrukcí, systémů a komponent, uvažovaných v analýze, přičemž by mělo být rovněž objasněno, proč byly některé konstrukce, systémy a komponenty z analýzy vyloučeny
- d) metodika použitá při odvození porušitelnosti extrémním větrem pro všechny konstrukce, systémy a komponenty modelované v PSA 1. úrovně
- e) konečné výsledky PSA 1. úrovně (CDF a vybrané využitelné průběžné výsledky).

### Vnější záplavy

(3.447) Dokumentace PSA 1. úrovně pro externí záplavy by měla být provedena takovým způsobem, aby usnadňovala kontrolu, aplikace a aktualizace PSA studie. V dokumentaci by měly být zahrnuty následující informace:

- f) popis specifických metod a dat použitých pro stanovení pravděpodobnostních křivek porušitelnosti pro externí záplavy
- g) konkrétní změny provedené v PSA modelu, které zohledňují efekty způsobené externími záplavami
- h) seznam všech konstrukcí, systémů a komponent, uvažovaných v analýze, přičemž by mělo být rovněž objasněno, proč byly některé konstrukce, systémy a komponenty z analýzy vyloučeny
- i) metodika použitá při odvození porušitelnosti následkem záplav pro všechny konstrukce, systémy a komponenty modelované v PSA 1. úrovně
- j) konečné výsledky PSA 1. úrovně (CDF a vybrané využitelné výsledky).

### Ostatní externí hazardy způsobené přírodními podmínkami

(3.448) Platí zde všechny obecné aspekty a doporučení pro dokumentaci analýzy uvedené výše u ostatních typů externích hazardů (zemětřesení, extrémní vítr, vnější záplavy).

### Externí hazardy způsobené lidskou činností

(3.449) Platí zde všechny obecné aspekty a doporučení pro dokumentaci analýzy uvedené výše u ostatních typů externích hazardů (zemětřesení, extrémní vítr, vnější záplavy).

## **PSA 1. úrovně pro nízkovýkonové stavy a odstávky**

### **Obecné aspekty provádění PSA 1. úrovně pro nízkovýkonové stavy a odstávky**

(3.450) PSA pro nízkovýkonové stavy a odstávky se provádí podle stejných metodických zásad, jako PSA pro výkonové stavy (viz kapitola PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu). Z těchto důvodů zde již nebudou opakována obecně platná doporučení, která jsou tam již zmiňována, ale budou uváděny pouze odkazy na příslušné odstavce z výše uvedené kapitoly; podrobně popisovány budou pouze metodické aspekty specifické pro nízkovýkonové stavy a odstávky.

(3.451) Podobně jako při provozu na výkonu, i při nízkovýkonových stavech a odstávkách mohou významně přispívat k celkovému riziku interní a externí hazardy. I v tomto případě je aplikovatelný přístup popisovaný v předchozích kapitolách, ale existují zde některá specifika. Spektrum tohoto typu iniciátorů je v principu stejné. Při jejich výběru ale může hrát určitou roli rozdíl v délce trvání jednotlivých stavů (provoz na výkonu trvá podstatně delší část roku, než odstávka); pravděpodobnost výskytu těchto hazardů tak zde bude značně menší, než při provozu na výkonu. Rovněž následky jejich výskytu mohou být rozdílné při provozu na výkonu a za odstávky bloku.

(3.452) Během nízkovýkonových stavů a odstávky se provádějí na JE s tlakovodními reaktory následující činnosti:

- snižování výkonu bloku, dosažení odstavného stavu
- provoz systému dochlazování bloku (odvod zbytkového tepla)
- roztěsnění víka reaktoru a jeho odkrytí
- zaplavení bazénu výměny
- výměna paliva
- údržba a testy
- odstavení systému dochlazování bloku a vyvedení bloku na výkon.

### **Specifikace typů odstávky a PSA stavů**

(3.453) Během odstavování bloku dochází k významným změnám v konfiguraci zařízení JE. Pro tlakovodní reaktory existují v zásadě tři typy odstávek:

- pravidelně se opakující odstávky na výměnu paliva, během nichž se rovněž provádí údržba a testy zařízení (tato kategorie obsahuje jak tzv. malou, tak tzv. velkou odstávku, kdy je veškeré palivo vyvezeno z AZ do bazénu skladování)
- plánované odstávky, během nichž se provádí specifická údržba
- neplánované, ale předvídatelné odstávky v důsledku poruchy zařízení JE během nominálního provozu.

Tato skutečnost se odráží v LaP, kde jsou obvykle uváděny požadavky na zařízení během jednotlivých režimů provozu bloku.

(3.454) Považuje se za dobrou praxi analyzovat v rámci PSA všechny výše uvedené typy odstávek. Rizika související s odstávkami na výměnu paliva by měla být zhodnocena vyčerpávajícím způsobem. O potřebnosti provedení podrobných analýz ostatních typů odstávek by mělo být rozhodnuto na základě zvážení cílů PSA 1. úrovně. Podstatné je, že

analyzované havarijní sekvence následující po poruše by měly být dovedeny až do okamžiku, kdy bude dosaženo bezpečného a stabilního stavu. Ukončení analýz po uplynutí předem pevně stanovené doby provozu může zabránit získání smysluplných výsledků. V mnoha případech se analyzuje v prvním přiblížení tzv. typická odstávka. Pro provozované reaktory by měla být taková typická odstávka odvozena nejprve z poslední odstávky, s následným uvážením informací získaných z ostatních odstávek proběhlých v poslední době, jakož i z diskusí s pracovníky provozovatele, kteří se podílí na plánování a hodnocení odstávek. Pokud je to třeba, tak by určité prvky odstávek, u nichž lze očekávat, že budou přispívat k celkovému riziku, měly být hodnoceny separátně. Například v případě odstávek plánovaných pro provedení konkrétní údržby může být významným vstupem pro rozhodování informace o porovnání rizika souvisejícího s plánovanou odstávkou s rizikem pokračování v provozu bloku na výkonu.

(3.455) Předvídatelné změny v předpisech týkajících se odstávek by měly být rovněž v analýzách zahrnuty, pokud je jedním z cílů PSA hodnotit riziko související s budoucím provozem bloku.

(3.456) V období mezi zahájením odstavování a najížděním bloku po proběhlé odstávce se vyskytuje velké množství stavů JE s rozdílnou konfigurací zařízení. Pokud by se s nimi měl analytik zabývat individuálně, vedlo by to k ohromnému množství různých havarijních scénářů. Všechny tyto stavy by proto měly být podrobně zmapovány a poté seskupeny do několika PSA stavů, které by byly dostatečně vyvážené a reprezentativní. Při tomto seskupování více méně podobných stavů by se měly brát v úvahu následující fyzikální a technické aspekty:

- kritičnost reaktoru (a/nebo shutdown margin)
- úroveň odvodu tepla
- teplota a tlak v primárním okruhu
- množství chladiva v primárním okruhu (hladina)
- otevřenost nebo uzavřenost chladicího okruhu (primárního)
- stav smyček primárního okruhu (provozoschopnost)
- umístění paliva
- dostupnost bezpečnostních systémů a jejich podpurných systémů včetně toho, kdy mohou být spuštěny automaticky nebo pouze manuálně
- stav systémů
- integrita kontejnmentu.

(3.457) Jednotlivé PSA stavy by měly být stanoveny na základě skutečné provozní historie a v souladu s provozními předpisy a skutečnými postupy. V závislosti na typu odstávky by měl být podrobně analyzován dostatečný počet proběhlých odstávek pro zjištění potřebných parametrů v průběhu daného typu odstávky. Zdroje informací používaných pro tyto účely mohou být následující:

- předpisy pro odstavování a najíždění bloku
- harmonogramy jednotlivých proběhlých odstávek
- obecné zásady pro plánování odstávek
- limity a podmínky pro odstávky
- návody pro řízení konfigurace zařízení
- další dokumentace poskytující informace o odstávkách
- záznamy o provedené údržbě (doba provádění údržby specifických zařízení JE)
- konzultace s operátory a vedoucími reaktorového bloku
- konzultace s pracovníky, kteří provádějí plánování odstávek.



Z uvedených zdrojů by měly být získány všechny informace relevantní pro stanovení jednotlivých PSA stavů.

(3.458) Při stanovování jednotlivých PSA stavů je třeba mít na zřeteli i budoucí aplikace PSA; některé, jako například monitor rizika, vyžadují podrobnější rozdělení nízkovýkonových a odstávkových stavů.

(3.459) Aby bylo zajištěno, že bude pokryt celý provozní cyklus, tj. že nedojde ke ztrátě příspěvků k riziku od některých PSA stavů nebo naopak, aby se zabránilo dvojitému zahrnutí téhož stavu, je třeba přesně specifikovat přechody mezi jednotlivými PSA stavy (včetně provozu na nominálním výkonu) - doby trvání jednotlivých PSA stavů (s uvážením počtu jejich výskytu v kalendářním roce), úroveň výkonu bloku, konfiguraci zařízení, jakož i frekvenci příslušných IU (vztaženou na kalendářní rok). Pro tyto účely by měla být využita data z historie provozu JE.

### **Analýza iniciačních událostí**

(3.460) Identifikace možných IU se provádí prakticky stejně, jako v PSA 1. úrovně pro provoz bloku na výkonu (viz kap. PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu). Opět je třeba identifikovat IU typu LOCA, transienty, interní i externí hazardy. Předběžně je možno vyjít z generického seznamu IU, který byl vytvořen během PSA 1. úrovně při provozu bloku na výkonu. Tento seznam by měl být dále modifikován a rozšířen na základě následujících skutečností.

(3.461) V kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu se IU definují jako události, které mohou potenciálně přímo vést k poškození paliva v aktivní zóně (roztržení TNR) nebo jako narušení normálního provozu, jež vyžaduje úspěšné zapracování bezpečnostních nebo i provozních systémů během odezvy bloku, které mají zabránit poškození paliva v AZ. Jak již bylo uvedeno dříve, AZ se může během odstávky, v závislosti na jednotlivých PSA stavech, nacházet v různé konfiguraci, např. palivo může být v AZ nebo může být vyvezeno do bazénu skladování. Z toho plyne skutečnost, že se budou během odstávky muset uvažovat i IU, které budou odlišné od IU zahrnutých do PSA při provozu bloku na výkonu. Řada IU může být dále během odstávky způsobena lidským zásahem během provádění údržby zařízení. Většina IU, které jsou zajímavé z pohledu PSA pro nízký výkon a odstávky jsou události, které ohrožují plnění kritických bezpečnostních funkcí, jako např. odvod tepla, objem chladiva v I.O., integrita I.O. a řízení reaktivity. Z výše uvedeného plyne, že v PSA pro nízkovýkonové stavy a odstávky bude nutno uvažovat i jiné koncové stavy havarijních sekvencí, než poškození paliva v AZ – tedy poškození paliva obecně (i mimo AZ). Pro tlakovodní reaktory se obvykle zkoumají následující případy:

- a) poškození paliva při manipulacích s ním
- b) poškození paliva v důsledku pádu těžkého břemene
- c) dosažení kritičnosti v důsledku změn v konfiguraci palivových elementů (jak v TNR tak v bazénu skladování)
- d) ztráta chlazení bazénu skladování.

(3.462) Při doplňování generického seznamu IU zmíněného v prvním odstavci této kapitoly je možno využít následující systémové nástroje:

- a) systematické analytické metody jako např. FMEA, master logic diagrams, stromy poruch

- b) systematické zhodnocení předpisů pro změnu konfigurace systémů chlazení AZ a předpisů pro provádění údržby a testů.
- (3.463) Jedním z klíčových momentů při této činnosti je identifikace potenciálních lidských selhání, která se mohou objevit během provádění činností uvedených ve výše zmíněných provozních předpisech; analytici podílející se na vytváření modelu PSA by se měli seznámit s provozní praxí během odstávky přímo na místě.
- (3.464) Pro zajištění kompletnosti seznamu IU v LPSPSA 1. úrovně by měly být využity následující možné zdroje informací:
- seznam IU pro PSA 1. úrovně při provozu na výkonu
  - LPSPSA 1. úrovně pro JE stejného typu
  - historie provozu dané JE
  - zkušenosti z dalších JE stejného typu
  - generická data z provozu během nízkovýkonových stavů a z odstávek.
- (3.465) Z veřejně dostupných informačních zdrojů lze využít následující:
- generické studie (např. informace o událostech ředění bóru zapříčiněných nežádoucím čerpáním čistého kondenzátu do AZ)
  - zprávy o výskytu událostí na dané JE
  - zprávy o událostech vyskytnuvších se na jiných JE podávané mezinárodními organizacemi a skupinami provozovatelů JE.
- (3.466) Iniciační události by měly být opět vhodně seskupeny (viz kap. PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu). Skupiny IU by měly zahrnovat IU, které lze analyzovat pomocí stejného stromu událostí a stejných stromů poruch. Jinými slovy, pro jednotlivé IU sdružené ve skupině by měly být rozvíjeny stejné havarijní sekvence. Pro sdružování IU do skupin lze obecně zformulovat následující kritéria:
- všechny IU sdružené ve skupině mají podobný vliv na dostupnost a provoz bezpečnostních systémů a jejich podpurných systémů
  - všechny IU sdružené ve skupině mají podobná kritéria úspěchu pro bezpečnostní systémy, podpurné systémy a ostatní systémy potřebné pro zmírnění následků dané IU
  - při všech IU sdružených ve skupině se objevují podobné požadavky na činnost operátora
  - očekávaná odezva provozního personálu je podobná pro všechny IU sdružené ve skupině
  - PDS přiřazené ke koncovým stavům havarijních sekvencí jsou stejné pro všechny IU sdružené ve skupině.
- (3.467) Stejně IU mohou nastat během různých PSA stavů, ale dostupnost systémů a kritéria úspěchu jsou obecně různá pro různé PSA stavy. Z tohoto důvodu není možno ve většině případů seskupovat IU napříč PSA stavy.
- (3.468) V některých případech mohou skupiny IU zahrnovat události, které nesplňují kritéria uvedená v odstavci 3.466). V takovém případě by měla být skupina IU definována na základě té události ze skupiny, která má nejvíce omezující charakteristiky.
- (3.469) Stejně jako v případě PSA pro nominální výkon by měla kvantifikace frekvencí IU sledovat standardní postupy uvedené v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu. Ovšem kvantifikace frekvencí IU při nízkovýkonových stavech a při odstávkách by měla přihlížet ke specifikům těchto provozních režimů, jako je např. konfigurace zařízení a jeho dostupnost, k limitům a podmínkám a k organizaci odstávky včetně činností při výměně

paliva.

(3.470) Frekvence IU při odstávkách může být uváděna jako očekávaná četnost výskytu události za hodinu v daném PSA stavu. Avšak frekvence by neměla být uváděna tímto způsobem, pokud IU nastane v důsledku události, která souvisí s jejím výskytem v daném PSA stavu spíše než s jeho trváním (např. některé IU mohou souviset s prováděním testů nebo s přechodovými stavy JE a frekvence takové události by neměla být vážena trváním daného PSA stavu).

(3.471) V zásadě existují tři možné přístupy ke kvantifikaci frekvencí IU, které se mohou vyskytnout v daném PSA stavu:

- 1) přímé stanovení frekvence na základě provozních zkušeností (buď přímo analyzované JE nebo JE se stejným nebo podobným typem reaktoru)
- 2) odhad na základě doplňkových analýz frekvencí IU stanovených v PSA 1. úrovni pro provoz bloku na výkonu
- 3) využití logického modelu obsahujícího všechny předvídatelné vstupy vedoucí k dané IU.

(3.472) Explicitně by měla být modelována selhání, která mohou způsobit vznik IU; to proto, aby bylo možno správně zahrnout závislosti mezi selháními, které mohou vznik IU způsobit (např. selhání, jehož důsledkem je ztráta odvodu zbytkového tepla) a selháními během odezvy na danou IU (např. selhání obnovy funkce odvodu zbytkového tepla).

(3.473) Konečný výsledek přiřazení jednotlivých IU ke konkrétním PSA stavům by měl být v dokumentaci analýzy přehledně uveden, např. formou tabulky.

## **Analýza havarijních sekvencí**

### Bezpečnostní funkce, bezpečnostní systémy a kritéria úspěchu

(3.474) Obecný přístup k analýze havarijních sekvencí je popsán v kap. PSA 1. úrovni pro interní IU při provozu na výkonu. Ačkoliv úroveň zbytkového tepla během odstávek je obecně mnohem nižší, než v okamžiku odstavení bloku provozovaného na nominálním výkonu, charakteristiky možných konfigurací zařízení JE mohou přesto dát vzniknout událostem ohrožujícím bezpečnostní funkce. Analýza by se měla soustředit na následující aspekty:

- a) během odstávek může být znemožněn automatický start bezpečnostních systémů, dostupnost zařízení může být omezena a roste závislost na činnostech operátora
- b) integrita primárního okruhu a kontejnmentu není zaručena
- c) účinnost prvosledových bezpečnostních systémů bude obecně záviset na konkrétní IU, charakteristikách daného PSA stavu a úrovni zbytkového tepla.

(3.475) Kritéria pro splnění funkce by měla být použita při určování kritérií úspěchu pro konkrétní systémy, která mohou být rozdílná od kritérií úspěchu použitých v PSA 1. úrovni pro provoz bloku na výkonu.

### Analýzy umožňující stanovení kritérií úspěchu

(3.476) Stromy poruch zkonstruované v rámci PSA pro provoz bloku na výkonu by měly být

upraveny dle potřeby. I když by logická struktura a odezva systému zůstala v podstatě stejná jako při výkonovém provozu bloku, je třeba zohlednit možné změny v dostupnosti komponent nebo systémů během odstávek.

(3.477) Pro zajištění správnosti předpokladů týkajících se chlazení AZ by se měly provést termohydraulické analýzy, na jejichž základě by bylo možno stanovit realistická kritéria úspěchu. Úroveň podrobností termohydraulických analýz by měla odpovídat požadavkům na analýzu systémů a konfiguraci zařízení JE. Při přechodových stavech během odstavování a najíždění bloku a při setrvání bloku v horké rezervě zůstávají podmínky a konfigurace zařízení v některých případech podobná jako při přechodových stavech vzniklých při provozu na výkonu; v těchto případech budou použitelné modely vytvořené pro provádění termohydraulických výpočtů při výkonovém provozu (např. v programech RELAP, TRAC, MAAP, MELCOR). V ostatních případech by měla být využitelnost těchto modelů prokázána. Pro ostatní PSA stavy by mělo být provedeno porovnání charakteristik JE a možností modelu, aby bylo možno ocenit aplikovatelnost jednotlivých programových prostředků. Například termohydraulické analýzy sloužící pro podporu stanovení kritérií úspěchu pro lehkovodní reaktory by měly minimálně uvažovat následující faktory:

- a) stav tlakové hranice primárního okruhu
- b) sejmuté nebo roztěsněné víko reaktoru
- c) pojistné ventily vyřazené nebo otevřené odvodušnění I.O.
- d) oddělené smyčky nebo instalované záslepky, rozpěrné zátky, atd.
- e) úroveň hladiny napájecí vody v PG
- f) parametry I.O. (teplota, tlak, přítomnost nekondenzujícího plynu, shutdown margin)
- g) hladina chladiva v I.O.
- h) úroveň zbytkového tepla
- i) těsnost kontejnmentu.

#### Modelování havarijních sekvencí

(3.478) K modelování odezvy zařízení a provozního personálu JE na IU by měly být použity stromy událostí nebo ekvivalentní logická konstrukce. Je dobrou praxí si před vlastním modelováním havarijní sekvence podrobně graficky znázornit její průběh včetně lidských zásahů.

(3.479) Modelování havarijní sekvence by měl provádět multidisciplinární tým od počátku zahrnující rovněž specialistu na analýzu lidského faktoru.

#### Koncové stavy havarijních sekvencí, stavy poškození AZ

(3.480) Stejně jako v PSA 1. úrovni pro výkonový provoz by se i zde měly havarijní sekvence seskupit do PDS, aby bylo možno zredukovat počet vstupů do dalších analýz (PSA 2. úroveň, případně PSA 3. úroveň) a rovněž získat možnost stručně prezentovat výsledky studie. Očekávaný rozvoj havárie (po poškození paliva) včetně možného narušení integrity kontejnmentu a následný transport radionuklidů by měl být kvalitativně podobný pro všechny havarijní sekvence seskupené do jednoho PDS. Na druhou stranu existují moderní analytické nástroje nabízející možnost modelování havarijních sekvencí až do jednotlivých kategorií úniků radioaktivních látek. V takovém případě není nutno provádět seskupení koncových stavů havarijních sekvencí do PDS. Pro provoz bezpečnostních systémů by měly být stanoveny vhodné požadované doby provozu zohledňující specifické charakteristiky a

časování uvažovaných procesů.

(3.481) Při výběru PDS pro nízkovýkonové stavy a odstávky by se měly brát v úvahu PDS stanovené v PSA pro výkonový provoz. V rámci LPSPSA by ale měly být identifikovány dodatečné PDS, odlišné od PDS pro provoz na výkonu. Například určitě bude stanoven specifický PDS pro PSA stav, kdy bude sejmuto víko reaktoru nebo když bude otevřen průlez do kontejnmentu (tj. roztěsněný kontejnment). Při stanovování PDS by měly být brány v úvahu následující dodatečné charakteristiky havarijních sekvencí:

- a) úroveň zbytkového tepla během PSA stavu (doba po odstavení z nominálního výkonu)
- b) stav kontejnmentu – zejména pro PSA stav, kdy kontejnment je otevřen
- c) podmínky, které určují dobu do obnovení izolace kontejnmentu a potenciálně redukuje efektivitu (těsnost) kontejnmentu během této doby
- d) integrita tlakové hranice I.O., pokud je sejmuto víko reaktoru, jsou instalovány záslepky/rozpěrné zátky, odstraněny pojistné ventily, je otevřeno odvodušnění I.O., atd.
- e) objem chladiva v I.O.

(3.482) Vhodně specifikované PDS budou rozhodující pro výsledky PSA a jejich interpretaci.

### **Analýza systémů**

(3.483) Stejně jako v PSA pro výkonový provoz je i v tomto případě cílem analýzy systémů provést podrobné namodelování možných selhání zařízení potřebné pro kvantifikaci jednotlivých havarijních sekvencí. Pro modelování selhání systémů se nejčastěji využívá analýzy pomocí stromů poruch. Stromy poruch sestavené v rámci PSA pro výkonový provoz (viz kapitola PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu) mohou být použity a upraveny, pokud je to možné a užitečné. Pokud je to třeba, měla by být provedena revize stávajících modelů, případně zkonstruovány nové modely a to zejména v následujících případech:

- a) existující model nevyhovuje pro popis specifického chování systému v různých PSA stavech, např. konfigurace systému může být rozdílná v důsledku provádění údržby
- b) konkrétní systém, který byl ve vyčkávacím režimu během provozu bloku na výkonu, je během odstávky v provozu
- c) systém je během odstávky startován ručně operátorem, zatímco při provozu bloku na výkonu se tak děje od automatiky
- d) požadovaná doba provozu pro systém může být významně odlišná
- e) kritéria úspěchu se mění v závislosti na jednotlivých PSA stavech
- f) počet původně dostupných linií systému je rozdílný během různých PSA stavů
- g) časová okna a stav JE se významně odlišují – tyto parametry mohou ovlivnit pravděpodobnost úspěchu nápravných akcí
- h) daný systém nebyl součástí modelu pro provoz bloku na výkonu
- i) je třeba zjistit vzájemné propojení jednotlivých systémů v konfiguraci použité pouze v LPSPSA
- j) systém nebyl modelován, jelikož by byl potřeba až v rámci PSA 2. úrovně.

### **Analýza závislostí**

(3.484) Jak již bylo zmíněno v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu,

cílem této analýzy je identifikace závislostí, které mohou ovlivnit logickou strukturu a kvantifikaci havarijních sekvencí a modelů systémů. Hlavními typy závislostí jsou z tohoto hlediska funkční závislosti zásobovacích a pomocných systémů; sdílení hardware mezi systémy nebo propojení technologie, fyzikální závislosti včetně závislostí způsobených přímo či nepřímo vznikem iniciační události, závislosti lidských selhání a CCF. Tyto závislosti by měly být zahrnuty v rámci provedených analýz.

- (3.485) Jako první krok by se mělo vyjít z modelu vytvořeného v rámci PSA pro výkonový provoz a prověřit různé prvosledové a podpůrné systémy, stejně jako jejich vnitřní závislosti a jejich aplikovatelnost při provozu JE v jednotlivých PSA stavech. Analytici by si měli být vědomi, že provádění testů a údržby zařízení může vytvořit nové zdroje závislostí, jako např. současnou údržbu nebo opravy komponent na záložních trasách systému.
- (3.486) Zrevidování modelu pro provoz bloku na výkonu z hlediska závislostí je nutno provést zejména pokud kritéria úspěchu budou rozdílná pro nízkovýkonové stavy a odstávky nebo když budou odlišné podmínky pro provoz podpůrných systémů, např. požadavky na ventilační systémy nebo na systémy dodávky elektrické energie. Měla by být rovněž prověřena konfigurace systémů a komponenty, které budou mimo provoz.
- (3.487) Analytici by si měli být rovněž vědomi různých mechanismů vzniku CCF a potenciálního vlivu údržby a dalších aktivit specifických pro odstávky na jejich výskyt.

### **Analýza lidského faktoru**

- (3.488) V kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu jsou uvedeny klíčové aspekty analýzy lidského faktoru; tyto aspekty jsou obecně platné i v podmínkách nízkovýkonových stavů a odstávek. Analýza lidského faktoru v podmínkách odstávky je komplexní problém. Z toho důvodu by měla být prováděna pomocí strukturovaného a logického postupu, přičemž by vše mělo být pečlivě a přehledně zdokumentováno. Výsledkem analýzy by měly být pravděpodobnosti selhání, které budou konzistentní jednak navzájem, jednak i s ostatními částmi PSA 1. úrovně.
- (3.489) V analýze je třeba adekvátně zohlednit typické aspekty nízkovýkonových stavů a odstávek, jako například využití pracovníků externích organizací při provádění údržby, časté využívání přesčasové práce a nárůst požadavků na činnosti prováděné z blokové dozorny. Rovněž by měla být věnována pozornost problémům kontroly prováděných prací a stresu v důsledku napjatých plánů činností.
- (3.490) Analýza lidského faktoru by měla rovněž zohlednit úzkou spolupráci mezi provozním personálem a pracovníky provádějícími údržbu, aby bylo zajištěno, že budou i tato specifika odstávky správně v této analýze zohledněna. Pokud to není možné, např. JE se nachází teprve ve fázi projektování nebo výstavby, analytik by se měl pokusit alespoň zjistit informace založené na praktických zkušenostech pracovníků v JE podobného typu.

### **Typ A – lidské akce prováděné před vznikem IU**

- (3.491) Tento typ akcí souvisí s prováděním testů, údržby, oprav a s kalibrací zařízení; pokud tyto činnosti nejsou správně provedeny, mohou vést k neprovoznosti zařízení. Postup identifikace a kvantifikace těchto událostí je podobný jako v PSA pro výkonový provoz, ale

měl by vzít v úvahu některá specifika nízkovýkonových stavů a odstávek, jako např.:

- a) funkční testování prováděné bezprostředně před koncem odstávky může být prováděno pod časovým tlakem, což může vytvářet určitý potenciál pro lidská selhání
- b) omezená dostupnost automatik (např. není k dispozici signál od automatik na uzavření armatury, která byla zanechána v otevřené poloze po provedení testu).

#### Typ B – lidské akce, které mohou způsobit vznik IU

(3.492) Vzhledem k velké rozmanitosti různých aktivit údržby, testů i změn konfigurace zařízení se nedá očekávat, že všechna možná lidská selhání budou zaznamenána v provozní zkušenosti týkající se frekvencí vzniku IU (např. zdrenážování v důsledku nesprávné polohy armatury) specifické pro nízkovýkonové stavy a odstávky. Z tohoto důvodu by měly být potenciální příspěvky lidských selhání ke vzniku IU explicitně zhodnoceny. Toto má rovněž význam pro zjištění možných závislostí mezi lidskými akcemi typu B a C. Takové hodnocení může vést ke identifikaci lidských selhání, která vedou na nedostupnost komponent buď okamžitě nebo způsobí jejich latentní selhání v případě modelu „selhání na požadavek“, pokud je vznik iniciátoru modelován pomocí stromu poruch.

(3.493) Při analýze mohou být využity následující zdroje informací:

- a) předpisy pro najíždění a odstavování bloku
- b) provozní zkušenost
- c) dokumentace plánování odstávek, včetně LaP a předpisů pro údržbu a testování zařízení.

(3.494) Je možné, že během analýzy bude třeba provést roztřídění akcí typu B s cílem vyřazení některých z nich na základě kvalitativních úvah, zatímco jiné budou detailně analyzovány a kvantitativně ohodnoceny. Odvození pravděpodobností lidských selhání může být provedeno tak, jak je naznačeno v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu.

#### Typ C – lidské akce prováděné po vzniku IU

(3.495) Tento typ lidských zásahů je při odstávce poněkud významnější, než při provozu bloku na výkonu, jelikož během odstávky dochází k redukci provozovaných automatik. Selhání při těchto lidských zásazích představují významného přispěvatele k celkové CDF v mnoha LPSPSA studiích. Z těchto důvodů je třeba věnovat velkou pozornost realistickému ocenění pravděpodobnosti vzniku takových selhání.

(3.496) Zvolená metodika by měla systematicky zohledňovat specifické aspekty modelování a kvantifikaci akcí typu C v podmínkách nízkovýkonových stavů a odstávek. Jisté aspekty se mohou odlišovat od provozu bloku na výkonu, zejména:

- a) častější zapůsobení alarmů nebo naopak nefunkční alarmy
- b) kvalita předpisů a návodů
- c) stav tréninku operátorů
- d) trvání časových oken pro provádění akcí
- e) kvalita rozhraní, která usnadňují lidské zásahy při nízkovýkonových stavech a při odstávkách.

(3.497) Při provádění analýzy lidského faktoru je si třeba rovněž uvědomit, že závislosti hodnot pravděpodobností lidských selhání na čase, které se (pro krátká časová okna) v

některých metodikách uplatňují pro plný výkon, lze jen s obtížemi (prakticky ne) extrapolovat pro dlouhá časová okna při odstávce.

(3.498) Potenciál pro chybnou diagnózu (identifikaci) IU by měl být brán v úvahu zejména v případech, kdy jsou používány předpisy popisující reakce na jednotlivé události (tedy nikoli symptomově orientované).

(3.499) Stejně jako v PSA pro výkonový provoz by měla být věnována pozornost možným závislostem mezi jednotlivými lidskými zásahy v jedné havarijní sekvenci (viz kapitola PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu). V LPSPSA se ovšem mohou objevit závislosti i mezi akcemi typu B a C. Pokud např. IU ztráta odvodu zbytkového tepla je způsobena lidským selháním, tak skutečnost, že operátor již udělal chybu, bude pravděpodobně komplikovat nápravnou akci při opětovném zajišťování funkce odvodu zbytkového tepla a může vést k nárůstu pravděpodobnosti jeho selhání v porovnání s případem, kdy ztráta této funkce byla způsobena selháním zařízení.

## **Analýza dat**

(3.500) Spolehlivostní data potřebná pro kvantifikaci LPSPSA 1. úrovně zahrnují:

- a) frekvence IU
- b) data kvantifikující lidská selhání
- c) trvání jednotlivých PSA stavů
- d) spolehlivostní data pro komponenty
- e) data charakterizující nedostupnost zařízení z důvodu provádění údržby včetně překrývání údržeb zařízení na základě provozní historie
- f) ocenění CCF
- g) další údaje dle potřeby (AOT, atd.).

(3.501) Základní přístup pro získávání potřebných spolehlivostních údajů je zmíněn v kapitole PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu a je plně aplikovatelný i pro LPSPSA. V této kapitole budou uvedena některá doporučení pro hodnocení dat, zejména pro analýzu závislých poruch, lidského faktoru a frekvencí vzniku IU.

(3.502) Data pro kvantifikaci spolehlivosti komponent specifická pro nízkovýkonové stavy a odstávky jsou k dispozici v menší míře, než analogická data pro komponenty při provozu bloku na výkonu. Široce se proto využívá přístup, kdy se pro účely LPSPSA modifikují data pro výkonový provoz. To by ovšem nemělo být prováděno bez toho, že by se analytik ujistil o možnostech aplikovatelnosti takových údajů.

(3.503) Většina testů prováděných v průběhu plánované odstávky bloku slouží k verifikaci funkčnosti zařízení, na němž byla předtím v rámci odstávky prováděna údržba, jedná se tedy o funkční testy před opětovným uvedením zařízení do provozu. Stanovení nepohotovosti by se mělo vztahovat k průměrné době testu a k trvání PSA stavu, v němž se daný test na konkrétním zařízení provádí.

(3.504) Měly by být zváženy možné lidské zásahy a stanovena pravděpodobnost lidských selhání při přechodu na ruční ovládání vyplývající z provádění testů a údržby zařízení.

(3.505) Měla by být rovněž zvážena možnost oprav zařízení, jelikož tak může být významně zvýšena dostupnost bezpečnostních systémů v jednotlivých PSA stavech reprezentujících



nízkovýkonové stavy a odstávky. Zanedbání oprav může v některých případech vést k nadhodnocení celkového rizika; je tomu tak zejména v havarijních scénářích, při nichž existuje značná pravděpodobnost rozpoznání možnosti provedení specifické opravy, jejímž zahrnutím lze z PSA modelu odstranit zbytečný konservativismus. „Oprava“ zde zahrnuje možnost provedení nápravné akce v krátkém čase, která by postačovala k úspěšnému zvládnutí daného rozvoje havárie. Je to ovšem omezeno na případy, kdy zkušenost z provozu JE ukazuje na možnost skutečného vykování takové nápravné akce nebo kdy pravděpodobnost úspěchu takové akce může být podpořena inženýrským úsudkem a / nebo existuje platná procedura pro provádění opravy v podmínkách daného rozvoje havárie.

(3.506) Je třeba zvážit rovněž závislosti dob opravy na konkrétních PSA stavech. Takové závislosti se mohou vyskytnout v důsledku dostupnosti systémů a zařízení, dostupnosti pracovníků schopných opravu provést, dostupnosti náhradních dílů a při některých havarijních sekvencích rovněž na úrovni radiace v okolí komponent, které by měly být opravovány.

(3.507) Analytici by si rovněž měli uvědomovat, že některá zařízení nacházející se při provozu bloku na výkonu v režimu vyčkávání, mohou být při nízkovýkonových stavech a při odstávkách v provozu. Pokud se odstávky provádějí tak, že se postupně využívají jednotlivé záložní linie systémů (případně záložní komponenty), je třeba zvolit tomu odpovídající model.

(3.508) V modelech, pomocí nichž se počítají pravděpodobnosti toho, že zařízení v provozu sloužící udržení nebo dosažení stabilního stavu po vzniku IU během tohoto provozu selže, se využívá požadovaná doba provozu. Požadovaná doba provozu může mít významný dopad na napočtené pravděpodobnosti selhání systémů. Předpoklady vztahující se k požadované době provozu by měly být konzistentní s modelováním jednotlivých havarijních sekvencí.

(3.509) Pokud jsou do analýz zahrnuty očekávané změny v procedurách odstávky, může to ovlivnit získávání spolehlivostních dat. Změny mohou být takové, že dostupné informace z provozní zkušenosti buď nebudou moci poskytnout potřebná data nebo budou moci poskytnout tato data pouze po určité úpravě či při aplikaci inženýrského odhadu.

(3.510) Pro spolehlivostní parametry použité v PSA 1. úrovně by se měla uvádět nejen střední hodnota, ale rovněž příslušná distribuční funkce; uvedené je potřeba pro provádění analýz neurčitosti.

## **Kvantifikace, MKŘ, importanční míry**

### Kvantifikace havarijních sekvencí

(3.511) Kvantifikace havarijních sekvencí se provádí analogicky jako v PSA 1. úrovně pro provoz na výkonu. Je ovšem vhodné poznamenat, že v LPSPSA se často objevují dlouhé požadované doby provozu či dlouhé časování nápravných akcí (recovery), takže aplikace Markovských technik může vést k realističtějším výsledkům, než použití standardních stromů událostí a stromů poruch. Využití těchto technik je ovšem poněkud těžkopádné pro komplexnější systémy, jako je JE.

(3.512) Při kontrole výsledků kvantifikace je třeba věnovat velkou pozornost kontrole MKŘ. V LPSPSA mohou být modely systémů značně modifikovány, aby bylo možno zohlednit všechna specifika jednotlivých PSA stavů. Pokud je model systému upravován, měla by se

provést křížová kontrola MKŘ pro podobné havarijní sekvence nebo systémy v různých PSA stavech, aby bylo zajištěno, že budou skutečně zohledněny všechny rozdíly mezi jednotlivými PSA stavy a havarijními sekvencemi a aby byly odhaleny případné chyby v modelu.

#### Analýza importančních měř, citlivostní studie a analýza neurčitostí

- (3.513) Pro provádění analýzy neurčitostí by měl být využit analogický přístup, jako v PSA pro výkonový provoz (viz kap. PSA 1. úrovně pro interní IU při provozu na výkonu). Stejná zásada platí i pro analýzu importančních měř a pro provádění citlivostních studií.
- (3.514) Citlivostní studie představují významnou část analýz v rámci LPSPSA; zaměřují se na analýzu potenciálního vlivu řady faktorů specifických pro LPSPSA. Například specifické podmínky použité pro charakterizování PSA stavů mohou reprezentovat široké spektrum podmínek, které mohou reálně nastat během daného PSA stavu. Ve srovnání s PSA pro výkonový provoz se mohou objevit rozdílné kombinace systémů, které budou nedostupné; některé kombinace mohou vyplývat z konzervativnějšího přístupu k analýze, jiné naopak z méně konzervativního. PSA stav může trvat kratší nebo delší dobu. Doba pro provedení lidského zásahu může být různá v závislosti na době trvání PSA stavu ve vztahu k celkové době odstávky. Kritéria úspěchu se mohou měnit v závislosti na úrovni zbytkového tepla. Zmíněné rozdíly by měly být prozkoumány, a to zejména v případech, kdy předpoklady použité při modelování PSA stavu mají za následek dominantní příspěvek k riziku.

#### **Dokumentace a prezentace výsledků**

- (3.515) V rámci dokumentace PSA 1. úrovně by měla být zahrnuta i část dokumentující LPSPSA.
- (3.516) Výsledky získané v každém dílčím kroku LPSPSA diskutované v předchozích kapitolách by měly být zdokumentovány současně s inženýrskými nálezy získanými z analýzy. V dokumentaci by mělo být obsaženo i zhodnocení celkových výsledků včetně rozboru neurčitostí.
- (3.517) Často se stává, že na základě předběžných výsledků analýz jsou zdokonaleny či nově zavedeny předpisy pro údržbu a provoz. Tento aspekt by měl být v dokumentaci rovněž zmíněn.
- (3.518) Nakonec by měly být shrnuty a komentovány obecné závěry a doporučení vyplývající z provedené analýzy. V dokumentaci by měly být uvedeny následující údaje v přiměřeném rozsahu využitelném pro rizikově informované rozhodování:
- a) CDF – celková (tj. pro všechny PSA stavy i IU)
    - i) příspěvky dominantních sekvencí
    - ii) příspěvky jednotlivých PSA stavů
    - iii) příspěvky jednotlivých skupin IU
    - iv) výsledky analýzy neurčitostí pro CDF
    - v) výsledky analýzy importančních měř a citlivostních studií pro CDF
  - b) výsledky pro jednotlivé PSA stavy dle potřeby
    - i) příspěvky dominantních sekvencí
    - ii) příspěvky jednotlivých skupin IU

- c) dle potřeby rovněž interface mezi PSA 1. a 2. úrovně obsahující charakteristiky a frekvence jednotlivých PDS
  - d) kvalitativní zjištění a závěry
    - i) interpretace výsledků a inženýrské nálezy
    - ii) závěry a doporučení.
- (3.519) Prezentace inženýrských nálezů a doporučení by měla být taková, aby umožňovala následné rizikově informované rozhodování.
- (3.520) V dokumentaci LPSPSA 1. úrovně by měly být obsaženy následující podrobné informace:
- a) MKŘ významně přispívající k CDF
  - b) dle potřeby i MKŘ významně přispívající k CDF v jednotlivých PSA stavech
- (3.521) Úroveň významnosti jednotlivých MKŘ je dána cíli prováděné analýzy.
- (3.522) Rovněž následující údaje by měly být v dokumentaci obsaženy:
- a) příspěvky lidských selhání a CCF k celkové CDF
  - b) příspěvky jednotlivých nezávislých selhání zařízení
  - c) příspěvky od jednotlivých systémů uvažovaných v PSA.
- (3.523) Ostatní koncové stavy havarijních sekvencí, jako například poškození paliva v bazénu skladování nebo stavy zahrnující kritičnost včetně jejich frekvencí by měly být posouzeny a výsledky zdokumentovány.
- (3.524) Model JE a použitá spolehlivostní data by měla být dostatečně zdokumentována a uložena v databázích a počítačových souborech, aby bylo možno zopakovat provedenou analýzu a model snadno využít při aplikacích.
- (3.525) Dokumentace LPSPSA by měla být poskytnuta dozornému orgánu pro provedení nezávislého posouzení kvality PSA a její využitelnosti při aplikacích.

## Aplikace PSA

(3.526) Tato kapitola stručně rozebírá požadavky, které by měly být splněny při provádění jednotlivých aplikací PSA.

(3.527) Podrobnější informace je možno nalézt např. v materiálech [14, 23, 24]

(3.528) Při využívání PSA pro konkrétní aplikaci je vždy třeba správně zhodnotit omezení, která daná PSA studie má a z tohoto pohledu posoudit, zda je dostatečně vyhovující pro tuto aplikaci, či nikoli.

## Požadavky na PSA

(3.529) Obecně je požadováno (viz např. [11]), aby pro provádění aplikací byla k dispozici plnorozsahová PSA studie 1. a 2. úrovně pro výkonové stavy i pro odstávky, obsahující plné spektrum všech reálně možných iniciátorů včetně interních a externích hazardů.

(3.530) Poznámka: Zde je třeba poznamenat, že tato část návodu se soustředí pouze na PSA 1. úrovně. U řady aplikací lze očekávat, že bude třeba mít k dispozici též závěry z PSA 2. úrovně a v některých případech dokonce i z PSA 3. úrovně.

(3.531) Podmínkou použití PSA pro aplikace je, aby PSA byla zpracována s požadovanou úrovní kvality (viz odst. 3.53, 3.54) a měla by být provedena její nezávislá kontrola (viz odst. 3.22, 3.23).

(3.532) Aby bylo možno reálně využívat PSA pro aplikace v dané konkrétní době, je třeba PSA model pravidelně aktualizovat, aby odpovídal současnému stavu poznatků o JE (zahrnutí nově prováděných termo-hydraulických a dalších analýz), současnému stavu JE (zahrnutí všech provedených změn či modifikací zařízení i předpisů, které mohou mít vliv na jevy, které model zachycuje) i současné mezinárodní praxi (udržení kroku s vyvíjející se metodikou) – viz program „Living PSA“ (viz odst. 3.24 – 3.26).

(3.533) Při posuzování použitelnosti PSA studie pro jednotlivé aplikace, jakož i při posuzování provedení konkrétní aplikace by se měly zkoumat následující faktory:

- ❖ zda PSA reprezentuje skutečný stav JE (jak zařízení, tak předpisů)
- ❖ zda byl model vytvořen v souladu s mezinárodně uznávanou metodikou a v souladu s nejlepší mezinárodní praxí
- ❖ zda model zahrnuje nejnovější poznatky a informace (např. zda odpovídá výsledkům provedených termo-hydraulických a dalších analýz)
- ❖ zda správně zachycuje vztahy mezi jednotlivými prvky zařízení JE a činností provozního personálu
- ❖ zda byla správně stanovena spolehlivostní data primárních událostí (tj. frekvence vzniku jednotlivých iniciačních událostí, jakož i pravděpodobnosti selhání komponent i lidského faktoru)
- ❖ zda byly použity vhodné předpoklady modelování
- ❖ zda byly správně zhodnoceny omezení a neurčitosti PSA při dané analýze

- ❖ zda bylo vše výše uvedené vhodně zdokumentováno (tj. zda je možno vysledovat postup použitý při provádění příslušné analýzy a správně porozumět jejím výsledkům).

(3.534) Pokud daná specifická PSA studie má být využívána pro více podobných bloků v dané lokalitě, měly by být identifikovány všechny případné rozdíly mezi blokem, pro který byla vytvořena a ostatními bloky, a měl by být zhodnocen vliv těchto rozdílů na její výsledky.

### **Rizikově informovaný rozhodovací proces**

(3.535) Ve všech aplikacích PSA, které budou popisovány v následujícím textu, by měly závěry získané z PSA vstupovat do procesu rizikově informovaného rozhodování, které zohledňuje:

- ❖ závazné požadavky, které se týkají předmětu PSA aplikace (legislativní rámec),
- ❖ závěry získané z deterministických analýz,
- ❖ závěry získané z pravděpodobnostního hodnocení (PSA),
- ❖ provozní zkušenosti, výsledky kontrol, analýzu nákladů a rovněž dávky (ozáření), kterým by byli vystaveni pracovníci při provádění změn na zařízení JE
- ❖ a případně i vyjádření výrobce zařízení.

### **Hodnocení projektu pomocí PSA**

(3.536) PSA by mělo být využito již během projektování jaderného zařízení, kdy může pomoci odhalit slabá místa projektu. Změny provedené v této fázi jsou z pohledu finančních nákladů nejefektivnější. Ale i v případě, že už je JE postavena, mělo by se PSA využít k hodnocení a k případným modifikacím jejího projektu.

(3.537) PSA by se mělo využívat během celého procesu projektování, výstavby a provozu JE, tj.:

- a) pomocí PSA předběžně posoudit, zda návrh projektu bezpečnostních systémů, podpůrných systémů a celkové navrhované řešení JE je adekvátní
- b) aktualizovat předběžnou PSA analýzu na základě nových podrobnějších informací, které se objeví během detailního projektování a výstavby JE
- c) udržovat PSA během provozu JE jako „living PSA“ a využívat ji jako nástroj při rozhodování o navrhovaných modifikacích projektu či provozu během životnosti JE, jakož i pro posuzování úrovně jaderné bezpečnosti během provozu, využívat jí v rámci PSR či v rámci hodnocení projektu prodloužení původně plánované doby životnosti.

(3.538) Výsledky PSA by měly být použity při vývoji předpisů pro likvidaci mimořádných událostí a rovněž sloužit jako vstup pro dokument Limity a podmínky. Konkrétně by výsledky PSA měly být použity v případě nárůstu rizika v těch případech, kdy je zařízení zajištěno do údržby či se na něm provádějí testy, pro posouzení adekvátnosti frekvence provádění dané údržby či testů. PSA by měla být rovněž užita pro potvrzení toho, že AOT nebude příliš zvyšovat riziko a k indikaci toho, kterým kombinacím neprovozního zařízení je třeba se vyhnout. PSA by rovněž měla být použita ke stanovení toho, zda bezpečnostní systémy mají dostatečnou úroveň zálohovanosti a diverzity a zda je celkový projekt vyvážený. Pokud jde o celkovou vyváženost projektu, výsledky PSA by měly ukázat, že:

- (i) žádný prvek projektu nebo skupina IU nepředstavuje disproporčně velký příspěvek k riziku;
- (ii) dosažení celkově nízké úrovně rizika nezávisí na příspěvatelích, které mají významné neurčitosti.

Nedostatek ve vyváženosti projektu je často indikátorem toho, že existují možnosti implementace rozumně proveditelných opatření k redukci rizika.

- (3.539) Stejná PSA analýza by se měla používat během celého životního cyklu JE, tj. již během projektování by měl být stanoven rozsah a úroveň detailů modelování, s tím, že se dále bude doplňovat v závislosti na nově provedených analýzách, které mohou být prováděny z důvodu ověření předpokladů modelování, a rovněž budou zahrnována specifická data získaná z provozu zařízení.
- (3.540) Z výsledků PSA by mělo být možno identifikovat slabá místa (z hlediska jaderné bezpečnosti) v projektu či provozu JE a hodnotit priority v provádění modifikací téhož. Takové využití PSA by mělo zahrnovat porovnání s pravděpodobnostními kritérii tam, kde jsou stanovena.

#### Identifikace slabých míst JE

- (3.541) PSA používaná pro účely hodnocení projektu by měla zahrnovat plný rozsah iniciátorů včetně interních i externích hazardů, jakož i provozních stavů, jak je to zmiňováno výše (viz kapitola Obecné zásady pro provádění a používání PSA). Tím je možno zajistit, že bude odhaleno maximum slabých míst projektu. Podrobné kvantitativní informace (jako např. frekvence seskupených IU, frekvence MKŘ, hodnoty importančních měř pro primární události) a kvalitativní informace odvozené z PSA mohou pomoci identifikovat specifické slabiny JE z pohledu CDF.

#### Porovnání s kritérii přijatelnosti

- (3.542) Jak bylo výše uvedeno, rozsah PSA by měl být v korelaci s bezpečnostními cíli či kritérii, pokud nějaká byla stanovena. Tyto cíle či kritéria obvykle nespécifikují, které hazardy a provozní režimy JE mají být uvažovány. Z toho důvodu by při využívání výsledků PSA pro verifikaci toho, že odpovídají stanoveným bezpečnostním cílům či kritériím, měla být používána plnorozsahová PSA studie zahrnující kompletní seznam IU včetně interních i reálně možných externích hazardů a všechny provozní režimy JE, kromě případů, kdy jsou bezpečnostní cíle či kritéria formulovány pro omezený rozsah PSA nebo jsou užity alternativní přístupy k prokázání toho, že riziko z nezahrnutých IU a hazardů, případně provozních režimů, které nejsou obsaženy v PSA modelu, neohrozí naplnění zmíněných bezpečnostních cílů či kritérií.
- (3.543) Celkové výsledky PSA 1. úrovně (obvykle CDF) by měly být porovnány se stanovenými kritérii přijatelnosti, aby bylo možno posoudit, zda navržený projekt a provozní náležitosti jsou v souladu s cílem zajistit co nejvyšší možnou jadernou bezpečnost (tj. zda riziko je dostatečně nízké). Cílem by mělo být nepřekročení limitních hodnot zvolených kritérií přijatelnosti, tj. analýza PSA by měla ověřit, že projekt má dostatečnou úroveň jaderné bezpečnosti reprezentovanou bezpečnostními systémy a havarijními procedurami, které mají zabránit tavení AZ. Analogický přístup lze uplatnit i pro výsledky PSA 2. a 3. úrovně.
- (3.544) Zmíněné porovnávání výsledků PSA analýzy s kritérii přijatelnosti rizika by se mělo

provádět během posuzování návrhu projektu, detailního projektování, během výstavby i provozu JE s cílem ověřit, zda jaderná bezpečnost JE je stále na dostatečné úrovni.

(3.545) Při porovnávání výsledků PSA s kritérii přijatelnosti by měly být též zváženy výsledky provedených citlivostních studií a analýz neurčitosti. Z nich lze odvodit stupeň důveryhodnosti toho, že kritérium nebylo překročeno i pravděpodobnost toho, že by se tak mohlo stát.

### Využití MKŘ

(3.546) Seznam MKŘ lze využít ke zjištění slabých míst v projektu i provozu JE. Prověřeny by měly být zejména MKŘ, které představují významné přispěvatele k celkové CDF, a na základě toho provedena identifikace skupin iniciátorů a bezpečnostních funkcí, které mají největší příspěvek k CDF. Rovněž by to mělo být provedeno pro MKŘ obsahující primární události, které mají vysoké hodnoty importančních měř.

(3.547) Příspěvky k CDF a MKŘ pro jednotlivé skupiny IU by měly být využity ke zjištění toho, zda projekt je vybalancovaný, takže žádná skupina iniciátorů ani žádná jednotlivá havarijní sekvence nemá přehnaně velký příspěvek k riziku (tedy k CDF). Analogicky lze postupovat při vyhodnocování výsledků PSA 2. a 3. úrovně.

(3.548) Seznam MKŘ může být rovněž využit ke zjištění toho, zda neexistují jednoduché poruchy, jejichž výskyt znamená selhání celého bezpečnostního systému v odezvě na některou skupinu IU, tj. že nebylo splněno kritérium jednoduché poruchy.

### Užití importančních měř

(3.549) Při interpretaci výsledků PSA by měly být rovněž využity spočtené importanční míry pro primární události, jejich skupiny, bezpečnostní systémy, skupiny IU apod. Zpravidla se vyčíslují následující importanční míry:

- Fussell-Vesely
- RAW (risk achievement worth, někdy se také označuje jako risk increase ratio, resp. risk increase factor - RIF)
- RRW (risk reduction worth, někdy se také označuje jako risk decrease ratio, resp. risk decrease factor - RDF)
- Birnbaum importance.

(3.550) Importanční míry by měly být využity k identifikaci komponent a systémů významně přispívajících k riziku a jejich hodnoty by měly být pozorně zvažovány, ať už při projektování nebo během provozu JE; měly by sloužit k identifikaci oblastí projektu či provozu JE, které by bylo vhodné vylepšit.

(3.551) Výsledky PSA by měly být využity pro určení toho, zda:

- a) bezpečnostní systémy mají adekvátní úroveň zálohování a redundancí,
- b) je kvalifikace SSC na dostatečné úrovni, aby zařízení bylo schopno fungovat v drsných podmínkách vzniklých při havárii
- c) je dostatečná separace a segregace oblastí ohrožených hazardy, jako např. záplavy nebo požáry

- d) interface člověk – stroj je řešen adekvátně; zajišťuje, že potenciál vzniku lidských selhání je zredukován na dostatečně nízkou úroveň.

(3.552) Výsledky PSA by také měly být využity k určení toho, zda projekt je vybalancován z pohledu rizika nebo je třeba provést dodatečná opatření s cílem snížit riziko.

(3.553) Při identifikaci slabých míst JE je třeba zvážit neurčitosti inherentně obsažené ve výsledcích PSA a porozumět nálezům získaným z citlivostních studií.

#### Porovnávání návrhů modifikací projektu

(3.554) Při zvažování modifikací projektu JE je obvykle k dispozici více alternativ řešení. Při posuzování vhodnosti jednotlivých možností řešení může být využita i PSA studie. Způsob, kterým to bude provedeno, závisí na konkrétní modifikaci projektu. Závěry získané z PSA představují jeden ze vstupů do procesu integrálního rizikově informovaného rozhodování, jehož výsledkem by měl být výběr nejvhodnějšího řešení.

#### Omezení PSA 1. úrovně při hodnocení projektu

(3.555) Na prvním místě je třeba zmínit rozsah PSA studie; pokud např. neobsahuje analýzu některých iniciátorů či hazardů, které by mohly významně přispět k výsledné hodnotě CDF, je třeba pozorně zvážit vhodnost studie pro tuto aplikaci i získané výsledky.

(3.556) Rovněž je třeba brát v úvahu, že mohou existovat oblasti, které nebudou dokonale modelovány a rovněž některá spolehlivostní data nemusí odpovídat použitému zařízení. Například ve fázi projektování mohou existovat značné neurčitosti v datech, modelech i předpokládané provozní praxi, zejména v případě nového originálního pojetí zařízení, dále při modelování efektů stárnutí nebo v uvažované kultuře bezpečnosti. To vše by mělo být zváženo při využívání výsledků získaných pomocí PSA.

#### **Rizikově informované LaP**

(3.557) LaP pro bezpečný provoz JE specifikují limity a podmínky pro provoz, údržbu a testování zařízení JE. Požadavky LaP jsou tradičně založeny na deterministických požadavcích a inženýrském odhadu.

(3.558) Limitní podmínky pro provoz například obsahují požadavky na provozuschopnost zařízení, AOT a požadované akce (tj. požadavky na testování záložního zařízení). AOT pro jednotlivý systém nebo komponentu představuje časový úsek, během něhož by měla být provedena údržba nebo opravy daného zařízení. Pokud dojde k překročení AOT, LaP specifikují činnosti, které by měl provozní personál vykonat. Například, jestliže je překročen AOT při provozu na výkonu, může být vznášen požadavek na redukci výkonu bloku, případně na jeho odstavení. Dále, požadavek na provozuschopnost obvykle zahrnuje limitní kombinace zařízení, které může být současně v údržbě (obvykle se to nazývá řízení konfigurace).

(3.559) STI představují požadavky na testování bezpečnostně významných systémů a určují frekvenci provádění testů a někdy i strategii jejich provádění. Pokud dojde k překročení STI, tak LaP budou požadovat, aby bylo dotčené zařízení považováno za neprovozuschopné.



- (3.560) Tato aplikace PSA souvisí s rizikově informovaným přístupem, který využívá závěrů PSA k optimalizaci AOT, STI a strategií testování zařízení. Závěry z PSA mohou být využity jako vstupy při zdůvodnění podmínek provozu či délek AOT.
- (3.561) Rizikově informovaný přístup by měl být využit pro stanovení konzistentního základu pro definování LaP, který by měl být v souladu s bezpečnostním významem dotčených důležitých částí JE. Při využití PSA pro hodnocení nebo změnu požadavků LaP by měla být do analýzy zahrnuta všechna zařízení (včetně stavu systémů a komponent) i bezpečnostní funkce, kterých se dané hodnocení či změna týká.
- (3.562) Závěry z PSA 1. úrovně by měly obsahovat informace potřebné pro porovnání s rozhodovacími kritérii nebo návody používanými pro podporu rizikově informovaných LaP. Takové informace mohou například obsahovat CCDF za situace, kdy dané zařízení je v údržbě, ICCDP, kumulativní přírůstek CCDP za rok, případně za kratší časový úsek (např. týden, měsíc, odstávku) a vliv změny na průměrnou roční CDF.
- (3.563) Jestliže je navrhováno přesunout údržbu některého zařízení z provozu na výkonu do odstávky nebo naopak, PSA by měla být využita ke stanovení s tím související změny rizika v obou režimech.
- (3.564) Pokud bude PSA použita pro optimalizaci STI, měla by být prověřena oprávněnost použité korelace mezi STI a pravděpodobností selhání komponenty.
- (3.565) Když jsou navrhovány změny ve strategii provádění testů (např. zavádění cyklických provozních zkoušek), tak PSA 1. úrovně by měla být využita ke stanovení případné změny v hodnotě CDF, ke které by to mohlo vést. Měly by být zváženy nepřímé efekty, jako jsou změny pravděpodobností výskytu CCF a změny v potenciálu pro vznik tzv. "errors of commision" (ECOM).

## **Monitor rizika**

- (3.566) Monitor rizika je analytický nástroj schopný pracovat v reálném čase, který poskytuje informace o riziku založené na aktuální konfiguraci JE, která závisí na řadě faktorů:
- ❖ PSA stav (mapuje provoz na výkonu i odstávky)
  - ❖ zařízení, které je v provozu
  - ❖ zařízení, které je ve vyčkávacím režimu
  - ❖ zařízení, na němž se provádí údržba.
- (3.567) Informace získané pomocí monitoru rizika mohou být využívány při plánování údržby zařízení, kde mohou zajistit, aby nedocházelo k významnému nárůstu rizika v důsledku nepohotovosti zařízení a aby kumulativní přírůstek CCDP byl nízký.

### PSA model pro monitor rizika

- (3.568) PSA model využitelný pro monitor rizika se odlišuje od běžného modelu používaného pro jiné aplikace PSA. Podrobněji to bude specifikováno v následujících odstavcích.
- (3.569) PSA model by měl být upraven tak, aby byl schopen vyčíslvat okamžité riziko pro každou konfiguraci zařízení JE. To vyžaduje, aby byly identifikovány všechny předpoklady

modelování i spolehlivostní data (tj. zejména frekvence IU, nepohotovost zařízení v důsledku provádění údržby), které je třeba převést do podoby, která by umožňovala hodnotit okamžité riziko.

(3.570) Z PSA modelu je třeba odstranit různá zjednodušení uplatněná při vytváření PSA, jejichž účelem bylo redukovat objem analýz i rozsah modelu, jelikož by zkreslovaly výsledky monitoru rizika pro některé konfigurace zařízení JE, které mohou reálně nastat. Obvykle je třeba provést následující úpravy:

- ❖ Nahradit skupiny IU modelované v PSA pomocí jednoho stromu událostí s celkovou frekvencí jejich možného výskytu individuálními IU (např. IU typu LOCA uvažovanou obecně na potrubí I.O. je třeba rozdělit na IU typu LOCA na jednotlivých konkrétních smyčkách a těmto přiřadit frekvenci výskytu na dané smyčce).
- ❖ Do modelů systémů zahrnout všechny možné konfigurace zařízení, aby bylo možno navolit různé linie systémů jako pracovní i jako rezervní.
- ❖ Odstranit primární události, které v PSA modelu zohledňují údržbu prováděnou na zařízení nebo jim přiřadit nulovou pravděpodobnost.

(3.571) PSA model by měl být dále rozvinut s cílem přesněji stanovit riziko ve vztahu ke konkrétní konfiguraci zařízení JE; jedná se zejména o následující:

- ❖ stanovení odpovídající pravděpodobnosti vzniku CCF v situacích, kdy se na zařízení provádí údržba,
- ❖ modelování lidských selhání, které by bralo do úvahy aktuální konfiguraci zařízení
- ❖ zavedení dynamických událostí, aby bylo možno modelovat změny ve frekvencích IU a pravděpodobnosti vzniku primárních událostí které mohou nastat v důsledku změn okolního prostředí.

(3.572) PSA model by také měl být kompatibilní s programovým vybavením, které bude používáno pro monitor rizika. Například může být nutno převést PSA model z obvyklé logické struktury zahrnující stromy událostí a stromy poruch do jednoho ekvivalentního rozsáhlého stromu poruch nebo upravit NOT logiku a logické spínače použité v modelu.

(3.573) Pro podporu provozu monitoru rizika bude třeba vytvořit některé databáze. Například bude potřeba mít k dispozici nástroj mapující vztah mezi označením zařízení (komponent) běžně používaným na JE a označením primárních událostí, používané v PSA modelu. Všechny databáze používané pro podporu monitorování rizika by měly být verifikovány.

(3.574) Logická struktura PSA modelu a podpůrné databáze vyvinuté pro provoz monitoru rizika by měly být validovány. Validací proces by měl být zaměřen na ujištění se o tom, že kvantitativní výsledky výpočtů monitorem rizika jsou správné a odpovídající těm, které by byly získány pomocí původního PSA modelu pro všechny pravděpodobné konfigurace zařízení JE.

(3.575) V současnosti jsou k dispozici rozsáhlé zkušenosti s výše popisovanými úpravami PSA modelu pro účely monitorování rizika, včetně validace, viz např. [25].

### Programové vybavení pro monitor rizika

(3.576) Programové vybavení pro monitor rizika se významně odlišuje od toho, v němž se vytváří a kvantifikuje PSA studie. Nejdůležitější rozdíl je v tom, že monitor rizika bude využíván pracovníky různých profesí na JE, kteří nejsou specialisty na PSA a nebudou mít

tudíž příslušné znalosti potřebné pro provádění PSA. Uživatelé mají pouze omezenou možnost měnit konfiguraci zařízení JE (např. stanovit konkrétní PSA stav, označit komponenty, které budou v údržbě apod.). To je možno provádět pomocí identifikátorů zařízení, které se používá v běžné provozní praxi na JE. Uživatel nemůže zasahovat přímo do PSA modelu a nepotřebuje žádné speciální školení v používání technik PSA.

(3.577) Pro monitorování rizika byla vyvinuta řada velmi kvalitních programů. Je žádoucí, aby konkrétní software, který bude vybrán pro tyto účely, byl validován, měl široké spektrum funkcí a byl použitelný pro různé kategorie pracovníků na JE, kteří nejsou specialisté na PSA. Rovněž by měl být schopný vyčíslovat riziko v reálném čase, čemuž by mělo být přizpůsobeno i hardware.

#### Zobrazení výstupů z monitoru rizika

(3.578) Monitor rizika jednak poskytuje informace pro kvantitativní hodnocení rizika (výpočet okamžité CDF, dovolená doba dané konfigurace zařízení, kumulativní přírůstek CCDP), jednak poskytuje kvalitativní informace (stav bezpečnostních funkcí a systémů). Tyto kvalitativní informace souvisí s deterministickými požadavky a jsou využitelné při řízení rizika během odstávky.

(3.579) Monitor rizika by měl sloužit širokému spektru pracovníků JE, kteří jsou zaměstnáni v různých profesích. Z tohoto důvodu by měl být schopen poskytovat informace formou, která by byla těmto pracovníkům snadno srozumitelná. Obvykle je to provedeno formou barevných displejů, které poskytují jasnou vizuální indikaci o dosažené úrovni rizika nebo stavu bezpečnostních funkcí a systémů.

#### Využití monitoru rizika

(3.580) Pokud je monitor rizika využíván personálem na blokové dozorně či na jiných pracovištích JE, je třeba mít k dispozici aktuální informace o konfiguraci zařízení i o podmínkách prostředí. Dobrou praxí je provádět aktualizaci těchto informací v co možná nejkratším termínu, aby monitor rizika mohl v reálném čase podat informaci o aktuálním provozním riziku.

(3.581) Monitor rizika může být využit pro plánování údržby během odstávek, dlouhodobé sledování profilu rizika, analýzu kumulativní ICCDP a hodnocení neočekávaných událostí jako např. selhání zařízení.

(3.582) Informace získané pomocí monitoru rizika by měly být využívány v procesu integrovaného rizikově informovaného rozhodování, které bere v úvahu závazná nařízení (např. limity a podmínky) a deterministické požadavky (např. zachování ochrany do hloubky).

#### Omezení monitoru rizika

(3.583) Monitor rizika je omezen modelem PSA, na němž je založen. Tento model může mít omezený rozsah, například nemusí obecně obsahovat všechny interní a externí hazardy, všechny PSA stavy, které se mohou vyskytnout při provozování JE, nemusí být dokonale symetrický, tj. obsahující všechny možné kombinace tras provozovaných a těch, které jsou ve

vyčkávacím režimu, všech možných propojení zařízení JE. Tato omezení je třeba brát v úvahu při rozhodovacím procesu, při němž se budou zvažovat výsledky získané monitorem rizika.

### **Rizikově informované provozní kontroly**

(3.584) Cílem programu kontrol potrubních systémů na JE je identifikace oblastí degradace, které mohou být opraveny před tím, než dojde k havárii. Program prováděných kontrol je typicky založen na tradičních deterministických přístupech a inženýrském odhadu.

(3.585) Cílem rizikově informovaného přístupu je využít závěry z PSA k provedení revize tohoto programu kontrol (z pohledu frekvence inspekcí, použitých metod, atd.) a soustředit se na ty potrubní segmenty, jejichž význam je z hlediska rizika největší a redukovat kontroly na potrubích s nízkým bezpečnostním významem. Očekává se, že to povede ke snížení celkového počtu prováděných kontrol potrubí, snížení nákladů a redukcii dávek obdržovaných personálem, který kontroly provádí, a to bez zvýšení rizika provozování dané JE.

(3.586) Pro provádění této aplikace PSA bylo vyvinuto několik přístupů, např. EPRI, Westinghouse [26], [27], [28].

### Využití PSA v RI-ISI

(3.587) Závěry z PSA 1. úrovně by měly být využity jako jeden ze vstupů do RI-ISI, kde se s jejich pomocí stanoví následující:

- a) potrubní segmenty, které budou hodnoceny pomocí RI-ISI
- b) význam těchto potrubních segmentů z hlediska rizika
- c) cílové hodnoty pravděpodobnosti selhání potrubních segmentů, na nichž budou prováděny inspekce
- d) změny hodnot rizika vyplývající ze změn programu kontrol.

(3.588) Pro každý potrubní segment zahrnutý do studie by měly být stanoveny následky jeho selhání jako jedna z následujících možností:

- a) jako iniciační událost, zohledňující rovněž následná selhání, která by mohla nastat (tj. jako následek úniku vody, páry, švihů potrubí)
- b) jako selhání systému ve vyčkávacím režimu, které by mohlo vést k tomu, že buď některá jeho linie nebo celý systém by byl neschopen plnit svoji bezpečnostní funkci (dojde k degradaci schopnosti JE reagovat na mimořádné situace)
- c) jako selhání jedné linie nebo celého systému, když je provozován na požadavek v důsledku vzniku IU.

(3.589) Selhání potrubí, které vede přímo na IU, by mělo již být v PSA 1. úrovně zahrnuto. Mělo by být pouze prověřeno, že tomu tak skutečně je. Avšak selhání potrubí, která mohou vést na neprovoznost bezpečnostního systému nebo selhání takového systému při požadavku na jeho provoz, obecně nebývají zahrnuta v PSA modelu, jelikož příspěvek pravděpodobnosti selhání potrubních tras k celkové pravděpodobnosti selhání bezpečnostního systému je zanedbatelný v porovnání s pravděpodobností selhání aktivních komponent.

(3.590) V případě selhání potrubních segmentů vedoucích přímo ke vzniku IU by měla být PSA využita ke stanovení CCDP. V případech, kdy by selhání potrubních segmentů vedlo ke

ztrátě bezpečnostního systému, ať již v režimu vyčkávání nebo při jeho zprovoznění na požadavek, by měla být PSA použita k výpočtu CCDF.

- (3.591) Přesný způsob stanovení rizikového významu všech potrubních segmentů zahrnutých v RI-ISI projektu by znamenal kompletní revizi PSA modelu, jejímž smyslem by bylo explicitně zahrnout tyto potrubní segmenty do PSA a následně výpočtem stanovit související CDF a CCDF. Takový přístup byl použit v RI-ISI projektech provedených v některých zemích.
- (3.592) Alternativní a často používaný přístup je užít náhradní řešení, kde selhání potrubních segmentů nejsou explicitně zahrnována do PSA, ale jsou vztahována k primárním událostem (nebo ke skupinám primárních událostí) již obsažených v PSA, následky jejichž selhání jsou stejné. Pokud je použit tento přístup, je třeba pozorně zvážit, zda i všechny následné efekty selhání potrubí jsou v PSA modelu zahrnuty.
- (3.593) Po vytvoření revidovaného programu kontrol by měly být pomocí PSA vyčísleny příslušné míry rizika a porovnány s rozhodovacími kritérii nebo s návody aplikovanými pro posouzení akceptovatelnosti změn v programu kontrol. Může to být provedeno oceněním specifických změn ve frekvencích IU nebo pravděpodobnostech selhání komponent, které vyplývají ze změn v programu kontrol a přepočítáním PSA s těmito pozměněnými hodnotami uvedených parametrů nebo pomocí citlivostních studií. Přitom musí být známa a brána v potaz omezení PSA, vyplývající z omezeného rozsahu studie, podrobnosti modelování apod.

### **Rizikově informované provozní testy**

- (3.594) Provozní testy jsou v současnosti obvykle prováděny dle standardů, které mohou být zahrnuty v provozních předpisech a které využívají deterministický přístup pro vypracování programu provozních testů, jež je třeba provádět na zařízení JE.
- (3.595) Cílem rizikově informovaného přístupu k této problematice je s pomocí PSA pomoci optimalizovat program provozních testů tak, aby se soustředil na zařízení, které má největší význam z hlediska rizika. Z pohledu provozovatele JE by rizikově informovaný přístup mohl přinést snížení celkových nákladů na údržbu při současném zachování vysoké úrovně jaderné bezpečnosti.
- (3.596) Při aplikaci rizikově informovaného přístupu by výsledky PSA měly být využity společně s deterministickými a inženýrskými úvahami ke stanovení bezpečnostního významu příslušných komponent. Z výsledků PSA by měly být využity zejména importanční míry Fussell-Vesely a Birnbaum (nebo RAW), jelikož tyto míry poskytují informace o bezpečnostním významu zařízení.
- (3.597) PSA je zde zdrojem informací o bezpečnostním významu jednotlivých komponent; na tomto základě je možno vybrat komponenty s relativně velkým bezpečnostním významem (a tedy vyžadující pečlivé testování) a komponenty relativně bezpečnostně nevýznamné (které se tak stávají kandidáty na omezení testování). Na základě těchto zjištění může být upraven program provozních testů.
- (3.598) Pokud dojde ke změně testových intervalů zařízení JE, je třeba přepočítat PSA s těmito novými vstupními údaji, stanovit tak novou hodnotu CDF a porovnat jí s kritérii přijatelnosti rizika, zda je akceptovatelná.

## Odstupňovaný přístup pro zajištění jakosti

- (3.599) Cílem programu zajištění jakosti pro SSC na JE je poskytnout vysokou úroveň jistoty, že zařízení bude spolehlivě plnit své bezpečnostní funkce v podmínkách normálního provozu i při haváriích. Pro určení bezpečnostně významných SSC, na které se zaměřuje program zajištění jakosti, se běžně užívají deterministické metody a inženýrský odhad. Původně se požadovala stejná úroveň zajištění jakosti pro všechna bezpečnostně významná zařízení (SSC) na JE.
- (3.600) Z výsledků řady zpracovaných PSA studií vyplývá, že některá bezpečnostně významná SSC mají relativně nízký příspěvek k riziku, zatímco jiné SSC, klasifikované jako bezpečnostně nevýznamná, relativně významně přispívají k celkovému riziku.
- (3.601) Cílem odstupňovaného přístupu k zajištění jakosti je zvážit, zda je možno provést u některých zařízení změny v tradičních požadavcích na zajištění jakosti tak, aby tyto požadavky byly více v souladu s jejich bezpečnostním významem. Z pohledu provozovatele JE tento přístup může umožnit redukovat náklady na provádění programu zajištění jakosti, z hlediska dozorného orgánu pak jednak snížení požadavků na některá bezpečnostně méně významná zařízení a naopak zvýšení těchto požadavků na zařízení rizikově významná, jejichž vliv na jadernou bezpečnost byl před provedením analýzy podceněn.
- (3.602) Pomocí PSA studie by měl být stanoven význam jednotlivých SSC z pohledu jejich vlivu na celkové riziko. Toto je možno provést pomocí analýzy importančních měr, např. Fussell-Vesely a Birnbaum (nebo RAW), jelikož obě tyto importanční míry poskytují informaci o rizikové významnosti SSC. Stanovení vlivu na riziko by mělo být prováděno spíše na úrovni bezpečnostních funkcí a systémů, než na úrovni jednotlivých SSC, pokud jsou požadavky na zajištění jakosti stejné pro soubory komponent, které zajišťují stejnou bezpečnostní funkci nebo které představují určitou část daného bezpečnostního systému. Rovněž je ovšem třeba zvážit importance jednotlivých komponent.
- (3.603) Při rozhodování o změnách v platném programu zajištění jakosti pro provozovanou JE by měla být současně zvážena jak bezpečnostní klasifikace (vyplývající z deterministického přístupu a inženýrského odhadu), tak i vliv na riziko (odvozený z výsledků PSA).
- (3.604) Výsledkem uvedené aplikace PSA by tedy mělo být zvážení toho, zda je možno zredukovat požadavky na zajištění jakosti u zařízení, která jsou sice klasifikována jako bezpečnostně významná, ale mají relativně malý vliv na celkové riziko, a naopak zvýšení těchto požadavků na zařízení, které sice jako bezpečnostně významné klasifikováno není, ale má na celkové riziko relativně velký vliv. Pro ostatní SSC by měly být zachovány původní požadavky na zajištění jakosti. Obecně platí, že by měla být zajištěna provozuschopnost zařízení, která PSA stanovilo jako významná pro zajištění jaderné bezpečnosti a tato zařízení by měla být uvedena v Předprovozní bezpečnostní zprávě.

## SPI založené na PSA

- (3.605) Indikátory bezpečného provozu (SPI) založené na PSA mohou být použity k provedení retrospektivní nebo aktuální indikace chování JE z hlediska jaderné bezpečnosti. Tyto indikátory obvykle zahrnují průběh rizika během provozu, aktuální hodnotu rizika, kumulativní CDP při odstávkách, kdy se provádí údržba zařízení apod. Řadu těchto indikátorů

Ize určit přímo pomocí monitoru rizika. Některé SPI mohou být odvozeny z analýzy událostí provedené pomocí PSA. Pro každou JE by měl být stanoven a průběžně sledován soubor SPI přímo využívajících informace z PSA.

### **Hodnocení událostí pomocí PSA**

- (3.606) Pomocí PSA je možno hodnotit provozní události vyskytnuvší se na jaderném zařízení. V mnoha zemích se to provádí běžně jako součást zpětné vazby; slouží to jako doplněk tradičního deterministického hodnocení, které se snaží určit kořenovou příčinu události apod. Cílem je stanovit rizikový význam té události, která nastala, a současně i ovlivnění rizika v důsledku dalších možných kombinací událostí, které by mohly nastat současně či během reakce bloku na vyskytnuvší se událost.
- (3.607) Uvedené hodnocení by mělo být prováděno v případě výskytu provozní události na vlastní JE, jakož i v případě výskytu události na ostatních JE. Do hodnocení by měly být zahrnuty iniciační události (především ty, které nastaly, ale i takové, kde sice došlo k selhání zařízení, nicméně rychlá reakce operátora zabránila dalšímu rozvoji události, který by vedl ke vzniku IU) a podmíněné události (kde pravděpodobnost vzniku IU byla navýšena nebo dostupnost bezpečnostních systémů požadovaných v odezvě bloku na danou IU byla omezena).
- (3.608) Hodnocení událostí pomocí PSA by mělo být prováděno při výskytu události s potenciálním vlivem na jadernou bezpečnost. Z tohoto důvodu je třeba mít stanoveno vyřadovací kritérium pro vyloučení událostí s malým bezpečnostním významem a rovněž umět seřadit události podle jejich významu pro jadernou bezpečnost.
- (3.609) Stav jaderného zařízení, vyskytnuvší se selhání zařízení a činnosti operátora provedené v rámci události by měly být zmapovány pomocí PSA modelu a proveden výpočet, který by umožnil posouzení rizikové významnosti události (veličiny, které je možno využít pro posouzení jsou např. CCDP v případě výskytu IU a okamžitá CDF v případě podmíněných událostí). Hodnocení by mělo být doplněno o citlivostní studii typu „co kdyby“. Např. by měla odpovědět na otázku „Jaká by byla CCDP, kdyby operátor selhal při řešení situace?“. Tato citlivostní studie by měla být doplněna kvalitativním posouzením, jehož smyslem je správně porozumět hlavním přispěvatelům k riziku při dané události.
- (3.610) Hodnocení událostí pomocí PSA by mělo být provedeno jako doplněk deterministických analýz. Při jeho provádění by měl být zvážen i vliv násobných selhání. Výsledkem by mělo být kvantitativní ohodnocení vyskytnuvší se události z hlediska rizika. Daná aplikace PSA může rovněž pomoci určit, jaké změny, jejichž cílem by bylo snížení pravděpodobnosti opětovného výskytu takové provozní události, by měly být provedeny.
- (3.611) Při využívání výsledků analýzy událostí pomocí PSA by měla být věnována pozornost identifikaci trendů v provozu JE během sledované časové periody. Výsledky této aplikace PSA mohou totiž být zavádějící, pokud nebyly během sledované doby používány stejné modely, metody a předpoklady.

## **Využití PSA pro výcvikové programy držitele povolení**

(3.612) Poznatky z PSA by měly být rovněž využívány jako vstupní informace při přípravě a ověřování bezpečnostně významných výcvikových programů držitele povolení, včetně výcviku operátorů z blokové dozorny na simulátoru.

## **Rizikově informované aktivity státního dozorného orgánu**

(3.613) Výsledky a závěry PSA mohou být rovněž využívány orgánem státního dozoru v rámci rizikově informovaného integrovaného rozhodování. Cílem by mělo být stanovení priorit a soustředění aktivit dozoru na oblasti, které mají největší vliv na riziko, což prakticky znamená optimalizaci aktivit dozoru (některým z pohledu rizika méně významným oblastem či jevům je možno věnovat méně pozornosti).

### Vývoj a aktualizace nařízení státního dozorného orgánu

(3.614) Závěry z PSA mohou sloužit dozornému orgánu k několika účelům:

- ❖ k identifikaci oblastí či jevů s významným vlivem na riziko, které nejsou dostatečně (nebo vůbec) pokryty aktivitami státního dozoru a pro něž je tedy třeba vypracovat příslušná nařízení
- ❖ ke stanovení relativního významu existujících požadavků a nařízení dozorného orgánu z pohledu rizika, které na základě toho mohou být pozměněny či doplněny v souladu s jejich významem
- ❖ k identifikaci nepotřebných a neefektivních požadavků či nařízení dozorného orgánu, které na základě toho mohou být zrušeny.

### Rizikově informované stanovení priorit a optimalizace aktivit státního dozorného orgánu

(3.615) Závěry z PSA mohou být využity například při plánování inspekcí, jehož cílem bude zajistit, aby byla inspekční činnost soustředěna na oblasti a jevy, které mají významný vliv na riziko provozu daného jaderného zařízení a naopak redukován počet a hloubka inspekcí v oblastech, které mají malý význam z pohledu rizika.



## 4 PŘÍLOHY

### Příloha 1: Reactor Safety Reference Levels – Issue O: Probabilistic Safety Analysis (PSA), WENRA, 2008

<b>WENRA Reactor Safety Reference Levels Issue O - Probabilistic Safety Analysis (PSA), 2008</b>	<b>Prováděcí kapitoly návodu</b>
<b>1. Scope and content of PSA</b>	
1.1 For each plant design, a specific PSA shall be developed for level 1 and level 2 including all modes of operation and all relevant initiating events including internal fire and flooding. Severe weather conditions and seismic events shall be addressed.	3.6 – 3.8, 3.16, 3.18 – 3.20, 3.529, 3.532 – 3.534, 3.190, 3.191, 3.198 – 3.207
1.2 PSA shall include relevant dependencies.	3.105, 3.118, 3.124, 3.125, 3.134, 3.135 – 3.143, 3.155, 3.156, 3.197, 3.371, 3.418, 3.426, 3.427, 3.432, 3.436, 3.472, 3.484 - 3.487, 3.499
1.3 The basic Level 1 PSA shall contain sensitivity and uncertainty analyses. The basic Level 2 PSA shall contain sensitivity analyses and, as appropriate, uncertainty analyses.	3.17, 3.75, 3.165, 3.169, 3.175, 3.182 - 3.189, 3.221, 3.285, 3.294, 3.306, 3.312, 3.374, 3.376, 3.377, 3.381, 3.389, 3.398, 3.407, 3.412, 3.418, 3.432, 3.436, 3.439, 3.440, 3.510, 3.513, 3.514, 3.516, 3.518, 3.533, 3.545, 3.553, 3.556, 3.593, 3.609
1.4 PSA shall be based on a realistic modelling of plant response, using data relevant for the design, and taking into account human action to the extent assumed in operating and accident procedures.	3.7, 3.8, 3.20, 3.24, 3.48, 3.66, 3.67, 3.143, 3.150, 3.153, 3.158, 3.170, 3.202, 3.214, 3.221, 3.238, 3.239, 3.242, 3.272, 3.286, 3.288, 3.293, 3.294, 3.303, 3.370, 3.372, 3.374, 3.378, 3.386, 3.388, 3.391, 3.393, 3.396, 3.404, 3.406, 3.408, 3.410, 3.411, 3.414, 3.434, 3.435, 3.455, 3.457, 3.462, 3.463, 3.493, 3.496, 3.498, 3.517, 3.532 – 3.534, 3.539

1.5 Human reliability analysis shall be performed, taking into account the factors which can influence the performance of the operators in all plant states.	3.71, 3.75, 3.76, 3.99, 3.103 – 3.106, 3.110, 3.116, 3.129, 3.136, 3.144 - 3.156, 3.201, 3.205, 3.213, 3.221, 3.231, 3.233, 3.239, 3.244, 3.256, 3.258 - 3.260, 3.266, 3.267, 3.270, 3.289, 3.294, 3.303, 3.306, 3.309, 3.321, 3.334, 3.336, 3.346, 3.351, 3.352, 3.355, 3.364 - 3.367, 3.395, 3.417, 3.418, 3.425, 3.427 - 3.429, 3.434, 3.435, 3.438, 3.449, 3.461, 3.463, 3.478, 3.479, 3.484, 3.488 - 3.501, 3.504, 3.514, 3.533, 3.551, 3.571
<b>2. Quality of PSA</b>	
2.1 PSA shall be performed, documented, and maintained according to requirements of the management system of the licensee.	3.12
2.2 PSA shall be performed according to an up to date proven methodology, taking into account international experience currently available.	3.14
<b>3. Use of PSA</b>	
3.1 PSA shall be used to support safety management. The role of PSA in the decision making process shall be defined.	3.27 – 3.30, 3.535
3.2 PSA shall be used to identify the need for modifications to the plant and its procedures, including for severe accident management measures, in order to reduce the risk from the plant.	3.536 - 3.556
3.3 PSA shall be used to assess the overall risk from the plant, to demonstrate that a balanced design has been achieved, and to provide confidence that there are no "cliff-edge effects.	3.536 - 3.556
3.4 PSA shall be used to assess the adequacy of plant modifications, changes to operational limits and conditions and procedures and to assess the significance of operational occurrences.	3.536 - 3.556, 3.557 - 3.565, 3.605, 3.606 - 3.671
3.5 Insights from PSA shall be used as input to development and validation of the safety significant training programmes of the licensee, including simulator training of control room operators.	3.612
3.6 The results of PSA shall be used to ensure that the items are included in the verification and test programmes if they contribute significantly to risk.	3.584 - 3.604
<b>4. Demands and conditions on the use of PSA</b>	
4.1 The limitations of PSA shall be understood, recognized and taken into account in all its use. The adequacy of a particular PSA application shall always be checked with respect to these limitations.	3.31, 3.32, 3.57, 3.528, 3.533, 3.555, 3.556, 3.583, 3.593

4.2 When PSA is used, for evaluating or changing the requirements on periodic testing and allowed outage time for a system or a component, all relevant items, including states of systems and components and safety functions they participate in, shall be included in the analysis.	3.561
4.3 The operability of components that have been found by PSA to be important to safety shall be ensured and their role shall be recorded in the SAR.	3.604

## 5 REFERENCE

- [1] SMĚRNICE RADY 2009/71/EURATOM ze dne 25. června 2009, kterou se stanoví Rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení.
- [2] Úmluva o jaderné bezpečnosti (INCIFIR/449, 5.7.1994, sdělení MZV č. 67/1998 Sb.).
- [3] Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů.
- [4] Vyhláška č. 106/1998 Sb., o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jejich provozu.
- [5] Vyhláška č. 195/1999 Sb., o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti.
- [6] Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., kterou se mění vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.
- [7] Vyhláška č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd.
- [8] VDS 30, směrnice k hodnocení výpočtových programů pro posuzování jaderné bezpečnosti, Revize 1, SÚJB, Praha, 2001
- [9] Reactor Safety Reference Levels – Issue O (Probabilistic Safety Assessment), WENRA, 2008.
- [10] Fundamental Safety Principles: Safety Fundamentals, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna, 2006.
- [11] Safety Assessment for Facilities and Activities: IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4, IAEA, Vienna, 2009.
- [12] Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants: IAEA Safety Standards Series No. SSG-3, IAEA, Vienna, 2010.
- [13] Development and Application of Level 2 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants: IAEA Safety Standards Series No. SSG-4, IAEA, Vienna, 2010.
- [14] Living Probabilistic Safety Assessment (LPSA), IAEA-TECDOC-1106, IAEA, Vienna, August 1999.
- [15] Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants: Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.10, IAEA, Vienna, 2003.
- [16] INSAG-12. Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants. 75-ISAG-3, Rev. 1. IAEA, Vienna, October 1999.
- [17] The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna, 2006.

- [18] External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.5, IAEA, Vienna, 2003.
- [19] Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.7, IAEA, Vienna, 2004.
- [20] Protection against Internal Hazards other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.11, IAEA, Vienna, 2004.
- [21] Fire Safety in the Operation of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.1, IAEA, Vienna 2000.
- [22] Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.13, IAEA, Vienna, 2009.
- [23] Applications of Probabilistic Safety Assessment (PSA), IAEA-TECDOC-1200, IAEA, Vienna, February 2001.
- [24] Risk Management: A Tool for Improving Nuclear Power Plant Performance, IAEA-TECDOC-1209, IAEA, Vienna, April 2001.
- [25] Risk Monitors: The State of the Art in their Development and Use at Nuclear Power Plants, WGGRisk, NEA/CSNI/R(2004)20, OECD, Paris, 2004.
- [26] EPRI TR – 112657 „Revised Risk-Informed Inservice Inspection Evaluation Procedure“ Final Report, Rev. B, July 1999.
- [27] EPRI TR-1006937 Extension of the EPRI Risk-Informed Inservice Inspection (RI-ISI) Methodology to Break Exclusion Region (BER) Programmes. Final Report, Rev. 0-A, August 2002.
- [28] Westinghouse Owners Group Application of Risk-Informed Methods to Piping Inservice Inspection Topical Report, WCAP-14572, Revision 1-NP-A, WEC, 1999.
- [29] Standard for PSA for NPP Applications, ASME RA-S-2002, An American National Standard, The American Society of Mechanical Engineers, Three Park Avenue, New York, April 2002.
- [30] Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants (Level 3), Safety Series No.50-P-12, IAEA, 1996.
- [31] Swain A.D., Guttman H.: „Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications“, NUREG/CR-1278, 1983
- [32] Hannaman G.W., Spurgin A.J.: "Systematic Human Action Reliability Procedure (SHARP)“, EPRI-NP-3583, Electric Power Research Institute, Palo Alto, 1984
- [33] „Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis (ATHEANA)“, NUREG-1624, Rev. 1, 2000
- [34] NUREG/CR-6350
- [35] NUREG-1680
- [36] Hollnagel E.: „Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)“, Elsevier, 1998