

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

# **BEZPEČNOSTNÍ NÁVODY SÚJB**

bezpečné využívání jaderné energie a ionizujícího záření

## **Využití PSA v rizikově orientovaném rozhodování při hodnocení trvalých i dočasných změn LaP a hodnocení adekvátnosti LaP**

**jaderná bezpečnost**

---

**BN-JB-2.7 (Rev. 0.0)**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## HISTORIE REVIZÍ

Revize č.	Účinnost od	Garant	Popis či komentář změny
0.0	1. 1. 2018	Adamec	Nově zpracovaný návod

### **Jaderná bezpečnost**

**Bezpečnostní návod BN-JB-2.7 Využití PSA v rizikově orientovaném rozhodování při hodnocení trvalých i dočasných změn LaP a hodnocení adekvátnosti LaP**

**Vydal: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, prosinec 2018**

**Č. j.: SÚJB/OKHJB/11055/2017**

Tisk:

Účelová publikace bez jazykové úpravy, připomínky směřujte na e-mailovou adresu [pripominky\\_navody@sujb.cz](mailto:pripominky_navody@sujb.cz)

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## Obsah

<b>1 POUŽITÉ ZKRATKY A POJMY</b>	<b>4</b>
<b>2 ÚVOD</b>	<b>6</b>
Důvod vydání	6
Cíl	6
Působnost	6
Platnost	6
<b>3 VLASTNÍ NÁVOD</b>	<b>7</b>
3.I Hodnocení trvalých změn LaP	9
3.II Hodnocení dočasných změn LaP	26
3.III Hodnocení adekvátnosti LaP	28
<b>4 LITERATURA</b>	<b>132</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	

## Seznam příloh

<b>Příloha A:</b>	30
Kritéria přijatelnosti rizika pro změny na JE a kritéria přijatelnosti používaná při povolování trvalých změn LaP	
<b>Příloha B:</b>	40
Veličiny a míry rizika používané při hodnocení změn LaP	
<b>Příloha C:</b>	57
Schématické návody pro hodnocení	
<b>Příloha C.1:</b>	58
Schématický návod hodnocení trvalých změn AOT	
<b>Příloha C.2:</b>	68
Schématický návod hodnocení trvalých změn koncových stavů	
<b>Příloha C.3:</b>	77
Schématický návod hodnocení dočasných změn LaP	
<b>Příloha C.4:</b>	93
Schématický návod hodnocení adekvátnosti Dob provedení	
<b>Příloha D:</b>	102
Příklady řešení vybraných aspektů hodnocení změn AOT a koncových stavů odstavení	
<b>Příloha E:</b>	128
Příklady řešení vybraných aspektů hodnocení změn PK	

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

# 1. Použité zkratky a pojmy

AOT	Allowed Outage Time (doba provedení)
AZ	Aktivní zóna
BL	Bezpečnostní limity
BS	Bazén skladování vyhořelého paliva (BSVP)
CCDF	Conditional CDF (podmíněná CDF)
CCDP	Conditional CDP (podmíněná CDP)
CCF	Common Cause Failure (porucha se společnou příčinou)
CD	Core Damage (Poškození AZ)
CDF	Core Damage Frequency (frekvence poškození AZ)
CDP	Core Damage Probability (pravděpodobnost poškození AZ)
CFDF	Conditional FDF (podmíněná FDF)
CFDP	Conditional FDP (podmíněná FDP)
CLERF	Conditional LERF (podmíněná LERF)
CLERP	Conditional LERP (podmíněná LERP)
CRMP	Program řízení rizika konfigurace
CT	Completion Time (Doba provedení)
FC	Fractional Contribution (importanční míra)
FD	Fuel Damage (poškození paliva na JE, tj. nejen v AZ, ale např. i v bazénu skladování, při transportu, apod.)
FDF	Fuel Damage Frequency (frekvence poškození paliva)
FDP	Fuel Damage Probability (pravděpodobnost poškození paliva)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)
ICCDF	Přírůstek podmíněné CDF
ICCDP	Incremental CCDP (přírůstek podmíněné CDP)
ICFDF	Přírůstek podmíněné FDF
ICFDP	Incremental CFDP (přírůstek podmíněné FDP)
ICLERF	Přírůstek podmíněné LERF
ICLERP	Incremental LERP (přírůstek podmíněné LERP)
IU	Iniciační událost
JE	Jaderná elektrárna
LaP	Limity a podmínky
LER	Large Early Release (velký časný únik)
LERF	Large Early Release Frequency (frekvence velkého časného úniku)
LERP	Large Early Release Probability (pravděpodobnost velkého časného úniku)
LPP	Limitní podmínka pro provoz
MKŘ	Minimální kritický řez
NEPSCH	Neprovozuschopnost
NOS	Nastavení ochranných systémů
OLM	On-line Maintenance (on-line údržba)
PK	Požadavek na kontrolu (KONTROLA a FREKVENCE z LaP)

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

PSA	Probabilistic Safety Assessment (pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti)
PSCH	Provozní schopnost
RA	Radioaktivní
RAL	Radioaktivní látky (radionuklidy - pevné částice, aerosoly, plyny apod.)
RB	Reaktorový blok
RDF	Risk Decrease Factor (též RRW - Risk Reduction Worth, importanční míra)
RG	Regulatory Guide
RIF	Risk Increase Factor (též RAW - Risk Achievement Worth, importanční míra)
SAOZ	Systém havarijního chlazení aktivní zóny
SKK	Systémy, konstrukce a komponenty JE
STI	Surveillance Test Interval (frekvence kontroly v požadavku na PK)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TR	Time to Repair (doba do opravy)
US NRC	U.S. Nuclear Regulatory Commission
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
ZKZ	Změna konfigurace zařízení JE

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## 2. ÚVOD

### DŮVOD VYDÁNÍ

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.

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

Cílem návodu je poskytnout metodiku pro využití pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti (PSA) v rizikově orientovaném rozhodování při hodnocení změn LaP, dočasných změn LaP a hodnocení adekvátnosti LaP na provozovaných JE v České republice. Metody PSA by měly být použity ve výše uvedených případech pro hodnocení všech LaP, které mají vliv na PSA příslušné JE.

V metodice jsou popsány základní principy a postupy založené na PSA specifickém pro příslušnou JE. Popsané principy a kritéria vycházejí z doporučení a legislativy US NRC a IAEA a ve světě nejnověji používaných přístupů v oblasti PSA, přičemž jsou v některých případech upraveny pro specifické podmínky České Republiky.

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 zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon, jeho prováděcími předpisy, zejména s vyhláškou č. 162/2017 Sb., o požadavcích na hodnocení bezpečnosti podle atomového zákona - §10 odst. 6, písm. b), naplní příslušné Referenční úrovně WENRA (RL O3.4) a doporučeními IAEA.

### PŮSOBNOST

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

Bezpečnostní návod, resp. jeho poslední revize, nabývá platnost publikací na [www.sujb.cz](http://www.sujb.cz), účinnost je uvedena na str. 2. Revize bezpečnostního návodu je prováděna na základě nových poznatků vědy a techniky, obdržených připomínek veřejnosti a zkušeností s jeho praktickým používáním.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## 3. VLASTNÍ NÁVOD

### 3.1 Rizikově orientovaný přístup k hodnocení LaP

Obecně je možno provádět rizikově orientované hodnocení LaP z následujících důvodů:

1. **Hodnocení adekvátnosti stávajících LaP** (podrobněji viz kapitolu III. tohoto návodu)
  - hodnocení adekvátnosti stávajících AOT a požadovaných činností.
  - hodnocení adekvátnosti frekvencí PK.
2. **Hodnocení přijatelnosti změn LaP**
  - hodnocení změny AOT a požadovaných činností,
  - hodnocení změny frekvence PK.
3. **Hodnocení dočasných změn LaP** (podrobněji viz kapitolu II. tohoto návodu)
  - hodnocení dočasných změn AOT a požadovaných činností,
  - hodnocení dočasných změn frekvence PK.
4. **Optimalizace LaP**
  - optimalizace AOT a požadovaných činností,
  - optimalizace frekvencí PK.

Při hodnocení změn se obvykle předpokládá adekvátnost stávajících LaP, takže v některých případech (koncové stavy pro odstavení, souběhy neprovozoschopností z různých LPP) postačí vyhodnotit jen aspekty dotčené změnou LaP. Dále je možno při hodnocení změn porovnat změnu rizika při provozu JE se změněnými LaP oproti riziku při provozu JE se stávajícími LaP. V případě posuzování adekvátnosti stávajících LaP se neporovnává změna rizika, neboť chybí referenční stav.

Hodnocení dočasných změn LaP se obvykle vztahuje na konkrétní konfiguraci a okrajové podmínky bloku, zatímco při posouzení adekvátnosti nebo trvalých změn LaP je nutno vyhodnotit celou šíři možností vstupů do LaP, neboť LPP musí platit pro jakoukoliv možnost, která splňuje daný stav (požadované činnosti LPP nejsou vázány na četnost vstupů do LPP).

Zatímco výsledkem hodnocení adekvátnosti jsou jen případná nápravná opatření na zpřísnění LPP, výsledkem optimalizace LaP jsou návrhy jak na zpřísnění, tak i na uvolnění LPP až na maximálně akceptovatelnou úroveň, případně na definování nových LPP. Na rozdíl od optimalizace LaP se hodnocení změn LaP může zabývat navrženými změnami, které nemusí být nutně optimální nebo maximálně dovolené. Rovněž návrhy na zpřísnění LaP na základě hodnocení adekvátnosti LaP nemusí být nutně optimální (postačí jejich akceptovatelnost).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pozn.: Pod pojmem AOT je míněna doba provedení v daném Režimu JE. Ta je dána dobou provedení (CT) do obnovení PSCH (např. 72 h v Režimu 1) a částí doby určené na přechod do požadovaného stavu/Režimu JE (např. dalších 6-8 h v Režimu 1 během odstavení do Režimu 5). Ve výpočtech se obvykle část doby určené na přechod do požadovaného stavu/Režimu JE zanedbává. V následujícím textu je používán obecnější pojem AOT, pokud není explicitně míněna doba do obnovení PSCH.

Všechny výpočty je možno provádět buď pomocí modelu PSA, nebo pomocí upraveného modelu, který je implantován do monitoru rizika; v druhém případě musí být ale přesvědčivě doloženo, že takto získané výsledky odpovídají výsledkům získaným z původního modelu PSA. Měly by být provedeny porovnávací výpočty, z nichž by bylo patrné, že výsledky získané z obou modelů, při použití stejné hodnoty odseku výpočtu, se neliší o více, než 10%. Odsekem výpočtu se rozumí zadaná numerická hodnota, pro kterou platí, že všechny minimální kritické řezy, jejichž hodnota je nižší než tato zadaná, jsou z dalších výpočtů modelu pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti vyřazeny a jejich hodnota se tedy nepřipočítává k celkové četnosti vzniku vrcholové události.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## 3.I HODNOCENÍ TRVALÝCH ZMĚN LaP

Zde uvedená metodika popisuje integrovaný, rizikově orientovaný přístup k procesu rozhodování o vhodnosti realizace změn LaP příslušné JE, jmenovitě změn AOT a frekvence PK, ve vztahu k požadavkům na jadernou bezpečnost. Jedná se přitom o trvalé změny LaP.

### 3.I.1 Deterministické hodnocení změn LaP

Hodnocení změn LaP musí být vždy založeno na technickém úsudku, přičemž musí být využity deterministické a v případech, kdy je to možné (viz kap. 3.1 tohoto návodu), i pravděpodobnostní metody analýzy nebo jejich kombinace. V těchto případech tedy musí být aplikován integrovaný, rizikově orientovaný přístup. Deterministické hodnocení změn LaP je předmětem jiného návodu SÚJB, viz lit. [P5], proto zde požadavky na něj nejsou podrobněji uvedeny.

### 3.I.2 Pravděpodobnostní hodnocení trvalých změn LaP

#### 3.I.2.1 Možnosti hodnocení trvalých změn LaP pomocí PSA

LaP kontrolují tři druhy požadavků:

1. Bezpečnostní limity (BL)
2. Nastavení ochranných systémů (NOS)
3. Limitní podmínky pro provoz (LPP).

Každá LPP má v LaP obvykle dvě hlavní části:

- požadavky na provozuschopnost – zde se uplatňují veličiny CT s vlivem na AOT (doby provedení, tj. doba do obnovení provozuschopnosti, doba do zahájení testu a doba na odstavení, atd.) a akce při jejich nesplnění,
- požadavky na provádění periodických kontrol – zde se uplatňují veličiny četnosti PK.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pomocí PSA je možno vyhodnotit změny aspektů LaP, jako např. nastavení a technologické parametry systémů sledovaných v LaP, dovolené provozní parametry a BL, AOT (včetně dílčích dob provedení), četnosti PK, požadované činnosti, režimy platnosti LPP apod., pro něž lze stanovit změny měř rizika počítaných v PSA (tj. tehdy, mají-li změny daného aspektu LaP dopad na výběr IU, kritéria úspěchu, dostupnost systémů, vstupní spolehlivostní data, HRA, analýzu CCF apod., přičemž pro stanovení dopadu některých změn na model PSA je obvykle potřeba podpora od podpůrných analýz, některé případy jsou diskutovány níže). Změny LaP mimo změn AOT, frekvencí PK a koncových stavů odstavení, které jsou předmětem tohoto návodu, se řídí BN-JB-2.6-Rev.0.0: Využití PSA v rizikově orientovaném rozhodování při hodnocení změn konfigurace zařízení JE předkládaných k povolení na SÚJB [P3], lze-li pro ně stanovit změnu celkové hodnoty měř rizika počítaných v PSA.

Změny nastavení měřících přístrojů nebo změny technologických parametrů systémů (koncentrace, hladina) požadovaných NOS a LPP lze pomocí PSA vyhodnotit jen s dostatečnou podporou podpůrných analýz (termo-hydraulické analýzy, neutronové analýzy, pevnostní analýzy apod.) analyzující stav po změně, a to jen v oblasti do zásahu havarijních systémů.

Změny BL či AOT při jejich nesplnění lze pomocí PSA hodnotit jen výjimečně, a to jen za předpokladu dostatečných podpůrných analýz, které by hodnotily změnu chování JE v nových podmínkách.

Pomocí PSA lze hodnotit změny AOT LPP pro systémy důležité z hlediska bezpečnosti nebo související s bezpečností, včetně podpůrných, které jsou obsaženy v PSA. Záleží pouze na sledovaném druhu rizika a na případné přítomnosti podpůrných analýz. Změny AOT při nesplnění NOS lze pomocí PSA hodnotit stejným způsobem jako pro LPP.

### 3.I.2.2 Obecný postup pro hodnocení trvalých změn LaP

Při hodnocení vlivu změn LaP je třeba zaměřit pozornost na následující aspekty rizika:

- Vliv navrhované změny LaP na hodnoty veličin popisujících rizika JE.
- Možnost vzniku konfigurací s vysokým rizikem. Mohlo by k nim dojít, kdyby bylo současně se zařízením spojeným se změnou LaP vyřazeno z provozu další zařízení, např. kvůli údržbě nebo provozním zkouškám.

Pro hodnocení a řízení rizika pomocí PSA, které je spojeno se změnami LaP, je navržen následující tříúrovňový přístup k hodnocení [G2].

#### 3.I.2.2.1 Úroveň 1

Držitel povolení vyhodnotí dopad navrhované změny LaP na veličiny FDF, resp. CDF a LERF. Budou vypočteny příslušné hodnoty uvedených veličin rizika a porovnány se stanovenými kritérii přijatelnosti (tato kritéria jsou podrobně specifikována v Příloze A).

Specifické veličiny charakterizující riziko používané v rámci tohoto postupu hodnocení jsou podrobněji popsány v Příloze B.

Je třeba jednoznačně prokázat použitelnost PSA pro zhodnocení navrhované změny LaP.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

V rámci této úrovně analýzy je třeba věnovat pozornost tomu, aby byly identifikovány nejrizikovější vstupy pro každou variantu hodnocené LPP (LPP A, LPP B, atd.), tj. podsystém či zařízení, jehož vyřazení bude mít nejhorší dopad na ICCDF nebo na ICLERF.

Při výběru je nutno zohlednit:

- nesymetrie jednotlivých zálohovaných systémů,
- možnost a reálnost vstupu do analyzovaných LPP s jednou nebo více poruchami (korektivní údržba),
- možnost identifikace potenciálních CCF po vstupu do LPP s korektivní údržbou (např. následnými testy zařízení zbývajících redundantních divizí),
- možné konfigurace systémů daného RB i sousedních RB při čerpání měněné LPP,
- možné režimy daného RB při čerpání měněné LPP.

Přitom je nutno posoudit a zdůvodnit, které z těchto aspektů postačí zohlednit až v úrovni 2 nebo v úrovni 3 hodnocení změny.

### 3.I.2.2.2 Úroveň 2

Držitel povolení by měl poskytnout odpovídající záruku, že nedojde ke vzniku rizikově významných konfigurací zařízení (především tzv. souběžných nepohotovostí zařízení) v případech, kdy bude dané zařízení JE v souladu s navrhovanou změnou LaP mimo provoz.

Jednou z možností, která poskytuje pomocnou informaci pro identifikování takovýchto konfigurací, je výpočet importancí jednotlivých komponent při výpočtu CCDF a CLERF při vstupu do dané LPP. Jinou možností je analyzovat minimální kritické řezy. Konfigurace významné z hlediska rizika, které budou tímto způsobem identifikovány, mohou být vyhodnoceny na základě přístupu použitého v úrovni 1. Tento postup ovšem nezaručuje identifikaci rizikových kombinací nepohotovostí tří a více komponent nebo systémů.

V okamžiku, kdy je zařízení JE takto ohodnoceno, je možné provést vyhodnocení toho, jestli jsou potřebná určitá zlepšení LaP nebo souvisejících postupů, aby se předešlo vzniku rizikově významných konfigurací. Kromě toho je třeba stanovit a vyhodnotit kompenzační kroky, které by mohly zmírnit navýšení rizika, např. využití záložního zařízení, zvýšení frekvence požadavků na zkoušky nebo vhodná úprava předpisů či školení obsluhy. Souhrnně: jedná se o taková kompenzační opatření, která buď zamezí možnému vzniku identifikovaných rizikových konfigurací, nebo o návrh opatření vedoucí ke snížení rizika z těchto konfigurací, případně o vypracování dokumentu, který administrativním způsobem zaručí, že se takové konfigurace při provozu bloku v době čerpání dané LPP nevyskytnou.

Jakékoli změny, které budou provedeny v projektu JE nebo provozních předpisech následkem výše uvedeného vyhodnocení rizika, je třeba začlenit do analýz úrovně 1.

Při hodnocení změny LPP jen pro účely nahodilé (neplánované) korektivní údržby není obecně nutno úroveň 2 (Tier 2) uvažovat [G2]. To však předpokládá implementaci úrovně 3 (Tier 3).

### 3.I.2.2.3 Úroveň 3

Držitel povolení vypracuje program monitorování změny LaP (obvykle je součástí CRMP), který zaručí, že dopady na riziko způsobené odstavením zařízení z provozu budou náležitě vyhodnoceny před provedením jakékoli údržbové činnosti. Tento program musí být

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

schopen vhodným způsobem identifikovat rizikově významné konfigurace zařízení během normálního provozu JE.

Potřebnost a významnost úrovně 3 hodnocení vyplývá z toho, že je velmi obtížné, respektive prakticky neproveditelné, identifikovat a vyhodnotit všechny možné kombinace rizikově významných konfigurací v úrovni 2, k nimž může dojít během dlouhých časových období provozu JE. Pokud by v úrovni 2 bylo možno identifikovat a vyhodnotit všechny potenciálně vzniklé rizikové konfigurace, bylo by možno 3. úroveň hodnocení zcela vynechat.

### 3.I.2.3 Rozsah PSA pro vyhodnocování změn LaP

Rozsah a úroveň modelu PSA elektrárny, který je nezbytný k vyhodnocení změny LaP, závisí na typu zvažované změny.

- Pro podporu změn LaP je vyhodnocení změn CDF a LERF minimem.
- Především v případech, kdy se změny AOT týkají systémů, které zajišťují odvod zbytkového tepla, může být vhodné provedení odhadu okamžitého rizika také v koncovém stavu odstavení ke stanovení, zda při nesplnění podmínek LaP by se s neprovozeroschopnou komponentou nepřecházelo do horšího stavu. Jedná se např. o havarijní (pomocné) napájení parních generátorů, systém odvodu zbytkového tepla, systém technické vody, nouzové diesel generátory, apod. Toto vyhodnocení vyžaduje vyvážené modely PSA pro režim (stav) JE s čerpáním LaP a pro koncový stav odstavení.
- V případech hodnocení změny koncového stavu odstavení je potřeba provést odhad okamžitého rizika pro stávající a nový koncový stav odstavení k stanovení příznivějšího stavu JE při vyčerpání AOT s neprovozoschopným zařízením. Toto vyhodnocení vyžaduje vyvážené PSA modely pro hodnocené koncové stavy odstavení. V případě zahrnutí rizika z přechodových stavů do těchto výpočtů jsou potřeba také realistické modely těchto přechodových stavů.

Pozn.: Vyváženým modelem je míněn model, ve kterém výsledek porovnání není určen nesprávnými relacemi důležitosti mezi jednotlivými částmi modelu PSA pro dotčené koncové stavy odstavení nebo více konzervativními nebo optimistickými modely v některém z těchto stavů.

- Pro změny LaP, které se týkají navýšení AOT z důvodu prodloužení doby potřebné na opravu zařízení (tj. pro účely korektivní údržby), může být provedeno vyhodnocení rizika z odstavení JE pro účely porovnání alternativ (pro původní a nové AOT), pokud se navýšení rizika z důvodu čerpání prodlouženého AOT blíží kritériím přijatelnosti nebo je mírně překračuje. Toto vyhodnocení vyžaduje vyvážené PSA modely pro všechny režimy a stavy JE, které jsou zahrnuty do výpočtů jak rizika odstavení (přechodu do jiného režimu), tak rizika z pokračování v provozu ve výchozím stavu (s nepohotovou komponentou).
- Pokud se má modifikovat AOT s cílem podpořit rizikově orientovaná rozhodnutí v oblasti plánování údržby nebo zavedení on-line údržby [G2], je nutno používat studie PSA zahrnující všechny dotčené provozní režimy.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### 3.I.2.4 Hlediska modelování PSA

#### 3.I.2.4.1 Podrobnost modelu PSA

Pro vyhodnocení změny LaP musí být dostatečně podrobný model PSA. Stromy poruch dotčených systémů musí být dostatečně podrobné, aby zahrnovaly všechny komponenty, na nichž se provádějí zkoušky a údržba.

Pro vyhodnocení změn AOT jsou postačující modely na úrovni redundancí systému (train-level), pokud je možno identifikovat a přiřadit k těmto modelovaným redundancím všechny komponenty, které by mohly způsobit selhání příslušné redundance.

K vyhodnocení změn frekvencí PK je nezbytné, aby byl model PSA vypracován na úrovni komponent. Je rovněž nezbytné odlišit komponenty nebo jejich částí podléhající různým druhům testů. Systémy v typické PSA jsou však tak jako tak modelovány na úrovni komponent, což je možno použít přímo jak pro hodnocení AOT, tak i frekvence PK.

Modely nepohotovosti komponent musí zahrnovat podíly nahodilých selhání, CCF, nepohotovost z důvodu provádění zkoušek a nepohotovost způsobenou prováděním údržby. V kontextu změn LaP jsou důležité následující charakteristické znaky modelů:

- Modely nepohotovosti komponent způsobené prováděním testů nebo údržby je vhodné založit na provozních zkušenostech (procesy, data apod.), které jsou specifické pro danou elektrárnu.
- Změny modelů nepohotovosti komponent způsobené prováděním testů nebo údržby musí být založeny na realistickém odhadu očekávaných zkoušek a údržby v době, kdy bude změna LaP provedena, např. jak často se očekává čerpání AOT pro předem plánované údržby nebo požadavky na zkoušky.
- Model nepohotovosti komponent musí umožňovat oddělení jednotlivých příspěvků k celkové nepohotovosti z důvodů provádění testů či údržby.
- Pro vyhodnocení prodloužení frekvence PK je vhodné rozdělit příspěvky k poruchám na příspěvky závislé na době od testu a závislé pouze na požadavku (vyzvání) jen v případě, kdy existují věrohodná data pro tyto dva příspěvky. Jinak může být riziko plynoucí z prodloužení frekvence PK podceněno. Naopak pro případné ocenění přínosu zkrácení frekvence PK (např. jako kompenzační opatření) je nutno počítat s určitým příspěvkem od poruch závislých pouze na vyzvání.
- Model příspěvku CCF má ponechat prostor pro úpravy, které by zohledňovaly stav, ve kterém je jedna nebo více komponent nepohotových. Kromě toho je třeba, aby bylo možno v modelu CCF uvažovat důvody odstavení komponenty z činnosti (provozu), tj. pro provádění preventivní údržby nebo korektivní údržby (opravy).

Pokud PSA podrobně nemodeluje zařízení, u kterého se zvažuje změna LaP a je vhodné provést hodnocení pomocí PSA, je potom zapotřebí vykonat dodatečnou analýzu. Typickým příkladem je modelování systému ve stromu událostí, přičemž není k dispozici podrobný strom poruch. V tomto případě je možné vypracovat samostatný strom poruch pro systém nebo lze použít hraniční analýzu.

Je-li pro systém vypracován samostatný strom poruch, může být použit k doplnění stávajícího modelu PSA, aniž by se přímo upravoval model PSA jako celek. Tento zjednodušený přístup je přijatelný, pokud neexistují žádné potenciální závislosti uvnitř modelu PSA, tj.:

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

- selhání uvnitř systému neovlivní žádný další systém,
- systém nesdílí komponenty s jiným systémem,
- dopad selhání neovlivní frekvenci žádné iniciační události.

Hraniční analýzu lze provést na základě vlivů selhání systémů, které jsou modelovány ve stromech událostí PSA, tj. lze předpokládat, že selhání jakékoli komponenty systému může způsobit selhání systému jako takového. Vliv dané NEPSCH na riziko bude při tomto přístupu nadhodnocen.

#### **3.I.2.4.2 Vliv na iniciační události**

Změny LaP mohou ovlivnit frekvenci výskytu iniciačních událostí, které jsou uvažovány v rámci PSA. Toto se vztahuje na iniciační události, které byly vyvolány selháními podřídných systémů, např. systému technické vody, chlazení komponent, apod. Daný jev lze zvážit buď přímo, je-li IU explicitně modelována, nebo nepřímo a to pomocí odhadu účinku změn na frekvenci IU.

Podobně je třeba uvážit dopad změn LaP na iniciační události při vyhodnocení zkoušek a činností údržby v rámci systémů, které mohou přispět ke vzniku přechodových procesů elektrárny. Například při hodnocení změny PK může být vzat v úvahu účinek přechodových procesů způsobených zkouškou. IU v důsledku testu (tzv. test-caused transients) mohou být modelovány odděleně k zjištění jejich přesnějšího příspěvku.

#### **3.I.2.4.3 Kritéria používaná pro třídění a vyřazování havarijních sekvencí**

Zvláštní pozornost je třeba věnovat zamezení odstranění (zanedbání) havarijních sekvencí, kterých se přímo týká daná změna LaP a které by mohly být odstraněny v případě použití kritéria výběru založeného pouze na frekvenci vzniku IU. Vyřazení těchto sekvencí by vedlo k podcenění rizika vyplývajícího ze změn LaP.

#### **3.I.2.4.4 Odsek použitý při výpočtu PSA modelu**

Odsek použitý při kvantifikaci PSA pro omezení počtu MKŘ je třeba náležitě nastavit, aby se předešlo významným chybám ve výpočtu rizika ve vztahu k navrhovaným opatřením.

Obecně platí, že musí být použit stejný odsek pro řešení referenčního modelu a modelu se změnou LaP či více změnami LaP.

Odsek výpočtu je třeba dále snížit, je-li vyhodnocení zaměřeno na konfigurace, které zahrnují větší počet změnou ovlivněných komponent. V takovém případě se může minimální kritický řez s relativně malou frekvencí, který obsahuje více než jednu z postižených komponent, stát významným příspěvkem k hodnotě CDF (FDF).

#### **3.I.2.5 Další aspekty ve vyhodnocení změn LaP**

Vyhodnocení vlivu změn LaP na riziko může záviset na řadě předpokladů, okrajových podmínek a dalších aspektů souvisejících se změnou LaP. Ty mohou mít významný vliv na konečnou přijatelnost navrhovaných změn. Při podání žádosti o změnu je tudíž nutno tyto předpoklady, okrajové podmínky a další aspekty pečlivě projednat.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### 3.I.2.5.1 Vyhodnocení změn AOT

Ve vztahu k vyhodnocení změn LaP [G2] byly shledány důležitými následující problémy:

#### 1. Zvážení rizika odstavení bloku, případně celé JE

Riziko odstavení bloku, případně celé JE, je počítáno proto, aby bylo možno porovnat riziko pokračování v provozu při čerpání dané LPP se všemi riziky spojenými s přechodem do režimu s vyšším pořadovým číslem (tedy s nižším výkonem), dalším provozem v tomto režimu a zpětným návratem na výkonový provoz. Zpravidla se porovnání alternativ provádí, když doba potřebná k obnovení požadavků LPP při odstavení bloku, případně celé JE, je delší, než příslušná doba provedení (AOT) požadovaná v LaP. Rizika spojená s technologickými manipulacemi, změnami provozních parametrů a provozních charakteristik dotčených zařízení mohou nepříznivě ovlivnit riziko odstavení bloku, případně celé JE.

Dále není vhodné opomíjet riziko odstavení bloku, případně celé JE, zejména v případě LaP pro systémy, které jsou nezbytné během odstavných stavů elektrárny, jako např. systémy odvodu zbytkového tepla, systémy technické vody nebo systémy havarijního (EDU) nebo pomocného (ETE) napájení parních generátorů.

Pokud jsou hodnocení rizika změn LaP prováděna pouze pomocí modelu PSA pro plný výkon, není tento zdroj rizika uvažován (např. riziko spojené se změnami AOT je pak určeno pouze nedostupností zařízení po dobu trvání AOT) nebo je uvažován v omezeném rozsahu (např. jen přibližným určením rizika uvedení bloku, či celé elektrárny do odstavného stavu).

V případě, že je riziko odstavení větší než riziko vyplývající z pokračování v provozu za stejný časový úsek v delších časových úsecích, kdy riziko z přechodových procesů přestává být významným příspěvatelem k riziku odstavení, pak je pokračování v provozu výhodnější bez ohledu na délku AOT.

#### 2. Vliv prodloužení AOT pro účely údržby komponenty na její intenzitu poruch, a tedy na pravděpodobnost odstavení do opravy z důvodu degradace či selhání zařízení, případně na dobu, po kterou se komponenta bude nacházet ve stavu neprovozuschopnosti.

Tyto parametry jsou obvykle považovány za stejné jako ty, které jsou platné pro stav před změnou, tedy neberou v úvahu příznivé efekty vyplývající ze zlepšené údržby.

K bodu 2.:

Změny v provádění údržby v situaci, kdy je prodloužena AOT, mohou mít vliv na několik důležitých charakteristik, jako je intenzita poruch komponent, pravděpodobnost výskytu komponenty ve stavu „mimo provoz“ a doba po kterou se komponenta bude nacházet ve stavu „mimo provoz“. Tyto parametry jsou obvykle považovány za stejné jako ty, které jsou platné při současných postupech, např. se neberou v úvahu příznivé efekty vyplývající ze zlepšené údržby. Vliv na riziko následkem zanedbávání těchto efektů, což je přístup typický při vyhodnocování změn AOT, je třeba rovněž posoudit v předkládané žádosti o změnu LaP.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

3. Vliv prodloužení AOT pro zálohované trasy bezpečnostních systémů na pravděpodobnost toho, že celý systém bude nepohotový v důsledku souběhu jeho údržby s nezávislými selháními dalších komponent.

Při prodloužení AOT pro zálohované trasy bezpečnostních systémů se pravděpodobnost současných výpadků odpovídajících komponent zvyšuje v důsledku kombinace selhání, zkoušek a údržby.

### 3.I.2.5.2 Vyhodnocení změn frekvence PK

Ve vyhodnocení změn frekvence PK je třeba věnovat náležitou pozornost následujícím faktorům [G2, G5]:

1. Omezenosti provozních zkoušek při odhalování specifických typů selhání komponent.

Schopnost zkoušky odhalit konkrétní typy selhání komponent závisí na konstrukci komponenty a provedené zkoušce. Obvykle se má za to, že zkoušky jsou schopné odhalit všechny typy selhání komponent, které mohou nastat v pohotovostním režimu. Tyto předpoklady nemusí být v některých případech plně oprávněné.

2. Vliv intervalů provozních zkoušek (frekvence PK) na nepohotovost komponent.

Vliv prodloužení stávajících intervalů provozních zkoušek na charakteristiky nepohotovosti komponent (např. intenzitu poruch) není obvykle brán ve vyhodnoceních frekvencí PK v úvahu. Obecně platí, že pro většinu komponent může prodloužení intervalů zkoušek nad určitou hodnotu zvýšit jejich intenzitu poruch. Data, která by určila tuto hodnotu, však obvykle nejsou k dispozici.

Předpokládá-li se, že v rizikově orientovaném vyhodnocení požadavků na provozní zkoušky zůstává intenzita poruch komponent stejná a tedy neovlivněná změnou intervalu zkoušek, tak to ve svém důsledku znamená předpoklad, že četnosti PK se nemění nad hodnotu, za kterou již může být intenzita poruch nepříznivě ovlivněna. Je třeba také věnovat pozornost inženýrskému úsudku k odhadu hraniční hodnoty četnosti PK a jejímu vlivu na intenzitu poruch, aby se frekvence PK neprodlužovaly nad takové hodnoty pouze pomocí rizikově orientovaných analýz.

3. Vliv používaného způsobu provádění provozních zkoušek na hodnoty veličin popisujících riziko.

Stanovení intervalů provádění provozních zkoušek pro vzájemně související redundantní komponenty v rámci navrženého způsobu provádění zkoušek má vliv na hodnotu veličin popisujících riziko.

V návrhu způsobu provádění provozních zkoušek jsou používány následující typy jejich provedení, podrobnější vysvětlení viz kap. B.3.1.3:

- cyklické provozní zkoušky, tzv. „staggered testing“;
- soustředěné provozní zkoušky, tzv. „non-staggered testing“.

Pokud se mění způsob provádění provozních zkoušek, pak je třeba v předkládané žádosti vyhodnotit vliv změny na riziko.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

#### 4. Zvážení nepříznivých efektů spojených s provozní zkouškou.

Nepříznivé vlivy, které mohou být spojovány s provozní zkouškou, je třeba při vyhodnocení vzít v úvahu. Je nutno zvážit následující aspekty:

- dobu, po kterou je zařízení nepohotové z důvodu provádění zkoušky,
- chyby spojené s uvedením zařízení do provozu po zkoušce,
- přechodové jevy způsobené zkouškou,
- opotřebení zařízení způsobené zkouškou.

Doby nepohotovosti a chyby spojené s uvedením zařízení do provozu po zkoušce jsou obvykle modelovány v PSA, pokud nejsou zanedbatelné. Další dvě příčiny nejsou obecně v PSA samostatně modelovány.

Pro některé typy zařízení a zkoušek mohou tyto nepříznivé účinky zkoušek vyžadovat jejich zvážení. Ve většině případů by byl kvalitativní odhad jejich vlivu na riziko dostatečný, ale v některých případech bude třeba s tím spojené riziko odhadnout kvantitativně.

#### 5. Porovnání příznivých a nepříznivých vlivů na rizika

V případě změny frekvence PK za účelem její optimalizace mohou být příznivé a nepříznivé vlivy na rizika porovnány a upravené frekvence PK je vhodné zvolit tak, aby se přínos změny testování přinejmenším rovnal nebo byl větší než nepříznivé účinky provozních zkoušek.

Například existuje-li možnost, že požadavky na zkoušky zařízení by mohly způsobit přechodové procesy na bloku či v celé v elektrárně, je vhodné odhadnout a porovnat riziko vzniku přechodových procesů způsobených zkouškou se snížením rizika v důsledku prodloužení frekvence PK.

Při použití takového přístupu je třeba zvážit následující hlediska:

- Nejistoty, které jsou spojeny se dvěma porovnávanými opatřeními, se mohou lišit a je nutno je vzít v úvahu při rozhodování o přijatelnosti změny frekvence PK.
- Pokud jsou rizika spojená se všemi alternativami nepřijatelně velká, je potřeba nalézt opatření ke snížení rizika.

Například je-li riziko vyplývající z přechodových procesů způsobených zkouškou příliš velké, je žádoucí spíše věnovat pozornost prozkoumání změn v příslušném postupu provozní zkoušky, aby se takové riziko snížilo, než pouze prodloužení intervalu zkoušky.

#### 6. Vliv použitého modelu nepohotovosti komponent

Pokud není použit komplexní model nepohotovosti komponenty zahrnující jak složku nezávislou na intervalu mezi testy, tak i složku závislou na intervalu mezi testy, pak je potřeba zvážit vliv některé z chybějících složek na vyhodnocení změny frekvence PK.

### 3.I.2.6 Analýza nejistot a citlivostní analýza změn LaP

Pravděpodobnostní analýzy změn LaP mohou být ovlivněny různými nejistotami, které jsou spojeny s parametry modelu a s předpoklady, které byly provedeny při vývoji modelů PSA a při jejich aplikování.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Předchozí zkušenosti analytiků založené na citlivostní analýze pro rizikově orientované změny LaP ukázaly, že změna rizika vyplývající ze změn AOT nebo PK je poměrně málo citlivá na nejistoty (například ve srovnání s vlivem nejistot na výsledné riziko při významných změnách předpisů nebo projektových změnách).

Je to způsobeno tím, že nejistoty spojované se změnami AOT nebo frekvencí PK podobně ovlivňují základní stav před provedenou změnou i konečný stav po jejím provedení.

Obvykle při poměrně malých změnách AOT nebo frekvencí PK nejsou zaváděny žádné nové iniciační události nebo nové poruchové módy. Příspěvky k riziku tudíž vyplývají z podobných příčin v obou stavech, tj. před i po změně AOT nebo frekvence PK.

Nárůsty rizika způsobené změnou AOT nebo frekvence PK se vztahují k rozdílným hodnotám stejného druhu rizika, které působí na zařízení bloku či JE. Model PSA je schopen tyto odchylky rizik v důsledku provedených změn identifikovat s poměrně vysokou úrovní důvěryhodnosti.

Pokud jsou navýšení AOT nebo frekvence PK poměrně velká, může být obtížnější použít výše uvedené argumenty a případné účinky souběžných neprovozuschopností zařízení se mohou stát závažnými.

Výsledný potenciál pro významné navýšení rizika bude v takových případech omezován pomocí opatření zajišťovaných v rámci úrovně 2 a úrovně 3, tj. monitorování konfigurace, predikce rizika a řízení konfigurace založené na predikcích rizika.

Pro vyhodnocení změn LaP může být nezbytné provést citlivostní analýzy posuzující důležitost předpokladů učiněných během analýz. Ty mohou zahrnovat podle přiměřenosti následující faktory [G2]:

- Vliv změn anebo odchylek v přístupu k provádění oprav nebo údržby ve vztahu ke změnám AOT, např. plánování dlouhodobější preventivní údržby za provozu.
- Vliv změn anebo odchylek v předpokládaných středních dobách nepohotovostí nebo frekvencí.
- Vliv rozdělení nepohotovosti komponent (na závislé pouze na požadavku a časově závislé příspěvky) na rozhodnutí, která se vztahují ke změnám PK.
- Vliv podrobností modelu týkajících se přístupu k modelování CCF, např. intenzity poruch zařízení.

### 3.I.2.7 Použití kompenzačních opatření při změnách LaP

Ve shodě se základním principem, že změna LaP musí mít za následek pouze malé navýšení rizika (podrobněji viz Příloha A), může být potřebné zvážit některá kompenzační opatření za účelem snížení navýšené úrovně rizika [G2]. Toto zvážení je třeba provést se zřetelem na kritéria přijatelnosti, která jsou uvedena v kap. 3.I.3 „Kritéria přijatelnosti rizika“ a v Příloze A.

Provozovatel JE může dále provést kompenzační opatření, aby snížil navýšení rizika vyplývající z navrhované změny, přestože daná jednotlivá změna splňuje kritéria přijatelnosti.

Pokud jsou kompenzační opatření považována za součást analýzy změny LaP (tj. nejsou zohledněna v počátečním stavu pro odhad změny celkového nominálního rizika), je třeba je zahrnout do celkové žádosti o změnu LaP. Opatření, která jsou již součástí podkladů pro dříve předloženou žádost provozovatele JE o udělení povolení k provozu JE, se v návrhu změny

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

LaP neuvádějí. Kompenzační opatření, která reagují na slabá místa v projektu JE, by rovněž neměla být součástí návrhu změny.

Typická kompenzační opatření při změnách LaP jsou následující [G2]:

- Přidání zkoušky redundantní trasy zařízení JE před zahájením plánované činnosti údržby, např. jako součást problematiky prodlužování AOT.
- Omezení souběžného provádění zkoušek a údržby redundantních nebo diversních tras zařízení bloku nebo JE, např. jako součást problematiky prodlužování AOT.
- Přijetí jiného způsobu provádění provozních zkoušek.
- Zlepšení postupů pro provádění provozních zkoušek a údržby s cílem redukovat počty chyb souvisejících se zkouškami a údržbou.
- Zlepšení provozních předpisů a školení obsluhy za účelem snížení vlivu selhání lidského činitele.
- Zlepšení projektu technologického zařízení JE s uvažovanou změnou AOT nebo frekvence PK za účelem snížení celkové nepohotovosti zařízení (systému anebo komponenty daného zařízení JE) a rizika elektrárny.

Pokud jsou kompenzační opatření součástí vyhodnocení změn LaP, je třeba zvážit vliv těchto opatření na riziko a popsat ho v předkládané žádosti o změnu LaP, buď kvantitativně, nebo kvalitativně.

Provádí-li se kvantitativní vyhodnocení, je nutno celkový vliv těchto opatření vyhodnotit ve vztahu k základnímu principu „malého navýšení rizika“ v důsledku změny ZKZ (podrobněji viz Příloha A).

Vyhodnocení změny LaP zahrnuje následující body:

1. Vyhodnocení navrhované změny LaP bez kompenzačních opatření.
2. Vyhodnocení navrhované změny LaP s kompenzačními opatřeními.
3. Konkrétní posouzení toho, jakou váhu má každé z navrhovaných kompenzačních opatření při změně LaP:
  - v modelu PSA a vypočtených hodnotách rizika,
  - v procesu integrovaného vyhodnocení, v jeho deterministické části hodnocení změny LaP.

#### Poznámka:

Zde jsou míněna kompenzační opatření, která jsou považována za součást změny LaP.

### **3.I.2.8 Program řízení rizika konfigurace (CRMP) při změnách LaP**

Navrhovaná změna LaP je součástí procesu řízení ZKZ a je tedy součástí jednotné strategie Programu řízení rizika konfigurace (CRMP) zahrnujícího celkový přístup k řízení bezpečnosti provozu JE.

V rámci CRMP má být provozovatel JE schopen řídit riziko spojené s nepohotovostí zařízení, jak je uvedeno v kap. 3.I.2.2.3 Obecný postup pro hodnocení trvalých změn LaP, Úroveň 3.

Program CRMP pro změny LaP je založen přinejmenším na PSA úrovni 1 a 2 pro provoz bloku na výkonu a v odstavních stavech, které zahrnuje vnitřní iniciační události a interní

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

hazardy a umožňuje odhad rizika bloku či celé elektrárny, minimálně pak vyhledávání významných konfigurací z hlediska rizika. Toto hodnocení se provádí:

- Před vstupem do LPP, tj. při předem plánovaných i neplánovaných činnostech údržby.
- Během provádění údržby, tj. při čerpání LPP, když bude zjištěna nutnost odstavit další zařízení z provozu, včetně potřeby provést další činnosti údržby.

K dispozici musí být administrativní postupy, které budou specifikovat související činnosti pro tři případy zasahující do konfigurace zařízení:

1. předem plánovaný vstup do LPP,
2. neplánovaný vstup do LPP,
3. stav, kdy je čerpána LPP a následkem nepředvídané události se další SKK staly neschopnými provozu nebo nefunkčními.

Tato specifikace musí zahrnovat záběr hodnocení rizika pomocí CRMP (např. vyhledávání konfigurací významných z hlediska rizika) a je třeba rovněž uvést časový rámeček pro toto hodnocení vztahující se na neplánované události.

Součástí CRMP jsou postupy pro zohlednění dalších aplikovatelných příspěvků k riziku, jako např. scénáře PSA 2. úrovně, externí události; a to jak kvalitativně, tak kvantitativně, pokud nejsou součástí modelů prostředků CRMP.

CRMP zahrnuje SKK modelované v PSA a ty, které jsou považovány za významné pro bezpečnost. CRMP může mít formu on-line hodnocení, resp. off-line hodnocení provozní jaderné bezpečnosti (okamžitého a kumulativního rizika provozu apod.) prováděného pomocí provozní aplikace PSA, tzv. monitoru rizika, jakými jsou např. software Safety Monitor, Risk Watcher, EOOS a další.

Často jsou využívány různé formy off-line způsobů hodnocení provozní jaderné bezpečnosti, např. hodnocení rizika ve formě různých matic rizika nebo lze využít přímé hodnocení pomocí základního modelu PSA elektrárny v prostředí RiskSpectrum® PSA Professional nebo WinNUPRA.

Z důvodu kontroly CRMP je třeba přijmout opatření v místě organizace provozovatele JE. Tento proces bude založen na vhodném administrativním postupu pro aktualizaci modelu PSA (Program Living PSA) specifického pro danou JE, aby byly zohledněny provedené modifikace.

Omezení CRMP je třeba identifikovat a rozumět jim při každé konkrétní aplikaci na prováděnou ZKZ, např. prodloužení AOT. Rovněž je třeba popsat postup hodnocení v situacích, kdy bude uvažovaná konfigurace zařízení mimo rozsah hodnotících nástrojů CRMP.

### **3.1.3 Kritéria přijatelnosti rizika pro změny LaP**

Numerická kritéria přijatelnosti rizika, která jsou podrobně uvedena v Příloze A, se plně vztahují jak na přípravu, tak i na hodnocení žádostí o změny LaP, tj. např. změny AOT, změny některých parametrů LPP a změny frekvencí PK.

V dalším textu jsou uvedena další numerická kritéria, která budou používána pro vyhodnocení změn AOT [G2].

Aplikace všech kritérií přijatelnosti rizika na jednotlivé návrhy změn LaP se shoduje se základním principem, že změny LaP mají za následek malá navýšení rizika, viz Příloha A.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Numerická kritéria přijatelnosti rizika předložená v Příloze A jsou popsána pomocí veličin CDF (FDF) a LERF, které popisují celkové riziko předpokládané pro provoz JE i jejich změny očekávané v důsledku plánovaných úprav, tj.  $\Delta$ CDF ( $\Delta$ FDF) a  $\Delta$ LERF.

Při výpočtech ovlivnění rizika uvažovanou změnou LaP jsou rovněž zahrnovány dodatečné úpravy, které budou provedeny jako součást dané změny, např. kompenzační opatření uvažovaná ve vztahu ke změně LaP.

Za povšimnutí stojí, že  $\Delta$ CDF ( $\Delta$ FDF) a  $\Delta$ LERF představují změnu v ročních ukazatelích rizika, protože vycházejí z celkových ročních CDF (FDF) nebo LERF. Tyto hodnoty závisí nejen na charakteristikách jednotlivých událostí ovlivněných změnou LaP, jako např. odstavení do údržby anebo požadavky na zkoušky, ale též na průměrné frekvenci jejich vzniku během období provozu.

### 3.I.3.1 Specifika hodnocení změn AOT

Vzrůst rizika spojeného s AOT lze ocenit dvěma veličinami, viz NUREG/CR-6141 [G5]:

1. přírůstek rizika od jednorázového čerpání AOT (tzv. single-event AOT risk).

Tato veličina se oceňuje pomocí přírůstku podmíněné pravděpodobnosti (ICCDP, ICFDP, ICLERP<sup>1</sup>), tj. přírůstku pravděpodobnosti vztažené ke sledované události během doby výskytu události (v našem případě AOT) při pokračování provozu v daném stavu. Je to tedy bezrozměrná veličina.

2. příspěvek čerpání AOT k průměrnému ročnímu riziku (tzv. AOT risk contribution per year).

Tato veličina se vyjadřuje jako přírůstek rizika k průměrnému riziku za určité období (nejčastěji za jeden rok).

Tato kritéria definují kvantitativní omezení rizika vyplývající z jednotlivé změny AOT.

Kromě toho existují ještě kvalitativní požadavky na rozložení rizik vztažených k událostem v průběhu doby provozu a omezení ohledně možných rizikově významných konfigurací, které jsou spojeny s danou změnou (úroveň 2) včetně implementace programu řízení konfigurace bloku či elektrárny s ohledem na riziko (úroveň 3), jak je popsáno v kapitole 3.I.2.2.

Změna AOT je přijatelná, pokud jsou spolu s kritérii uvedenými v první části přílohy A splněna také následující kritéria [G2, G5]:

1. Je prokázáno, že změna má pouze malý kvantitativní dopad na riziko.

Pro jedinou změnu AOT je její účinek považovaný za malý, pokud je ICCDP (ICFDP) menší než  $5 \times 10^{-7}$  a ICLERP je menší než  $5 \times 10^{-8}$ .

Pozn.: Uvedená kritéria jsou přísnější, než kritéria uvedená v [G2], kde se uvádí ICCDP (ICFDP) menší než  $1 \times 10^{-6}$  a ICLERP je menší než  $1 \times 10^{-7}$ .

<sup>1</sup> Definice ICCDP, ICFDP a ICLERP jsou uvedeny v Příloze B.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Též příspěvek ICCDP (ICFDP) musí být rozložen v čase tak, aby jakékoli navýšení souvisejícího podmíněného rizika bylo při provozu JE nad rámec původní LPP malé a v rámci normálního provozního pozadí JE, tzv. riziko fluktuací (úroveň 1 pro hodnocení změn LaP).

2. Je prokázáno, že existují přiměřená omezení pro dominantní rizikově významné konfigurace, které jsou spojeny s danou změnou AOT (úroveň 2 pro hodnocení změn LaP).
3. Provozovatel zavedl CRMP, který zahrnuje vhodné předpisy pro strategii implementace změn LaP a monitorování jejich vlivu na provoz bloku či JE (úroveň 3 pro hodnocení změn LaP).

V kontextu integrovaného rozhodování by neměla být kritéria přijatelnosti definovaná v této metodice považována za striktně předepsaná, ale měla by poskytovat určitou podporu ve smyslu doporučených přibližných numerických hodnot, které jsou obecně akceptovatelné.

Navíc epistemické nejistoty (nejistoty poznání, tj. např. předpokladů) spojené s výpočty PSA neumožňují konečné rozhodnutí ohledně přijetí navrhované změny jenom na základě pouhých numerických výsledků. Toto rozhodnutí musí být založeno na plném porozumění jednotlivým příspěvatelům k riziku i vlivům nejistot, a to jak těch, které jsou přímo vyjádřeny ve výsledcích, tak i těch, které nejsou nijak kvantifikovány.

Numerické výsledky pravděpodobnostních analýz rizika je potřeba zvážit společně s:

- dalšími tradičními metodami a úvahami, např. deterministickými,
- zkušenostmi z provozu,
- poučeními získanými z předchozích změn LaP,
- praktickými závěry z provádění zkoušek a údržby.

Konečná přijatelnost navrhované změny LaP bude posuzována na základě všech těchto informací a přístupů a ne pouze na podkladě výsledků získaných pravděpodobnostním hodnocením rizika a jejich porovnáním s kritérii přijatelnosti uvedenými v této metodice.

### **3.I.4 Porovnání rizika dostupných alternativ změn LaP**

V některých případech mohou být dostupné alternativy podporující změnu LaP vzájemně porovnávány, aby byla navrhovaná změna odůvodněna. Tento přístup může být užitečný ve vyhodnocení jak změn AOT tak i změn frekvencí PK.

#### **3.I.4.1 Změny AOT**

V případě změny AOT může být z hlediska rizika porovnáváno riziko odstavení bloku či JE (dle platných LaP) s rizikem při pokračování v provozu na výkonu v situaci, kdy blok či elektrárna nesplňuje jednu nebo více limitních podmínek pro provoz (LPP) definovaných v rámci LaP.

Takové porovnání může být použito pro doložení toho, že navýšení rizika v důsledku dalšího provozu na výkonu po dobu přesahující současné AOT je vyrovnáno odvrácením některého rizika vznikajícího v důsledku požadovaného přechodu do některého z nevykonových stavů (tj. odstavení bloku či elektrárny) dle současně platných LaP.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Poznámka:

Tento způsob hodnocení změny AOT může být použit jak při změně (prodloužení) AOT na konečnou vyšší hodnotu, tak i při neomezeném prodloužení AOT (pokračování v provozu v daném Režimu). Porovnání alternativ je však v principu nadbytečné používat při neomezeném prodloužení AOT podloženém zanedbatelným ICCDP a ICLERP (v tomto případě není neomezené prodloužení AOT navrhováno kvůli odvrácení některého rizika vznikajícího v důsledku požadovaného přechodu do některého z nevykonových stavů).

Prodloužení AOT je obecně akceptovatelné i pro takové LPP, kdy je při NEPSCH výhodnější pokračovat v provozu v daném stavu (a tedy AOT nemá smysl) než po vyčerpání Doby provedení odstavit do jiného stavu RB. Ve skutečnosti by se totiž jednalo o změnu k lepšímu.

### 3.I.4.2 Změny koncových stavů odstavení

Zde se předpokládá existence AOT. Neomezené prodloužení AOT (pokračování v provozu v daném Režimu) se řeší dle kap. 3.I.4.1.

Změna je akceptovatelná, pokud je úroveň okamžitého rizika s NEPSCH komponentou v navrženém koncovém stavu odstavení menší nebo rovna tomuto riziku ve stávajícím koncovém stavu odstavení. V takovém případě lze očekávat, že tato změna způsobí snížení nominálního rizika, které je vždy akceptovatelné.

Pokud je navržena taková změna koncového stavu, že úroveň okamžitého rizika s NEPSCH komponentou v navrženém koncovém stavu odstavení je větší než úroveň rizika ve stávajícím koncovém stavu odstavení, neznamená to ještě neakceptovatelnost změny. Lze očekávat, že tato změna ve většině případů způsobí zvýšení nominálního rizika. To je však rovněž akceptovatelné za jistých podmínek. Vzhledem ke složitosti vyhodnocení je v takovém případě preferováno jiné (deterministické) zdůvodnění změny koncového stavu na stav s vyšším okamžitým rizikem (viz Obrázek C.2-1 v příloze C.2 s nejasným pokračováním /modré pole/ v případě vyššího okamžitého rizika v navrženém koncovém stavu odstavení).

Ve specifických případech může být potřebné ocenit, zda případné navýšení kumulativního rizika z přechodového procesu nezpůsobí celkové neakceptovatelné navýšení rizika i při nižší úrovni okamžitého rizika v navrženém koncovém stavu odstavení. Takové případy jsou popsány v kap. C.2 Přílohy C a vyžadují realistické modely těchto přechodových stavů.

Výsledek porovnání nesmí být určen nesprávnými relacemi důležitosti mezi jednotlivými částmi modelu PSA pro dotčené koncové stavy odstavení nebo více konzervativními nebo optimistickými modely v některém z těchto stavů.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### 3.1.5 Obsah předkládané žádosti o změny LaP

Obecně platí, že aby mohl SÚJB dospět k rozhodnutí ohledně přijatelnosti jakékoli ZKZ, musí držitel povolení připravit a předložit žádost, která bude obsahovat dostatečné technické informace, které odůvodňují navrhovanou ZKZ.

Žádost o povolení ZKZ je schvalována SÚJB na základě zákona č. 263/2016 Sb. (Atomový zákon), § 24 odst. 6. Obsah předkládané dokumentace žádosti o ZKZ je uveden v Příloze 1. Atomového zákona, písmeno h).

Žádost musí obsahovat deterministické hodnocení rizika v důsledku navrhované ZKZ, včetně shody se současnými předpisy a normami, vyhodnocení aspektů ochrany do hloubky a bezpečnostních rezerv.

Integrované hodnocení ZKZ musí obsahovat pravděpodobnostní hodnocení rizika navrhované ZKZ a to v případě, že lze pro danou ZKZ použít pravděpodobnostní analýzy hodnocení rizika.

Cílem pravděpodobnostního hodnocení rizika je zdůvodnění navrhované ZKZ, včetně následujících specifikací:

- projednání okrajových podmínek a případných dodatečných opatření vztahujících se k navržené ZKZ s cílem snížit případné navýšení rizika
- použitelnost a kvalita použitých částí modelu PSA pro vyhodnocení ZKZ.
- případné změny provedené v modelu PSA, které byly použity pro vyhodnocení ZKZ.
- dodatečně vypracované výsledky analýz a údaje oproti databázi původní studie PSA, které byly použity pro vyhodnocení ZKZ.
- shrnutí vypočtených výsledných hodnot všech veličin rizika.
- provedené citlivostní analýzy a analýzy nejistot.
- shrnutí všech vlivů navrhované ZKZ na výsledné riziko a diskuze o vlivu použitých okrajových podmínek.
- navrhovaná dodatečná opatření a kompenzační kroky k navržené ZKZ, jsou-li nějaké.
- plán implementace a monitorování vztahující se k navrhované ZKZ, který může být součástí CRMP.

V případě změn LaP bude žádost obsahovat další upřesňující informace. Musí být definována dodatečná opatření, aby se předešlo vzniku rizikově významných konfigurací zařízení v době, kdy je dané zařízení mimo provoz v souladu s navrhovanou změnou LaP.

V této souvislosti je třeba v žádosti uvést následující informace, vycházející ze specifikací uvedených v kap.3.2. Zvážení vlivu změn LaP na riziko:

1. Seznam identifikovaných rizikových konfigurací s dotčeným zařízením (úroveň 2 pro hodnocení změn LaP).
2. Program řízení rizika konfigurace (CRMP), včetně vysvětlení, jak dané nástroje budou použity k zajištění toho, že nebudou navoleny rizikově významné konfigurace zařízení a jaká vhodná opatření budou přijata, když neočekávané události uvedou JE do rizikově významné konfigurace (úroveň 3 pro hodnocení změn LaP).



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

- Pro běžné potřeby hodnocení provozního rizika je provozovatelem používána aplikace PSA, tzv. monitor rizika, konkrétně software Safety Monitor, umožňující jak on-line tak i off-line způsob hodnocení.
  - Mohou však být použity i jiné metody, jako např. hodnocení rizika ve formě různých matic rizika nebo přímé hodnocení pomocí základního modelu PSA elektrárny v prostředí RiskSpectrum® PSA Professional nebo WinNUPRA® PSA a WinNUCAP.
3. Kopii příslušných LaP a podkladů, které jsou použity k odůvodnění původních LaP. Dané materiály budou zahrnovat dostatečné informace a poskytovat tak technické podklady pro revidované AOT nebo frekvence PK.

Je na rozhodnutí provozovatele, zda připraví krátký formální dokument s žádostí o změnu LaP, který bude poskytovat pouze základní informace vztahující se ke změně, a podrobnější technický materiál předloží ve formě příloh.

Doplňující dokumentace vztahující se ke změně LaP, např. kopie příslušné LPP a podkladů pro původní LPP, je vhodné též poskytnout jako jednu z příloh.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## 3.II HODNOCENÍ DOČASNÝCH ZMĚN LaP

### 3.II.1 Účel a předmět metodiky

Tato část metodiky pravděpodobnostního posouzení LaP se zaměřuje na posouzení dočasných změn LaP (doba do obnovení provozuschopnosti, doba do testu, atd.), popřípadě požadovaných činností (rozhodnutí o testu nebo o odstavení), v LaP. Jedná se o jednorázové změny odpovídající „one-time only changes“ z RG 1.177 [G2].

Dlouhodobější dočasné změny LaP (tj. LaP se formálně změní jen na určitou dobu), jsou hodnoceny stejně jako trvalé změny LaP (nemusí se vztahovat na konkrétní konfiguraci a je nutno zohlednit i četnost použití dočasně změněných LPP nebo výjimek).

Výsledkem hodnocení by mělo být povolení jednorázové dočasné změny LaP. Je tedy nutno dořešit jinými návody dozorného orgánu návaznost na příslušné deterministické hodnocení.

### 3.II.2 Hlavní zásady metodiky pro pravděpodobnostní hodnocení

Pro pravděpodobnostní hodnocení dočasných změn LaP platí obecně tytéž zásady, jako pro pravděpodobnostní postupy v hodnocení trvalých změn LaP, prezentované v části I. tohoto návodu, ovšem s následujícími odlišnostmi:

- a) Výběr základní konfigurace RB včetně neprovozuschopností zařízení JE pro výpočet je pevně daný konkrétní situací na RB a vnějšími podmínkami.

Není tedy nutno brát v úvahu všechny možné vstupy do dané LPP, tak jako pro trvalé změny LaP. Vychází se z předpokladu, že dočasná změna je jednorázová a není paušálně použitelná pro jinou než konkrétní situaci, které se žádost o danou dočasnou změnu týká.

- b) Nehodnotí se vliv na průměrné riziko z provozu RB.

Dočasné změny LaP by měly být opravdu výjimečné, tzn. velmi řídké. Proto se vliv na průměrné riziko z provozu RB projeví jen v daném roce a v dalších letech už se nerealizuje. To je rozdíl od trvalých nebo dlouhodobějších změn, kde změna LPP dává potenciál pro navýšení rizika během dlouhodobějšího provozu JE, pokud nebude opět změněna.

- c) Dovoleno nárůst rizika v daném roce od jednorázového vstupu do LPP (tzv. single AOT risk, viz např. NUREG/CR-6141 [G5]) vyjádřený pomocí ICFDP (ICCDP) a ICLERP může být větší, než pro trvalé změny LaP.

Jak už bylo řečeno výše, dočasné změny LaP by měly být výjimečné a tedy navýšení rizika by se mělo projevit jen v daném roce a jen jednou (na rozdíl od trvalých nebo dlouhodobějších změn, kde je nutno počítat i s vícenásobným čerpáním LPP během jednoho roku). Kritéria pro jednorázový nárůst rizika **trvalé změny** LaP s možností vícenásobného vstupu během roku by tedy zákonitě měla být **přísnější**.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

d) Posouzení možných rizikových konfigurací je jednodušší, neboť konfigurace RB včetně neprovoznosti zařízení je pevně daná konkrétní situací na RB.

Není tedy nutno domýšlet, jaké jiné konfigurace by ještě reálně přicházely v úvahu, tak jako pro trvalé změny LaP.

e) Pro dočasné změny LPP při poruše zařízení je možno ve větší míře provádět porovnání alternativ, neboť řada okrajových podmínek je pevně daná konkrétní situací na RB.

Jedná se o konfiguraci RB včetně neprovoznosti zařízení, délky opravy TR, délky trvání v jednotlivých stavech bloku či JE, apod.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## 3.III HODNOCENÍ ADEKVÁTNOSTI LAP

### 3.III.1 Účel návodu

Tato část návodu pravděpodobnostního hodnocení LaP se zaměřuje na posouzení adekvátnosti Doby provedení (doba do obnovení provozuschopnosti, doba do testu, atd.) v LaP.

Výsledkem hodnocení adekvátnosti jsou případné návrhy na zpřísnění LPP, resp. změn za účelem snížení rizika.

### 3.III.2 Předmět návodu

Tento návod je určen pouze pro hodnocení adekvátnosti LPP se specifikovanou AOT, tj. v LPP se přechází do jiného stavu po vyčerpání Doby provedení.

Návod není určen pro:

- ◆ hodnocení adekvátnosti LPP bez AOT, kdy se při neplnění LPP nepřechází do jiného stavu (pokračuje se v provozu až do obnovy PSCH zařízení),
- ◆ hodnocení adekvátnosti koncového stavu odstavení, do něhož se přechází při neplnění LPP s CT (tj. po vyčerpání Doby provedení)
- ◆ hodnocení adekvátnosti PK, včetně hodnocení optimalizace PK, pokud je požadována.

### 3.III.3 Hlavní zásady metodiky pro pravděpodobnostní hodnocení

Za adekvátní AOT se považuje taková AOT, kdy:

- ◆ jednorázový vstup do LPP způsobí pouze malé navýšení rizika ve výchozím stavu.

Za adekvátnost se nepovažuje optimalizace LaP, tj. LaP mohou být dle těchto zásad adekvátní, i když nejsou optimalizované. Optimalizace AOT z hlediska minimálního dopadu na riziko je navíc problematická, neboť výstupem jsou obvykle velmi krátké AOT, které jsou pro praktický provoz JE nepoužitelné. Za optimalizaci se nepovažuje prodlužování AOT na maximální dovolenou hodnotu.

Pro pravděpodobnostní hodnocení adekvátnosti LaP platí obecně tytéž zásady, jako pro pravděpodobnostní postupy v hodnocení trvalých změn LaP, prezentované v první části tohoto návodu, s následujícími odlišnostmi:

- a) Nehodnotí se vliv na celkové riziko z provozu RB.

V případě posuzování adekvátnosti stávajících LPP se neprovádí výpočet změny celkového (ročního) rizika, neboť se nejedná o žádnou změnu (neexistuje stav před změnou a po změně).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

b) Hodnocení adekvátnosti LaP pomocí PSA je prováděno na požadavek dozorného orgánu, zatímco hodnocení změn LaP je zájmem provozovatele (ten podává žádost o změnu LaP).

To významně ovlivňuje hodnocení adekvátnosti koncových stavů odstavení. Akceptovatelnost koncových stavů odstavení je silně závislá na vyváženosti okamžitého rizika v těchto stavech. Jak stávající návody a doporučení MAAE, tak i platné vyhlášky SÚJB však nevyžadují vyváženost okamžitého rizika mezi jednotlivými režimy provozu RB.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## Příloha A

# Kritéria přijatelnosti rizika pro změny na JE a kritéria přijatelnosti používaná při povolování trvalých změn LaP

## A.1 Dopad změny na celkové riziko

### A.1.1 Definování kritérií přijatelnosti

V této příloze jsou uvedena obecná pravděpodobnostní kritéria přijatelnosti změny rizika a kritéria přijatelnosti používaná při povolování trvalých změn LaP.

Pravděpodobnostní kritéria přijatelnosti změny na JE (a tedy i změny LaP) jsou definována vzhledem k hodnotám veličin  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ ),  $LERF_{nom}$  a jejich změnám. Jednotlivé Oblasti I-II (Obrázky A-1 a A-2) jsou v grafech vymezeny souřadnicemi:

- v ose „x“ - nominální hodnoty veličin rizika  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ ) nebo  $LERF_{nom}$ ,
- v ose „y“ - přírůstek nominálních hodnot veličin rizika, tj.  $\Delta FDF_{nom}$  ( $\Delta CDF_{nom}$ ) nebo  $\Delta LERF_{nom}$ .

Oblasti I-II jsou definovány na základě nominálních hodnot a přírůstku hodnot rizika pro jednotlivé veličiny  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ ) a  $LERF_{nom}$ . Podmínkou akceptování takto definovaných kritérií přijatelnosti rizika je obecně použití plnorozsahového modelu PSA příslušné JE v takovém rozsahu, který dostatečným způsobem zahrnuje všechny provozní režimy a odpovídající vnitřní a externí události, které mohou na JE vzniknout.

Nemá-li PSA úplný rozsah, provozovatel musí v podané žádosti věrohodně doložit, že chybějící prvky nemají na plnění výše uvedených kritérií vliv. Např. kvantifikace změny nominálního rizika při změně LaP pro provoz na výkonu nemusí být vůbec ovlivněna neúplným modelem pro provoz v odstavených stavech. Rovněž plnění kritéria pro celkové nominální riziko lze dokladovat hraničními odhady pro chybějící prvky modelu PSA.

Použije-li provozovatel v podané žádosti o projektovou změnu veličinu rizika CDF a nikoliv FDF, musí v žádosti vždy věrohodně doložit, že je její použití při dokazování splnění kritérií přijatelnosti oprávněné a že nedojde k podhodnocení celkového rizika. Podrobnější vysvětlení je uvedeno v Poznámce v závěru kapitoly A.1.1.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Vzhledem k hodnotě přírůstku rizika jsou definována následující kritéria přijatelnosti:

Kategorie „změny“	$\Delta FDF_{nom}$ ( $\Delta CDF_{nom}$ )	$\Delta LERF_{nom}$
Změna „velká“, „nedovolená“ (Oblast I)	$> 5 \times 10^{-6}/rok$	$> 10^{-6}/rok$
Změna „malá“ (Oblast II – pro nominální $FDF \leq 10^{-4}/rok$ , resp. $LERF \leq 10^{-5}/rok$ )	$\leq 5 \times 10^{-6}/rok$	$\leq 10^{-6}/rok$

Kritéria přijatelnosti jsou stanovena pro obě Oblasti I-II v závislosti na velikosti přírůstku (velká, malá) a nominální hodnotě veličin FDF nebo LERF. Existují dva soubory kritérií, jeden pro  $FDF_{nom}$  a druhý pro  $LERF_{nom}$ , které budou používány ve vztahu k vyhodnocované veličině rizika.

#### Poznámka:

RG 1.174 [G1] používá při definování analogických kritérií přijatelnosti veličinu CDF (frekvence poškození paliva v AZ) a veličinu LERF (frekvence velkého časného úniku radioaktivních látek). Z požadavku na úplné hodnocení rizika elektrárny vyplývá přirozený závěr, aby se kritéria vztahovala na frekvenci poškození paliva v celé elektrárně (FDF) a nikoliv jenom na frekvenci poškození paliva v AZ (CDF).

Při hodnocení přijatelnosti rizika se rovněž vychází z materiálů IAEA INSAG-3 a INSAG-12 [G14], podle kterých mají mít provozované JE hodnoty  $CDF_{nom} < 10^{-4}/rok$  a  $LERF_{nom} < 10^{-5}/rok$  a od níž se odvíjí numerická hodnota kritéria pro veličinu  $\Delta FDF_{nom}$  ( $\Delta CDF_{nom}$ ) uváděná v této metodice. Materiály IAEA INSAG-3 a INSAG-12 [G14] sice porovnávají s kritériem  $10^{-4}/rok$  frekvenci těžkého poškození paliva v AZ, stávající PSA však v hodnotě CDF obvykle konzervativně nerozlišují těžké a jakékoliv poškození AZ.

Riziko poškození paliva v BS je obvykle velmi malé ve srovnání s rizikem plynoucím z poškození AZ. Při očekávané rezervě CDF do hodnoty  $10^{-4}/rok$  je tak možno používat FDF jako konzervativnější míru rizika pro účely porovnání s kritériem  $10^{-4}/rok$ . Při významnějším příspěvku rizika z poškození paliva v BS, které by způsobilo překročení kritéria  $10^{-4}/rok$  pro celkovou FDF, se však doporučuje snížit tento příspěvek místo provádění změn, které způsobují být zanedbatelné zvýšení rizika.

Je zřejmé, že velká většina změn LaP se bude týkat pouze změn veličiny CDF. Nelze však pro budoucnost vyloučit i možnost vzniku požadavku na změny dotýkající se různým způsobem poškození paliva mimo AZ, jako např. paliva uskladněného v BS s dopadem na spolehlivost odvodu jeho zbytkového tepla anebo jeho poškození při manipulacích v průběhu výměn paliva pádem těžkého břemene apod. Oproti tomu riziko poškození paliva mimo AZ v těch režimech JE, kdy palivo není kompletně vyvezeno do BS, může být v některých případech zanedbatelné nebo pro danou změnu LaP nemusí záviset na činnosti limitovaných systémů. Vzrůst frekvence poškození paliva obecně  $\Delta FDF_{nom}$ , resp. vzrůst podmíněného rizika ICCDP, tak kopíruje vzrůst frekvence poškození paliva v AZ  $\Delta CDF_{nom}$ , resp. vzrůst podmíněného rizika ICCDP, a tyto veličiny lze příslušným způsobem zaměnit.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

V režimu provozu bloku s kompletně vyvezeným palivem do BS se AOT obvykle nepoužívá. Důvodem je, že v tomto stavu není možno řešit plnění LPP přechodem do režimu s vyšším pořadovým číslem. Hodnocení změn LPP s použitím pouze rizika plynoucího z poškození paliva v BS se tak neočekává.

Z výše uvedených důvodů lze očekávat, že tradiční míra rizika CDF bude hojně používaná místo obecnější míry rizika FDF.

## A.1.2 Oblasti kritérií přijatelnosti

Pro každý ze souborů kritérií přijatelnosti jsou vymezeny dvě různé oblasti:

- Oblast I. Do této oblasti spadají změny tzv. změny „velké“ („nedovolené“), které jsou pro státní dozor změnami nepřijatelnými. Odpovídající přírůstek hodnoty rizika je  $\Delta FDF_{nom}$  ( $\Delta CDF_{nom}$ )  $> 5 \times 10^{-6}/rok$ , resp.  $\Delta LERF_{nom} > 10^{-6}/rok$ .
- Oblast II. Do této oblasti spadají změny LaP, tzv. změny „malé“, které jsou pro státní dozor změnami přijatelnými za určitých, dále specifikovaných podmínek.

Kritéria uvedená v grafické formě na Obrázcích A-1 a A-2 definují situace, ve kterých má navrhovaná změna za následek navýšení hodnoty veličiny  $FDF_{nom}$ , resp.  $CDF_{nom}$  nebo  $LERF_{nom}$ .

Navrhované změny vedoucí ke snížení  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ ) a současně i  $LERF_{nom}$ , jsou považovány za změny přijatelné.

## A.1.3 Použití kritérií přijatelnosti

### A.1.3.1 Navrhované změny s vlivem na FDF, resp. CDF

- Odpovídá-li vypočtená hodnota přírůstku rizika  $\Delta FDF_{nom}$  ( $\Delta CDF_{nom}$ ) kategorii „malá změna“, bude realizace změny dozorným orgánem hodnocena kladně pouze v případech, když bude rozumně prokázáno, že celková hodnota  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ ) nebude po realizaci změny LaP vyšší než  $10^{-4}/rok$ , viz Obrázek A-1, Oblast II.
- Naopak bude „malá změna“ přírůstku hodnoty  $\Delta FDF_{nom}$  ( $\Delta CDF_{nom}$ ) negativně hodnocena v těch případech, pokud existuje možnost, že celková hodnota  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ ) by mohla být po realizaci změny vyšší než  $10^{-4}/rok$  (za hraniční se uvažuje hodnota  $10^{-4}/rok$  dle materiálů INSAG-3 a INSAG-12 [G14]), viz Obrázek A-1, Oblast II.  
V těchto případech může být negativní hodnocení dáno rovněž indikací kvalitativního charakteru. Například pokud by byla vypočtena celková hodnota  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ ) přibližně odpovídající  $10^{-4}/rok$  a byl-li přitom použit model PSA s omezeným rozsahem anebo byla-li zjištěna potenciální poruchovost na základě provozních zkušeností nebo technické analýzy. Pozornost by se potom měla v takovémto případě zaměřit na hledání prostředků, které by umožňovaly spíše snížení hodnoty  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ ), než její navýšení.
- Odpovídá-li vypočtený přírůstek hodnoty rizika  $\Delta FDF_{nom}$  ( $\Delta CDF_{nom}$ ) kategorii „velká změna“, nebude realizace změny dozorným orgánem vůbec povolena, viz Obrázek A-1, Oblast I.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### A.1.3.2 Navrhované projektové změny elektrárny s vlivem na LERF

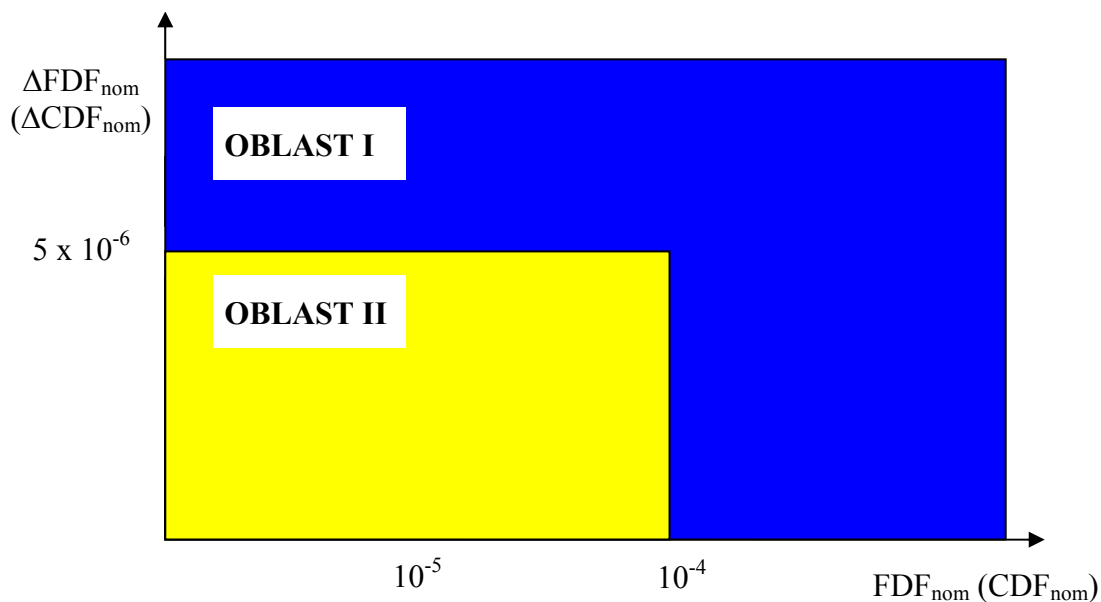
- Odpovídá-li vypočtená hodnota přírůstku rizika  $\Delta\text{LERF}_{\text{nom}}$  kategorii „malá změna“, bude realizace změny LaP dozorným orgánem hodnocena kladně pouze v případech, když bude rozumně prokázáno, že celková hodnota  $\text{LERF}_{\text{nom}}$  nebude po realizaci změny LaP vyšší než  $10^{-5}/\text{rok}$ , viz Obrázek A-2, Oblast II.
- Naopak bude „malá změna“ přírůstku hodnoty  $\Delta\text{LERF}_{\text{nom}}$  negativně hodnocena v těch případech, pokud existuje možnost, že celková hodnota  $\text{LERF}_{\text{nom}}$  by mohla být po realizaci změny LaP vyšší než  $10^{-5}/\text{rok}$  (opět se za hraniční uvažuje hodnota  $10^{-5}/\text{rok}$  dle INSAG-3 a INSAG-12 [G14]), viz Obrázek A-2, Oblast II.  
V těchto případech může být negativní hodnocení dáno indikací kvalitativního charakteru. Například pokud by byla vypočtena celková hodnota  $\text{LERF}_{\text{nom}}$  přibližně odpovídající  $10^{-5}/\text{rok}$  a byl-li přitom použit model PSA s omezeným rozsahem anebo byla-li zjištěna potenciální poruchovost na základě provozních zkušeností nebo technické analýzy. Pozornost by se potom měla v takovémto případě zaměřit na hledání prostředků, které by umožňovaly spíše snížení hodnoty  $\text{LERF}_{\text{nom}}$ , než její navýšení.
- Odpovídá-li vypočtený přírůstek hodnoty rizika  $\Delta\text{LERF}_{\text{nom}}$  kategorii „velká změna“, nebude realizace změny LaP dozorným orgánem vůbec povolena, viz Obrázek A-2, Oblast I.

### A.1.4 Grafické vyjádření kritérií přijatelnosti

Následující grafy popisují „umístění“ navržených změn LaP definovaných vzhledem k vypočteným hodnotám veličin rizika  $\text{FDF}_{\text{nom}}$  ( $\text{CDF}_{\text{nom}}$ ), resp.  $\text{LERF}_{\text{nom}}$  a jejich změnám. V grafech jsou použity logaritmické stupnice na osách „x“ a „y“.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obrázek A-1: Kritéria přijatelnosti pro frekvenci poškození paliva  $FDF_{nom}$  ( $CDF_{nom}$ )**

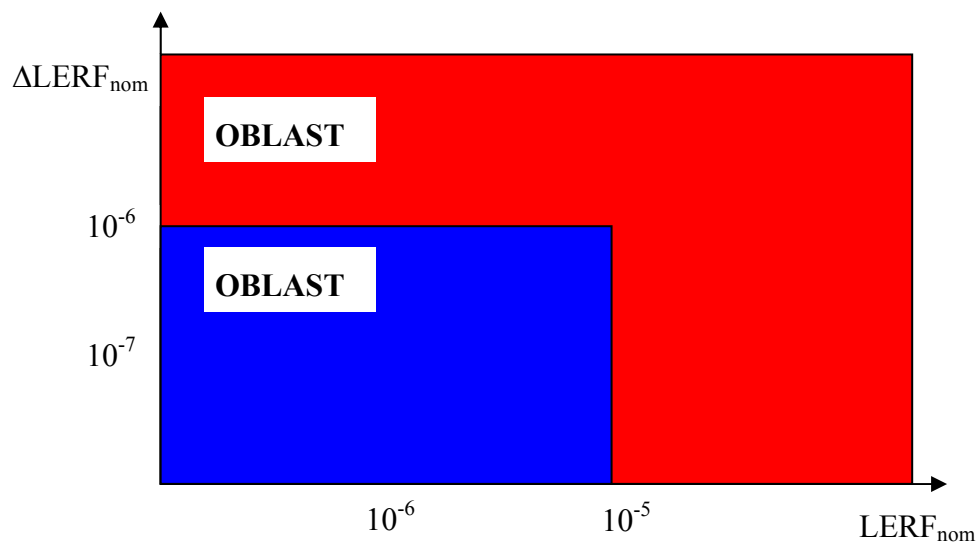


**Oblast I** Nejsou povoleny žádné změny LaP.

**Oblast II** Jsou povoleny „malé“ změny LaP (ve smyslu výše uvedené tabulky). Je potřeba sledovat kumulativní dopad rizika (zahrnutím změn za určité období do modelu Living PSA).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obrázek A-2: Kritéria přijatelnosti pro frekvenci velkých časných úniků radioaktivních látek  $LERF_{nom}$**



**Oblast I** Nejsou povoleny žádné změny LaP.

**Oblast II** Jsou povoleny „malé“ změny LaP (ve smyslu výše uvedené tabulky).  
Je potřeba sledovat kumulativní dopad rizika (zahrnutím změn za určité období do modelu Living PSA).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## A.2 Porovnání rizika v důsledku jednorázového vstupu do změněné LPP - prodloužení AOT

Porovnává se přírůstek podmíněné pravděpodobnosti rizika v důsledku jednorázového vstupu do nové LPP s pevným kritériem přijatelnosti rizika. Pro danou konfiguraci Ci musí dle vztahu (B8) Přílohy B platit následující obecný vztah:

$$\Delta r = \Delta R \times AOT = (R_1 - R_0) \times AOT \leq K_R \quad (A1)$$

kde:

$\Delta r$  - přírůstek pravděpodobnosti rizika od jednorázového čerpání AOT,

AOT - dovolená doba vyřazení v daném režimu,

$\Delta R$  - přírůstek rizika od jednorázového čerpání AOT (v jednotkách výskytu rizika za jednotku času, tj. frekvence),

$R_1$  - podmíněná frekvence rizika z pokračování v provozu v daném režimu při neprovozu-schopnosti komponenty nebo její omezené schopnosti provést požadovanou funkci – vztahuje se tedy ke konkrétní konfiguraci elektrárny Ci,

$R_0$  - základní úroveň (frekvence) rizika se všemi komponentami provozuschopnými (tj. bez nepohotovostí v důsledku oprav, údržby nebo testů),

$K_R$  - pevné kritérium přijatelnosti rizika.

Podrobněji je obecný vztah (A1) i význam uvedených veličin vysvětlen v Příloze B, kap. B.1.3. Základní úroveň frekvence rizika je zde počítána pro stav provozu JE, ve kterém je i ostatní zařízení provozuschopné, nejen zařízení, které je předmětem změněné LPP (obecné vztahy v Příloze B v tomto směru neupřesňují stav provozuschopnosti ostatních zařízení).

Konkrétně, aby byla navrhovaná změna AOT přijatelná, tak pro veličiny používané při hodnocení LaP a pro danou konfiguraci Ci musí současně platit:

$$ICFDP = \Delta FDF \times AOT_{nové} \leq 5 \times 10^{-7} \quad (A2)$$

nebo případně

$$ICCDP = \Delta CDF \times AOT_{nové} \leq 5 \times 10^{-7} \quad (A3)$$

a současně

$$ICLERP = \Delta LERF \times AOT_{nové} \leq 5 \times 10^{-8} \quad (A4)$$

kde je:

$$ICFDP = \Delta FDP = \Delta FDF \times AOT_{nové} = (FDF_1 - FDF_0) \times AOT_{nové} \quad (A5)$$

$$ICCDP = \Delta CDP = \Delta CDF \times AOT_{nové} = (CDF_1 - CDF_0) \times AOT_{nové} \quad (A6)$$

$$ICLERP = \Delta LERP = \Delta LERF \times AOT_{nové} = (LERF_1 - LERF_0) \times AOT_{nové} \quad (A7)$$

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Příčemž je:

$FDF_1, CDF_1, LERF_1$  - podmíněná frekvence daného rizika pokračování v provozu v daném stavu při vstupu do LPP s neprovozní schopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod. – vztahuje se tedy ke konkrétní konfiguraci elektrárny Ci,

$FDF_0, CDF_0, LERF_0$  - základní úroveň (frekvence) daného rizika se všemi komponentami provozuschopnými (tj. bez nepohotovostí v důsledku oprav, údržby nebo testů),

$AOT_{nové}$  - nová (po prodloužení) dovolená doba neprovozní schopnosti v daném režimu.

AOT obecně zahrnuje jak dovolenou dobu provedení do obnovení provozuschopnosti, tak i část doby na odstavení, po kterou bude RB při odstavení setrvat v daném režimu. Z revize 1 RG 1.177 [G2] však plyne, že do výpočtu ICCDP/ICFDP/ICLERP pro splnění kritérií se za AOT dosazuje pouze doba provedení (CT) do obnovení PSCH.

Je preferováno použití pevného (fixního) kritéria pro vzrůst pravděpodobnosti podmíněného rizika při čerpání LPP (ICFDP, případně ICCDP, ICLERP).

Numerické hodnoty pevného kritéria byly původně převzaty z revize 0 RG 1.177, v jehož novější verzi z roku 2011 [G2] byly zmírněny na hodnoty  $1 \times 10^{-6}$  pro ICCDP (ICFDP) a  $1 \times 10^{-7}$  pro ICLERP. Hodnota  $5 \times 10^{-7}$  pro ICCDP byla odvozena na základě akceptovaného dovoleného zvýšení okamžité CDF z hodnoty  $1 \times 10^{-4}$ /rok na hodnotu  $1 \times 10^{-3}$ /rok ( $\Delta CDF = 9 \times 10^{-4}$ /rok  $\cong 1 \times 10^{-7}$ /h) po dobu 5h. Hodnota pro ICLERP je 10-krát zhoršena (na  $5 \times 10^{-8}$ ).

Graficky jsou uvedena kritéria znázorněna na Obrázek A-3. Z tohoto obrázku jsou současně patrné vzájemné vztahy mezi veličinami používanými při hodnocení změny AOT, jakož i způsob jejich výpočtu. Návrh kritéria pro změnu ročního rizika je zde zobrazen pro FDF (CDF) nižší než  $1 \times 10^{-4}$ /rok a LERF nižší než  $1 \times 10^{-5}$ /rok. Celková (nominální) hodnota rizika před změnou i po změně je zde přibližně zobrazena jako průměrná hodnota, pokud by graf obsahoval jeden PSA stav. Pro určení celkové hodnoty rizika v reálné PSA s více PSA stavy viz kap B.1.1. Přílohy B.

Z výše uvedeného vztahu (A1) je možno rovněž určit maximální dovolený čas nepohotovosti limitních systémů (zařízení)  $AOT_{max}$ :

$$AOT_{max} = \frac{K_R}{\Delta R} = \frac{K_R}{R_1 - R_0} \quad (A8)$$

Pro jednotlivé druhy rizik obvykle počítané v PSA pak platí:

$$AOT_{max} = \frac{K_{ICCDP}}{CDF_1 - CDF_0} = \frac{5 \times 10^{-7}}{CDF_1 - CDF_0} \quad (A9)$$

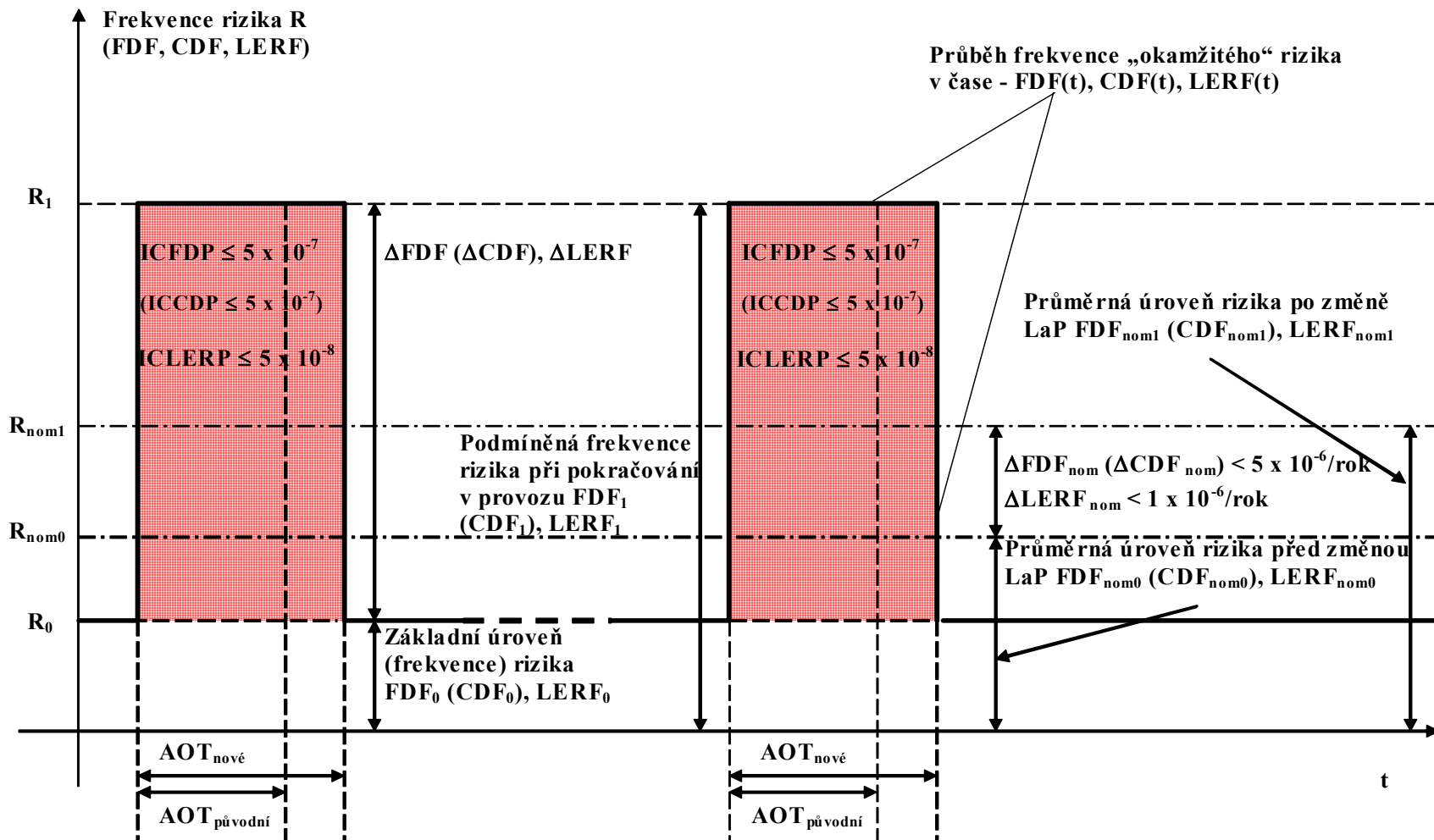
$$AOT_{max} = \frac{K_{ICFDP}}{FDF_1 - FDF_0} = \frac{5 \times 10^{-7}}{FDF_1 - FDF_0} \quad (A10)$$

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

$$\mathbf{AOT}_{\max} = \frac{K_{\text{ICLERP}}}{\text{LERF}_1 - \text{LERF}_0} = \frac{5 \times 10^{-8}}{\text{LERF}_1 - \text{LERF}_0} \quad (\text{A11})$$

Maximální AOT v daném režimu nezahrnuje jen maximální povolenou podobu do obnovení požadavku LPP (provozní schopnosti, atd.), ale také dobu na odstavení při nemožnosti splnění požadavku LPP (nejdelší možnou část doby na odstavení, po kterou bude RB při odstavení setrvat v daném režimu). Zároveň musí být nejmenší z uvedených  $\text{AOT}_{\max}$  pro různé druhy rizik.

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018



Obrázek A-3: Kritéria přijatelnosti pro změnu LaP – prodloužení AOT

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## Příloha B

# Veličiny a míry rizika používané při hodnocení změn LaP

## B.1 Veličiny a míry rizika

Rizikem je vrcholová (sledovaná) událost PSA dle její úrovně. Riziko na JE vzniká kombinací iniciačních událostí (IU) a selhání odezvy JE na ně, tj. neschopnosti JE zabránit vzniku rizika. Mírou rizika je frekvence vzniku daného rizika, resp. pravděpodobnost rizika za určité období.

Nejčastějšími riziky sledovanými a kvantifikovanými v PSA, které se používají v hodnocení LaP pro JE, jsou:

- CD** (Core Damage) - poškození AZ v JE, resp. paliva v AZ na JE - výstup PSA 1. úrovně,
- FD** (Fuel Damage) - poškození paliva na JE, tj. nejen v AZ, ale např. i v bazénu skladování, při transportu apod. - výstup PSA 1. úrovně,
- LER** (Large Early Release) - velký časný únik RA látek z JE do okolí - výstup PSA 2. úrovně.

Obvykle PSA 2. úrovně navazuje na scénáře PSA 1. úrovně, tj. zdrojem úniku RAL se předpokládá poškozená AZ, resp. poškozené palivo obecně. Zdroj rizika však obecně představuje nejenom poškození aktivní zóny, ale všechny neeliminované úniky radionuklidů, které způsobí následně mimořádnou radiační situaci. Mohou být spojeny se ztrátou izolační funkce kontejnmentu nebo s porušením tlakové nádoby reaktoru při řešení iniciační události i v případě, že AZ nebude poškozena.

Následující veličiny rizika jsou používány obecně pro projektové změny a specificky pro změny LaP v této metodice; rovněž se na ně odkazuje v Příloze A. Jsou přímo používány v kritériích přijatelnosti v souvislosti s rizikově orientovaným vyhodnocením změn LaP [G2, G5].

1. Nominální (průměrná) roční frekvence poškození aktivní zóny ( $CDF_{nom}$ )
2. Nominální (průměrná) roční frekvence poškození paliva obecně ( $FDF_{nom}$ )
3. Nominální (průměrná) roční frekvence velkého časného úniku RAL ( $LERF_{nom}$ )
4. Přírůstek podmíněné pravděpodobnosti poškození aktivní zóny ( $ICCDP, \Delta CDP$ )
5. Přírůstek podmíněné pravděpodobnosti poškození paliva obecně ( $ICFDP, \Delta FDP$ )
6. Přírůstek podmíněné pravděpodobnosti velkého časného úniku RAL ( $ICLERP, \Delta LERP$ )
7. Celková změna  $CDF_{nom}$  následkem navrhované změny LaP ( $\Delta CDF_{nom}$ )
8. Celková změna  $FDF_{nom}$  následkem navrhované změny LaP ( $\Delta FDF_{nom}$ )
9. Celková změna  $LERF_{nom}$  následkem navrhované změny LaP ( $\Delta LERF_{nom}$ )



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### Poznámka:

RG 1.174 [G1] používá při definování analogických kritérií přijatelnosti veličinu CDF (frekvence poškození paliva v AZ) a veličinu LERF (frekvence velkého časného úniku radioaktivních látek). Tato kritéria lze však obecněji aplikovat i na frekvenci poškození paliva v celé elektrárně (FDF).

Je však zřejmé, že velká většina hodnocení LaP se bude týkat pouze ocenění veličiny CDF a jí odpovídající veličiny LERF. Riziko poškození paliva mimo AZ v těch režimech JE, kdy palivo není kompletně vyvezeno do BS, je obvykle zanedbatelné. Vzrůst frekvence poškození paliva (obecně)  $\Delta FDF_{nom}$ , resp. vzrůst podmíněného rizika ICFDP, tak kopíruje vzrůst frekvence poškození paliva v AZ  $\Delta CDF_{nom}$ , resp. vzrůst podmíněného rizika ICCDP, a tyto veličiny lze příslušným způsobem zaměnit. Nelze však do budoucna vyloučit i možnost vzniku požadavku na doplnění LaP zaměřené specificky na prevenci poškození paliva mimo AZ včetně paliva uskladněného v BS.

V režimu provozu bloku s kompletně vyvezeným palivem do BS se AOT obvykle nepoužívá. Důvodem je, že v tomto stavu není možno řešit plnění LPP přechodem do režimu s vyšším pořadovým číslem. Hodnocení LPP s použitím pouze rizika plynoucího z poškození paliva v BS se tak neočekává.

Z výše uvedených důvodů lze očekávat, že tradiční míra rizika CDF bude hojně používaná místo obecnější míry rizika FDF.

Veličina LERF je nejčastěji používanou mírou rizika PSA 2. úrovně, neboť je mírou následků havárie s časným únikem radioaktivity do okolí elektrárny. Velké časné úniky, někdy nazývané také jako „okamžité“ nebo „brzké“ velké úniky, představují zanedbatelné úniky z kontejnmentu vzniklé v časovém rámci před účinnou ochranou a evakuací obyvatelstva z přilehlého okolí elektrárny, takže u tohoto obyvatelstva vzniká potenciální možnost brzkého vzniku zdravotních problémů. Ostatní výstupy z PSA 2. úrovně (další kategorie úniků) se pro hodnocení akceptovatelnosti projektu a provozu JE stejně jako jejich změn doposud nepoužívají a obvykle pro ně nejsou stanovena žádná kritéria.

### **B.1.1 Nominální hodnoty CDF, FDF a LERF v PSA**

Standardním výstupem PSA modelu je průměrná hodnota frekvence dané míry rizika za jeden rok. V aplikacích PSA se někdy tato hodnota nazývá nominální hodnotou měř rizika a týká se nejčastěji hodnot CDF (FDF) a LERF. Představuje hodnoty těchto měř rizika získané jako přibližný průměr z dlouhého časového období a vztážené na jeden kalendářní tok. Tomu jsou přizpůsobeny i použité modely selhání komponent a kvantifikace nepohotovostí v důsledku testů, oprav a údržeb, které dávají průměrné nepohotovosti, případně i další vstupy, jako průměrné délky jednotlivých provozních stavů apod.

### Poznámka:

Označení „nominální“ není zcela typické, neboť v případě implementace programu Living PSA se tyto „nominální“ hodnoty velice často mění v závislosti na změnách JE nebo nových analýz PSA. Toto označení zde bude používáno pro standardní výstupy PSA, které se nejvíce blíží průměrným hodnotám rizika, pro odlišení od proměnných hodnot rizika v čase.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pro veličinu CDF je tedy nominální frekvence definována jako:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \text{CDF}(t) dt = \text{CDF}_{\text{nom}} \quad (\text{B1})$$

kde je:

- CDF(t) - okamžitá CDF (okamžité riziko) v závislosti na aktuální konfiguraci a parametrech JE či dalších okrajových podmínkách (stav vnějšího prostředí apod.) v čase „t“.

Analogickým způsobem je možno definovat nominální frekvenci pro veličinu FDF.

Pro veličinu LERF je nominální frekvence definována podobným způsobem:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \text{LERF}(t) dt = \text{LERF}_{\text{nom}} \quad (\text{B2})$$

kde je:

- LERF(t) - okamžitá LERF (okamžité riziko) v závislosti na aktuální konfiguraci a parametrech JE či dalších okrajových podmínkách (stav vnějšího prostředí apod.) v čase „t“.

Protože se však provoz JE během kalendářního roku neodehrává v jedné konfiguraci a se stejnými parametry I.O., rozděluje se provoz JE na tzv. PSA stavy neboli POS (Plant Operating State), které zohledňují různé parametry JE, především I.O. (s vlivem na kritéria úspěchu a spektrum IU), volitelné konfigurace systémů, apod. PSA stavem může být i plný výkon nebo dokonce i celý Režim 1.

V daném PSA stavu se v PSA modelu předpokládají uvedené parametry JE konstantní a volitelná konfigurace systémů je nahrazena jednou vybranou konfigurací. V každém z těchto PSA stavů se tak předpokládá konstantní frekvence rizika po celou sledovanou dobu. Výsledný průběh frekvence rizika přes všechny PSA stavy je pak aproximován průběhem, který má podobu histogramu, kde na časové ose je použita průměrná délka jednotlivých PSA stavů.

Pokud součet průměrných délek všech uvažovaných PSA stavů tvoří jeden rok a součet průměrných frekvencí rizik se rozprostře na jeden rok, pak výsledkem jsou výše uvedené nominální hodnoty veličin CDF, FDF a LERF, tj.  $\text{CDF}_{\text{nom}}$ ,  $\text{FDF}_{\text{nom}}$  nebo  $\text{LERF}_{\text{nom}}$ .

Pro veličinu CDF je pak nominální frekvence definována jako:

$$\frac{1}{T} \sum_{\Delta t_{\text{pos}i}} \int \text{CDF}(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \sum_{\Delta t_{\text{pos}i}} (\text{CDF}_{\text{POS}i} \cdot \Delta t_{\text{pos}i}) \approx \text{CDF}_{\text{nom}} \quad (\text{B3})$$

kde :

$$T = \sum_i \Delta t_{\text{pos}i} = \mathbf{1rok}$$

Analogickým způsobem je opět možno definovat nominální frekvenci pro veličinu FDF.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pro veličinu LERF je nominální frekvence definována podobným způsobem:

$$\frac{1}{T} \sum_{\Delta t_{ros}} \int \mathbf{LERF}(t) dt = \frac{1}{T} \sum_{\Delta t_{ros}} (\mathbf{LERF}_{POSnomi} \cdot \Delta t_{POSi}) \approx \mathbf{LERF}_{nom} \quad (B4)$$

kde :

kde  $T_{je} = \sum \Delta t_{POSi} = 1 \text{ rok}$

$\Delta t_{POSi}$  - průměrná délka i-tého PSA stavu

$CDF_{POSnomi}$  - nominální (průměrná) úroveň (frekvence) CDF v i-tém PSA stavu

$LERF_{POSnomi}$  - nominální (průměrná) úroveň (frekvence) LERF v i-tém PSA stavu

Z pohledu parametrů JE a volitelných konfigurací však není frekvence rizika v jednotlivých PSA stavech nutně průměrná frekvence a v časových měřících PSA stavů se tak průměr týká pouze délek PSA stavů, modelů selhání komponent a kvantifikací nepohotovostí v důsledku testů, oprav a údržeb.

#### Poznámka:

„Nominální“ hodnoty úrovně rizika v jednotlivých PSA stavech jsou frekvence vztažené na jednotku času a nelze je zaměňovat s nominálními hodnotami kumulativního rizika (reprezentovaným součinem frekvence rizika v daném PSA stavu a délky PSA stavu), které jsou obvyklým výstupem z PSA modelu (a to i např. pro Režim 1). Převod těchto veličin je uveden např. ve vztazích (B4) a (B5) v kap. B.1.3, resp. v kap. D.5 Přílohy D. Při sledování průměrného celkového ročního (tj. nominálního) rizika (neboli za období 1 roku) jsou obě veličiny (jak jednotková frekvence, tak i vyjádření kumulativního rizika) z principu číselně rovný.

### **B.1.2 Okamžité hodnoty veličin CDF, FDF a LERF v PSA**

V průběhu provozu JE se i v daném PSA stavu mění úroveň (frekvence) rizika v čase v závislosti na:

- provozuschopnosti/neprovozechopnosti zařízení v důsledku testů, oprav a údržeb,
- volitelných konfigurací zařízení,
- parametrech JE, především I.O. (např. zbytkový výkon),
- doby od posledního testu,
- vnějších podmínkách (nepříznivé počasí, apod.),
- dalších faktorech ovlivňující vstupy PSA modelu (provádění potenciálně rizikových manipulací apod.)

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

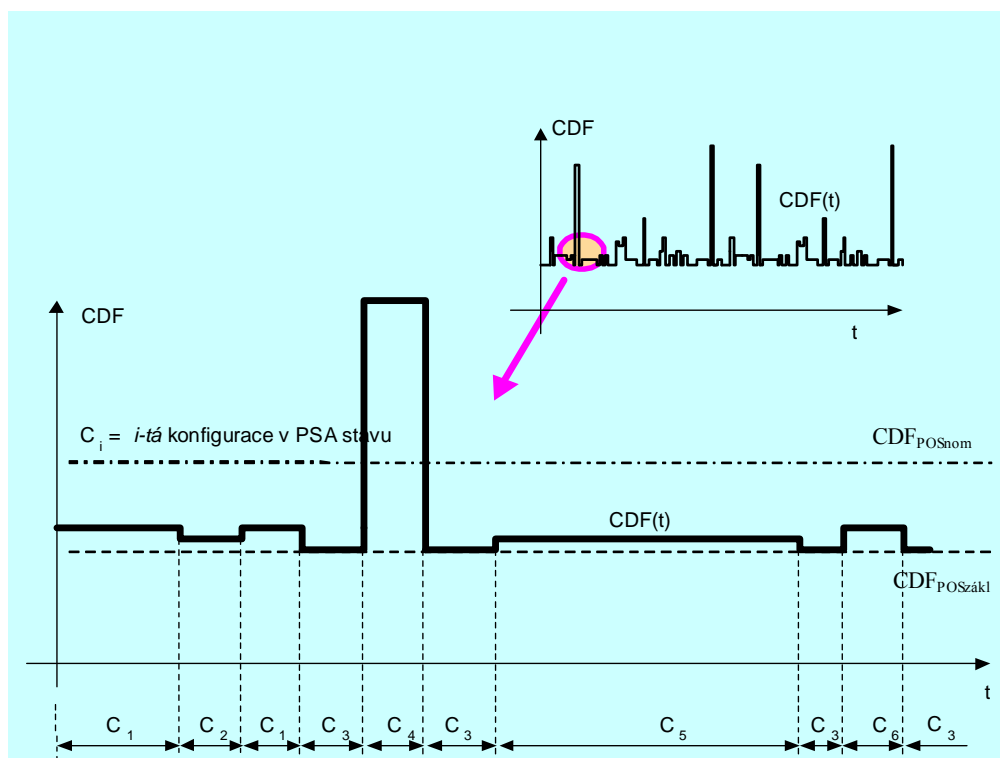
V každém čase tak má frekvence rizika různou hodnotu reprezentující tzv. okamžité riziko. Ne každý z výše uvedených aspektů lze při sledování průběhu okamžitého rizika použít v modelech PSA (např. v monitorech rizika) jako proměnný vstup. Nejčastěji to jsou pouze provozuschopnosti/neprovozuschopnosti zařízení v důsledku testů, oprav nebo údržeb a dále volitelné konfigurace zařízení. V takovém případě je okamžité riziko „okamžité“ pouze z pohledu okamžité konfigurace zařízení (provozuschopnost a volitelná konfigurace) a ostatní vstupy do PSA jsou průměrné (pravděpodobnosti selhání komponent) nebo konzervativní (parametry JE v PSA stavu). V tomhle smyslu je termín okamžité riziko obvykle používáno v hodnoceních změn LaP.

Následující Obrázek B-1 znázorňuje průběh okamžitého rizika provozu elektrárny v daném PSA stavu. Jsou z něj patrné fluktuace CDF v důsledku změn v konfiguraci JE. V obrázku je znázorněna i základní úroveň (frekvenci) rizika a pro ilustraci přibližně i nominální úroveň (frekvence) rizika JE. Obdobný obrázek by bylo možno sestavit i pro veličiny FDF a LERF. Pro potřeby sledování takového okamžitého průběhu rizika JE v závislosti na výše uvedené specifické konfiguraci elektrárny je používána aplikace PSA „monitor rizika“.

#### Poznámka:

V některých monitorech rizika je zohledněn i okamžitý stav vnějšího prostředí JE (např. s vlivem na frekvenci úplné ztráty vnější sítě, tzv. LOSP). Monitor rizika RiskWatcher™ je dokonce schopen vypočítat okamžité riziko i s ohledem na dobu od posledního testu všech modelovaných zařízení (tj. pravděpodobnosti selhání testovaných standby komponent už také nejsou průměrné).

**Obrázek B-1 : Průběh provozního rizika elektrárny popisovaného veličinou CDF v daném PSA stavu**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### Poznámky k Obrázku B-1:

1. „Základní úroveň (frekvence)“ v daném PSA stavu ve vztahu k CDF, FDF nebo LERF, tj.  $CDF_{POSzákl}$ ,  $FDF_{POSzákl}$  nebo  $LERF_{POSzákl}$ , je někdy v literatuře, např. v publikacích US NRC, nazývána „baseline frequency“. Je to veličina odpovídající v daném PSA stavu provozním podmínkám, za nichž je veškeré zařízení provozuschopné, tj. neprobíhají žádné údržbové nebo zkušební činnosti, jejichž provádění by znamenalo neprovozuschopnost zařízení.

Základní úroveň rizika je poplatná volitelné konfiguraci systémů, které musí být pro každý výpočet jednoznačně definována. V hodnoceních LaP pomocí PSA je obvykle značena  $CDF_0$ ,  $FDF_0$  nebo  $LERF_0$  bez označení PSA stavu, pokud je z kontextu zřejmý.

2. „Nominální úroveň (frekvence)“ rizika v daném PSA stavu  $CDF_{POSnom}$ ,  $FDF_{POSnom}$  nebo  $LERF_{POSnom}$ , je počítána s průměrnou neprovozuschopností zařízení (tj. nepohotovostí zařízení v důsledku testů, nebo oprav, případně i údržby) v daném PSA stavu.

### **B.1.3 Přírůstek podmíněných veličin rizika ICCDP (ICFDP) a ICLERP**

Přírůstky podmíněných pravděpodobností rizika **ICCDP (ICFDP) a ICLERP** jsou definovány jako změny pravděpodobnosti rizika v důsledku určité události. Událostí může být např. neprovozuschopnost komponenty či systému po určitou dobu, ale obecně jakákoliv událost s vlivem na riziko.

Mezi frekvencí rizika (např. CDF) a pravděpodobností rizika (např. CDP) v časovém úseku mezi  $t_1$  a  $t_2$  platí obecně vztah:

$$CDP = \int_{t_1}^{t_2} CDF(t) dt \quad (B5)$$

Při konstantním riziku v čase pak platí:

$$CDP = CDF \times \Delta t \quad (B6)$$

Vztah (B6) je často používán, neboť průběhy frekvence rizika při dané konfiguraci  $C_i$  (tj. mezi změnami konfigurace) se v PSA modelu předpokládají konstantní a mají v závislosti na změnách konfigurace podobu histogramu.

Např. pro frekvenci poškození aktivní zóny (CDF) může být tato změna definována za pomoci následujícího vzorce:

$$ICCDP(C_i) = \Delta CCDP(C_i) = CCDP(C_i) - CDP_0 \quad (B7)$$

A s využitím vzorce (B6) pak platí:

$$ICCDP(C_i) = CCDF(C_i) \times \Delta t_{C_i} - CDF_0 \times \Delta t_{C_i} = [CCDF(C_i) - CDF_0] \times \Delta t_{C_i} \quad (B8)$$

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

kde je:

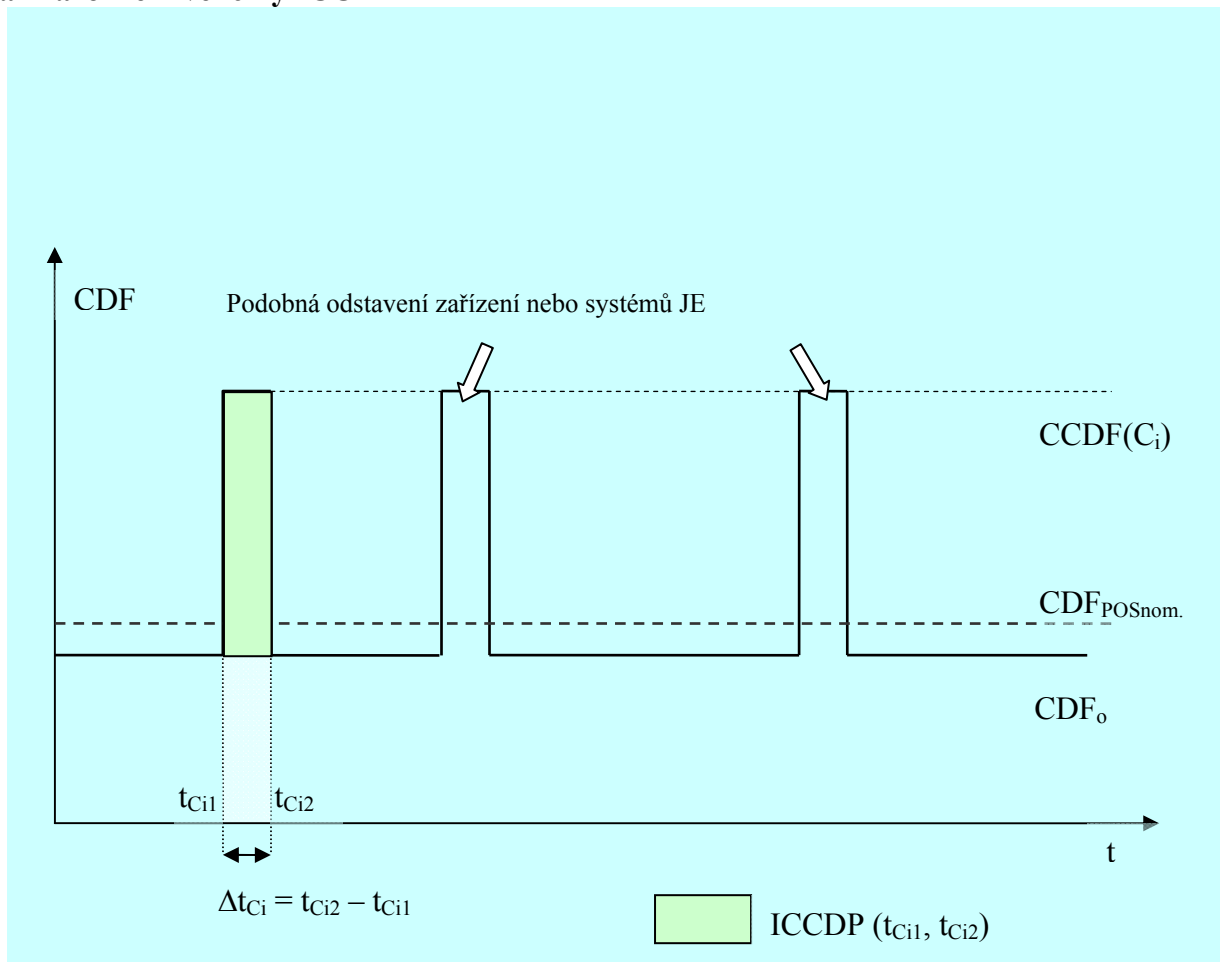
- CCDP( $C_i$ ) podmíněná pravděpodobnost poškození aktivní zóny, která odpovídá události „ $C_i$ “ (např. neprovoznosti komponenty „ $i$ “, kdy je její nepohotovost v modelu PSA nastavena na logickou hodnotu 1 neboli „True“).
- CDP<sub>0</sub> základní pravděpodobnost poškození aktivní zóny v daném PSA stavu, vůči které je změna vztahována (např. komponenta „ $i$ “ je provozuschopná a její nepohotovost v důsledku testu, údržby nebo opravy, nikoliv však celková nepohotovost, je v modelu PSA nastavena na logickou hodnotu 0 neboli „False“).
- CCDF( $C_i$ ) podmíněná frekvence poškození aktivní zóny, která odpovídá události „ $C_i$ “ (např. neprovoznosti komponenty „ $i$ “, kdy je její nepohotovost v modelu PSA nastavena na logickou hodnotu 1 neboli „True“).
- CDF<sub>0</sub> základní frekvence poškození aktivní zóny v daném PSA stavu, vůči které je změna vztahována (např. komponenta „ $i$ “ je provozuschopná a její nepohotovost v důsledku testu, údržby nebo opravy, nikoliv však celková nepohotovost, je v modelu PSA nastavena na logickou hodnotu 0 neboli „False“).
- $\Delta t_{C_i}$  doba trvání události.

Analogicky je možno stanovit veličinu ICFDP a ICLERP. Veličiny CCDF( $C_i$ ), CFDF( $C_i$ ) a CLERF( $C_i$ ) jsou někdy zkráceně označovány jako CDF<sub>1</sub>, FDF<sub>1</sub> a LERF<sub>1</sub>, především pokud je míněna konfigurace obecně. Pro specifické případy jsou veličiny CCDF( $C_i$ ), CFDF( $C_i$ ) a CLERF( $C_i$ ) značeny např. jako CCDF<sub>CO</sub>, CFDF<sub>CO</sub>, CLERF<sub>CO</sub>, kde index CO znamená pokračování v provozu s NEPSCH komponentou ve výchozím stavu jakožto specifický typ konfigurace RB.

Následující Obrázek B-2 znázorňuje veličinu ICCDP jako změnu rizika, které je spojené s jednotlivou událostí reprezentující odstavení zařízení, tj. s odpovídající konfigurací „ $C_i$ “. Poznamenejme, že na obrázku je zachyceno několik odstavení, která reprezentují konfiguraci „ $C_i$ “. Obdobný obrázek by bylo možno sestavit i pro veličinu ICFDP či ICLERP.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obrázek B-2: Grafické znázornění rizika spojeného se specifickou konfigurací „C<sub>i</sub>“ a znázornění veličiny ICCDP**



#### B.1.4 Změny průměrných hodnot CDF (FDF) a LERF

Celkový dopad změny (např. změny LaP, ale obecně jakékoliv změny) na riziko je určován změnou celkových ročních (**nominálních**) hodnot FDF (CDF) a LERF ze všech PSA stavů, tj.  $\Delta CDF_{nom}$  ( $\Delta FDF_{nom}$ ) a  $\Delta LERF_{nom}$ . Je to rozdíl v hodnotách zmiňovaných veličin rizika pro stav nebo provoz JE před změnou (s aktuálně platnými LaP) a po navrhované změně (se změněnými, resp. rozšířenými LaP).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Celková změna hodnoty  $\Delta\text{CDF}_{\text{nom}}$  může být popsána jako:

$$\Delta\text{CDF}_{\text{nom}} = \text{CDF}_{\text{nom}}(\text{před změnou}) - \text{CDF}_{\text{nom}}(\text{po změně}) \quad (\text{B9})$$

Analogickým způsobem je možno stanovit i veličiny  $\Delta\text{FDF}_{\text{nom}}$  a  $\Delta\text{LERF}_{\text{nom}}$ . Výpočet změn nominálních hodnot veličin rizika při změnách AOT pouze z veličin ICFDP (ICCDP) a ICLERP, resp. jejich dílčích veličin, bez nutnosti opětovné kvantifikace je uveden v kap. D.7 Přílohy D. Tento způsob výpočtu zvýšení průměrného ročního rizika pomocí vztahu (D28) je také pro korektivní údržbu přesnější, neboť PSA není obvykle tak jemná, aby brala v úvahu sice vysoce rizikové, avšak velmi málo frekventované podmíněné pravděpodobnosti selhání zálohovaných komponent při korektivní údržbě jedné z nich, viz kapitola D.4.

Na druhé straně je obvykle nutno v případě změny LPP s efektem na rozložení rizika mimo období trvání AOT započítat i další změny rizika, což lze provést jen pomocí výpočtu modifikovaného modelu PSA (tj. modelu PSA po změně). To se týká především možnosti započtení snížení rizika při použití kompenzačních opatření majících vliv nejen v době trvání AOT nebo při přemístění preventivních údržeb z odstávky na plný výkon (v důsledku snížení průměrného ročního rizika z odstavných stavů).

#### B.1.4 Vícenásobné změny LaP

Při vyhodnocování vícenásobných změn LaP je třeba vedle dopadů jednotlivých změn zvážit současně i jejich sloučený dopad na riziko [G2].

Obecně se veličiny ICCDP( $C_i$ ), ICFDP( $C_i$ ) nebo ICLERP ( $C_i$ ) od více událostí  $C_i$ , např. od neprovoznosti více zařízení nebo systémů JE, nemusí vzájemně ovlivňovat, neboť se jedná o různé události (v čase). Přírůstky ICCDP (ICFDP, ICLERP), které byly vypočteny jednotlivě pro každou událost, lze pro takové případy sloučit.

Současné neprovoznosti, např. neprovoznosti více zařízení nebo systémů JE současně, však představují jednu událost. Vztah (B8) uvedený v kapitole B.1.2 lze v takovém případě použít, přičemž konfigurace  $C_i$  označuje takovou současnou událost.

Pokud bude podávána žádost o vícenásobné změny, tak se očekává, že vliv každé změny na riziko bude vyhodnocen individuálně a poté bude vyhodnocen celkový dopad na riziko v důsledku všech změn. Obsahují-li navrhované změny skupinu změn AOT a frekvencí PK, je třeba provést rovněž vyhodnocení všech změn AOT a všech změn frekvencí PK separátně.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## B.2 Kvantifikace měř rizika

### B.2.1 Použití modelu PSA

Pro hodnocení akceptovatelnosti změny AOT je nutno zjistit následující veličiny:

$FDF_{nom}$ ( $CDF_{nom}$ )	- nominální (průměrná) roční frekvence poškození paliva obecně, resp. poškození paliva v AZ,
$LERF_{nom}$	- nominální (průměrná) roční frekvence velkého časného úniku RAL,
$FDF_1$ ( $CDF_1$ )	- podmíněná frekvence poškození paliva obecně, resp. poškození paliva v AZ, při pokračování v provozu v daném stavu po vstupu do LPP s neprovozeroschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod.
$LERF_1$	- podmíněná frekvence velkého časného úniku RAL při pokračování v provozu v daném stavu po vstupu do LPP s neprovozeroschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod.,
$FDF_0$ ( $CDF_0$ )	- základní úroveň (frekvence) poškození paliva obecně, resp. poškození paliva v AZ, se všemi komponentami provozoschopnými (tj. bez nepohotovostí v důsledku oprav, údržby nebo testů),
$LERF_0$	- základní úroveň (frekvence) velkého časného úniku RAL se všemi komponentami provozoschopnými (tj. bez nepohotovostí v důsledku oprav, údržby nebo testů).

Tyto hodnoty mohou být vypočítány z modelu PSA buď pomocí využití stávajících minimálních kritických řezů nebo přímo opětovnou kvantifikací modelu PSA s novými údaji [G2, G5]. První způsob však v současné době při snadném použití moderních výpočetních programů pro výpočet PSA modelu prakticky nepřichází v úvahu.

Moderní softwarové balíčky, jako je např. RiskSpectrum® PSA Professional, zajišťují, že všechny výše uvedené změny lze provést relativně jednoduchým způsobem a že výpočtová doba nutná k získání výsledků je poměrně krátká.

Výše uvedené výpočty lze provádět i v programech typu monitor rizika, ve kterých je nastavování neprovozeroschopností a volitelných konfigurací zařízení JE dokonce ještě mnohem jednodušší. Je však potřeba proškolené uživatele těchto programů, neboť provedení řady dalších změn (např. změny frekvencí IU) není na rozdíl klasických výpočtových programů pro PSA vůbec jednoduché. Monitory rizika jsou totiž primárně určeny pouze na vyhodnocení změn výše uvedených konfigurací, a tomu je také přizpůsobeno i uživatelské prostředí.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## B.2.2 Výpočet podmíněných veličin rizika CDF (FDF) a LERF

### B.2.2.1 Efekty vstupu do LPP

Při výpočtu frekvencí podmíněného rizika  $CDF_1$ ,  $CDF_0$  ( $FDF_1$ ,  $FDF_0$ ) a jejich ekvivalentů  $LERF_1$ ,  $LERF_0$  je třeba věnovat náležitou péči provedení řádné kvantifikace všech zdrojů, které by mohly mít dopad na riziko. Tento dopad je určen nepohotovostí komponenty, resp. komponent, postižených navrhovanou změnou.

V modelu PSA jsou poruchy komponent modelovány z pohledu příspěvků k jejich nepohotovosti pro splnění požadovaných funkcí na vyzvání (požadavek), kterým je vznik IU. Tato nepohotovost je modelována pomocí následujících příspěvků:

- nezávislá náhodná selhání vlastní komponenty na požadavek (může jich být více druhů, tzv. poruchových módů, pro plnění různých funkcí),
- nepohotovosti komponenty z důvodu provádění její údržby, oprav nebo zkoušek, tj. neprovozní schopnost (NEPSCH) komponenty, která je obvykle míněna v LaP,
- poruchy se společnou příčinou (CCF) výše uvedených selhání na požadavek ovlivňujících danou komponentu,
- poruchy aktivace dané komponenty (včetně selhání lidského činitele),
- poruchy podpůrných systémů dané komponenty (obvykle modelované explicitně separátními modely).

Navýšená úroveň rizika  $FDF_1$  ( $CDF_1$ ) a  $LERF_1$  se primárně vypočte pomocí nastavení odpovídajících modelů nepohotovosti komponenty, o které je předpokládáno, že je neprovozní schopná, na logickou „1“ (odpovídá logickému nastavení „True“, tj. událost nastala).

Předpokládá se vždy skutečná, nikoliv administrativní (např. porucha signalizace), úplná neprovozní schopnost bez možnosti opětovného zprovoznění pro všechny požadované funkce v PSA modelu, pokud se to technicky nevyklučuje (např. NEPSCH izolační RČA zajištěné v uzavřené poloze není ve skutečnosti NEPSCH pro zajištění izolace dané části chladicího okruhu, ale je to pouze NEPSCH pro možnost provozu dané části chladicího okruhu).

Nastavení na logickou hodnotu „1“ se provádí primárně pro nepohotovosti komponenty v důsledku její údržby, oprav nebo zkoušek, viz kap. B.1.3. Silně se ale doporučuje nastavit na logickou hodnotu „1“ i odpovídající nezávislá náhodná selhání komponenty na požadavek (NEPSCH nemusí být vždy modelována kvůli jejímu zanedbatelnému příspěvku) ať už přímo nebo prostřednictvím jiných prostředků použitého výpočetního programu (pomocí nastavení okrajových podmínek apod.).

Analogicky je  $CDF_0$  ( $FDF_0$ ) a  $LERF_0$  vypočtena pomocí nastavení příspěvků nepohotovosti komponenty v důsledku její údržby, oprav nebo zkoušek, na logickou „0“ (odpovídá logickému nastavení „False“, tj. událost nemůže nastat, a to ani s jistou pravděpodobností).

V monitorech rizika jsou výše uvedené volby stavu komponent už připraveny a přednastaveny a jsou pak realizovány přes uživatelské menu.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Dále je provedeno modelování a kvantifikace dalších efektů NEPSCH komponenty se sledovaným AOT (změna frekvence IU, viz také kap. 3.2.4.2, změna kvantifikace CCF, viz také následující kap. B.2.2.2. Přílohy B), pokud je to potřeba. Další druhy možných úprav PSA pro korektní modelování vstupu do LPP jsou uvedeny v kapitolách D.2 a D.3 Přílohy D, kde jsou rovněž naznačeny případy, kdy jsou jednotlivé typy úprav vhodné nebo i potřebné.

Dalším důležitým hlediskem je zahrnutí kompenzačních opatření ke snížení rizika, pokud je spojováno s navrhovaným zmírněním LaP. Zde je nutno rozlišit, zda je toto kompenzační opatření implementováno pouze po dobu čerpání AOT, pak je ovlivněna pouze navýšená úroveň rizika  $PDF_1$  ( $CDF_1$ ) a  $LERF_1$ , nebo bude implementováno trvale, pak je součástí i základní úrovně rizika  $CDF_0$  ( $PDF_0$ ) a  $LERF_0$ .

### **B.2.2.2 Zpracování poruch se společnou příčinou (CCF)**

Termín porucha se společnou příčinou představuje pravděpodobnost selhání dvou nebo více záložních komponent z důvodu sdílené kořenové příčiny.

#### **a) Změny potenciálních CCF po vstupu do LPP s plánovanou údržbou**

V PSA analýzách, které jsou k dispozici pro v současnosti existující JE v České Republice, jsou modelovány poruchy se společnou příčinou (CCF) pomocí tzv. skupin CCF, tj. množin podobných zařízení, která vykonávají stejnou funkci a u kterých existuje potenciál poruchy se společnou příčinou. Způsob modelování CCF je založen na předpokladu, že u každého zařízení ve skupině CCF existuje potenciál poruchy ze společné příčiny pro dvě zařízení, tři zařízení, čtyři zařízení atd., až do velikosti skupiny CCF.

Pro vstup do LaP s preventivní údržbou není nutno model PSA upravovat, pokud je modelování CCF je založeno na moderních metodách  $\alpha$  faktoru nebo MGL faktoru. Použití těchto metod v programech, které se v současnosti používají při vytváření a kvantifikaci PSA modelů, samo o sobě zajistí správné modelování CCF při snížení redundance v důsledku vyřazení jedné nebo více zálohovaných komponent (je to inherentní vlastnost metody  $\alpha$  faktoru, podobně jako např. metody MGL faktoru).

#### **b) Změny potenciálních CCF po vstupu do LPP se vzniklou poruchou**

Pro vstup do LaP s poruchou je obecně nutno model PSA upravovat odlišně od preventivní údržby, neboť příčinou poruchy může být i CCF. Pokud:

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

- není odhalena příčina poruchy nebo
- nejsou záložní komponenty stejného typu následně odzkoušeny nebo
- hodnota CCF je zanedbatelná (např. v PSA není uvažována) nebo
- poruchy podléhající CCF nelze během provozu ve sledovaném režimu se změnou LPP rozumně zjistit (takže vstup do LPP s CCF je krajně nepravděpodobný),

je nutno stanovit podmíněnou pravděpodobnost vzniku CCF za podmínky existence poruchy. Tato pravděpodobnost má obvykle dominantní vliv na hodnoty rizika, proto je jí nutno věnovat zvýšenou pozornost, viz kap. D.4 přílohy D. To má vliv i na výběr konfigurací pro hodnocení LaP, viz kap. D.2 přílohy D. Např. je potřeba vzít v úvahu, že selhání některých zařízení nebo některé poruchové módy nelze zjistit následným testem dle PK.

### B.3 Potřebné údaje pro vyhodnocení změn LaP

V žádostech o změny LaP specifických pro danou elektrárnu je třeba v co nejvyšší možné míře uvádět údaje specifické pro tuto elektrárnu. Obvykle jsou změny LaP požadovány tehdy, když provoz elektrárny naznačuje, že jsou takové změny potřebné a proto lze očekávat, že budou k dispozici údaje specifické pro danou elektrárnu. Pro komponenty nebo systémy, u nichž se zvažují změny LaP, je nutno údaje specifické pro elektrárnu vyhodnotit a zajistit, že použité údaje se slučují s provozními zkušenostmi elektrárny. Použití jiných údajů než údajů specifických pro danou elektrárnu je třeba náležitě zdůvodnit.

#### B.3.1 Použití specifických dat elektrárny

Údaje specifické pro elektrárnu mohou být použity při aktualizaci vstupních parametrů PSA během vyhodnocení změny LaP (dodatečně ke změnám, které již byly provedeny během poslední aktualizace modelu PSA).

V těchto případech je třeba dbát na to, aby byly důsledně používány stejné údaje jak pro nominální (základní) případy, na které se vztahují současné požadavky LaP, tak i pro případy změn, ve kterých jsou již začleněny upravené LaP.

Cílem tohoto opatření je zajistit, aby vypočtené hodnoty veličin rizika odpovídaly pouze změnám LaP a nikoliv změnám vstupních dat specifických pro elektrárnu.

Tato situace může vzniknout, pokud by např. byla provedena analýza dat, jejímž výsledkem by bylo získání snížených hodnot spolehlivostních parametrů. Použití těchto snížených hodnot v dalších výpočtech by mohlo potlačit navýšení rizika z důvodu změny LaP. Tímto by mohl vzniknout mylný dojem, že změna LaP snížila riziko. Takovým problémům se předejde, když bude aktualizován i základní, neboli výchozí PSA model.

Citlivostní analýzy a analýzy nejistot je třeba rovněž provést pomocí stejného souboru specifických vstupních dat.

Většina údajů, které jsou použity při rizikově orientovaném vyhodnocení změn LaP, je stejných jako ty, které byly shromážděny jako součást aktualizace dat pro Living PSA.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Typické parametry jsou takové, které jsou použity pro odhad nepohotovostí komponent, modelovaných v PSA, tj.:

- intenzita poruch komponent,
- frekvence zkoušek komponent,
- nepohotovost z důvodu provádění údržby nebo oprav,
- nepohotovost z důvodu provádění zkoušek (testů),
- selhání lidského činitele vnesené při zkoušce nebo údržbě.

Obecně je potřeba vymezit tyto údaje, aby se usnadnila vyhodnocení, která budou prováděna. Tyto položky by měly rovněž podléhat přezkoumání ze strany dozorného orgánu.

V závislosti na druhu změny LaP a modelu PSA, který bude použit při jejím vyhodnocení, mohou být potřebné nějaké další údaje. Toto se vztahuje zejména na vyhodnocení změn frekvencí PK či AOT.

### **B.3.1.1 Údaje týkající se nepohotovosti z důvodu provádění údržby**

Při vyhodnocování očekávaných rizik vyplývajících ze změn AOT je praktické rozdělit nepohotovost postižené komponenty z důvodu provádění údržby na:

- nepohotovost z důvodu provádění neplánované údržby (oprav),
- nepohotovost z důvodu provádění plánované preventivní údržby nebo zkoušky.

Pro tento účel jsou potřebné údaje specifické pro elektrárnu, týkající se frekvence výskytu událostí, které vedou k plánované a neplánované údržbě, tj., počtu výskytů každého druhu odstavení během daného časového období, a doby trvání, po které byla komponenta „mimo provoz“ pro každý vzniklý případ.

Tyto informace jsou rovněž potřebné pro posouzení toho, je-li poskytována adekvátní AOT pro dokončení opravy. Tyto údaje nemusí být k dispozici jako součást základního modelu PSA elektrárny.

Bude-li AOT změněna, může být rovněž upraveno rozdělení času pro provádění úkolů neplánované údržby. Z tohoto důvodu nelze očekávat, že informace o takovém vlivu na rozdělení času budou k dispozici v momentě, kdy je změna AOT vyhodnocována. Lze očekávat, že průměrná doba odstavení zařízení (tj. průměrná nepohotovost zařízení) se navýší poměrně se zvýšením navrhované AOT pro odstavení spojené s neplánovanou údržbou. Pro plánovanou (preventivní) údržbu může být odhadovaná doba odstavení typická pro standardní postupy elektrárny, např. jedna polovina AOT.

### **B.3.1.2 Plán a frekvence údržby**

Tyto údaje zahrnují plánování údržby, které je používáno elektrárnou pro určování situací, ve kterých mohou být zařízení, která jsou součástí více systémů nebo jejich linií, odstaveny pro preventivní údržbu.

Tyto rozpisy jsou důležité pro zajištění toho, že nedojde k velkému nárůstu rizika z důvodu souběžného odstavení komponent, což implicitně povoluje změna LaP. Frekvence údržby nebo frekvence odstavení komponent může být 3 krát až 10 krát vyšší než frekvence selhání.

Jelikož AOT mohou být používány pro plánování údržby, je třeba frekvenci provádění údržby rovněž zahrnout do odhadu frekvence odstavení.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### B.3.1.3 Údaje vztahující se k provozním zkouškám

Při vyhodnocování změn požadavků na provozní zkoušky mohou být potřebné některé další údaje.

Podrobnější údaje mohou být vyžadovány ohledně rozsahu zkoušky a podmínek, jako např.:

- seznam komponent, které mají být podrobeny zkoušce,
- informace o komponentách přestavených kvůli zkoušce z bezpečné pozice,
- frekvence zkoušek doporučená výrobcem, atd..

Je-li potřeba změnit polohu nebo stav komponenty z její nominálně požadované polohy nebo stavu za účelem provedení zkoušky, je rovněž třeba znát dobu odstavení pro provedení zkoušky, aby bylo možno vypočítat nepohotovost komponenty v důsledku zkoušky (tj. příspěvek k riziku související se zkouškou).

Důležitou informací je účinnost provozní zkoušky, tj. poruchové módy zjistitelné zkouškou ve vztahu ke komponentám, rozhraní podpůrných systémů atd. Těmto údajům nemusela být věnována náležitá pozornost v základním modelu PSA. Je třeba se znovu vrátit k eventuálním omezujícím předpokladům.

Je třeba zhodnotit možnost negativních účinků provozní zkoušky. Zkouška může způsobit vznik přechodových jevů v elektrárně nebo může způsobit opotřebení zařízení. Je-li tomu tak, je třeba to vzít v úvahu při analýze změn LaP.

Je třeba uvést též podrobnější informace týkající se současného způsobu provádění provozních zkoušek, který je používán pro zálohované komponenty, např. zda testování redundantních tras systému probíhá způsobem cyklického testování, tzv. „staggered testing“ (třeba podle schématu 1. trasa – test v 1. měsíci, 2. trasa - test ve 2. měsíci, 3. trasa - test ve 3. měsíci, atd.) nebo zda se jedná o jiný typ strategie (např. je možno vyzkoušet všechny trasy těsně po sobě), tzv. „non-staggered testing“, neboli soustředěného testování.

### B.3.1.4 Vztah mezi časově závislým příspěvkem k nepohotovosti zařízení a příspěvkem závislým na požadavku

Rozdělení pravděpodobnosti selhání na časově závislý příspěvek a příspěvkem závislý na požadavku na zafungování daného zařízení bude mít za následek nižší hodnotu veličiny „snížení rizika v důsledku provádění periodických kontrol (zkoušek, testů) zařízení“, protože pouze část poruchovosti komponenty je považována za spojenou s časem.

Toto by byl vhodný přístup k tomu, aby se vyhodnocení stalo realističtější. Ovšem pokud tomu tak nebude, tedy když pravděpodobnost selhání bude více méně časově závislá, dojde při tomto přístupu k podcenění dané veličiny. Takové rozdělení poruchovosti je třeba zdůvodnit pomocí analýzy dat nebo technických analýz.

Model PSA může v některých případech obsahovat pouze pravděpodobnost selhání komponent, tj. nepohotovost komponent „q“. Výpočet účinku změny vyžaduje v takovém případě převedení nepohotovosti „q“ na časově závislé veličiny, tj. na intenzitu poruch „λ“ a interval mezi testy „TI“ (použije se původní interval mezi testy, nikoli navrhaná změna této veličiny).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

V případě, kdy podíl časově závislé nepohotovosti a nepohotovosti závislé na požadavku na zafungování daného zařízení není znám, je možno předpokládat, že všechna selhání mohou být považována za časově závislá z důvodu, že tvoří nejkonzervativnější odhad snížení rizika v důsledku provádění periodických kontrol (zkoušek, testů) zařízení.

### **B.3.1.5 Přejchodové jevy způsobené provozní zkouškou**

Údaje o přechodových jevech způsobených zkouškou jsou potřebné k odůvodnění změn v rizikově orientovaných aplikacích, když změna ovlivní frekvenci zkoušky specifické komponenty (komponent).

Příspěvek specifické zkoušky k frekvenci všech přechodových jevů je dalším údajem, specifickým pro elektrárnu, který je pro tento případ vyžadován.

Pokud je umožněno prodloužení intervalu mezi zkouškami, má následné snížení frekvence přechodových jevů způsobených zkouškami tendenci způsobit poklesy rizika. Dochází tak k pozitivním účinkům prodloužení dob mezi testy, které ovšem budou částečně nebo cele vyváženy navýšeními rizika v důsledku prodloužení doby před odhalením a nápravou poruchy.

Získání příslušných surových dat vyžaduje ve většině případů celkový přezkum provozní historie elektrárny, jako např. pročtení popisů a charakteristik přechodových jevů, které nastaly a zjištění těch, které byly způsobeny zkouškou.

Pokud jsou tyto údaje vyhodnocovány pro jedinou elektrárnu, mohou být specifické informace pro danou elektrárnu nedostatečné, pokud provozní zkušenost elektrárny nepokrývá delší období.

Je-li tomu tak, mohou být použity další údaje z provozních zkušeností jiných elektráren podobného typu a roku výstavby, jelikož lze předpokládat, že pravděpodobnost výskytu přechodových jevů způsobených zkouškou je podobná.

Protože provádění zkoušek je zpravidla značně specifické pro danou elektrárnu, je potřeba podrobně vyhodnotit použitelnost údajů získaných z jiné elektrárny.

### **B.3.1.6 Údaje pro vyhodnocení rizika odstavení JE**

Riziko odstavení JE se stanoví proto, aby bylo možno porovnat riziko pokračování v provozu s danými LPP s rizikem přechodu elektrárny do vyššího provozního režimu, tj. provozu se sníženým výkonem anebo jejího odstavení, viz v kap. 3.2.4. Předpoklady ve vyhodnocení změn AOT a frekvencí PK.

Zahrnuje-li model PSA specifický pro elektrárnu provozní stavy nízkého výkonu a její odstavení, je potom většina údajů potřebných k vyhodnocení změn LaP k dispozici. Toto nicméně závisí na úrovni podrobností dostupného modelu PSA pro nízkovýkonové a nevýkonové stavy a rovněž na rozsahu specifického vyhodnocení žádané změny LaP.

V některých případech mohou být vyžadovány další údaje specifické pro elektrárnu ohledně provozních preferencí týkajících se zařízení během řízeného odstavení elektrárny a pravděpodobnosti vzniku přechodových jevů za takových podmínek.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### **B.3.2 Využívání generických údajů**

Pokud jsou při vyhodnocování změn LaP používány pro parametry LaP generické údaje, je nutno zdůvodnit, proč jsou použity generické údaje, a nikoliv specifické údaje, a proč se generické údaje vztahují na vyhodnocení specifická pro danou elektrárnu.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## **Příloha C**

### **Schématické návody pro hodnocení**

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## Příloha C.1

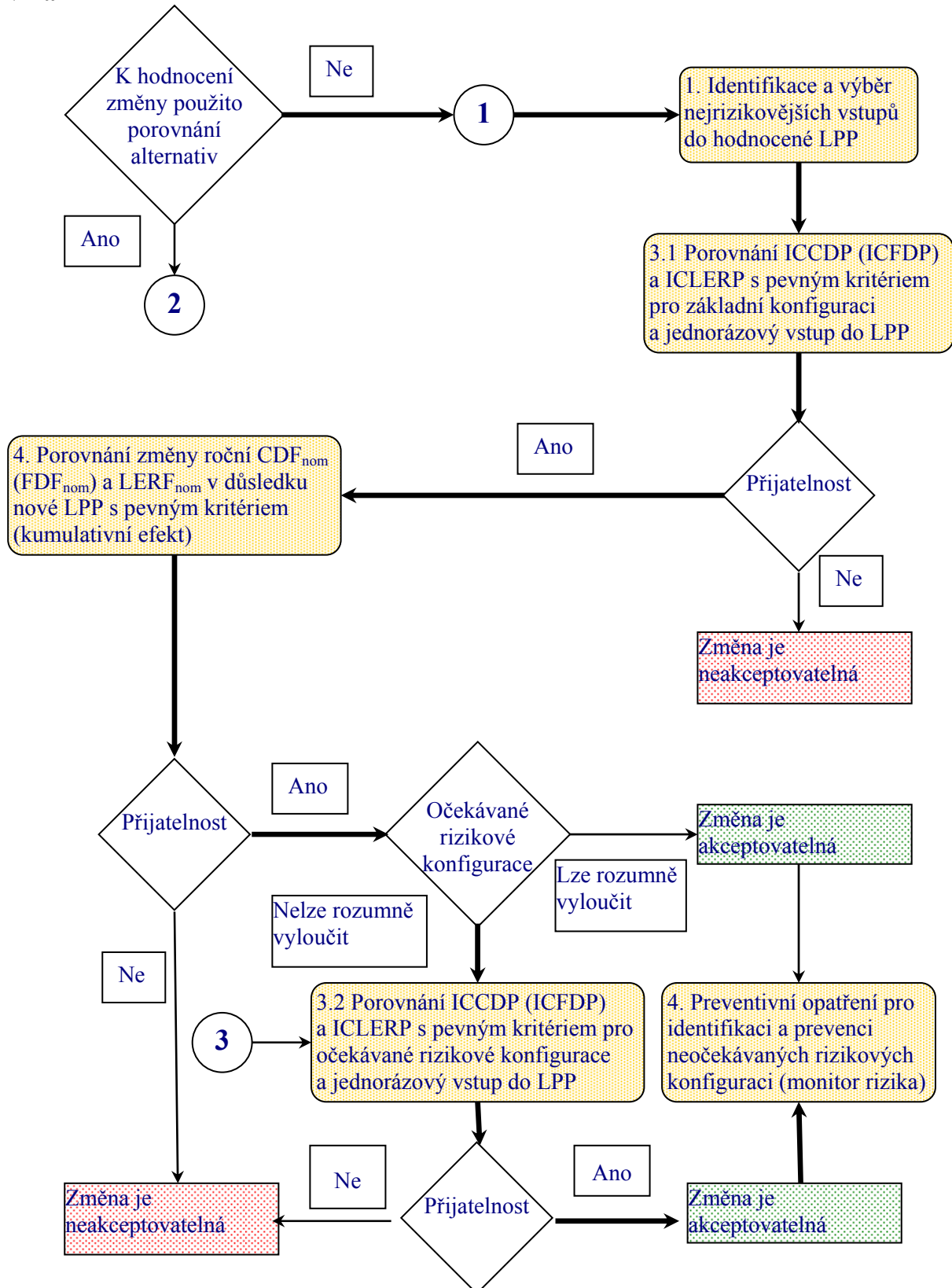
### Schématický návod hodnocení trvalých změn AOT

#### C.1.1 Hlavní kroky pravděpodobnostního hodnocení změn dob provedení

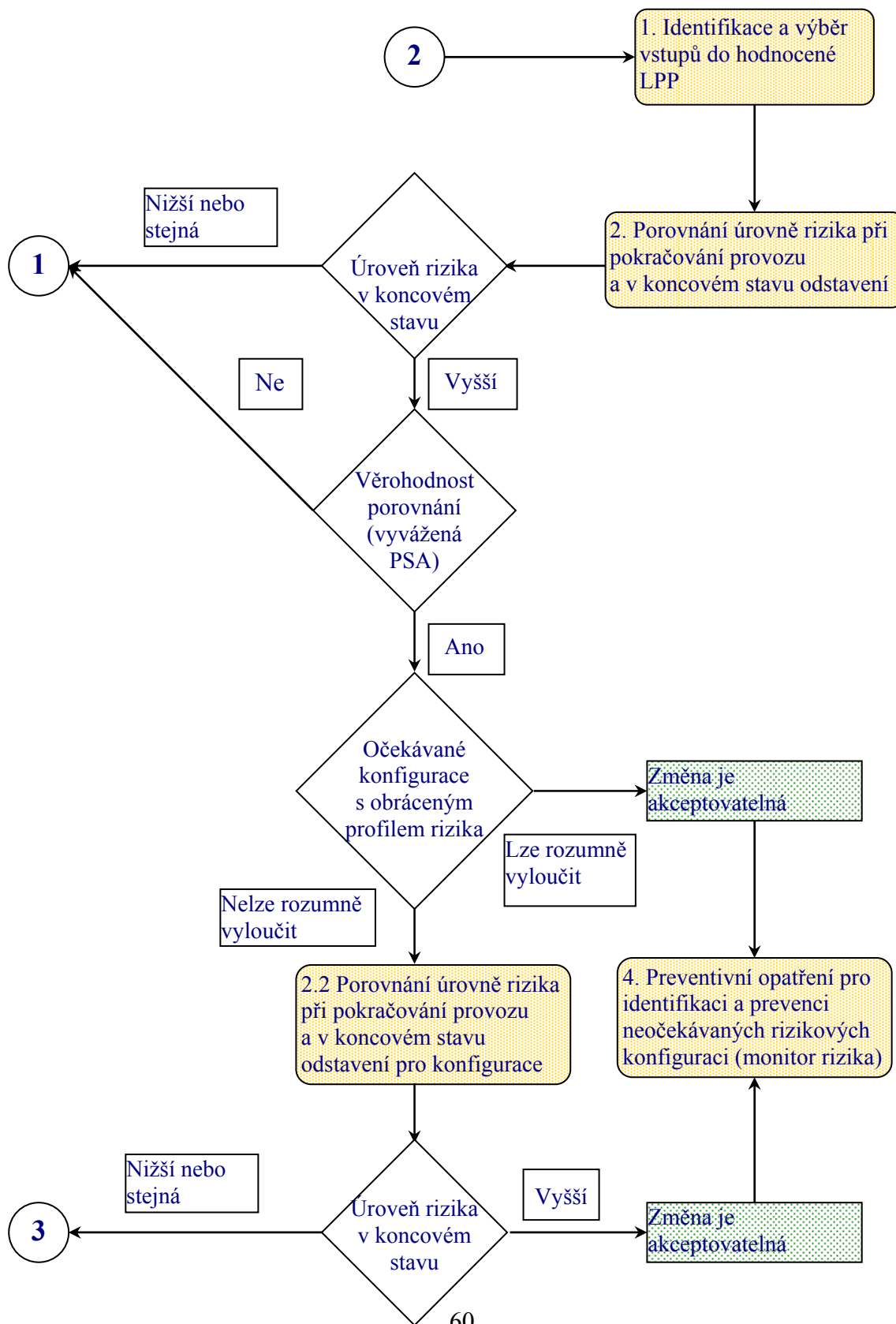
Hlavní kroky rizikově orientovaného pravděpodobnostního hodnocení změn dob provedení (AOT, doba do testu) nebo požadovaných činností (rozhodnutí o testu nebo o odstavení) v LaP jsou uvedeny na Obrázku C.1-1. Jsou zvýrazněny žlutě a je zde uvedena i jejich vzájemná návaznost a vliv na rozhodovací proces dozorného orgánu.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obrázek C.1-1: Hlavní kroky pravděpodobnostního hodnocení změn dob provedení v LaP**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## C.1.2 Postup pravděpodobnostního hodnocení změn dob provedení

### ♦ Krok 1. Identifikace a výběr nejrizikovějších vstupů do měněné LPP

Jedná se o identifikaci a výběr nejrizikovějšího podsystému/komponenty z hlediska jak  $CDF_1$  ( $FDF_1$ ), tak i  $LERF_1$  pro každou variantu LPP (LPP A, LPP B, atd.), které se změna doby provedení týká.

V případě použití porovnání alternativ se provádí výběr podsystémů/komponent pro každou variantu hodnocené LPP (LPP A, LPP B, atd.), které mají v rámci jedné varianty LPP odlišný profil rizika v koncovém stavu odstavení vůči sledovanému stavu RB s čerpáním LPP.

Konkrétní zásady výběru základní konfigurace pro hodnocení trvalých změn LPP modelem PSA jsou uvedeny v kap. D.2.1 Přílohy D. Výsledkem výběru je tzv. základní konfigurace vstupu do hodnocené LPP.

#### Poznámka:

$CDF_1$  ( $FDF_1$ ) nebo  $LERF_1$  je podmíněná frekvence daného rizika pokračování v provozu při vstupu do LPP s neprovozní schopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod. - odpovídá tedy konkrétní konfiguraci JE  $C_i$ .

### ♦ Krok 2. Porovnání rizika při pokračování provozu a v koncovém stavu odstavení

Obecně platí, že za stejný časový úsek bude větší kumulativní riziko v tom stavu, kde je větším okamžitá úroveň (frekvence) rizika. Za předpokladu, že práce na obnově PSCH zařízení nejsou blokovány nebo záměrně omezeny činnostmi při odstavení (resp. při přechodech do jiných režimů), bude JE v porovnávaných koncových stavech vždy stejně dlouho. Proto není nutno porovnávat kumulativní riziko z odstavení JE s rizikem z pokračování z provozu. Stejněho výsledku (tj. větší/menší) se zákonitě musí dosáhnout i porovnáním okamžitého rizika ve sledovaném stavu (např. v Režimu 1) a v koncovém stavu odstavení.

Případy nesplnění výše uvedeného předpokladu musí analyzovány explicitními výpočty kumulativního rizika obou alternativ pomocí PSA. Je však nutno garantovat stejné doby setrvání v koncovém stavu, resp. stejné doby do opravy zařízení pro všechny výskyty NEPSCH sledovaného zařízení v budoucím provozu JE.

Porovnávají se frekvence rizika FDF ( $CDF$ ) a LERF) s neprovozní schopnou komponentou (s nevyhovujícím nastavením apod.), tzv. podmíněné frekvence:

- frekvence rizika v koncovém stavu odstavení,
- frekvence rizika při pokračování v provozu.

Porovnává se tedy tzv. „okamžité riziko“, které je však na úrovni komponent průměrné v daném PSA stavu, podrobněji viz kap. B.1.2 Přílohy B.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pokud je podmíněná frekvence rizika  $CFDF_{SDX}$  ( $CCDF_{SDX}$ ) i  $CLERF_{SDX}$  v koncovém stavu odstavení vyšší než podmíněná frekvence rizika při pokračování v provozu ve výchozím stavu  $CFDF_{CO}$  ( $CCDF_{CO}$ ) i  $CLERF_{CO}$ , nemá smysl uvažovat o dovolené době neprovoznosti (AOT), neboť je výhodnější pokračovat v provozu v původním režimu. Každé prodloužení AOT je tedy v principu vyhovující, viz Obrázek C.1-2. V tomto případě by ale byla vhodnější vlastní změna koncového stavu odstavení místo pouhého prodloužení AOT.

Jedině v případě neobvyklého velmi nízkého rizika z přechodových procesů a garantované krátké doby provozu do opravy v koncovém stavu je výhodnější i ve výše uvedeném případě odstavit po vyčerpání Doby provedení, což musí být prověřeno explicitními výpočty kumulativního rizika obou alternativ pomocí PSA. Pak se postupuje tak, jako by v koncovém stavu byla nižší podmíněná frekvence rizika.

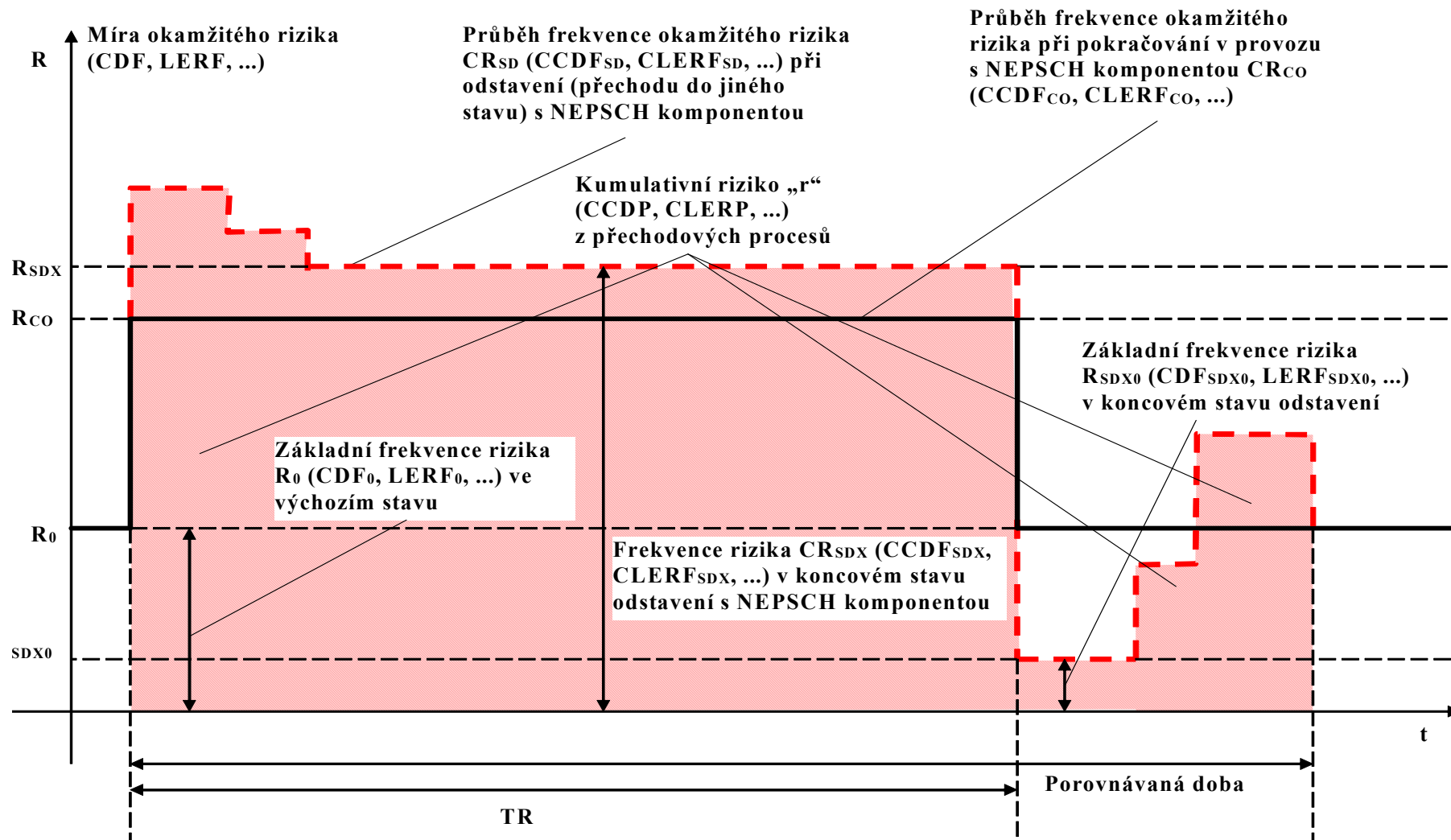
Obecně je rozhodující porovnání LERF. Je však třeba zvážit míru nejistoty v určení LERF s vlivem na porovnání okamžitého rizika, která je obvykle mnohem větší, než u určení CDF. Toto vyhodnocení však vyžaduje vyvážené PSA modely pro režim (stav) JE s čerpáním LaP a pro koncový stav odstavení.

Pokud je  $CCDF_{CO}$  ( $CFDF_{CO}$ ) ve výchozím stavu vyšší než  $CCDF_{SDX0}$  ( $CFDF_{SDX0}$ ) v koncovém stavu, do něhož se přechází při nesplnění LPP, tak je nutno vyhodnotit i analogické veličiny pro CLERF. Pokud nejistoty v určení LERF s vlivem na porovnání by mohly indikovat opačný trend LERF než CDF, pak je obvykle nutno provést další kvalitativní úvahy o vlivu stavu zařízení k potlačení úniku RA látek na porovnání rizika, aby bylo možno se řídit výsledky porovnáním CDF.

Pokud je  $CCDF_{CO}$  ( $CFDF_{CO}$ ) ve výchozím stavu nižší než  $CCDF_{SDX0}$  ( $CFDF_{SDX0}$ ) v koncovém stavu, do něhož se přechází při nesplnění LPP, a nejistota jeho určení s vlivem na porovnání je velká, pak se do provedení přesnějších analýz považuje za určující porovnání CDF (takový stav je implicitním předpokladem LPP, který odráží už i jistou zkušenost).

Porovnání kumulativního nebo okamžitého rizika z odstavení a pokračování v provozu ve výchozím stavu se neprovádí pro prodloužení AOT pro preventivní údržbu (OLM), neboť tam nemá smysl rozhodování mezi odstavením vs. neodstavením, ale rozhoduje se mezi prováděním na výkonu a prováděním při odstávce [G2].

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018



Obrázek C.1-2 Příklad alternativ průběhů rizik s NEPSCH zařízení - bezpečnější výchozí stav

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### Poznámky k Obrázku C.1-2:

1. Podmíněným rizikem je míněno riziko s neprovozoschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod.
2. TR - doba do opravy komponenty, v případě odstavení po uplynutí Doby provedení to je doba od vyčerpání Doby provedení do opravy komponenty.

### ◆ Krok 3. Porovnání rizika v důsledku jednorázového vstupu do změněné LPP

Zde je porovnáván přírůstek pravděpodobnosti podmíněného rizika ICCDP (ICFDP) a ICLERP v důsledku jednorázového vstupu do nové LPP s pevným kritériem. **Pro přijatelnost nové LPP musí platit:**

$$\text{ICFDP} = \Delta\text{FDF} \times \text{AOT} \leq 5 \times 10^{-7} \quad (\text{C1})$$

$$(\text{případně } \text{ICCDP} = \Delta\text{CDF} \times \text{AOT} \leq 5 \times 10^{-7}) \quad (\text{C2})$$

**a současně**

$$\text{ICLERP} = \Delta\text{LERF} \times \text{AOT} \leq 5 \times 10^{-8} \quad (\text{C3})$$

kde je:

$$\Delta\text{FDF} = \text{FDF}_1 - \text{FDF}_0 \quad (\text{C4})$$

$$\Delta\text{CDF} = \text{CDF}_1 - \text{CDF}_0 \quad (\text{C5})$$

$$\Delta\text{LERF} = \text{LERF}_1 - \text{LERF}_0 \quad (\text{C6})$$

Tato kritéria byla původně převzata z revize 0 RG 1.177, v jehož novější verzi z roku 2011 byla relaxována na hodnoty ICCDP (ICFDP) menší než  $1 \times 10^{-6}$  a ICLERP je menší než  $1 \times 10^{-7}$  [G2]; jsou rovněž uvedena v Příloze A tohoto návodu, kde jsou graficky znázorněna na Obrázku A-3. Z uvedeného obrázku jsou současně patrné vzájemné vztahy mezi veličinami používanými při hodnocení změny AOT, jakož i způsob jejich výpočtu. Význam jednotlivých veličin je podrobně rozebírán v Příloze A.

Z revize 1 RG 1.177 [G2] plyne, že do výpočtu ICCDP/ICFDP/ICLERP pro splnění kritérií se za AOT dosazuje doba provedení (CT) do obnovení PSCH.

#### 3.1. Porovnání rizika jednorázového vstupu pro základní konfiguraci

Provádí se zde porovnání rizika vybraných nejrizikovějších jednorázových vstupů do změněné LPP s pevným kritériem, a to bez souběhů s neprovozoschopnostmi komponent, které nejsou předmětem hodnocené LPP. V případě OLM může být analyzován vstup do více LPP jako jedna událost.

Výběr základní konfigurace je uveden v kap. D.2.1 Přílohy D.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### 3.2. Porovnání rizika jednorázového vstupu do změněné LPP pro rizikové konfigurace

Jedná se o ekvivalent úrovně 2 analýzy (Tier 2) z RG 1.177 [G2]. Součástí tohoto kroku je identifikace a výběr rizikových dovolených souběhů neprovozuschopností ostatních zařízení se vstupy do změněné LPP, případně dalších rizikových konfigurací (vstup dohodnocené LPP při netypických konfiguracích systémů apod.).

Vybrané rizikové kombinace je nutno ocenit vzhledem ke kritériím přijatelnosti pro ICFDP (ICFDP) a ICLERP dle vzorců (C1) až (C3). V případě nesplnění těchto kritérií (nebo při neprovedení vyčerpávající identifikace či neprovedení vyhodnocení) je nutno přijmout opatření buď k zamezení vzniku rizikových konfigurací nebo ke snížení rizika z těchto konfigurací, případně je nutno rozumně zaručit, že se takové konfigurace nevyskytnou.

Pozn.: Jednou z možností, jak rozumně zaručit, že rizikové konfigurace budou vyloučeny, je i závazek na zkrácení Doby provedení příslušného LPP při vzniku rizikové konfigurace (např. při výskytu další poruchy), pro kterou bylo v úrovni 2 hodnocení LaP zjištěno překročení kritéria pro ICCDP(ICFDP) nebo ICLERP. Překročení těchto kritérií ve druhé úrovni hodnocení LaP tedy neznamená, že je příslušná LPP neadekvátní. Vzhledem k velmi nízké četnosti souběhu více selhání však případné zkrácení Doby provedení při rizikové konfiguraci není na překážku ani při provádění pravidelných údržeb (i při relativně vysoké intenzitě výskytu další poruchy 10-5/h, tj. cca 10-1/rok, která by mohla nastat během pravidelné údržby, by toto zkrácení Doby provedení nastalo jen přibližně jednou za 300 pravidelných údržeb s délkou 15 dnů).

Výběr rizikových kombinací pro vyhodnocení je však vzhledem k jejich velkému množství obtížný a je na expertním posouzení, jak tyto konfigurace identifikovat a jaké konfigurace budou hodnoceny, tzn. pro jaké rizikové konfigurace bude riziko kontrolováno pomocí LaP, resp. předem připravenými nápravnými opatřeními, viz také Obrázek D-1 v Příloze D.

Při hodnocení změny LPP jen pro účely nahodilé (neplánované) korektivní údržby není obecně nutno úroveň 2 analýzy (Tier 2) uvažovat [G2]. To však předpokládá implementaci úrovně 3 (Tier 3). Konkrétní zásady výběru souběhů neprovozuschopností pro hodnocení změn LPP modelem PSA jsou uvedeny v kapitole D.2.3 Přílohy D.

#### ♦ Krok 4. Porovnání změny ročního rizika v důsledku vstupů do změněné LPP

Jedná se opět o úroveň 1 hodnocení změny LaP, která je ekvivalentem Tier 1 z RG 1.177 [G2].

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Hledá se rozdíl průměrného ročního rizika  $FD_{nom}$ , ( $CDF_{nom}$ ) a  $LERF_{nom}$  s novým AOT a tohoto průměrného ročního rizika s původním AOT. Změnou průměrného ročního rizika  $\Delta FDF_{nom}$  ( $\Delta CDF_{nom}$ ) a  $\Delta LERF_{nom}$ , která je tak důsledkem v důsledku vstupů do nových LPP oproti vstupům do původních LPP, se vyhodnocuje tzv. kumulativní efekt změny, neboli dopad na celkové riziko. Přírůstek průměrného ročního rizika se pak porovnává s pevným kritériem.

**Pro přijatelnost nové LPP musí současně platit:**

- ◆  $\Delta FDF_{nom}$  musí být menší než:
  - $5 \times 10^{-6}$ /rok, pokud lze rozumně zaručit, že  $FD_{nom}$  je nižší než  $1 \times 10^{-4}$ /rok.
- ◆  $\Delta LERF_{nom}$  musí být menší než:
  - $1 \times 10^{-6}$ /rok, pokud lze rozumně zaručit, že  $LERF_{nom}$  je nižší než  $1 \times 10^{-5}$ /rok.

Pokles průměrného ročního rizika je vždy akceptovatelný bez ohledu na velikost nominální hodnoty rizika.

Konkrétní postupy pro výpočet průměrného ročního rizika modelem PSA jsou uvedeny v kapitole D.7 Přílohy D.

Souvislost těchto měř rizika s ostatními veličinami je patrný z Obrázku A-3, který je součástí Přílohy A této metodiky; oblasti přijatelnosti změn LaP z pohledu dopadu na celkové riziko jsou graficky znázorněny na Obrázcích A-1 a A-2 uvedených ve stejné příloze.

Změna průměrného ročního rizika musí být vypočtena s uvážením pravděpodobností výskytu oprav komponent během roku (tj. nepohotovost v důsledku oprav není deterministicky postulována nebo neuvažována), a to jak ve výpočtu rizika před změnou LPP, tak i ve výpočtu po změně LPP.

#### ◆ Krok 5. Vyhodnocení rizika skutečných konfigurací

Jedná se o tzv. Program řízení rizika konfigurace (CRMP) definovaný v kap.3.2.7 neboli o úroveň 3. hodnocen změny LaP, která je ekvivalentní Tier 3 z RG 1.177 [G2]. Zde je nutno implementovat program, který předem i aktuálně vhodně vyhodnotí vliv vzniklých konfigurací RB JE s různými neprovoznostmi systémů a komponent na riziko. Obvykle se takové vyhodnocení provádí tzv. monitorem rizika. Součástí tohoto programu musí být i postup pro zabránění nebo potlačení neakceptovatelného rizika z dovolených souběhů neprovoznostmi.

Monitorování je třeba zahájit v momentě, kdy je navrhovaná změna postupně zaváděna do projektu elektrárny. Program musí být schopen prokázat bezpečnost a spolehlivost dané změny a potvrdit, že fungování komponent či systémů je v souladu s předpoklady použitými při hodnocení této změny.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Potřeba této úrovně hodnocení je dána obtížnou identifikací a vyhodnocením všech rizikových konfigurací v kroku 3.2. Je tedy vhodné pomocí LaP kontrolovat riziko pro rozumně očekávané konfigurace (včetně neprovozních) a monitor rizika pak použít pro identifikaci, prevenci nebo potlačení neočekávaných nebo nepravděpodobných kombinací, viz také Obrázek D-1 v Příloze D.

Teoreticky bylo možno tuto úroveň vynechat, pokud by byly identifikovány a vyhodnoceny všechny rizikové konfigurace v úrovni 2. hodnocení (krok 3.2). To však je v praxi téměř neproveditelné.

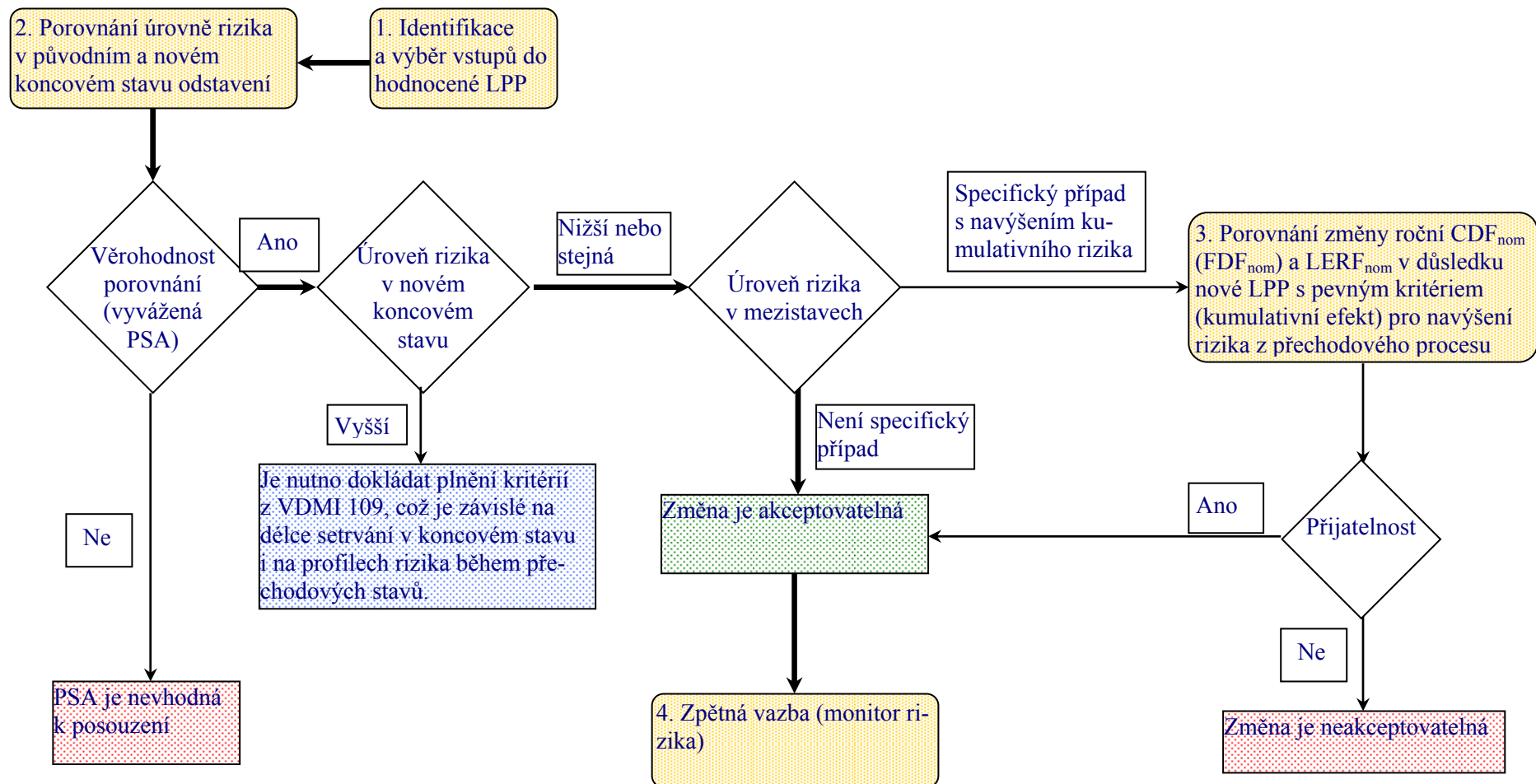
Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## **Příloha C.2**

### **Schématický návod hodnocení trvalých změn koncových stavů**

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obrázek C.2-1: Hlavní kroky pravděpodobnostního hodnocení změn koncových stavů v LaP**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

#### ◆ Krok 1. Identifikace a výběr vstupů do hodnocené části LPP

Zde se provádí výběr podsystémů/komponent pro každou variantu měněné LPP (LPP A, LPP B, atd.), které mají v rámci jedné varianty LPP odlišný profil rizika v koncovém stavu odstavení vůči sledovanému stavu RB s čerpáním LPP. Výsledkem výběru je tzv. základní konfigurace vstupu do hodnocené LPP. Zde je především potřeba zohlednit možnost různých konfigurací RB v koncových stavech odstavení. Konkrétní zásady výběru základní konfigurace pro hodnocení trvalých změn LPP modelem PSA jsou uvedeny v kap. D.2.1 Přílohy D.

Pozn.: Při porovnávání okamžitého rizika v různých stavech nepostačí ocenit hraniční případy NEPSCH, tzn. konzervativní konfigurace z hlediska absolutní hodnoty okamžitého rizika (NEPSCH s nejnepříznivějším dopadem). Z porovnání okamžitého rizika pro hraniční případ nelze totiž usuzovat, že pro příznivější konfigurace NEPSCH se tatáž relace (větší, menší) zachovává.

#### ◆ Krok 2. Porovnání rizika ve stávajícím a novém koncovém stavu odstavení

Obecně platí, že za stejný časový úsek bude větší kumulativní riziko v tom stavu, kde je větším okamžitá úroveň (frekvence) rizika. Za předpokladu, že práce na obnově PSCH zařízení nejsou při aplikaci jednoho koncového stavu blokovány nebo záměrně omezeny jiným způsobem, než při aplikaci nového koncového stavu, pak není ve velké většině případů nutno porovnávat kumulativní riziko obou alternativ. Stejného výsledku (tj. větší/menší) se zákonitě musí dosáhnout i porovnáním okamžitého rizika v koncových stavech odstavení, neboť kumulativní riziko v přechodových stavech před oběma koncovými stavy bude společné.

Případy nesplnění výše uvedeného předpokladu musí být analyzovány explicitními výpočty kumulativního rizika obou alternativ pomocí PSA. Je však nutno garantovat stejné doby setrvání v koncovém stavu odstavení, resp. stejné doby do opravy zařízení pro všechny výskyty NEPSCH sledovaného zařízení v budoucím provozu JE.

Zde se porovnávají frekvence rizika FDF (CDF) a LERF) s neprovozuschopnou komponentou (s nevyhovujícím nastavením apod.), tzv. podmíněné frekvence:

- frekvence rizika ve stávajícím koncovém stavu odstavení,
- frekvence rizika v navrženém koncovém stavu odstavení.

Koncový stav odstavení je v LaP charakterizován Režimem provozu JE definovaným v LaP. Pokud PSA definuje v daném Režimu více PSA stavů (např. Režim 4 s vodo-vodním vychlazováním, Režim 4 s paro-vodním vychlazováním), je nutno předpokládat, že navržený koncový stav se nachází v PSA stavu s vyšším okamžitým rizikem (je-li to při NEPSCH zařízení v dané LPP možné). V opačném případě je nutno doplnit do návrhu změny koncového stavu, jaká část Režimu je míněna (např. Režim 4 s vodo-vodním vychlazováním nebo Režim 4 s paro-vodním vychlazováním).

Porovnává se tedy tzv. „okamžité riziko“, které je však na úrovni komponent průměrné v daném PSA stavu, podrobněji viz kap. B.1.2 Přílohy B.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Změna je akceptovatelná, pokud je okamžité riziko s NEPSCH komponentou v navrženém koncovém stavu odstavení menší nebo rovno tomuto riziku ve stávajícím stavu pro všechny analyzované konfigurace. V takovém případě tato změna až na výjimku diskutovanou v kroku 3 způsobí snížení nominálního rizika.

Pokud je navržena taková změna koncového stavu, že úroveň okamžitého rizika s NEPSCH komponentou v navrženém koncovém stavu odstavení je větší než úroveň rizika ve stávajícím koncovém stavu odstavení, neznamená to ještě neakceptovatelnost změny. V takovém případě lze očekávat, že tato změna ve většině případů způsobí zvýšení nominálního rizika, což je rovněž akceptovatelné za jistých podmínek; detailní posouzení je však specifické pro různé profily rizika během přechodových stavů.

Výsledek porovnání nesmí být určen nesprávnými relacemi důležitosti mezi jednotlivými částmi modelu PSA pro dotčené koncové stavy odstavení nebo více konzervativními nebo optimistickými modely v některém z těchto stavů.

Obecně je rozhodující porovnání LERF. Je však třeba zvážit míru nejistoty v určení LERF s vlivem na porovnání okamžitého rizika, která je obvykle mnohem větší, než u určení CDF. Pokud nejistoty v určení LERF s vlivem na porovnání by mohly indikovat opačný trend vlivu změny na LERF než na CDF, pak je obvykle nutno provést další kvalitativní úvahy o vlivu stavu zařízení k potlačení úniku RA látek na porovnání rizika, aby bylo možno se řídit výsledky porovnání CDF.

### ♦ Krok 3. Porovnání změny ročního rizika v důsledku vstupů do změn LPP

Jedná se o použití obecných zásad pro akceptovatelnost změny shrnutých v RG 1.174 [G1] v případě, že je možné určité navýšení rizika ve specifických případech.

Pokud se např. navržený koncový stav s nižší úrovní rizika nachází v pozdější fázi odstavování než původní koncový stav odstavení (tj. přes původní stav se přechází) a mezi nimi leží alespoň jeden stav s vyšším okamžitým rizikem než v původním koncovém stavu, pak může být potřebné ocenit navýšení kumulativního rizika z přechodových stavů a stanovit, zda očekávaná délka setrvání v novém koncovém stavu postačí ke kompenzaci tohoto navýšení, tak aby při stejných podmínkách (tj. při stejné délce setrvání v koncovém stavu) byl stále výhodnější navržený koncový stav nebo aby případné navýšení rizika bylo akceptovatelné. Takový případ je uveden na Obr. C.2-2.

Pozn.: Výše uvedený případ je však pro účely hodnocení žádostí změny koncového stavu odstavení spíše teoretický. Očekává se totiž, že změna koncového stavu na odstavení do vyššího Režimu (např. z Režimu 4 do Režimu 5, tj. do pokročilejší fáze odstávky) bude iniciována spíše deterministickými požadavky, nikoliv ulehčením provozu JE.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

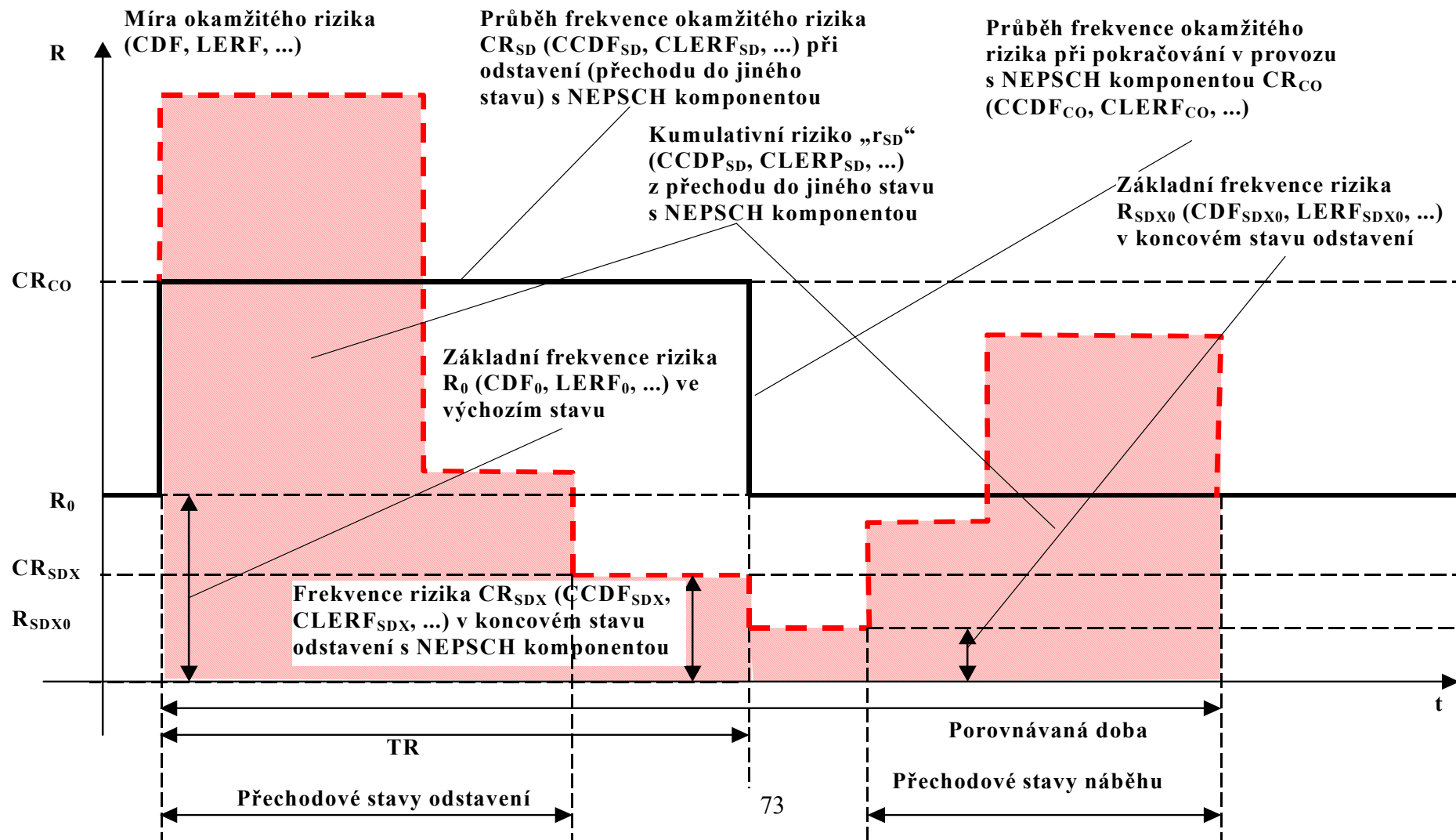
Specifickým případem pro výše uvedené hodnocení je i případ, kdy se navržený koncový stav odstavení s nižší úrovní rizika nachází v dřívější fázi odstavování než původní koncový stav a mezi nimi leží alespoň jeden stav s ještě nižším okamžitým rizikem než v novém koncovém stavu. Pak v některých případech i přechod přes bezpečnější stavy do původního stavu může být výhodnější než odstavení do navrženého stavu. V tomto případě je ale vhodnější použít přechodový stav s nejnižším rizikem za nový koncový stav, pokud je to možné z hlediska provozu JE.

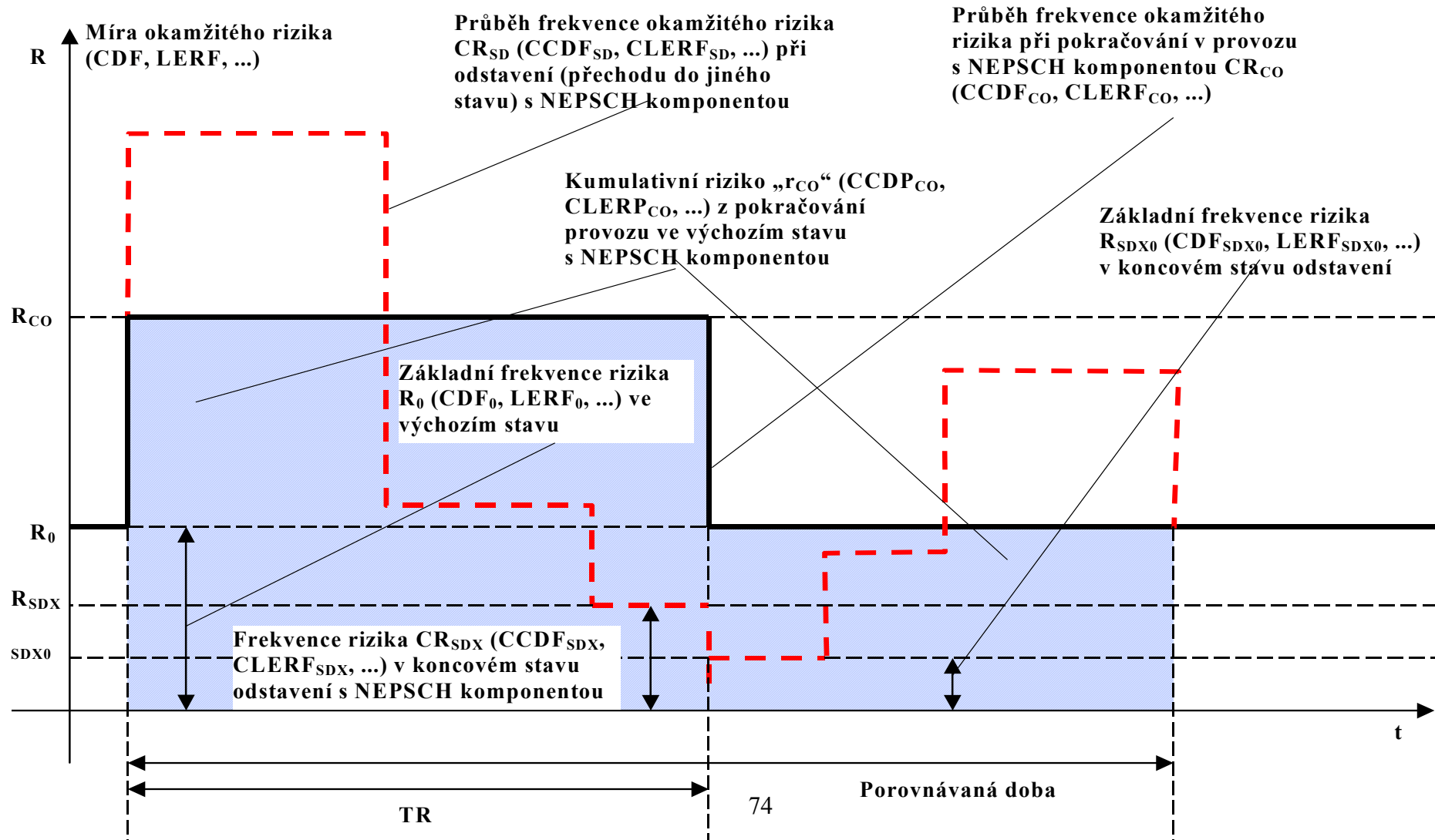
Pro výše uvedené případy se provede dle přílohy D.8 stanovení limitní doby setrvání v navrženém koncovém stavu odstavení, pro kterou nastane navýšení kumulativního rizika. Tato limitní doba je znázorněna např. na Obr. C.2-3. Pokud lze očekávat, že doby setrvání v navrženém koncovém stavu odstavení pro účely obnovení PSCH zařízení budou delší (např. jsou tyto limitní doby velmi krátké nebo vůbec neexistují), pak se tyto případy nepovažují za specifické.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obr. C.2-2: Příklad alternativních průběhů rizik - významné riziko přechodových stavů**





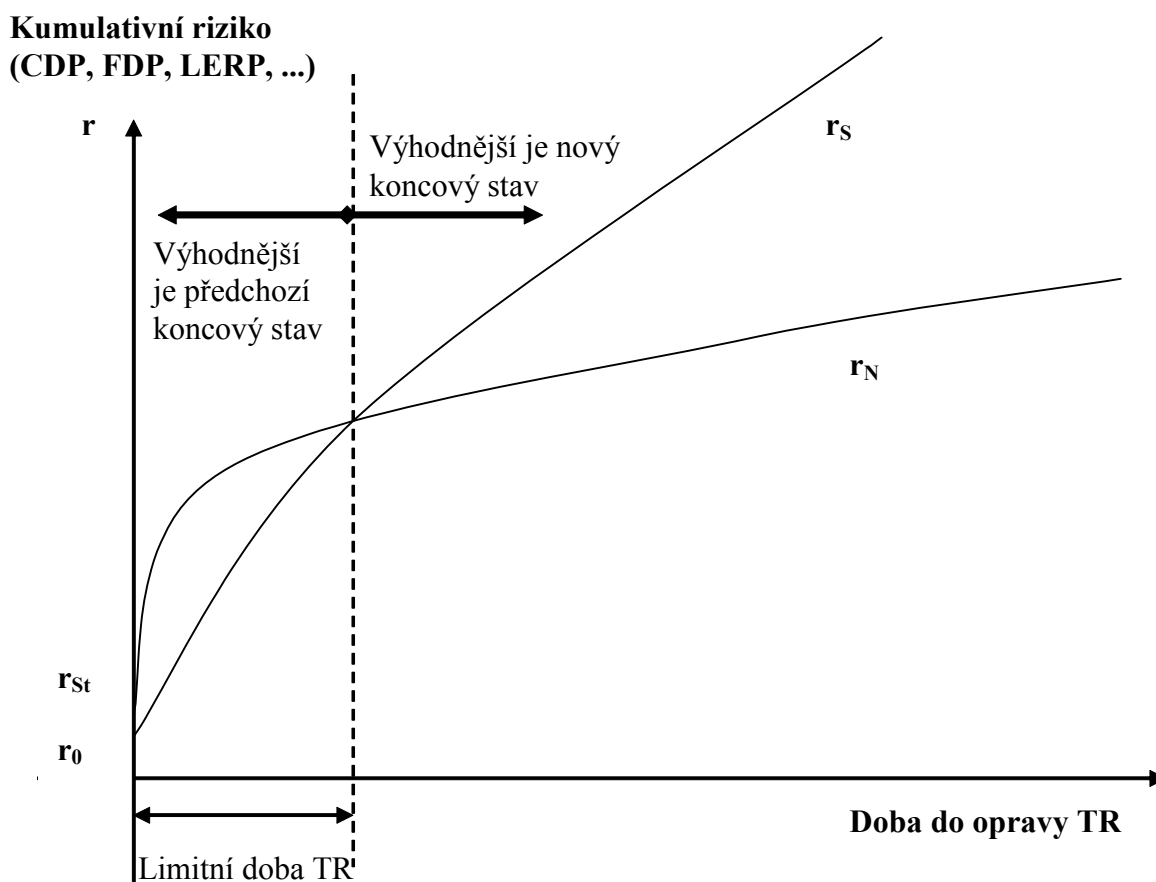
Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pozn. k Obr. C.2-2:

Podmíněným rizikem je míněno riziko s neprovozeroschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením, apod.

TR - doba do opravy komponenty.

**Obr. C.2-3: Příklad průběhů kumulativního rizika s významným rizikem přechodových stavů**



Pozn. k Obr. C.2-3:

- $r_{St}$  - riziko znovunajetí do původního stavu (s provozuschopnou komponentou),
- $r_0$  - riziko provozu v původním stavu (s provozuschopnou komponentou), tak aby sledovaný časový úsek pro porovnání s průběhem přechodu do jiného režimu byl stejný,
- $r_N$  - riziko při odstavení do nového koncového stavu odstavení,
- $r_S$  - riziko při odstavení do původního koncového stavu odstavení.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

V tomto kroku se pak hledá rozdíl průměrného ročního rizika  $FDF_{nom}$ , ( $CDF_{nom}$ ) a  $LERF_{nom}$  s novým AOT a tohoto průměrného ročního rizika s původním AOT. Změnou průměrného ročního rizika  $\Delta FDF_{nom}$  ( $\Delta CDF_{nom}$ ) a  $\Delta LERF_{nom}$ , která je tak důsledkem v důsledku vstupů do nových LPP oproti vstupům do původních LPP, se vyhodnocuje tzv. kumulativní efekt změny, neboli dopad na celkové riziko. Přírůstek průměrného ročního rizika se pak porovnává s pevným kritériem.

**V případě navýšení rizika musí pro přijatelnost nové LPP musí současně platit:**

- ◆  $\Delta FDF_{nom}$  musí být menší než:
  - $5 \times 10^{-6}$ /rok, pokud lze rozumně zaručit, že  $FDF_{nom}$  je nižší než  $1 \times 10^{-4}$ /rok.
- ◆  $\Delta LERF_{nom}$  musí být menší než:
  - $1 \times 10^{-6}$ /rok, pokud lze rozumně zaručit, že  $LERF_{nom}$  je nižší než  $1 \times 10^{-5}$ /rok.

Souvislost těchto měř rizika s ostatními veličinami je patrný z **Obrázku A-3**, který je součástí Přílohy A této metodiky; oblasti přijatelnosti změn LaP z pohledu dopadu na celkové riziko jsou graficky znázorněny na Obrázcích A-1 a A-2 uvedených ve stejné příloze.

Změna průměrného ročního rizika musí být vypočtena s uvážením pravděpodobnosti výskytu oprav komponent během roku (tj. nepohotovost v důsledku oprav není deterministicky postulována nebo neuvažována) a pravděpodobnosti přečerpání AOT, tj. s uvážením očekávané frekvence odstavení z důvodu sledované LPP, a to jak ve výpočtu rizika před změnou LPP, tak i ve výpočtu po změně LPP.

#### ◆ Krok 4. Vyhodnocení rizika skutečných konfigurací

Zde je potřeba implementovat program, který předem i on-line vhodně vyhodnotí vliv vzniklých konfigurací RB JE (včetně neplánovaných odstavení z důvodu LaP) v koncových stavech odstavení s různými neprovozuschopnostmi systémů a komponent na riziko. Obvykle se takové vyhodnocení provádí tzv. monitorem rizika. Součástí tohoto programu musí být i postup pro zpětné vyhodnocení okamžitého rizika a proces pro přijímání opatření (zpětná vazba) z tohoto vyhodnocení.

Implementace tohoto programu včetně požadavků a návodů na jeho používání a na stanovení a výpočet kritérií akceptovatelnosti rizika je nutno řešit samostatnou legislativou a/nebo jinými návody dozorného orgánu.

Pokud je změna akceptovatelná z důvodu celkového snížení rizika, ale v navrženém koncovém stavu odstavení se požaduje přísnější plnění deterministických kritérií, je nutné nalézt příčinu a ověřit, zda je důvod přísnějšího požadavku (např. nutnost plnění kritéria jednoduché poruchy), pokud byl identifikován, správně a konzistentně zohledněn v modelu PSA nebo jeho předpokladech.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## **Příloha C.3**

### **Schématický návod hodnocení dočasných změn LaP**

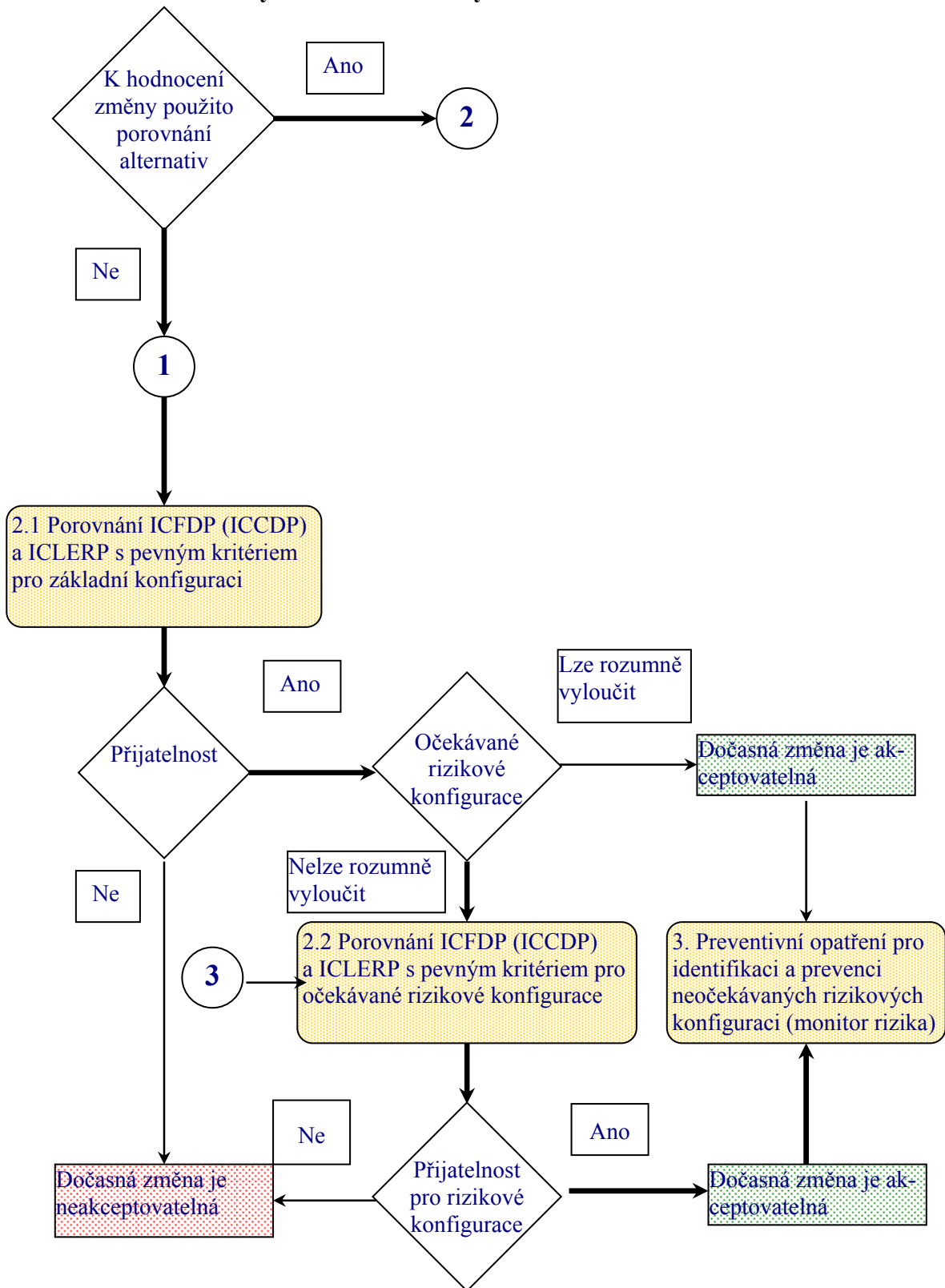
Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### **C.3.1 Hlavní kroky pravděpodobnostního hodnocení dočasných změn LaP**

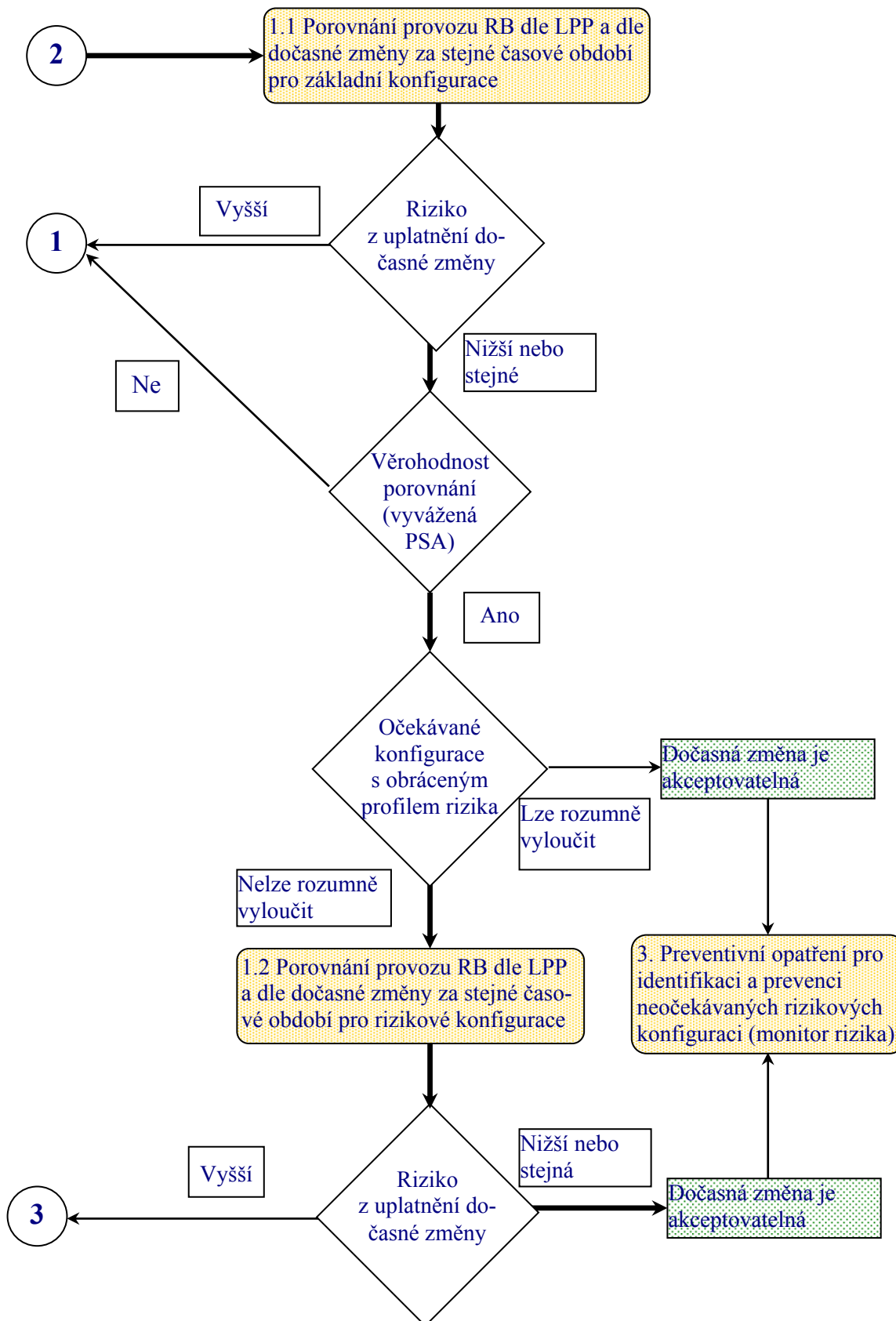
Hlavní kroky rizikově orientovaného pravděpodobnostního hodnocení dočasných změn LaP jsou uvedeny na Obr. C.3-1. Je zde uvedena i jejich vzájemná návaznost a vliv na rozhodovací proces na JE.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obr. C.3-1: Hlavní kroky hodnocení dočasných změn LaP**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018





Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### C.3.2 Postup pravděpodobnostního hodnocení dočasných změn LPP

#### ♦ Krok 1. Porovnání rizika při pokračování provozu a v koncovém stavu odstavení

Porovnává se kumulativní riziko z provozu RB dle LPP a dle dočasné změny za stejné časové období.

Pokud je kumulativní riziko z dočasné změny nižší, pak je změna z pravděpodobnostního hlediska přijatelná. Obecně je rozhodující porovnání LERF.

##### 1.1 Porovnání rizika vybraných konfigurací souvisejících pouze s dočasnou změnou LPP

Provádí se zde výše uvedené porovnání rizika vybraných konfigurací souvisejících s dočasnou změnou LPP, a to bez souběhů s neprovozeroschopnostmi komponent, které nejsou předmětem dotčené LPP. Součástí tohoto kroku je identifikace a výběr těchto konfigurací aplikovatelných pro dočasnou změnu za účelem provedení porovnání.

##### 1.2 Porovnání rizika dočasné změny LPP pro rizikové konfigurace

Provádí se zde výše uvedené porovnání rizika vybraných konfigurací souvisejících s dočasnou změnou LPP při uvážení dovolených souběhů s neprovozeroschopnostmi ostatních zařízení či při netypických konfiguracích systémů v daném režimu bloku či JE. Součástí tohoto kroku je identifikace a výběr těchto rizikových konfigurací aplikovatelných pro dočasnou změnu za účelem provedení porovnání.

#### ♦ Krok 2. Porovnání rizika v důsledku jednorázového vstupu do hodnocené LPP

Zde je porovnáván přírůstek pravděpodobnosti podmíněného rizika (ICFDP, ICLERP) v důsledku dočasné změny LPP s pevným kritériem, pokud nelze využít porovnání rizika při pokračování provozu a v koncovém stavu odstavení. Pro přijatelnost LPP musí současně platit:

$$\text{ICFDP} = \Delta\text{FDF} \times \text{AOT} \leq 1 \times 10^{-6} \text{ (případně } \text{ICCDP} = \Delta\text{CDF} \times \text{AOT} \leq 1 \times 10^{-6})$$

a

$$\text{ICLERP} = \Delta\text{LERF} \times \text{AOT} \leq 1 \times 10^{-7}$$

kde je:

$$\Delta\text{FDF} = \text{CFDF}_{\text{CO}} - \text{FDF}_0$$

$$\Delta\text{CDF} = \text{CCDF}_{\text{CO}} - \text{CDF}_0$$

$$\Delta\text{LERF} = \text{CLERF}_{\text{CO}} - \text{LERF}_0$$

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

a kde

index CO představuje podmíněnou frekvenci a

index 0 představuje základní frekvenci nežádoucí události.

Tato kritéria jsou převzata z NUMARC 93-01 [G11] a RG 1.177 [G2]. Význam jednotlivých veličin je uveden v následující kap. C.3.3. Souvislost těchto měř rizika s ostatními veličinami a způsob jejich výpočtu je patrný také z Obr. C.3.-4.

Pozn.: Z revize 1 RG 1.177 [G2] plyne, že do výpočtu ICCDP/ICFDP/ICLERP pro splnění kritérií se za AOT dosazuje doba provedení (CT) do obnovení PSCH.

## 2.1 Porovnání rizika vybraných konfigurací souvisejících pouze s dočasnou změnou LPP

Provádí se zde výše uvedené porovnání rizika vybraných nejrizikovějších konfigurací souvisejících s dočasnou změnou LPP s pevným kritériem přijatelnosti rizika, a to bez souběhů s neprovozními komponenty, které nejsou předmětem dotčené LPP. Součástí tohoto kroku je identifikace a výběr těchto rizikových konfigurací aplikovatelných pro dočasnou změnu za účelem provedení porovnání.

## 2.2 Porovnání rizika dočasné změny LPP pro rizikové konfigurace

Provádí se zde výše uvedené porovnání rizika vybraných konfigurací souvisejících s dočasnou změnou LPP s pevným kritériem přijatelnosti rizika při uvážení dovolených souběhů s neprovozními ostatními zařízeními či při netypických konfiguracích systémů v daném režimu bloku či JE. Součástí tohoto kroku je identifikace a výběr těchto rizikových konfigurací aplikovatelných pro dočasnou změnu za účelem provedení porovnání.

### ♦ Krok 3. Vyhodnocení rizika skutečných konfigurací

Zde je možno implementovat program, který by předem i on-line vhodně vyhodnotil vliv vzniklých konfigurací RB JE s různými neprovozními systémů a komponent na riziko. Obvykle se takové vyhodnocení provádí tzv. monitorem rizika. Součástí tohoto programu musí být i postup pro zabránění nebo potlačení neakceptovatelného rizika z dovolených souběhů neprovozními.

## C.3.3 Zdůvodnění pravděpodobnostního hodnocení dočasných změn LPP

### C.3.3.1 Krok 1 - porovnání kumulativního rizika z provozu RB dle LPP a dle dočasné změny z LPP.

Zde se porovnává kumulativní riziko z provozu RB dle LPP a dle dočasné změny za stejné časové období.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Jednou z možností využití porovnání kumulativního rizika je porovnání dvou alternativ, pokračování v provozu s NEPSCH komponentou i po uplynutí Doby provedení nebo odstavení dle LaP po uplynutí Doby provedení. Pro toto porovnání mohou obecně nastat pro danou část LPP tyto případy:

1. Kumulativní riziko po vstupu do LPP (s neprovozoschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením, apod.) s pokračováním v provozu do obnovení platnosti LPP je vyšší než kumulativní riziko při přechodu do koncového stavu, do něhož se přechází při nesplnění LPP, tj.  $r_{CO} > r_{SD}$ , viz Obr. C.3-2.

V tomto případě je vždy z hlediska rizika výhodnější odstavit (přejít do koncového stavu), ale z důvodu ekonomiky provozu to není žádoucí a jisté zvýšení rizika (které je limitováno stanovením AOT) je akceptovatelné. Tento případ je až na výjimky implicitním předpokladem pro všechny LPP.

2. Kumulativní riziko po vstupu do LPP (s neprovozoschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod.) s pokračováním v provozu do obnovení platnosti LPP je nižší než kumulativní riziko při přechodu do koncového stavu, do něhož se přechází při nesplnění LPP, tj.  $r_{CO} < r_{SD}$ , viz Obr. C.3-3.

Je tedy vždy z hlediska kumulativního rizika výhodnější pokračovat v provozu ve výchozím stavu.

Je zřejmé, že při rozhodování o odstavení po uplynutí Doby provedení bude už vyčerpané kumulativní riziko (tj. riziko do vyčerpání Doby provedení) stejné pro obě alternativy a velikost tohoto rizika nemá vliv na jejich porovnání, neboť k oběma alternativám by se přičetlo totéž číslo.

Porovnává se tzv. kumulativní riziko, podrobněji viz Příloha B. Obecně je rozhodující porovnání LERP. Je však třeba zvážit míru nejistoty v určení LERF s vlivem na porovnání okamžitého rizika, která je obvykle mnohem větší, než u určení CDF. Toto porovnání však vyžaduje vyvážené PSA modely pro všechny režimy a stavy bloku či JE, které jsou zahrnuty do výpočtů jak rizika odstavení (přechodu do jiného režimu), tak rizika z pokračování v provozu ve výchozím stavu (např. s nepohotovou komponentou). Výsledek porovnání totiž nesmí být určen nesprávnými relacemi důležitosti mezi jednotlivými částmi modelu PSA pro uvedené stavy bloku či JE nebo více konzervativními nebo optimistickými modely v některém z těchto stavů.

Pokud je  $CCDP_{CO}$  ( $CFDP_{CO}$ ) nižší než  $CCDP_{SD}$  ( $CFDF_{SD}$ ), tzn. případ 2 výše, tak je nutno vyhodnotit i analogické veličiny pro CLERP. Pokud nejistoty v určení LERF s vlivem na porovnání by mohly indikovat opačný trend LERF než CDF, pak je obvykle nutno provést další kvalitativní úvahy o vlivu stavu zařízení k potlačení úniku RA látek na porovnání rizika, aby bylo možno se řídit výsledky porovnaním CDP.

Pokud je  $CCDP_{CO}$  ( $CFDP_{CO}$ ) v daném režimu vyšší než  $CCDP_{SD}$  ( $CFDF_{SD}$ ), tzn. případ 1 výše, a nejistota v určení LERF s vlivem na porovnání je velká, pak se do provedení přesnějších analýz považuje porovnání CDP za určující (takový stav je implicitním předpokladem LPP, který odráží už i jistou zkušenost).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Ve výše uvedeném případě je možno s výhodou použít jen porovnání úrovně okamžitého rizika FDF (CDF) a LERF) s neprovozeroschopnou komponentou (s nevyhovujícím nastavením, apod.), tzv. podmíněná rizika:

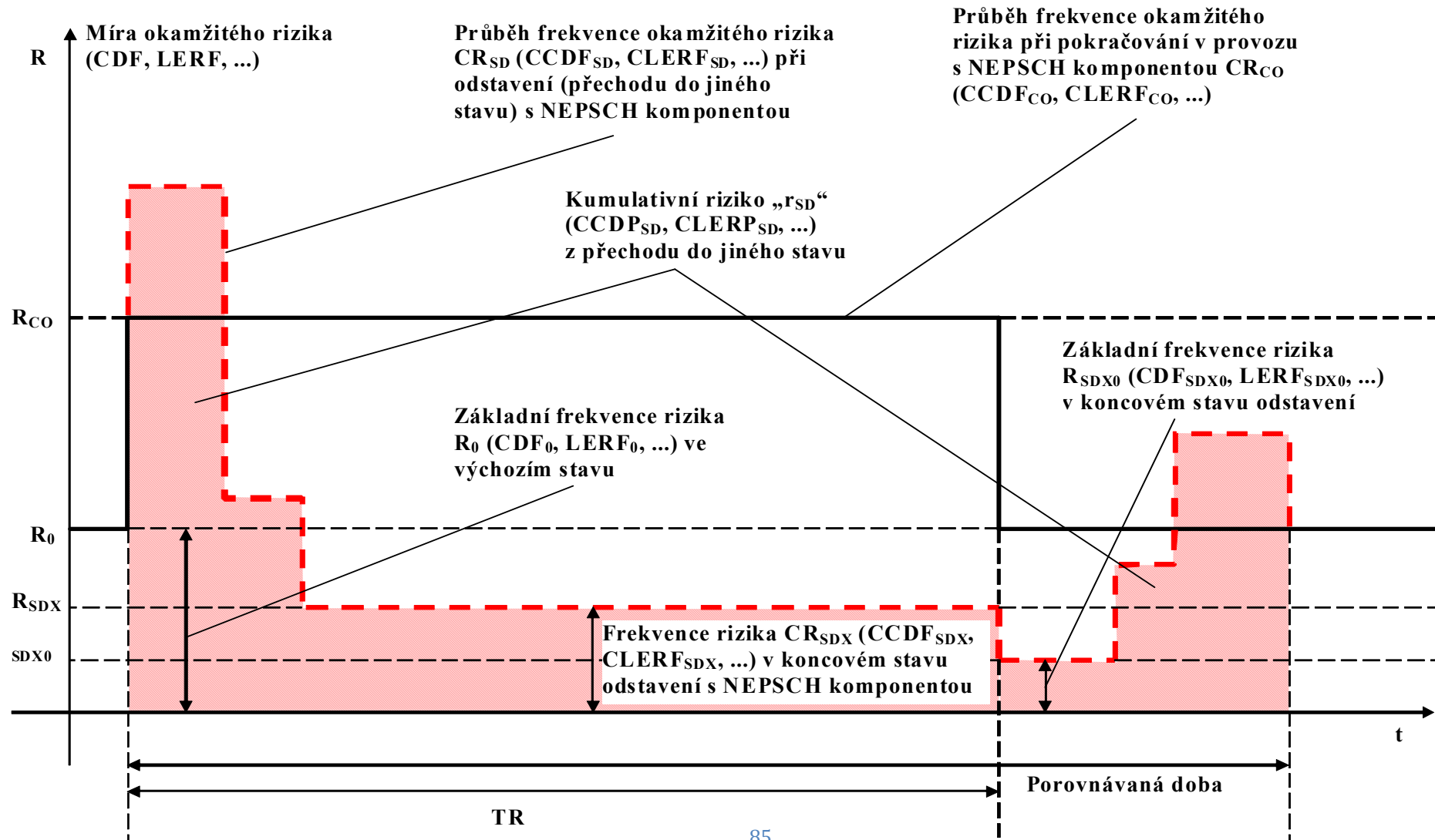
- v koncovém stavu odstavení,
- při pokračování v provozu.

Pokud je podmíněná frekvence  $CFDF_{SDX}$  ( $CCDF_{SDX}$ ) i  $CLERF_{SDX}$  v koncovém stavu odstavení vyšší než podmíněná frekvence rizika při pokračování v provozu  $CFDF_{CO}$  ( $CCDF_{CO}$ ) i  $CLERF_{CO}$ , nemá smysl uvažovat o dovolené době neprovozeroschopnosti (AOT), neboť je výhodnější pokračovat v provozu v původním režimu. Kumulativní riziko z odstavení bude totiž za stejné období vždy vyšší.

Výše uvedený závěr však nemusí platit, pokud jsou v mezistavech mezi výchozím stavem a koncovým stavem odstavení výrazně nižší podmíněné frekvence než podmíněná frekvence rizika při pokračování v provozu a tyto mezistavy nejsou velmi krátké. Pokud takový případ nastane nebo závěr na základě porovnání okamžitého rizika není jednoznačný, tak je potřeba provést porovnání kumulativního rizika. Pro toto porovnání lze využít podobné postupy, jako jsou uvedeny v Příloze D.8.

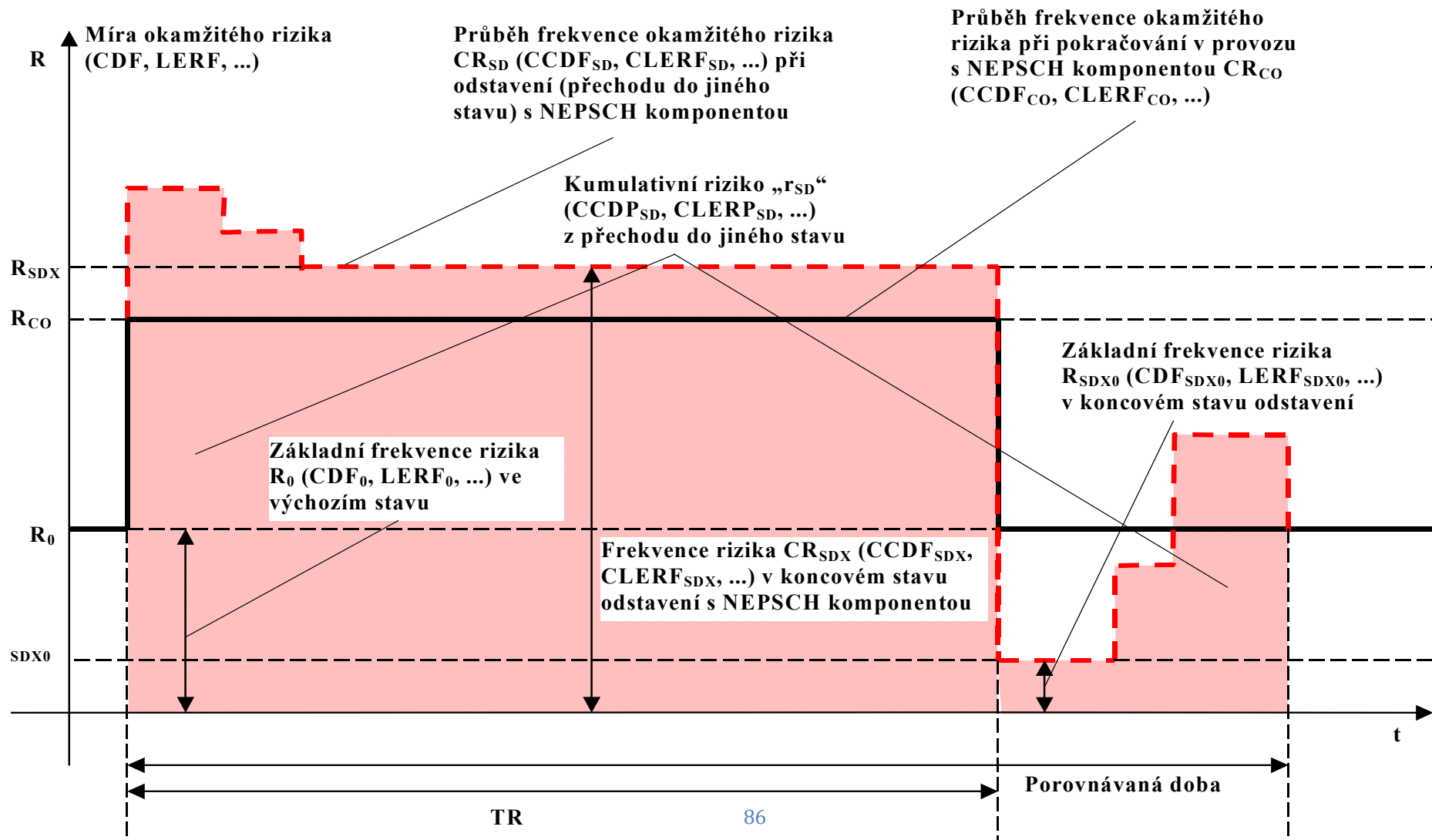
Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obr. C.3-2: Příklad alternativ průběhů rizik s NEPSCH zařízení - bezpečnější odstavení**

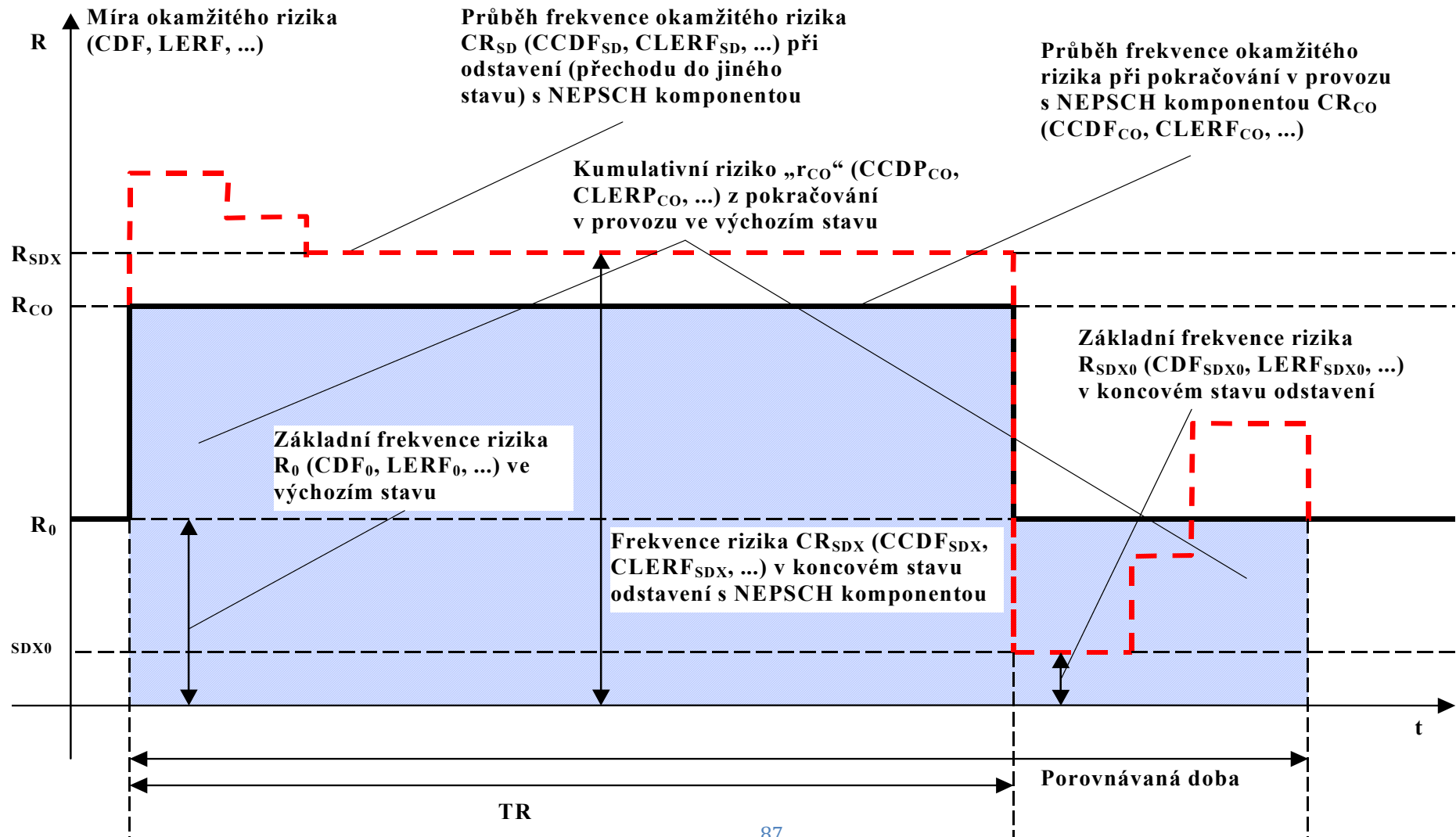


Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Obr. C.3-3: Příklad alternativních průběhů rizik s NEPSCH zařízení - bezpečnější výchozí stav



Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pozn. k Obr. C.3-2 a Obr. C.3-3:

1. Podmíněným rizikem je míněno riziko s neprovozeroschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod.
2. TR - doba do opravy komponenty, v případě rozhodování odstavení po uplynutí Doby provedení to může být i doba od vyčerpání Doby provedení do opravy komponenty.

### **C.3.3.2 Krok 2 - porovnání rizika jednorázového vstupu do hodnocené LPP**

#### **C.3.3.2.1 Vzrůst podmíněné pravděpodobnosti při čerpání LPP**

V kroku 1 je porovnáván přírůstek podmíněné pravděpodobnosti (ICCDP, ICFDP, ICLERP) v důsledku jednorázové dočasné změny LPP s pevným kritériem přijatelnosti rizika. Toto porovnání je založeno na metodice US NRC pro posouzení LaP popsané v návodu RG 1.177 [G2].

Pro danou konfiguraci  $C_i$  musí dle vztahu (A1) Přílohy A platit následující obecný vztah:

$$\Delta r = \Delta R \times AOT = (R_1 - R_0) \times AOT \leq K_R$$

kde:

- $\Delta r$  - přírůstek pravděpodobnosti rizika od jednorázového čerpání AOT,
- AOT - nová dovolená doba vyřazení v daném režimu,
- $\Delta R$  - přírůstek rizika od jednorázového čerpání AOT (v jednotkách výskytu rizika za jednotku času, tj. frekvence),
- $R_1$  - podmíněná frekvence rizika z pokračování v provozu v daném režimu při neprovozeroschopnosti komponenty nebo její omezené schopnosti provést požadovanou funkci, vztahuje se tedy ke konkrétní konfiguraci elektrárny  $C_i$ ,
- $R_0$  - základní úroveň (frekvence) rizika se všemi komponentami provozuschopnými (tj. bez nepohotovostí v důsledku oprav, údržby nebo testů),
- $K_R$  - pevné kritérium přijatelnosti rizika.

Základní úroveň frekvence rizika je zde počítána pro stav provozu bloku či JE, ve kterém je i ostatní zařízení provozuschopné, nejen zařízení, které je předmětem změněné LPP (obecné vztahy v Příloze A v tomto směru neupřesňují stav provozuschopnosti ostatních zařízení).

Aby byla navrhovaná změna AOT přijatelná, musí pro veličiny používané při hodnocení LaP a pro danou konfiguraci  $C_i$  platit současně:

$$ICFDP = \Delta FDF \times AOT \leq 1 \times 10^{-6} \quad (ICCDP = \Delta CDF \times AOT \leq 1 \times 10^{-6})$$

a

$$ICLERP = \Delta LERF \times AOT \leq 1 \times 10^{-7}$$

kde je:

$$ICFDP = \Delta FDP = \Delta FDF \times AOT = (FDF_{CO} - FDF_0) \times AOT$$



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

$$\text{ICCDP} = \Delta\text{CDP} = \Delta\text{CDF} \times \text{AOT} = (\text{CDF}_{\text{CO}} - \text{CDF}_0) \times \text{AOT}$$

$$\text{ICLERP} = \Delta\text{LERP} = \Delta\text{LERF} \times \text{AOT} = (\text{LERF}_{\text{CO}} - \text{LERF}_0) \times \text{AOT}$$

Příčemž je:

$\text{CFDF}_{\text{CO}}$ ,  $\text{CCDF}_{\text{CO}}$ ,  $\text{CLERF}_{\text{CO}}$  - podmíněná frekvence rizika pokračování v provozu v daném stavu při vstupu do LPP s neprovozuschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod.; vztahuje se tedy ke konkrétní konfiguraci elektrárny  $C_i$ ,

$\text{FDF}_0$ ,  $\text{CDF}_0$ ,  $\text{LERF}_0$  - základní frekvence rizika v obvyklé konfiguraci daného Režimu se všemi komponentami provozuschopnými (tj. bez nepohotovostí komponent v důsledku oprav, údržby nebo testů),

AOT - dovolená doba neprovozuschopnosti v daném režimu.

AOT zahrnuje jak dovolenou dobu provedení do obnovení provozuschopnosti, tak i část doby na odstavení, po kterou bude RB při odstavení v daném režimu.

Souvislost těchto měř rizika s ostatními veličinami a způsob jejich výpočtu je patrný také z Obr. C.3.-4. Celková (nominální) hodnota rizika je zde přibližně zobrazena jako průměrná hodnota, pokud by graf obsahoval jeden PSA stav. Určení celkové hodnoty rizika v reálné PSA s více PSA stavy je podrobně popsáno v kap. B.1.1. Přílohy B. Konkrétní postupy pro výpočet ICFDP (ICCDP) a ICLERP modelem PSA jsou uvedeny v přílohách tohoto návodu.

### C.3.3.2.2 Stanovení typu a numerické hodnoty kritéria

Je preferováno použití pevného (fixního) kritéria pro vzrůst podmíněné pravděpodobnosti rizika při čerpání LPP (ICFDP, ICCDP, ICLERP).

Numerické hodnoty pevného kritéria byly převzaty z NUMARC 93-01 [G11] a RG 1.177 [G2] pro jednorázové (one-time only) změny.

### C.3.3.2.3 Rizikové konfigurace

V kroku 2 je nutno provést identifikaci rizikových konfigurací (dovolených souběhů neprovozuschopností ostatních zařízení se vstupy do hodnocené LPP, vstup do hodnocené LPP při netypických konfiguracích systémů apod.). Vybrané rizikové kombinace je nutno ocenit vzhledem ke kritériím přijatelnosti pro ICFDP (ICCDP) a ICLERP dle kap. C.3.3.2.1. V případě nesplnění těchto kritérií (nebo při neprovedení vyčerpávající identifikace či neprovedení vyhodnocení) je nutno přijmout opatření buď k zamezení vzniku rizikových konfigurací, nebo ke snížení rizika z těchto konfigurací, případně je nutno rozumně zaručit, že se takové konfigurace nevyskytnou.

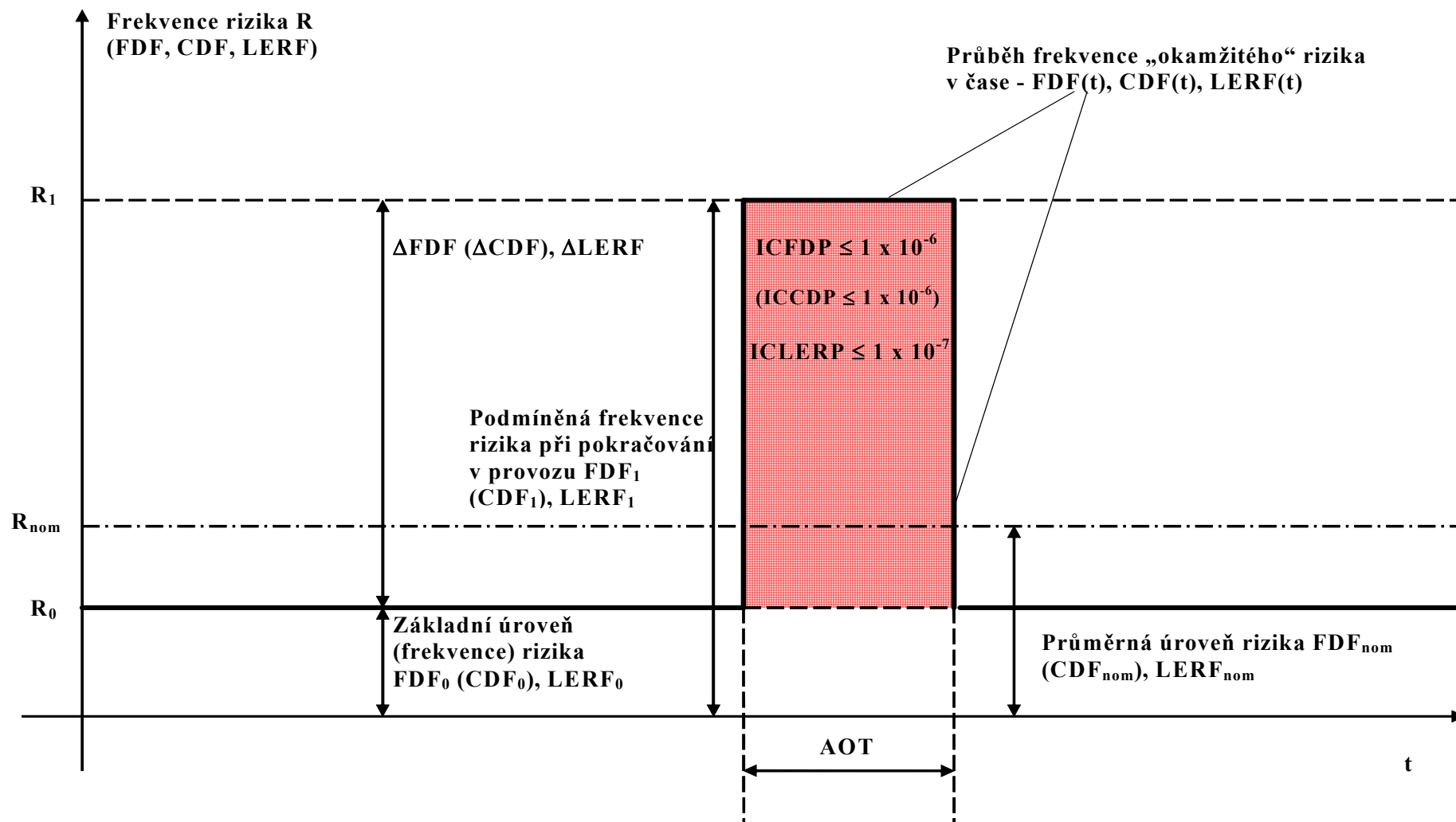
Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Výběr očekávaných rizikových konfigurací pro vyhodnocení by měl být jednoduchý, neboť předpokládaná konfigurace RB včetně neprovozních zařízení JE je pevně daná konkrétní situací na RB. Zůstává však na expertním posouzení, zda je nutno hodnotit i další konfigurace, které přicházejí za dané situace na RB v úvahu. Při **hodnocení dočasné změny LPP** není obecně nutno 2. **úroveň analýzy (Tier 2)** uvažovat, pokud ji lze považovat za předem neplánovanou [G2]. To však předpokládá implementaci **úrovně 3 (Tier 3)**. Konkrétní zásady výběru souběhů neprovozních konfigurací pro hodnocení změn LPP modelem PSA jsou uvedeny v kapitole D.2.3 Přílohy D.

Je třeba zdůraznit, že plánované zajištění nebo NEPSCH více zařízení nebo systémů současně (např. při OLM) představují jednu událost, která by měla být hodnocena už od kroku 1.

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obr. C.3-4: Kritéria přijatelnosti pro jednorázový vstup do LPP**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pozn. k Obr. C.3.-4:

1. Podmíněným rizikem je míněno riziko s neprovoznou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod.

### **C.3.3.3 Krok 3 - vyhodnocení rizika skutečných konfigurací**

Potřeba tohoto kroku je dána obtížnou identifikací a vyhodnocením všech rizikových konfigurací v kroku 2. Teoreticky bylo možno tuto úroveň vynechat, pokud by byly identifikovány a vyhodnoceny všechny rizikové konfigurace v kroku 2. To však je v praxi téměř neproveditelné.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## **Příloha C.4**

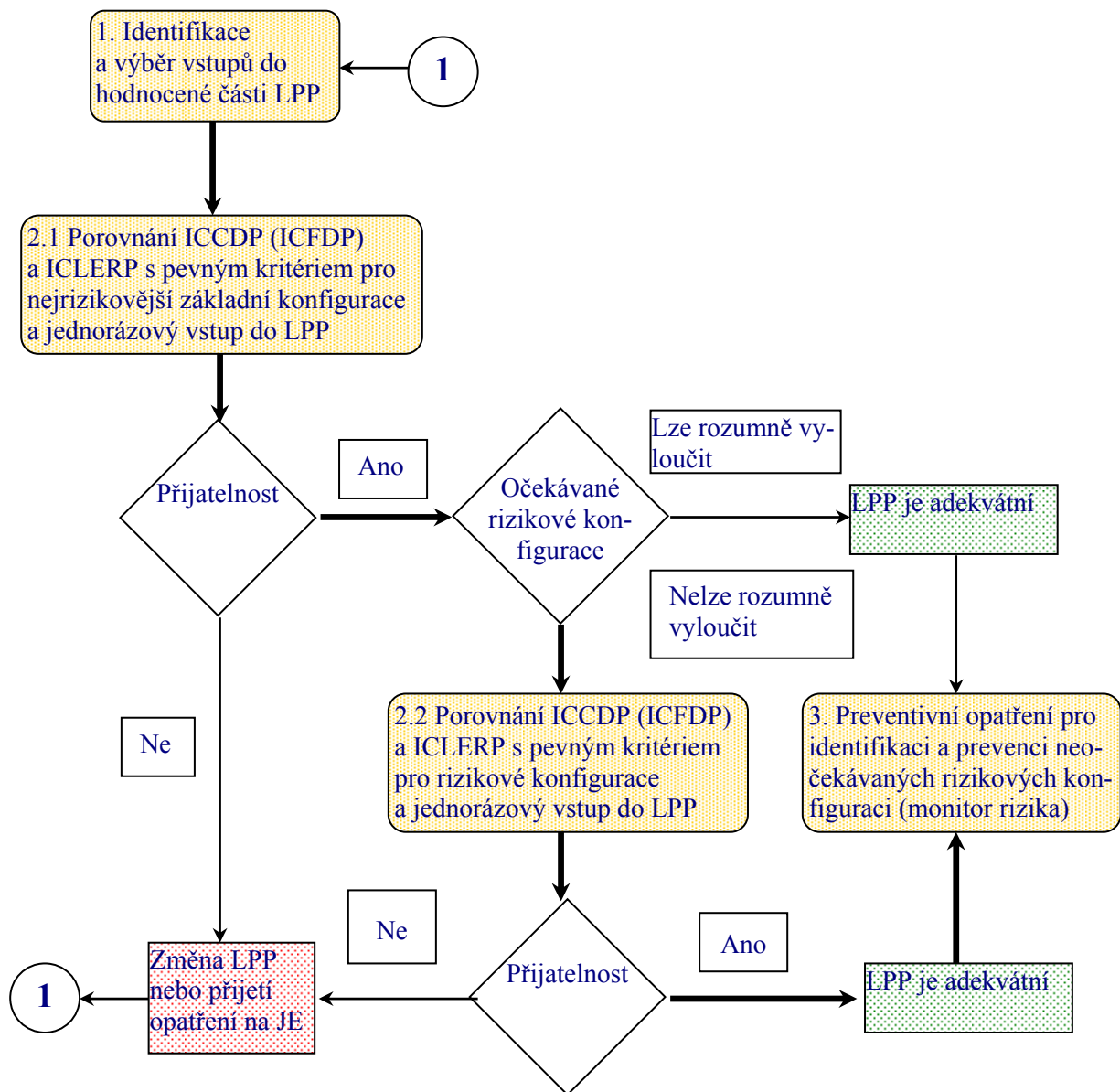
### **Schématický návod hodnocení adekvátnosti Dob provedení**

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### C.4.1 Hlavní kroky pravděpodobnostního hodnocení adekvátnosti Dob provedení

Hlavní kroky rizikově orientovaného pravděpodobnostního hodnocení adekvátnosti Dob provedení (AOT, doba do testu) v LaP jsou uvedeny na Obr. C.4-1. Je zde uvedena i jejich vzájemná návaznost a vliv na rozhodovací proces na JE.

**Obr. C.4-1: Hlavní kroky pravděpodobnostního hodnocení adekvátnosti LaP - LPP s AOT**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## C.4.2 Postup pravděpodobnostního hodnocení adekvátnosti Dob provedení

### ◆ Krok 1. Identifikace a výběr vstupů do hodnocené části LPP

Jedná se o identifikaci a výběr nejrizikovějšího pod systému/komponenty z hlediska jak  $CFDF_{CO}$  ( $CCDF_{CO}$ ), tak i  $CLERF_{CO}$  pro každou variantu hodnocené LPP (LPP A, LPP B, atd.).

$CCDF_{CO}$  ( $CFDF_{CO}$ ),  $CLERF_{CO}$  jsou podmíněné frekvence rizika pokračování v provozu v daném stavu při vstupu do LPP s neprovozuschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením, apod. Obecný výpočet těchto veličin je popsán v kap. B.1.3 Přílohy B.

Dále se provádí výběr pod systémů/komponent pro každou variantu hodnocené LPP (LPP A, LPP B, atd.), které mají v rámci jedné varianty LPP odlišný profil rizika v koncovém stavu odstavení vůči sledovanému stavu RB s čerpáním LPP.

Výsledkem výběru je tzv. základní konfigurace vstupu do hodnocené LPP.

### ◆ Krok 2. Porovnání rizika v důsledku jednorázového vstupu do hodnocené LPP

Zde je porovnáván přírůstek podmíněné pravděpodobnosti (ICFDP, ICLERP) v důsledku jednorázového vstupu do LPP s pevným kritériem. Pro přijatelnost LPP musí současně platit:

$$ICFDP = \Delta FDF \times AOT \leq 5 \times 10^{-7} \text{ (případně } ICCDP = \Delta CDF \times AOT \leq 5 \times 10^{-7})$$

$$ICLERP = \Delta LERF \times AOT \leq 5 \times 10^{-8}$$

kde je:

$$\Delta FDF = CFDF_{CO} - FDF_0$$

$$\Delta CDF = CCDF_{CO} - CDF_0$$

$$\Delta LERF = CLERF_{CO} - LERF_0$$

Tato kritéria byla původně převzata z RG 1.177 [G2], v jehož novější verzi z roku 2011 ovšem byla zmírněna na hodnoty  $1 \times 10^{-6}$  pro ICCDP (ICFDP) a  $1 \times 10^{-7}$  pro ICLERP. Význam jednotlivých veličin je popsán v následující kap. 3.III.7.3. Souvislost těchto měř rizika s ostatními veličinami a způsob jejich výpočtu je patrný také z Obr. C.4.-2.

#### 2.1 Porovnání rizika jednorázového vstupu pouze do hodnocené LPP (základní konfigurace)

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Provádí se zde výše uvedené porovnání rizika vybraných nejrizikovějších jednorázových vstupů do hodnocené LPP s pevným kritériem, a to bez souběhů s neprovozeroschopnostmi komponent, které nejsou předmětem hodnocené LPP.

## 2.2 Porovnání rizika jednorázového vstupu do hodnocené LPP pro rizikové konfigurace

Provádí se zde výše uvedené porovnání rizika vybraných jednorázových vstupů do hodnocené LPP s pevným kritériem při uvážení dovolených souběhů s neprovozeroschopnostmi ostatních zařízení či při netypických konfiguracích systémů v daném režimu JE. Součástí tohoto kroku je identifikace a výběr těchto rizikových konfigurací pro porovnání.

### ♦ Krok 3. Vyhodnocení rizika skutečných konfigurací

Zde je možno implementovat program, který by předem i on-line vhodně vyhodnotil vliv vzniklých konfigurací RB JE s různými neprovozeroschopnostmi systémů a komponent na riziko. Obvykle se takové vyhodnocení provádí tzv. monitorem rizika. Součástí tohoto programu musí být i postup pro zabránění nebo potlačení neakceptovatelného rizika z dovolených souběhů neprovozeroschopností.

## C.4.3 Zdůvodnění pravděpodobnostního hodnocení adekvátnosti Dob provedení

### C.4.3.1 Krok 1 - identifikace a výběr vstupů do hodnocené LPP

Tento krok je v hodnocení adekvátnosti LPP velmi důležitý, neboť výběr základní konfigurace pro hodnocení může významně ovlivnit získané výsledky. I když se provádí pravděpodobnostní hodnocení LaP, je nutno vzít v úvahu deterministickou podstatu LaP, tj. LaP by formálně měly platit a být adekvátní pro každý případ vyhovující podmínkám vstupu do LPP, nikoliv pouze pro relativně pravděpodobné události (neprovozeroschopnosti). Je proto nutno pro vyhodnocení přírůstku rizika plynoucího z čerpání LPP (ICCDP apod.) identifikovat a vybrat pokud možno nejhorší případ vstupu do hodnocené LPP pro krok 3.1 (tj. pouze do hodnocené LPP).

Dále je nutno nalézt takové podsystémy/komponenty, které mají v rámci jedné varianty hodnocené LPP (LPP A, LPP B, atd.) odlišný profil rizika při NEPSCH zařízení od ostatních vstupů do této varianty LPP.

Odlišným profilem rizika je zde z praktického hlediska míněna různá úroveň okamžitého rizika v koncovém stavu odstavení (ve smyslu větší nebo menší) vůči stavu s čerpáním LPP. Obecně je však různým profilem rizika míněna různá velikost kumulativního rizika (za stejnou dobu) při odstavení do koncového stavu odstavení (ve smyslu větší nebo menší) vůči tomuto riziku při pokračování provozu s čerpáním LPP ve sledovaném stavu.

Výběr musí zohlednit především:

- nesymetrii jednotlivých zálohovaných systémů,



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

- možnost a reálnost vstupu do hodnocené LPP s jednou nebo více poruchami (korektivní údržba),
- možnost identifikace potenciálních poruch se společnou příčinou (CCF) po vstupu do hodnocené LPP s korektivní údržbou (následné testy zbývajících redundantních komponent),
- možné konfigurace systémů daného RB i sousedních RB při čerpání LPP, pokud nespádají do hodnocení rizikových konfigurací,
- možné režimy daného RB při čerpání LPP, pokud nespádají do hodnocení rizikových konfigurací.

Pro identifikaci zařízení s odlišným profilem rizika při jejich NEPSCH se ve značné míře uplatní expertní odhad na základě znalosti modelu PSA, neboť odlišný profil rizika nijak nesouvisí s velikostí rizika při NEPSCH zařízení. Obvykle se tento výběr provádí na základě iterativního procesu s následujícím krokem 2. Pokud jsou tato zařízení identifikována, bude pravděpodobně nutno rozdělit tuto část LPP a definovat různé koncové stavy pro nové části.

Konkrétní zásady výběru základní konfigurace pro hodnocení adekvátnosti LPP modelem PSA jsou uvedeny v kap. D.2.1 Přílohy D.

### C.4.3.2 Krok 2 - porovnání rizika jednorázového vstupu do hodnocené LPP

#### C.4.3.2.1 Vzrůst podmíněné pravděpodobnosti při čerpání LPP

Jedná se o ekvivalent úrovně 1. analýzy (Tier 1) z RG 1.177 [G2]. V kroku 2.1 je porovnáván přírůstek pravděpodobnosti podmíněného rizika (ICCDP, ICFDP, ICLERP) v důsledku jednorázového vstupu do LPP s pevným kritériem přijatelnosti rizika. Toto porovnání je založeno na metodice US NRC pro posouzení LaP popsané v návodu RG 1.177. I když je tato metodika v principu určena pro rizikově orientované hodnocení trvalých změn LaP, tj. pro změnu licenčních podmínek, je možno ji s určitými korekcemi aplikovat i na posouzení adekvátnosti stávajících LaP.

Pro danou konfiguraci  $C_i$  musí dle vztahu (A1) Přílohy A platit následující obecný vztah:

$$\Delta r = \Delta R \times AOT = (R_1 - R_0) \times AOT \leq K_R$$

kde:

- $\Delta r$  - přírůstek pravděpodobnosti rizika od jednorázového čerpání AOT,
- AOT - dovolená doba vyřazení v daném režimu,
- $\Delta R$  - přírůstek rizika od jednorázového čerpání AOT (v jednotkách výskytu rizika za jednotku času, tj. frekvence),
- $R_1$  - podmíněná frekvence rizika z pokračování v provozu v daném režimu při neprovozu-schopnosti komponenty nebo její omezené schopnosti provést požadovanou funkci, vztahuje se tedy ke konkrétní konfiguraci bloku či elektrárny  $C_i$ ,
- $R_0$  - základní úroveň (frekvence) rizika se všemi komponentami provozuschopnými (tj. bez nepohotovostí v důsledku oprav, údržby nebo testů),
- $K_R$  - pevné kritérium přijatelnosti rizika.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Základní úroveň frekvence rizika je zde počítána pro stav provozu bloku či JE, ve kterém je i ostatní zařízení provozuschopné, nejen zařízení, které je předmětem hodnocené LPP (obecné vztahy v Příloze A v tomto směru neupřesňují stav provozuschopnosti ostatních zařízení).

Konkrétně, aby bylo AOT přijatelné, tak pro veličiny používané při hodnocení LaP a pro danou konfiguraci Ci musí současně platit:

$$\mathbf{ICFDP = \Delta FDF \times AOT \leq 5 \times 10^{-7} \quad (ICCDP = \Delta CDF \times AOT \leq 5 \times 10^{-7})}$$

a dále současně

$$\mathbf{ICLERP = \Delta LERF \times AOT \leq 5 \times 10^{-8}}$$

kde je:

$$\mathbf{ICFDP = \Delta FDP = \Delta FDF \times AOT = (FDF_{CO} - FDF_0) \times AOT}$$

$$\mathbf{ICCDP = \Delta CDP = \Delta CDF \times AOT = (CDF_{CO} - CDF_0) \times AOT}$$

$$\mathbf{ICLERP = \Delta LERP = \Delta LERF \times AOT = (LERF_{CO} - LERF_0) \times AOT}$$

Přičemž je:

$CFDF_{CO}$ ,  $CCDF_{CO}$ ,  $CLERF_{CO}$  - podmíněná frekvence rizika pokračování v provozu v daném stavu při vstupu do LPP s neprovozuschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod., vztahuje se tedy ke konkrétní konfiguraci bloku či elektrárny  $C_i$ ,

$FDF_0$ ,  $CDF_0$ ,  $LERF_0$  - základní úroveň (frekvence) rizika v obvyklé konfiguraci daného Režimu se všemi komponentami provozuschopnými (tj. bez nepohotovostí komponent v důsledku oprav, údržby nebo testů),

AOT - dovořená doba neprovozuschopnosti v daném režimu.

AOT zahrnuje jak dovořenou dobu provedení do obnovení provozuschopnosti, tak i část doby na odstavení, po kterou bude RB při odstavení setrvat v daném režimu.

Souvislost těchto měř rizika s ostatními veličinami a způsob jejich výpočtu je patrný také z Obr. C.4-2 a z kap. B.1.3 Přílohy B. Celková (nominální) hodnota rizika je zde přibližně zobrazena jako průměrná hodnota, pokud by graf obsahoval jeden PSA stav. Určení celkové hodnoty rizika v reálné PSA s více PSA stavy je podrobně popsáno v kap. B.1.1. Přílohy B. Konkrétní postupy pro výpočet ICFDP (ICCDP) a ICLERP modelem PSA jsou uvedeny v přílohách tohoto návodu.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

#### C.4.3.2.2 Stanovení typu a numerické hodnoty kritéria

Je preferováno použití pevného (fixního) kritéria pro vzrůst pravděpodobnosti podmíněného rizika při čerpání LPP (ICFDP, ICCDP, ICLERP).

Numerické hodnoty pevného kritéria byly původně převzaty z revize 0 RG 1.177, v jehož novější verzi z roku 2011 [G2] byly zmírněny na hodnoty  $1 \times 10^{-6}$  pro ICCDP (ICFDP) a  $1 \times 10^{-7}$  pro ICLERP. Hodnota  $5 \times 10^{-7}$  pro ICCDP v původní verzi RG 1.177 byla odvozena na základě akceptovaného dovoleného zvýšení okamžité CDF z hodnoty  $1 \times 10^{-4}$ /rok na hodnotu  $1 \times 10^{-3}$ /rok ( $\Delta CDF = 9 \times 10^{-4}$ /rok  $\cong 1 \times 10^{-7}$ /h) po dobu 5h. Hodnota pro ICLERP je desetinásobně zpřísněna (na  $5 \times 10^{-8}$ ). I když se formálně jedná o kritérium pro akceptovatelnost trvalých změn (tj. pro AOT po změně), z logiky věci vyplývá, že i stávající AOT by měla toto kritérium splňovat.

#### C.4.3.2.3 Rizikové konfigurace

Jedná se o ekvivalent úrovně 2. analýzy (Tier 2) z RG 1.177 [G2]. V kroku 2.2 je nutno provést identifikaci rizikových konfigurací (dovolených souběhů neprovozních ostatních zařízení se vstupy do hodnocené LPP, vstup dohodnocené LPP při netypických konfiguracích systémů apod.). Vybrané rizikové kombinace je nutno ocenit vzhledem ke kritériím přijatelnosti pro ICFDP (ICCDP) a ICLERP dle kap. C.4.3.2.1. V případě nesplnění těchto kritérií (nebo při neprovedení vyčerpávající identifikace či neprovedení vyhodnocení) je nutno přijmout opatření buď k zamezení vzniku rizikových konfigurací, nebo ke snížení rizika z těchto konfigurací, případně je nutno rozumně zaručit, že se takové konfigurace nevyskytnou.

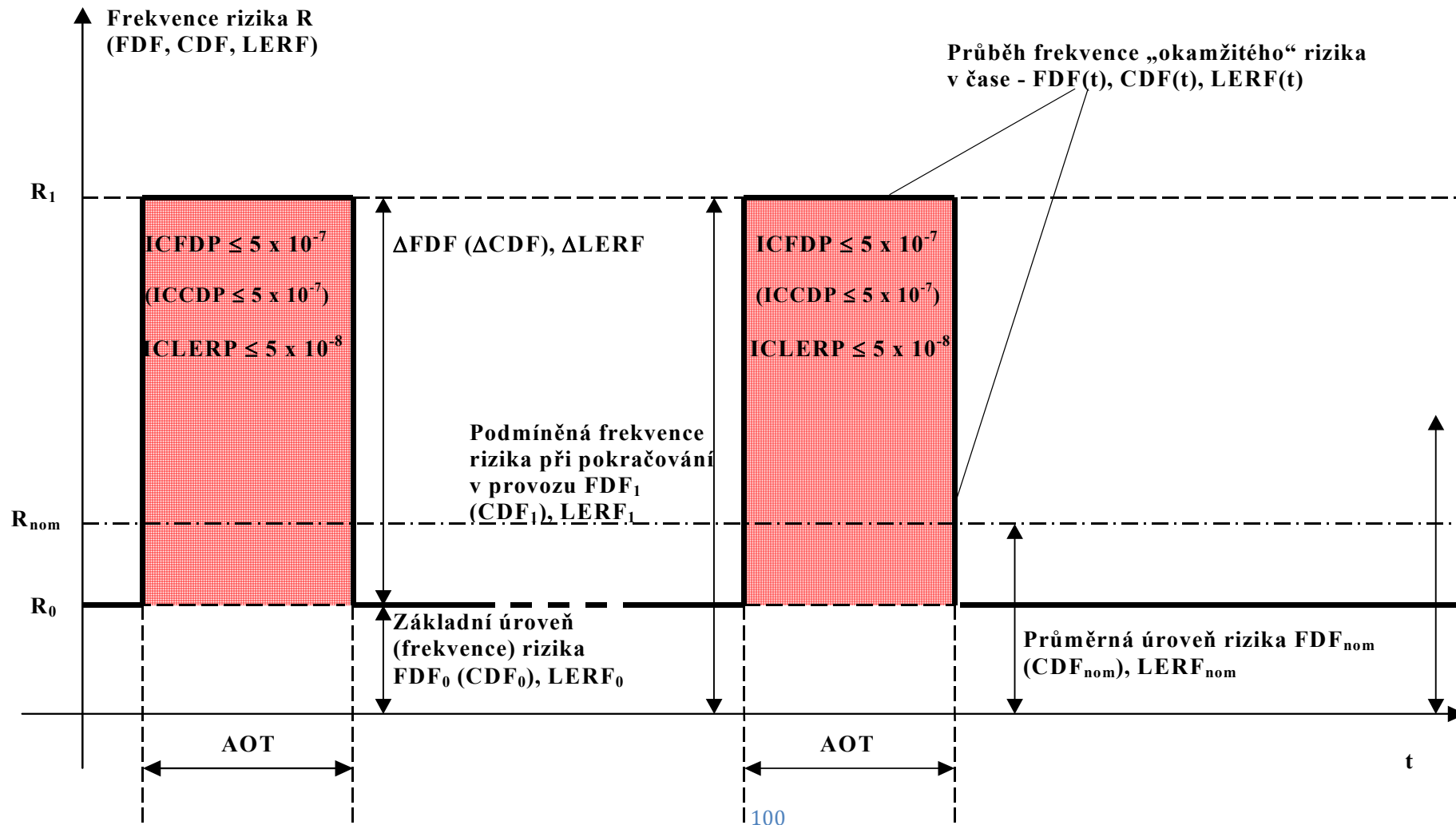
Pozn.: Jednou z možností, jak rozumně zaručit, že rizikové konfigurace budou vyloučeny, je i závazek na zkrácení Doby provedení příslušného LPP při vzniku rizikové konfigurace (např. při výskytu další poruchy), pro kterou bylo v úrovni 2 hodnocení LaP zjištěno překročení kritéria pro ICCDP(ICFDP) nebo ICLERP. Překročení těchto kritérií ve druhé úrovni hodnocení LaP tedy neznamená, že je příslušná LPP neadekvátní. Vzhledem k velmi nízké četnosti souběhu více selhání však případné zkrácení Doby provedení při rizikové konfiguraci není na překážku ani při provádění pravidelných údržeb (i při relativně vysoké intenzitě výskytu další poruchy  $10^{-5}$ /h, tj. cca  $10^{-1}$ /rok, která by mohla nastat během pravidelné údržby, by toto zkrácení Doby provedení nastalo jen přibližně jednou za 300 pravidelných údržeb s délkou 15 dnů).

Výběr rizikových konfigurací pro vyhodnocení je však vzhledem k jejich velkému množství obtížný a je na expertním posouzení, jak tyto konfigurace identifikovat a jaké konfigurace budou hodnoceny, tzn. pro jaké rizikové konfigurace bude riziko kontrolováno pomocí LaP, resp. předem připravenými nápravnými opatřeními, viz Příloha D, Obrázek D-1.

Při hodnocení adekvátnosti LPP jen pro účely nahodilé (neplánované) korektivní údržby není obecně nutno úroveň 2 analýzy (Tier 2) uvažovat [G2]. To však předpokládá implementaci úrovně 3 (Tier 3). Konkrétní zásady výběru souběhů neprovozních ostatních zařízení pro hodnocení adekvátnosti LPP modelem PSA jsou uvedeny v kapitole D.2.3 Přílohy D.

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obr. C.4-2: Kritéria přijatelnosti pro jednorázový vstup do LPP**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pozn. k Obr. C.4-2:

1. Podmíněným rizikem je míněno riziko s neprovozoschopnou komponentou, s nevyhovujícím nastavením apod.

### **C.4.3.3 Krok 3 - vyhodnocení rizika skutečných konfigurací**

Jedná se o ekvivalent úrovně 3. analýzy (Tier 3) z RG 1.177 [G2]. Potřeba tohoto kroku je dána obtížnou identifikací a vyhodnocením všech rizikových konfigurací v kroku 2.2. Je tedy vhodné pomocí LaP kontrolovat riziko pro rozumně očekávané konfigurace (včetně neprovozoschopností) a monitor rizika pak použít pro identifikaci, prevenci nebo potlačení neočekávaných nebo nepravděpodobných kombinací, viz Příloha D, Obrázek D-1.

Teoreticky bylo možno tuto úroveň vynechat, pokud by byly identifikovány a vyhodnoceny všechny rizikové konfigurace v kroku 2.2. To však je v praxi téměř neproveditelné.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## Příloha D

# Příklady řešení vybraných aspektů hodnocení změn AOT a koncových stavů odstavení

## D.1 Úvod

K metodice hodnocení LPP je nutno doplnit prováděcí návody pro hodnocení dob provedení modelem PSA, který podrobněji specifikuje následující postupy:

- postup pro výběr vstupu do LPP pro hodnocení LPP,
- postup pro kvantifikaci zvýšené (podmíněné) pravděpodobnosti selhání zbývajících redundantních komponent při vstupu do LPP s korektivní údržbou,
- postup pro výpočet podmíněného rizika v PSA,
- postup pro zahrnutí vlivu testů, které se provádějí po vstupu do LPP, do výpočtů AOT,
- postup pro ocenění efektů vstupu do LPP na model PSA,
- postup pro přesnější výpočet změny průměrného ročního rizika v důsledku změny LPP.

## D.2 Výběr konfigurace pro výpočet

### D.2.1 Čerpání jedné LPP (základní konfigurace)

Výběr konfigurace vstupu do hodnocené LPP může významně ovlivnit získané výsledky. I když se provádí pravděpodobnostní hodnocení LaP, je nutno vzít v úvahu deterministickou podstatu LaP, tj. LaP by měly platit a být adekvátní pro každý případ vyhovující podmínkám vstupu do LPP po její změně, nikoliv pouze pro relativně pravděpodobné události (neprovoznost).

Např. přiřazení dob provedení (AOT apod.) v LaP není dynamické (tj. v závislosti na konkrétní konfiguraci), ani pravděpodobnostní (tj. v závislosti na pravděpodobnosti výskytu konfigurace). Naopak je pevné, takže formálně platí pro všechny možné stavy, které splňují dané LPP.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Je proto nutno pro vyhodnocení přírůstku rizika plynoucího čerpání LPP (ICCDP, ICFDP, ICLERP) vybrat pokud možno nejhorší případ vstupu do změněné LPP. V praxi však může být výběr tohoto vstupu (např. neprovozoschopné komponenty) pro některé LPP velmi komplikovaný, neboť je potřeba vzít v úvahu řadu faktorů:

- ◆ divizi neprovozoschopné zálohované komponenty

Ani zálohované divize bezpečnostních systémů nebývají úplně symetrické nebo nemají úplně stejnou váhu při řešení IU.

- ◆ korektivní (po výskytu poruchy) či preventivní údržbu

Vstup s korektivní údržbou je obecně rizikovější, neboť příčinou poruchy by mohla být s jistou pravděpodobností i CCF současně vyřazující zálohované komponenty, podrobněji viz kap. D.4 Přílohy D. V hodnocení LaP je nutno tuto CCF zohlednit, viz také např. RG 1.177 [G2] nebo IAEA-TECDOC-729 [G7].

Na druhé straně je nutno posoudit reálnost výskytu korektivní údržby, a to zvláště u tzv. standby komponent, které se testují jen při odstávce.

- ◆ požadavky na testování komponent

Některé LPP vyžadují provedení testů zbývajících záložních divizí/komponent při vzniku neprovozoschopnosti komponenty, která je předmětem dané LPP.

Je ovšem nutno ověřit, zda jsou takovým testem prověřeny všechny komponenty záložních divizí. Neprovozoschopnost komponenty, jejíž zálohované protějšky v jiných divizích (podsystemech) se tímto následným testem neproověří, je obecně rizikovější, neboť při její korektivní údržbě se neodhalí případné působení CCF.

- ◆ důležitost (importanci) komponent v řešení odezvy bloku na IU

Neprovozoschopnost komponenty, která je v systému potřebná pro splnění nejvíce funkcí, je obecně rizikovější. Záleží však také na četnosti požadavků na jednotlivé funkce.

Pokud komponenta s největší důležitostí v systému není zřejmá, pak ji lze určit z výpočtu základního modelu PSA (se všemi systémy a komponentami provozuschopnými) dle největšího RIF (Risk Increase Factor).

- ◆ konfiguraci ostatních zařízení na JE

Jedná se obvykle o volitelné konfigurace zařízení s vlivem na riziko daného RB (napájení VS, stav sousedního RB, přejížděné pohony apod.). Dále je nutno zvážit i specifický stav zařízení při čerpání LPP (možnost náhradního nebo servisního zapojení el. napájení), a to především při OLM.

- ◆ sledovaný režim RB v LPP

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

V řadě případů nelze na začátku vyhodnocení jednoznačně stanovit konzervativní případy vstupů do LPP a konfigurací RB pro hodnocení LaP. Pak je potřeba provést (alespoň částečné) hodnocení pro více případů. Výběr základní konfigurace je tedy iterativní proces.

I když by měly být doby provedení do obnovení LPP limitní hodnotou adekvátní pro každý, tedy i pro nejkonzervativnější případ vyhovující podmínkám vstupu do LaP, v praxi je nutno tento konzervatismus omezit, neboť i při čerpání jedné LPP si lze představit i krajně nepravděpodobné podmínky vedoucí na enormní nárůst rizika.

Např. pro čerpání jedné LPP lze definovat i krajně nepravděpodobné souběhy poruch sériově zařazených komponent. V tomto případě by však v důsledku potenciálního CCF vyřazujícího záložní komponenty (jejichž počet může dosáhnout počtu komponent daného systému) došlo k neúměrnému vzrůstu rizika.

Pokud by se vyžadovala akceptovatelnost přírůstku rizika i pro krajně nepravděpodobné stavy čerpání LPP, ztratily by LaP smysl, neboť AOT by mohly být příliš krátké a pro praktický provoz JE nepoužitelné. Přitom pro častější případy čerpání těžké LPP by přírůstek rizika pro delší AOT byl akceptovatelný.

V případě prodloužení AOT platné i pro korektivní údržbu je vzhledem k existenci úrovně 2 a 3 hodnocení LaP v praxi postačující omezení každého uvažovaného vstupu do LPP na jednu poruchu zařízení podléhajícího LPP a obvyklou konfiguraci ostatních zařízení na JE.

Při hodnocení změn LPP pro účely korektivní údržby není nutno hodnotit změnu AOT v přechodových režimech podléhajících platnosti LPP (pokud není pro ně LPP prioritně určena), pokud lze ukázat, že náhodné protažení délky přechodového režimu do oblasti rozšířeného AOT v koincidenci s čerpáním LPP je možno zanedbat nebo je důsledkem odstavení po vyčerpání AOT sledovaného LPP. Pokud je provoz v přechodovém režimu vynucen předchozí jinou poruchou, tak je čerpání LPP je další poruchou, což už je riziková konfigurace. Dle kap. D.2.3 není nutno za předpokladu implementace monitoru rizika takové konfigurace hodnotit. Přechodovými režimy jsou míněny nízkovýkonové stavy a dále stavy do Režimu 5 včetně.

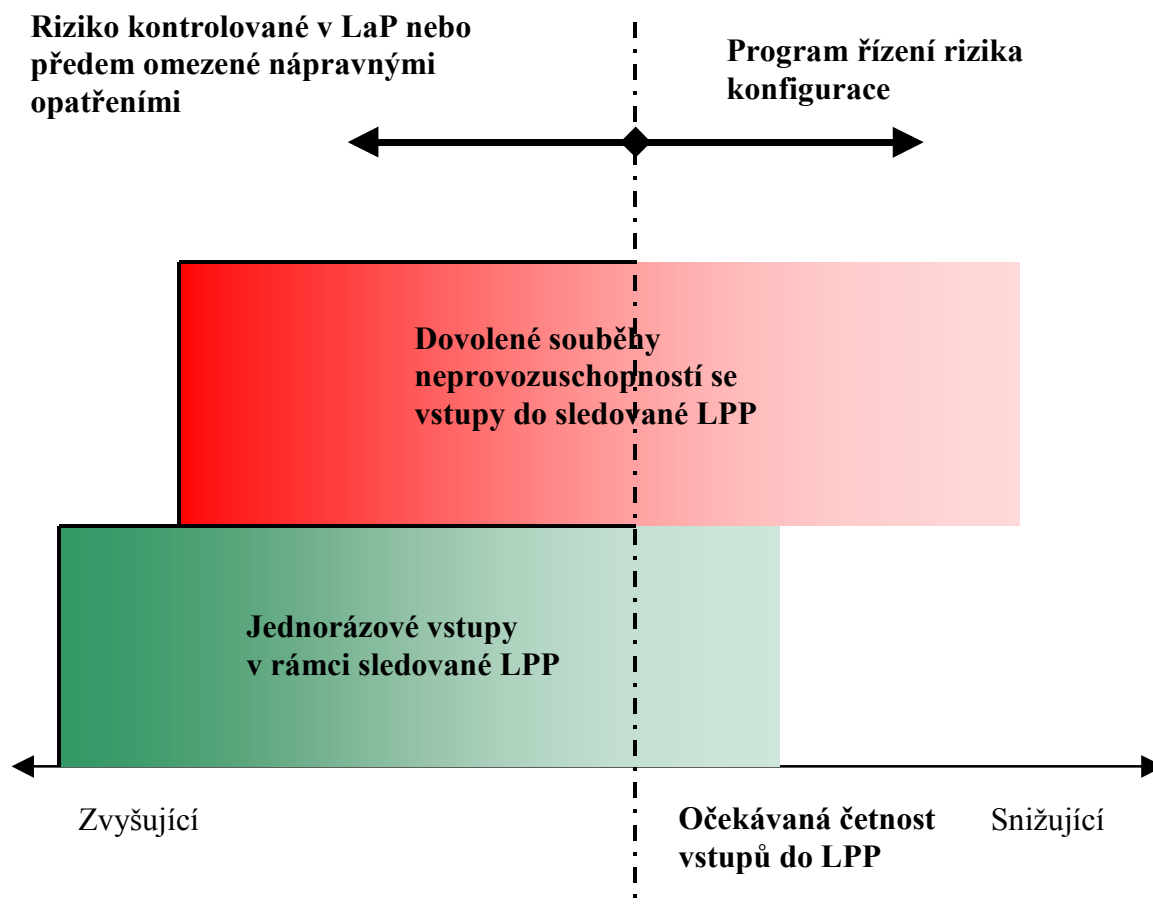
Pro prodloužení AOT platné pro preventivní údržbu (OLM) musí hodnocené konfigurace co nejlépe odpovídat očekávaným stavům při OLM, to znamená, že jako jednu událost lze uvažovat čerpání i více LPP současně.

V každém případě je třeba co možná nejpřesněji definovat oblast konfigurací RB, která je pomocí nového LPP kontrolována v pravděpodobnostním hodnocení úrovně 1, viz také Obrázek D-1. Dále je třeba zdůvodnit, že neuvažované konfigurace, pro něž nejsou už hodnocené konfigurace hraničním případem, nejsou obvyklými případy čerpání nového LPP a lze je buď zanedbat jako velmi nepravděpodobné, nebo jsou předmětem hodnocení úrovně 2 nebo 3.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obrázek D-1: Pokrytí rizikových konfigurací**



## D.2.2 Rizikové konfigurace

Výběr rizikových kombinací (souběhů neprovoznosti, souběhů LPP) pro vyhodnocení vzhledem ke kritériím přijatelnosti uvedeným v 1. úrovni hodnocení LaP je však vzhledem k jejich velkému množství obtížný. Je v podstatě na expertním posouzení na základě znalostí provozu JE, jaké kombinace neprovoznosti a konfigurací JE postačí vyhodnotit, tzn. pro jaké rizikové konfigurace se bude riziko limitovat pomocí LaP, viz též Obrázek D-1.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Jednou z navržených možností výběru rizikových kombinací je jejich identifikace pomocí importanční míry RIF (Risk Increase Factor), někdy také označované jako RAW (Risk Achievement Worth). Pro primární událost s nejvyšším RIF ve výpočtu podmíněného rizika při vstupu do hodnocené LPP ( $PDF_1$ ,  $CDF_1$ ,  $LERF_1$ ) se pak postuluje neprovozuschopnost (pokud je dovolen její souběh se vstupem do hodnocené LPP, nezpůsobí sama o sobě iniciační událost a je reálná). Pokud jsou rizikové konfigurace tímto způsobem identifikovány jen pro nejnepříznivější základní konfiguraci (např. pro divizi s nejnepříznivějšími následky NEPSCH), pak je potřeba prověřit, zda by mohly existovat ještě rizikovější kombinace pro ostatní základní konfigurace (např. pro NEPSCH zbývajících divizí).

Pozn.: Hodnoty podmíněného rizika ( $PDF_1$ ,  $CDF_1$ ,  $LERF_1$ ) je sice možné stanovit přímo z hodnot RIF (RAW) jako  $PDF_1 = PDF_0 \times RIF$  ( $CDF_1 = CDF_0 \times RIF$ ,  $LERF_1 = LERF_0 \times RIF$ ), ale je potřeba zvážit skutečnost, že hodnoty RIF jsou často ve výpočetních programech počítány zjednodušeným způsobem, zvláště pro různé poruchové módy a/nebo nemusí vystihovat všechny efekty NEPSCH komponenty. Při výpočtu hodnoty podmíněného rizika pomocí importančních měr (RIF a pod.) je proto potřeba ukázat, že tyto importanční míry dávají dostatečně přesné nebo konzervativní výstupy podmíněného rizika pro účely 2. stupně hodnocení LaP.

Souběh vstupu do hodnocené LPP a takto zvolené neprovozuschopnosti (může to být jak pro limitovanou, tak i pro nelimitovanou komponentu) se pak ocení vůči kritériím pro maximální dovolený přírůstek rizika (ICFDP, ICCDP, ICLERP).

Ocenění takto vybraných rizikových kombinací však obecně není postačujícím způsobem výběru rizikových kombinací. Nemusí se totiž identifikovat:

- očekávané rizikové kombinace nepohotovostí tří a více systémů,
- očekávané souběhy s plánovanou údržbou více komponent,

a to především pro preventivní údržbu.

Na druhé straně při hodnocení změny nebo adekvátnosti LPP jen pro účely nahodilé (neplánované) korektivní údržby není obecně nutno úroveň 2 (Tier 2) uvažovat [G2] a omezení vstupu do LPP na jednu poruchu zařízení podléhajícího LPP by mohlo být postačující, neboť současný výskyt další poruchy lze obvykle zanedbat. To však předpokládá implementaci programu (monitor rizika), který vhodně vyhodnotí vliv aktuálně vzniklých neočekávaných konfigurací RB JE na riziko. Součástí tohoto programu musí být i postup pro potlačení neakceptovatelného rizika z těchto konfigurací.

Přesto zůstává na expertním posouzení, zda je potřeba některé konfigurace, především volitelné, hodnotit, tzn. pro jaké rizikové konfigurace bude riziko kontrolováno pomocí LaP, resp. předem připravenými nápravnými opatřeními, viz také Obrázek D-1.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## D.3 Modelování vstupu do LPP

### D.3.1 Efekty neprovoznosti

Pro výpočet zvýšené úrovně rizika při čerpání LaP je nutno deterministicky postulovat neprovoznost příslušného systému (zařízení) v celém modelu PSA. To se obvykle provádí nastavením poruch daného systému/komponenty na hodnotu „True“ (porucha s jistotou nastala) pomocí příslušných prostředků výpočetního programu (nastavením přepínačů, primárních událostí nebo hradel), podrobněji viz kap. B.1.3 Přílohy B.

Neprovoznost daného systému však přináší i další vlivy na modelování odezvy bloku JE na IU v PSA. Je proto nutno k zabránění vzniku optimistického výstupu, resp. k získání realistického výstupu, prověřit vliv neprovoznosti na:

#### a) modely rozvoje havárií

Některé scénáře nemohou v důsledku neprovoznosti daného zařízení nastat, apod.

##### Příklady:

Neprovoznost NT systém SHCHZ nemůže způsobit únik chladiva přes přepad své nádrže v důsledku své nesprávné činnosti.

Neprovoznost VT systém SHCHZ nemůže způsobit PTS v důsledku svého nesprávného zprovoznění.

#### b) spolehlivostní modely a kritéria úspěchů systémů

##### Příklady:

Pokud se neprovoznost postuluje pro přejížděné čerpadlo, které je standardně v modelu PSA modelované (resp. nastavené pomocí přepínačů) jako běžící, pak je korektní modelovat (resp. nastavit přepínačem) jako běžící jiné čerpadlo.

Při neprovoznosti měřicího kanálu digitálního SKŘ normálně zapojeného v logice (kritérium úspěchu) 2 ze 3 se může automaticky měnit logika na zapojení 2 ze 2 nebo 1 ze 2. To vede ke změně modelů SKŘ.

#### c) vstupní data

Neprovoznost daného zařízení může mít vliv na kvantifikaci frekvencí IU, selhání lidského činitele, CCF apod. Zvláště je nutno věnovat pozornost podmíněné pravděpodobnosti selhání zbývajících redundantních komponent při korektivní údržbě (vstup do LPP s poruchou) zálohované komponenty, podrobněji viz kap. D.4.

##### Příklady:

Činnosti spojené s řízením JE a s opravami při neprovoznosti systému (a zvláště při neprovoznosti více systémů) mohou vést k většímu zatížení obsluhy BD nebo personálu JE než je obvyklé. To může způsobit dočasné zvýšení pravděpodobnosti selhání lidského činitele při reakci na případný vznik IU za těchto podmínek.

Očekávaná frekvence ztráty chladicího okruhu napájeného přejížděnými čerpadly se zvětší při postulované neprovoznosti několika z nich.

Automatická rekonfigurace měřicích kanálů pro digitální SKŘ může při neprovoznosti jednoho z nich změnit očekávanou frekvenci odstavení bloku od RTS.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### D.3.2 Další vlivy vstupu do LPP

Některé LPP obsahují požadavky na činnosti personálu JE, které je nutno provést při jejich čerpání. Je proto nutno tyto činnosti a jejich důsledky zohlednit v modelu PSA při hodnocení dané LPP. Jedná se např. o:

- ◆ Požadavky na změnu konfigurace

#### Příklady:

Při neprovoznosti měřicího kanálu RTS normálně zapojeného v logice (kritérium úspěchu) 2 ze 3 může LPP požadovat změnu logiky na zapojení buď 1 ze 2 nebo 2 ze 2. Kromě změn v modelu RTS tato změna může vést i k dočasné změně (buď zvýšení nebo snížení) frekvencí odstavení bloku od RTS.

- ◆ Požadavky na testování komponent

Některé LPP vyžadují provedení testů zbývajících záložních systémů/komponent při vzniku neprovoznosti komponenty, která je předmětem dané LPP. Zohlednění tohoto požadavku v modelu PSA pro hodnocení LPP je podrobněji popsáno v kap. D.6.1 a D.6.2 Přílohy D.

Při zkoumání vícenásobných změn ve strategii a frekvenci zkoušek je třeba vzít náležitě do úvahy celková změna rizika v důsledku provádění periodických kontrol (zkoušek, testů) zařízení při vícenásobných změnách.

## D.4 Kvantifikace podmíněné CCF

V této kapitole je popsán postup pro kvantifikaci zvýšené pravděpodobnosti selhání zbývajících redundantních komponent (podmíněná CCF) při vstupu do LPP s korektivní údržbou (příčinou poruchy mohla být s jistou pravděpodobností CCF).

### D.4.1 Obecný vztah

Podmíněná pravděpodobnost vzniku CCF je přibližně dána podílem CCF ovlivňujících všechny zbylé systémy (komponenty) a pravděpodobnosti poruchy komponenty (která zahrnuje všechny složky poruchy, jak nezávislou, tak i CCF). Přesnější vztah pro tohoto současného selhání při korektivní údržbě jedné komponenty lze nalézt v NUREG/CR-5485, Appendix E [G6]:

$$q_{S1} = P[S|A] = Q_s/Q_A \quad (D1)$$

Pokud je možná neprovoznost dvou a více ze zálohovaných systémů z důvodu korektivní údržby dvou a více zálohovaných komponent, pak platí.

$$q_{Sx} = P[S|A \cap B \cap \dots \cap X] = Q_s/Q_{A \cap B \cap \dots \cap X} \quad (D2)$$

kde je:

$q_{Sx}$  - pravděpodobnost, že dojde k současnému selhání zbývajících zálohovaných komponent, když došlo k selhání x komponent,

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Událost S - nežádoucí událost - současné selhání zbývajících zálohovaných komponent při selhání komponenty A nebo komponent A až X,

Událost A - podmíněná událost - selhání komponenty A, které nastalo z libovolné příčiny,

Událost  $A \cap B \cap \dots \cap X$  - podmíněná událost - současné selhání komponent A až X, které nastalo z libovolné příčiny,

$Q_A$  - celková pravděpodobnost poruchy komponenty A (zahrnuje všechny složky poruchy, jak nezávislou, tak i CCF),

$Q_{A \cap B \cap \dots \cap X}$  - celková pravděpodobnost současných poruch komponent A až X (zahrnuje všechny složky poruch, jak kombinace nezávislých poruch, tak i CCF),

$Q_S$  - pravděpodobnost současného selhání komponenty nebo komponent (těch, u kterých selhání nastalo) a zbývajících zálohovaných komponent.

V analýze LaP se nejčastěji posuzují korektivní údržby jedné komponenty ze skupiny dvojnásobně, trojnásobně a čtyřnásobně zálohovaných komponent a korektivní údržby dvou komponent ze skupiny trojnásobně a čtyřnásobně zálohovaných komponent. Uvedené případy jsou podrobněji řešeny v následujících odstavcích.

#### D.4.1 Dvojnásobně zálohované komponenty

Pro dvojnásobně zálohované systémy je selhání všech komponent (z libovolné příčiny, tj. nezávislá porucha, CCF a jejich kombinace) způsobeno následující sadou MKŘ:

$$[A_I B_I, CCF_{AB}]$$

Pravděpodobnost selhání všech komponent v CCF skupině dvou komponent je pak, viz také Tab. 5-2 v NUREG/CR-5485 [G6] pro výběr 1 ze 2:

$$Q_S = Q_1^2 + Q_2 \quad (D3)$$

Porucha jedné komponenty (např. A) v CCF skupině dvou komponent je obsažena v následující sadě událostí:

$$[A_I, CCF_{AB}]$$

Celková pravděpodobnost poruchy jedné komponenty (např. A) v CCF skupině dvou komponent je pak, viz také kap. A.2 v NUREG/CR-5485, Appendix A [G6]:

$$Q_A = Q_1 + Q_2 \quad (D4)$$

kde je:

$Q_1 = p(A_I) = p(B_I)$  - pravděpodobnost selhání právě jedné komponenty (nezávislá porucha),

$Q_2 = p(CCF_{AB})$  - pravděpodobnost současného selhání dvou komponent ze dvou z důvodu společné příčiny (CCF).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## D.4.2 Trojnásobně zálohované komponenty

Význam proměnných:

$Q_1 = p(A_I) = p(B_I) = p(C_I)$  - pravděpodobnost selhání právě jedné komponenty (nezávislá porucha),

$Q_2 = p(CCF_{AB}) = p(CCF_{AC}) = p(CCF_{BC})$  - pravděpodobnost současného selhání právě dvou komponent ze tří ze společné příčiny (CCF),

$Q_3 = p(CCF_{ABC})$  - pravděpodobnost současného selhání tří komponent ze tří ze společné příčiny (CCF).

### D.4.2.1 Obvyklý případ

- ◆ Korektivní údržba jednoho ze zálohovaných systémů

Pro trojnásobně zálohované systémy je selhání všech komponent (z libovolné příčiny, tj. nezávislá porucha, CCF a jejich kombinace) způsobeno následující sadou MKŘ:

$$[A_I B_I C_I, A_I CCF_{BC}, B_I CCF_{AC}, C_I CCF_{AB}, CCF_{ABC}]$$

Pravděpodobnost selhání všech komponent v CCF skupině tří komponent je pak, viz také Tab. 5-2 v NUREG/CR-5485 [G6] pro výběr 1 ze 3:

$$Q_S = Q_1^3 + 3Q_1Q_2 + Q_3 \quad (D5)$$

Porucha jedné komponenty (např. A) v CCF skupině tří komponent je obsažena v následující sadě událostí:

$$[A_I, CCF_{AB}, CCF_{AC}, CCF_{ABC}]$$

Celková pravděpodobnost poruchy jedné komponenty (např. A) v CCF skupině tří komponent je pak, viz také kap. A.2 v NUREG/CR-5485, Appendix A [G6]:

$$Q_A = Q_1 + 2Q_2 + Q_3 \quad (D6)$$

### D.4.2.2 Speciální případy

- ◆ Korektivní údržba jednoho ze zálohovaných systémů a současná preventivní údržba dalšího ze zálohovaných systémů

Pro trojnásobně zálohované systémy a preventivní údržbě (nedošlo k poruše zálohované komponenty) jednoho systému z nich (např. C) je selhání všech komponent (z libovolné příčiny, tj. nezávislá porucha, CCF a jejich kombinace) způsobeno následující sadou MKŘ:

$$[A_I B_I, A_I CCF_{BC}, B_I CCF_{AC}, CCF_{AB}, CCF_{ABC}]$$

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pravděpodobnost selhání všech komponent v CCF skupině tří komponent při preventivní údržbě jedné z nich je pak, viz také kap. E3.2 v NUREG/CR-5485, Appendix E [G6]:

$$Q_S = Q_1^2 + 2Q_1Q_2 + Q_2 + Q_3 \quad (D7)$$

Pro hodnotu  $Q_A$  (celková pravděpodobnost poruchy jedné komponenty v CCF skupině tří komponent) platí vztah (D6).

- ◆ Současná korektivní údržba dvou zálohovaných systémů

Současné selhání dvou komponent (např. A a B) v CCF skupině tří komponent je obsaženo v následující sadě událostí:

$$[A_1B_1, A_1CCF_{BC}, B_1CCF_{AC}, CCF_{AB}, CCF_{ABC}]$$

Pravděpodobnost současné poruchy dvou komponent v CCF skupině tří komponent pak je:

$$Q_{A \cap B} = Q_1^2 + 2Q_1Q_2 + Q_2 + Q_3 \quad (D8)$$

Pro hodnotu  $Q_S$  platí vztah (D5).

### D.4.3 Čtyřnásobně zálohované komponenty

Význam proměnných:

$Q_1 = p(A_1) = p(B_1) = p(C_1) = p(D_1)$  - pravděpodobnost selhání právě jedné komponenty (nezávislá porucha),

$Q_2 = p(CCF_{AB}) = p(CCF_{AC}) = p(CCF_{AD}) = p(CCF_{BC}) = p(CCF_{BD}) = p(CCF_{CD})$  - pravděpodobnost současného selhání právě dvou komponent ze čtyř ze společné příčiny (CCF),

$Q_3 = p(CCF_{ABC}) = p(CCF_{ABD}) = p(CCF_{ACD}) = p(CCF_{BCD})$  - pravděpodobnost současného selhání právě tří komponent ze čtyř ze společné příčiny (CCF),

$Q_4 = p(CCF_{ABCD})$  - pravděpodobnost současného selhání čtyř komponent ze čtyř ze společné příčiny (CCF).

#### D.4.3.1 Obvyklý případ

- ◆ Korektivní údržba jednoho ze zálohovaných systémů

Pro čtyřnásobně zálohované systémy je selhání všech zbývajících komponent (z libovolné příčiny, tj. nezávislá porucha, CCF a jejich kombinace) způsobeno následující sadou MKŘ:

$$[A_1B_1C_1D_1, A_1B_1CCF_{CD}, A_1C_1CCF_{BD}, A_1D_1CCF_{BC}, B_1C_1CCF_{AD}, B_1D_1CCF_{AC}, C_1D_1CCF_{AB}, CCF_{AB}CCF_{CD}, CCF_{AC}CCF_{BD}, CCF_{AD}CCF_{BC}, A_1CCF_{BCD}, B_1CCF_{ACD}, C_1CCF_{ABD}, D_1CCF_{ABC}, CCF_{ABCD}]$$

Pravděpodobnost selhání všech komponent v CCF skupině čtyř komponent je pak, viz také Tab. 5-2 v NUREG/CR-5485 [G6] pro výběr 1 ze 4:

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

$$Q_S = Q_1^4 + 6Q_1^2Q_2 + 3Q_2^2 + 4Q_1Q_3 + Q_4 \quad (D9)$$

Porucha jedné komponenty (např. A) v CCF skupině čtyř komponent je obsažena v následující sadě událostí:

$$[A_I, CCF_{AB}, CCF_{AC}, CCF_{AD}, CCF_{ABC}, CCF_{ABD}, CCF_{ACD}, CCF_{ABCD}]$$

Celková pravděpodobnost poruchy jedné komponenty (např. A) v CCF skupině čtyř komponent je pak, viz také. kap. A.2 v NUREG/CR-5485, Appendix A [G6]:

$$Q_A = Q_1 + 3Q_2 + 3Q_3 + Q_4 \quad (D10)$$

#### D.4.3.2 Speciální případy

- ◆ Korektivní údržba jednoho ze zálohovaných systémů a současná preventivní údržba dalšího ze zálohovaných systémů

Pro čtyřnásobně zálohované systémy a preventivní údržbě (nedošlo k poruše zálohované komponenty) jednoho systému z nich (např. D) je selhání všech komponent (z libovolné příčiny, tj. nezávislá porucha, CCF a jejich kombinace) způsobeno následující sadou MKŘ:

$$[A_I B_I C_I, A_I B_I CCF_{CD}, A_I C_I CCF_{BD}, B_I C_I CCF_{AD}, A_I CCF_{BC}, B_I CCF_{AC}, C_I CCF_{AB}, CCF_{AB} CCF_{CD}, CCF_{AC} CCF_{BD}, CCF_{AD} CCF_{BC}, A_I CCF_{BCD}, B_I CCF_{ACD}, C_I CCF_{ABD}, CCF_{ABC}, CCF_{ABCD}]$$

Pravděpodobnost selhání všech komponent v CCF skupině čtyř komponent při preventivní údržbě jedné z nich je pak:

$$Q_S = Q_1^3 + 3Q_1^2Q_2 + 3Q_1Q_2 + 3Q_2^2 + 3Q_1Q_3 + Q_3 + Q_4 \quad (D11)$$

Pro hodnotu  $Q_A$  platí vztah (D10).

- ◆ Korektivní údržba jednoho ze zálohovaných systémů a současná preventivní údržba dalších dvou ze zálohovaných systémů

Pro čtyřnásobně zálohované systémy a preventivní údržbě (nedošlo k poruše zálohované komponenty) dvou systému z nich (např. C a D) je selhání všech komponent (z libovolné příčiny, tj. nezávislá porucha, CCF a jejich kombinace) způsobeno následující sadou MKŘ:

$$[A_I B_I, A_I CCF_{BC}, A_I CCF_{BD}, B_I CCF_{AC}, B_I CCF_{AD}, CCF_{AC} CCF_{BD}, CCF_{AD} CCF_{BC}, A_I CCF_{BCD}, B_I CCF_{ACD}, CCF_{AB}, CCF_{ABC}, CCF_{ABCD}]$$

Pravděpodobnost selhání všech komponent v CCF skupině čtyř komponent při preventivní údržbě dvou z nich je pak:

$$Q_S = Q_1^2 + 4Q_1Q_2 + 2Q_2^2 + 2Q_1Q_3 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (D12)$$

Pro hodnotu  $Q_A$  platí vztah (D10).



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

- ◆ Současná korektivní údržba dvou zálohovaných systémů

Současné selhání dvou komponent (např. A a B) v CCF skupině čtyř komponent je obsaženo v následující sadě událostí:

$$[A_1B_1, A_1CCF_{BC}, A_1CCF_{BD}, B_1CCF_{AC}, B_1CCF_{AD}, A_1CCF_{BCD}, B_1CCF_{ACD}, CCF_{AC}CCF_{BD}, CCF_{AD}CCF_{BC}, CCF_{AB}, CCF_{ABC}, CCF_{ABD}, CCF_{ABCD}]$$

Pravděpodobnost současné poruchy dvou komponent v CCF skupině čtyř komponent pak je:

$$Q_{A \cap B} = Q_1^2 + 4Q_1Q_2 + 2Q_1Q_3 + 2Q_2^2 + Q_2 + 2Q_3 + Q_4 \quad (D13)$$

Pro hodnotu  $Q_S$  platí vztah (D9).

- ◆ Současná korektivní údržba dvou ze zálohovaných systémů a současná preventivní údržba dalšího ze zálohovaných systémů

Pro hodnotu  $Q_S$  platí vztah (D11) a pro hodnotu  $Q_{A \cap B}$  platí vztah (D13).

## D.5 Výpočet rizika v PSA

### D.5.1 Výpočet frekvence okamžitého rizika v daném PSA stavu

Pro konkrétní období, např. konkrétní rok, jsou frekvence IU (vztahené na základní jednotku času, tj. hodinu nebo rok) v každém PSA stavu (POSu) vynásobeny délkou PSA stavu v daném roce a výstupem PSA modelu by byly pravděpodobnosti rizika pro daný PSA stav. V PSA modelu se používají průměrné délky PSA stavu během roku (tj. v jednotkách času za rok), někdy také nazývané poměrové koeficienty, neboť to jsou bezrozměrné veličiny, a výsledkem je průměrná pravděpodobnost rizika (v jednotkách 1/rok) v daném PSA stavu.

Úroveň (frekvenci) rizika v daném PSA stavu je pak nutno vypočítat z průměrné pravděpodobnosti rizika z následujícího vztahu:

$$R_i = \frac{r_i}{T_i} \quad (D14)$$

kde je:

- $r_i$  - průměrná pravděpodobnost daného rizika v i-tém PSA stavu v jednotkách 1/rok (obvyklý výstup z modelu PSA),
- $T_i$  - průměrná délka i-tého PSA stavu za období jednoho roku (bezrozměrná veličina), neboli poměrový koeficient trvání daného PSA stavu během roku.

Uvedený postup platí pouze pro IU s časově závislými frekvencemi IU. Pro IU s frekvencemi nezávislými na čase se do výpočtu ICCDP, ICFDP, ICLERP dosazuje rovnou pravděpodobnost  $r_i$ , viz následující kapitola D.5.2.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Základní úroveň frekvence rizika  $R_0$  ( $CDF_0$ ,  $FDF_0$ ,  $LERF_0$ ) v daném režimu (PSA stavu) se získá z výpočtu modelu PSA dle rovnice D12 pro typickou konfiguraci daného režimu, ve kterém se neuvažují žádné nepohotovosti komponent (tj. bez nepohotovosti v důsledku oprav, údržby nebo testů).

Podmíněná frekvence rizika  $R_1$  ( $CDF_1$ ,  $FDF_1$ ,  $LERF_1$ ) v daném režimu (PSA stavu) se získá z výpočtu modelu PSA dle rovnice D12, ve kterém se uvažuje pouze daná konfigurace (včetně nepohotovostí), jinak podobně jako pro základní úroveň rizika bez dalších nepohotovostí komponent (tj. bez dalších nepohotovostí v důsledku oprav, údržby nebo testů).

## D.5.2 Výpočet AOT s rizikem nezávislým na čase

Vztah (A1) uvedený v Příloze A platí pro riziko od IU, jejichž frekvence je závislá na čase (čím větší je časový úsek, tím větší je riziko). Během doby čerpání AOT v dané konfiguraci a v daném PSA stavu se mohou vyskytnout i IU, jejichž frekvence nezávisí na čase, ale na počtu manipulací (tj. riziko je stejné bez ohledu na velikost časového úseku okolo rizikové manipulace).

Tyto IU jsou v nízkých režimech, pro které LPP s definovaným AOT platí, velmi řídké. Pokud jsou však možné (např. neuzavření OVKO při jeho testu v Režimu 3 na JE Dukovany), pak se obecný vzorec pro výpočet přírůstku pravděpodobnosti rizika modifikuje na:

$$\Delta r = \Delta R_T \times AOT + \Delta r_S \quad (D15)$$

kde:

$\Delta r$  - přírůstek pravděpodobnosti rizika od jednorázového čerpání AOT,

AOT - dovolená doba vyřazení v daném režimu,

$\Delta R_T$  - přírůstek rizika od jednorázového čerpání AOT (v jednotkách výskytu rizika za jednotku času, tj. frekvence) pro IU s časově závislými frekvencemi vzniku,

$\Delta r_S$  - přírůstek pravděpodobnosti rizika od jednorázového čerpání AOT pro IU s časově nezávislými frekvencemi vzniku.

S použitím vztahu (A8), který je uveden v Příloze A, se získá maximální dovolený čas pro neprovozuschopnost limitních systémů (zařízení) s uvažováním jak IU s časově závislými frekvencemi jejich vzniku, tak i s IU s časově nezávislými frekvencemi vzniku:

$$AOT_{\max} = \frac{K_R - \Delta r_S}{\Delta R_T} \quad (D16)$$

Pro jednotlivé druhy rizik obvykle počítaných v PSA pak platí:

$$AOT_{\max} = \frac{K_{ICCDP} - (CCDP_{S1} - CCDP_{S0})}{CDF_{T1} - CDF_{T0}} \quad (D17)$$

$$AOT_{\max} = \frac{K_{ICFDP} - (CFDP_{S1} - CFDP_{S0})}{FDF_{T1} - FDF_{T0}} \quad (D18)$$

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

$$AOT_{\max} = \frac{K_{ICLERP} - (CLERP_{S1} - CLERP_{S0})}{LERF_{T1} - LERF_{T0}} \quad (D19)$$

## D.6 Zohlednění testů při čerpání LPP

Některé LPP vyžadují provedení testů zbývajících záložních systémů/komponent při vzniku neprovoznosti komponenty, která je předmětem dané LPP, a to buď před začátkem čerpání LPP (preventivní údržba), nebo do určité doby po začátku LPP (korektivní údržba).

V této kapitole je tedy podán návod pro zahrnutí vlivu těchto testů do výpočtů rizika modelem PSA. Dále je zde uveden možný postup pro zohlednění doby do provedení testu při stanovení maximálního AOT.

### D.6.1 Vliv testu požadovaného při čerpání LPP

Testy komponent/systémů v důsledku požadavku LPP před vstupem nebo po vstupu do LPP mají následující efekt na riziko provozu bloku:

- ◆ Možnost odhalení poruchy se společnou příčinou (CCF) zálohovaných komponent, která může být také příčinou čerpání LaP v důsledku poruchy komponenty (korektivní údržba).

Pokud je příčina vstupu CCF, pak se projeví při testu. Pokud je nutno přejít do vyššího režimu (bezpečného stavu) z důvodu LaP (neprovoznost více zálohovaných komponent), tak výpočet AOT pro daný režim nemá smysl provádět. Pokud se CCF neprojeví, pak není nutno zvyšovat pravděpodobnost selhání zbývajících redundantních komponent (podmíněně CCF) při vstupu do LPP s korektivní údržbou, viz kapitola D.4. v Příloze D.

- ◆ Je možno počítat s lepší pohotovostí takto testovaných komponent, neboť testem se odhalí latentní poruchy nasbírané během vyčkávání komponenty.

Pokud se porucha projeví a následkem toho je nutno odstavit blok do bezpečného stavu z důvodu LaP (neprovoznost více zálohovaných komponent), tak výpočet AOT pro daný režim nemá smysl provádět. Pokud se porucha neprojeví, pak je možno zanedbat časově závislou složku poruchy (latentní poruchy vzniklé během vyčkávání komponenty).

Z výše uvedeného plyne, že:

1. v případě vstupu do LPP z důvodu poruchy (korektivní údržba) komponenty, jejíž redundantní komponenty (podléhající stejné CCF skupině) jsou testované po vstupu do LPP, není obvykle nutno uvažovat podmíněnou pravděpodobnost selhání v důsledku CCF zbývajících redundantních komponent,

Pozn.: Teoreticky by se podmíněná pravděpodobnost selhání v důsledku CCF dle kap D.4 uplatnila při maximální dovolené AOT kratší než doba provedení do testu, tj. pokud platí vztah (D22) z kap. D.6.2. To je však spíše hypotetické, neboť při době do testu 4 h a kritériu pro maximální ICCDP  $5 \times 10^{-7}$  by musel být nárůst CDF v důsledku NEPSCH ( $\Delta CDF$ ) vyšší než  $10^{-3}/\text{rok}$ .

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

2. pro komponenty testované po vstupu nebo před vstupem do LPP lze uvažovat pravděpodobnost jejího selhání pouze od šokové složky poruch, která bývá obvykle jen zlomkem celkové pravděpodobnost selhání komponenty.

## D.6.2 Vliv doby provedení do testu požadovaného při čerpání LPP

Při testu komponenty/systému v důsledku požadavku LPP po vstupu do LPP je přesný výpočet maximálního AOT složitější, neboť se tímto testem mění spolehlivost odezvy bloku JE na případnou havárii během neprovoznosti dané konfigurace. Pro zahrnutí doby provedení do testu vyžadovaném LPP po vstupu do LPP lze obecný vztah (A1) uvedený v Příloze A upravit následujícím způsobem, viz Obrázek D-2:

$$AOT_T \times \Delta R_1 + (AOT - AOT_T) \times \Delta R_2 \leq K_R \quad (D20)$$

kde:

- $AOT_T$  - doba od vzniku neprovoznosti, po které se má provést test dle LPP,  
 $AOT$  - celková dovozená doba neprovoznosti (včetně doby do provedení testu),  
 $\Delta R_1 = R_1 - R_0$  - změna rizika bez provedení testu,  
 $\Delta R_2 = R_2 - R_0$  - změna rizika po provedení testu,  
 $R_1$  - podmíněné riziko pokračování v provozu v daném režimu při neprovoznosti komponenty do provedení testu,  
 $R_2$  - podmíněné riziko pokračování v provozu v daném režimu při neprovoznosti komponenty po provedení testu,  
 $R_0$  - podmíněné riziko v daném režimu se všemi relevantními komponentami provozuschopnými,  
 $K_R$  - kritérium přijatelnosti pro daný druh rizika.

Riziko  $R_2$  se pak počítá s uvažováním vlivu testu při čerpání LPP, viz kapitola D.6.1 Přílohy D.

Dosažením  $AOT_{max}$  do rovnice (D18) za  $AOT$  se získá maximální dovozený čas nepohotovosti limitních systémů (zařízení) v případech, kdy se vyžaduje následný test při čerpání LPP.

$$AOT_{max} = AOT_T + \frac{K - AOT_T \times \Delta R_1}{\Delta R_2} \quad (D21)$$

Pokud je maximální přípustné  $AOT$  pro neprovoznost systému bez uvažování testu menší než doba od vzniku neprovoznosti do testu, pak jakýkoliv test splnění kritéria nezajistí (bylo porušeno už v době, než se provedl test).

Proto pro:

$$\frac{K}{\Delta R_1} < AOT_T \quad (D22)$$

se vztah (D21) nemůže použít a je nutno maximální dovozený čas nepohotovosti stanovit z obecného vztahu (A8), který je uveden v Příloze A, bez jakéhokoliv uvažování vlivu testu při čerpání LPP z kapitoly D.6.1, avšak s podmíněnou pravděpodobnost selhání v důsledku CCF, viz kap. D.6.2.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

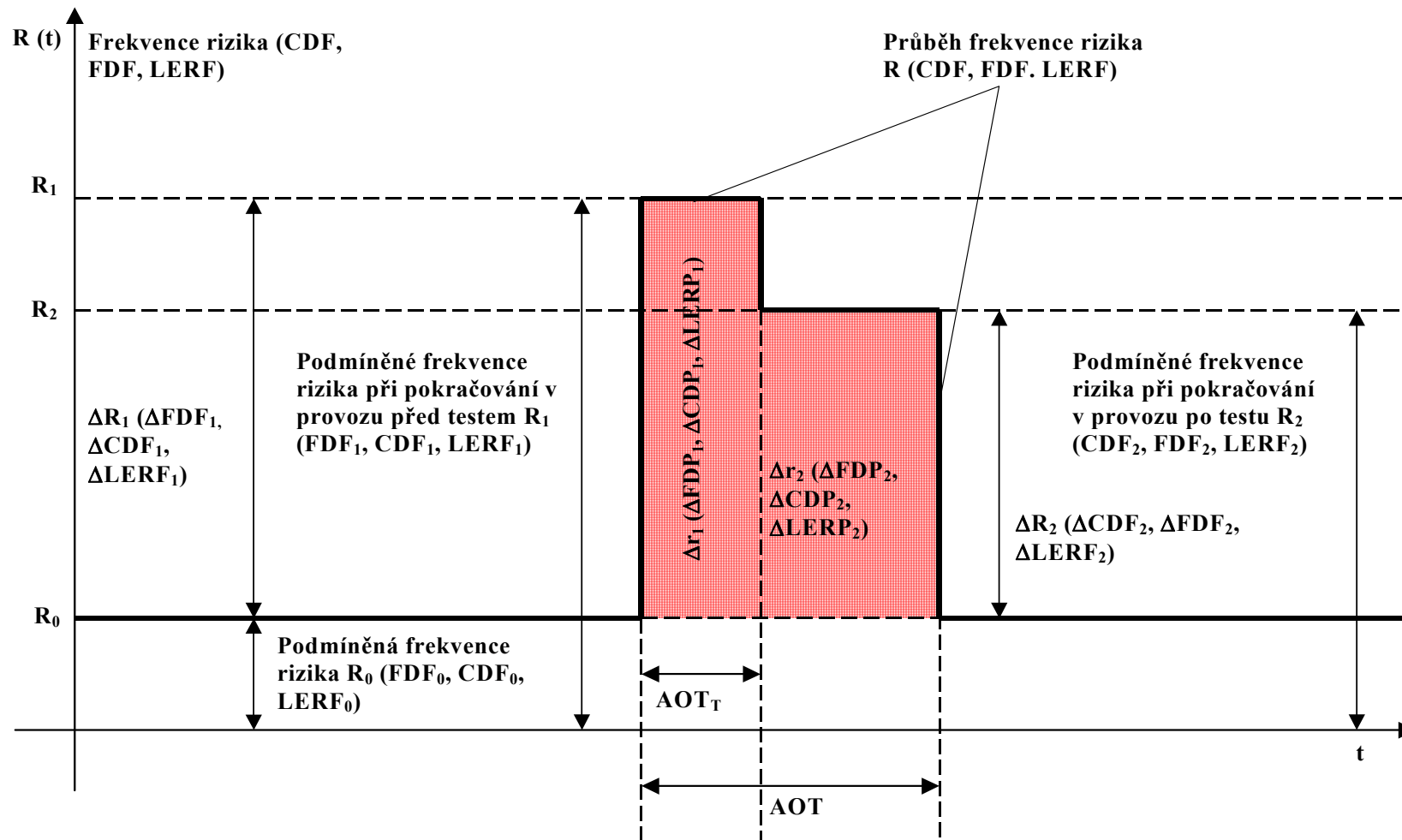
Pro jednotlivé druhy rizik obvykle počítaných v PSA pak platí:

$$AOT_{\max} = AOT_T + \frac{K_{ICCDP} - AOT_T \times \Delta CDF_1}{\Delta CDF_2} \quad (D23)$$

$$AOT_{\max} = AOT_T + \frac{K_{ICFDP} - AOT_T \times \Delta FDF_1}{\Delta FDF_2} \quad (D24)$$

$$AOT_{\max} = AOT_T + \frac{K_{ICLERP} - AOT_T \times \Delta LERF_1}{\Delta LERF_2} \quad (D25)$$

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018



Obrázek D-2: Příklad růstu rizika od jednorázového čerpání AOT s uvažováním testů

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## D.7 Výpočet kumulativního efektu změny LPP

Průměrné roční riziko provozu JE je vypočteno pomocí PSA mj. i s uvážením nepohotovosti komponent nebo systémů v důsledku oprav a údržeb. Tyto nepohotovosti se obvykle určují na základě historie provozu JE ze skutečných dat prostojů komponent. Předpokládá se přitom, že za stejných podmínek bude tato nepohotovost stejná i v budoucnu (PSA je vlastně předpověď rizika pro blízkou budoucnost z předchozích dat historie provozu).

Při změně LaP se však podmínky na JE mění (data prostojů komponent odpovídaly původní LPP) a není zaručeno, že nepohotovosti komponent v důsledku oprav a údržeb budou stejné. Například v důsledku prodloužení LPP se bude provádět v daném režimu preventivní údržba, které se dříve neprováděla, nebo opravy nepodstatných poruch (drobné úniku média apod.) se nebudou odkládat až na odstávku, atd.

Na základě znalosti  $\Delta r$  (ICFDP, ICCDP, ICLERP) pro neprovozuschopnost komponent podléhajících dané LPP lze provést přesnější výpočet změny průměrného ročního rizika při změně LPP.

Je-li příspěvek všech čerpání AOT z původní LPP k průměrnému ročnímu riziku  $R_{y0}$ , pak vliv změny na roční riziko lze vyjádřit vztahem:

$$\Delta R_y = R_y - R_{y0} \quad (D26)$$

kde je:

$R_y$  - očekávaný příspěvek všech čerpání AOT změněné LPP (obvykle prodloužené AOT) k průměrnému ročnímu riziku.

Protože technika výpočtu ICFDP, ICCDP, ICLERP je pro preventivní a korektivní údržbu odlišná kvůli vlivu CCF, viz kapitola D.4 Přílohy D, je nutno i jejich příspěvky k průměrnému ročnímu riziku odlišit.

$$\Delta R_y = \Delta R_{yCM} + \Delta R_{yPM} \quad (D27)$$

Pokud se na každý člen pravé strany rovnice (D27) uplatní rovnice (D25) a použijí se rovnice

$$R_{yCM} = \sum_i f_{CMi} \times \Delta R_{CM} \times AOT_{CMi} = \Delta R_{CM} \times AOT_{CMstř} \quad (D28)$$

$$R_{yPM} = \sum_i f_{PMi} \times \Delta R_{PM} \times AOT_{PMi} = \Delta R_{PM} \times AOT_{PMsum} \quad (D29)$$

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

pak lze jednoduchou úpravou získat vztah:

$$\Delta R_y = \Delta R_{CM} \times \Delta AOT_{CMstř} + \Delta R_{PM} \times \Delta AOT_{PM} \quad (D30)$$

kde je:

- $f_{CMi}, f_{PMi}$  - frekvence vzniku daného druhu neprovozeroschopnosti s příslušným  $AOT_{CMi}$ , resp.  $AOT_{PMi}$ , během roku (rozměr veličiny je  $1/y$ ),
- $AOT_{CMstř}$  - průměrná délka  $AOT_{CM}$  během jednoho roku (rozměr veličiny je počet časových jednotek za rok),
- $AOT_{PMsum}$  - souhrnná délka  $AOT_{PM}$  za jeden rok (rozměr veličiny je počet časových jednotek za rok),
- $\Delta R_{CM}$  - přírůstek rizika od jednorázového čerpání AOT v důsledku korektivní údržby (v jednotkách výskytu rizika za jednotku času, tj. frekvence),
- $\Delta AOT_{CMstř}$  - průměrný přírůstek AOT v důsledku korektivní údržby během jednoho roku po změně LPP (rozměr veličiny je počet časových jednotek za rok),
- $\Delta R_{PM}$  - přírůstek rizika od jednorázového čerpání AOT v důsledku preventivní údržby (v jednotkách výskytu rizika za jednotku času, tj. frekvence),
- $\Delta AOT_{PM}$  - přírůstek AOT v důsledku preventivní údržby během jednoho roku po změně LPP (rozměr veličiny je počet časových jednotek za rok).

Pro výpočet  $\Delta R$  platí vztahy použité v kap. A.2 Přílohy A. V případě vícenásobně zálohovaných systémů lze přírůstky rizika aproximovat nejhorším případem na všechny zálohované divize, viz kapitola D.2.1 Přílohy D, nebo je možno spočítat přírůstky rizika pro každou divizi a sečíst je, přičemž každá divize může mít i vlastní  $\Delta AOT_{CMstř}$ , případně i  $\Delta AOT_{PMsum}$ .

Pro jednotlivé druhy rizik obvykle počítaných v PSA pak platí:

$$\Delta CDF_y = \Delta CDF_{CM} \times \Delta AOT_{CMstř} + \Delta CDF_{PM} \times \Delta AOT_{PM} \quad (D31)$$

$$\Delta FDF_y = \Delta FDF_{CM} \times \Delta AOT_{CMstř} + \Delta FDF_{PM} \times \Delta AOT_{PM} \quad (D32)$$

$$\Delta LERF_y = \Delta LERF_{CM} \times \Delta AOT_{CMstř} + \Delta LERF_{PM} \times \Delta AOT_{PM} \quad (D33)$$

Pro přírůstky AOT během jednoho roku po změně LPP platí:

$$\Delta AOT_{CMstř} = AOT_{CMstř} - AOT_{CM0stř} \quad (D34)$$

$$\Delta AOT_{PM} = AOT_{PMsum} - AOT_{PM0sum} \quad (D35)$$

kde je:

- $AOT_{PMsum}$  - celková očekávaná délka neprovozeroschopnosti komponenty nebo systému v důsledku preventivní údržby během jednoho roku po změně LPP,
- $AOT_{PM0sum}$  - původní celková délka neprovozeroschopnosti komponenty nebo systému v důsledku preventivní údržby během jednoho roku před změnou LPP (z historie provozu JE),
- $AOT_{CMstř}$  - očekávaná průměrná délka neprovozeroschopnosti komponenty nebo systému v důsledku korektivní údržby během jednoho roku po změně LPP,



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

$AOT_{CM0stř}$  - původní průměrná délka neprovoznosti komponenty nebo systému v důsledku korektivní údržby během jednoho roku před změnou LPP (z historie provozu JE).

Očekávaná  $AOT_{PMsum}$  je obvykle známa ze záměru změny LaP, určení  $AOT_{CMstř}$  je však problematické. Pokud nejsou k dispozici specifické poznatky, které by dovolily určit, jak se změny doby prostoje po změně LPP, pak lze využít postup pro předpověď dob prostoje v komponent po změně LPP kvůli korektivní údržbě z NUREG/CR-6141, kap. 3.2.8 [G5]:

$$AOT_{CMstř} = AOT_{CM0stř} \times \frac{AOT}{AOT_0} \quad (D36)$$

kde:

$AOT$  - nová dovolená doba neprovoznosti ve změněné LPP,

$AOT_0$  - původní dovolená doba neprovoznosti před změnou dané LPP.

Pokud je  $AOT_{CM0stř} < AOT_0$ , pak je vhodné použít konzervativnější přístup a předpokládat, viz např. NUREG/CR-6141, kap. 3.3.1 [G5]:

$$AOT_{CMstř} = AOT \quad (D37)$$

## D.8 Výpočet limitní doby opravy při porovnání koncových stavů odstavení

I když je úroveň okamžitého rizika v navrženém koncovém stavu nižší než v původním koncovém stavu odstavení, tak existují tzv. specifické případy, kdy by mohlo být za určitých okolností kumulativní riziko při odstavení do nového koncového stavu vyšší než pro původní stav. Jedná se o následující případy:

- úroveň rizika v mezistavech (mezi původním a navrženým koncovým stavem) je nižší než pro navrhovaný koncový stav a ten předchází (při odstavování) těmto mezistavům,
- úroveň rizika v mezistavech (mezi původním a navrženým koncovým stavem) je vyšší než pro navrhovaný koncový stav a ten následuje (při odstavování) po mezistavech.

Pro tyto případy lze stanovit mezní hodnotu očekávané doby opravy, a to tak, že pokud je doba opravy delší než určitá (mezní) hodnota, tak je i kumulativní riziko při odstavení do navrženého koncového stavu nižší než při odstavení do původního koncového stavu. Pokud je tato mezní doba opravy velmi krátká (nebo záporná), tak lze rozumně předpokládat, že obvyklé délky opravy budou nad touto limitní hodnotou.

### D.8.1 Navržený koncový stav předchází původnímu koncovému stavu odstavení

Jedná se o případ a) výše. Zde postačí porovnávat riziko:

- od vstupu do navrhovaného koncového stavu odstavení, neboť průběh odstavení RB je do dosažení navrhovaného koncového stavu odstavení totožný,
- do opuštění navrhovaného koncového stavu odstavení, neboť průběh náběhu RB je od opuštění navrhovaného koncového stavu odstavení totožný.

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pro kumulativní riziko od vstupu do navrhovaného koncového stavu odstavení a setrvání v něm do jeho opuštění po ukončení opravy platí:

$$r_N = CR_N \times TR + R_N \times T_{NU} \quad (D38)$$

kde je:

- $r_N$  - kumulativní riziko z odstavení do navrhovaného koncového stavu odstavení,
- $CR_N$  - podmíněná četnost sledované míry rizika (CCDF, CFDF, CLERF) v navrhovaném koncovém stavu odstavení s NEPSCH komponentou,
- $TR$  - doba opravy NEPSCH zařízení,
- $R_N$  - četnost sledované míry rizika (CDF, FDF, LERF) v navrhovaném koncovém stavu odstavení po opravě komponenty,
- $T_{NU}$  - obvyklá doba strávená v navrhovaném koncovém stavu odstavení při náběhu (start-up) po opravě komponenty.

Je však nutno porovnávat kumulativní riziko za tutéž dobu. Pokud odstavení do původního koncového stavu trvá delší dobu (např. je prodloužené o náběh přes mezistavy) než odstavení do navrženého koncového stavu, pak je nutno provést dorovnání této doby a dopočítat kumulativní riziko pro toto dorovnání.

$$r_N = CR_N \times TR + R_N \times T_{NU} + R_C \times T_C \quad (D39)$$

kde je:

- $R_C$  - četnost sledované míry rizika (CDF, FDF, LERF) ve stavu, se kterým se porovnává okamžité riziko z prodloužené doby náběhu z původního koncového stavu odstavení (po opravě komponenty),
- $T_C$  - dorovnání doby tak, aby se porovnávaný časový úsek při výpočtu kumulativního rizika z odstavení do navrženého koncového stavu odstavení shodoval s porovnávaným časovým úsekem  $T_S$  při výpočtu kumulativního rizika z odstavení do původního koncového stavu odstavení,
- $T_S$  - porovnávaný časový úsek při porovnání kumulativního rizika z odstavení do navrženého koncového stavu odstavení a původního koncového stavu odstavení.

Za stav pro výpočet  $R_C$  se volí Režim 1, neboť přes přechodové stavy následující po navrženém koncovém stavu odstavení se přechází v obou porovnávaných případech a předpokládá se stejná doba setrvání v nich.

Pro kumulativní riziko z průběhu odstavení do původního koncového stavu, ze setrvání v něm do ukončení opravy a z náběhu z tohoto stavu za stejné časové období jako v případě výše platí:

$$r_P = CR_N \times T_{ND} + \sum_i (CR_{MDi} \times T_{MDi}) + CR_P \times (TR - T_{ND} - \sum_i T_{MDi}) + R_P \times T_{PU} + \sum_i (R_{MUi} \times T_{MUi}) + R_N \times T_{NU} \quad (D40)$$

kde je:

- $r_P$  - kumulativní riziko z odstavení do původního koncového stavu odstavení,
- $CR_N$  - podmíněná četnost sledované míry rizika (CCDF, CFDF, CLERF) ve stavu, který nyní navrhovaným koncovým stavem odstavení, s NEPSCH komponentou,

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

- $T_{ND}$  - obvyklá doba strávená ve stavu, který nyní navrhovaným koncovým stavem odstavení, při odstavení (cooling down) do původního koncového stavu odstavení při opravě komponenty,
- $CR_{MDi}$  - podmíněná četnost sledované míry rizika (CCDF, CFDF, CLERF) v mezistavu „i“ s NEPSCH komponentou,
- $T_{MDi}$  - obvyklá doba strávená v každém mezistavu „i“ při odstavení do původního koncového stavu odstavení při opravě komponenty,
- $CR_P$  - podmíněná četnost sledované míry rizika (CCDF, CFDF, CLERF) v původním koncovém stavu odstavení s NEPSCH komponentou,
- $R_P$  - četnost sledované míry rizika (CDF, FDF, LERF) v původním koncovém stavu odstavení po opravě komponenty,
- $T_{PU}$  - obvyklá doba strávená v původním koncovém stavu odstavení při náběhu po opravě komponenty,
- $R_{MUi}$  - četnost sledované míry rizika (CDF, FDF, LERF) v mezistavu „i“ po opravě komponenty,
- $T_{MUi}$  - obvyklá doba strávená v každém mezistavu „i“ při náběhu z původního koncového stavu odstavení po opravě komponenty,
- $R_N$  - četnost sledované míry rizika (CDF, FDF, LERF) ve stavu, který je nyní navrhovaným koncovým stavem odstavení, při náběhu z původního koncového stavu odstavení po opravě komponenty,
- $T_{NU*}$  - obvyklá doba strávená ve stavu, který nyní navrhovaným koncovým stavem odstavení, při náběhu z původního koncového stavu odstavení po opravě komponenty (může být stejná jako  $T_{NU}$ ).

Význam jednotlivých položek je patrný z Obr. D-3 (je zde záměrně ukázána velmi nízká úroveň okamžitého rizika z mezistavů).

Nyní je potřeba vyřešit nerovnici:

$$r_N \leq r_P \quad (D41)$$

Pokud se označí:

$$r_{NM} = R_N \times T_{NU} + R_C \times T_C \quad (D42)$$

$$r_{PM} = CR_N \times T_{ND} + \sum_i (CR_{MDi} \times T_{MDi}) + R_P \times T_{PU} + \sum_i (R_{MUi} \times T_{MUi}) + R_N \times T_{NU*} \quad (D43)$$

pak platí:

$$CR_N \times TR + r_{NM} \leq CR_P \times (TR - T_{ND} - \sum_i T_{MDi}) + r_{PM} \quad (D44)$$

Pozn.: Je-li  $T_{NU} = T_{NU*}$ , pak se členy  $R_N \times T_{NU}$  a  $R_N \times T_{NU*}$  mohou v rovnicích (D42) a (D43) odstranit.

Odtud vyplývá mezní hodnota očekávané doby opravy (pokud je doba opravy delší, tak je i kumulativní riziko při odstavení do nového koncového stavu nižší než při odstavení do původního koncového stavu):

$$TR \geq [r_{NM} + CR_P \times (T_{ND} + \sum_i T_{MDi}) - r_{PM}] / (CR_P - CR_N) \quad (D45)$$

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## D.8.2 Navržený koncový stav následuje po původním koncovém stavu odstavení

Jedná se o případ b) výše. Zde postačí porovnávat riziko:

- od vstupu do původního koncového stavu odstavení, neboť průběh odstavení RB je do dosažení původního koncového stavu odstavení totožný,
- do opuštění původního koncového stavu odstavení, neboť průběh náběhu RB je od opuštění původního koncového stavu odstavení totožný.

Pro kumulativní riziko vstupu do původního koncového stavu odstavení a setrvání v něm do jeho opuštění po ukončení opravy platí:

$$r_N = CR_P \times TR + R_P \times T_{PU} \quad (D46)$$

Je však nutno porovnávat kumulativní riziko za tutéž dobu. Pokud odstavení do navrhovaného koncového stavu trvá delší dobu (např. je prodloužené o náběh přes mezistavy) než odstavení do původního koncového stavu, pak je nutno provést dorovnání porovnávané doby a dopočet kumulativní riziko pro toto dorovnání.

$$r_P = CR_P \times TR + R_P \times T_{PU} + R_C \times T_C \quad (D47)$$

kde je:

- $R_C$  - četnost sledované míry rizika (CDF, FDF, LERF) ve stavu, se kterým se porovnává okamžité riziko z prodloužené doby náběhu z navrženého koncového stavu odstavení (po opravě komponenty),
- $T_C$  - dorovnání doby tak, aby se porovnávaný časový úsek při výpočtu kumulativního rizika z odstavení do navrženého koncového stavu odstavení shodoval s porovnávaným časovým úsekem  $T_S$  při výpočtu kumulativního rizika z odstavení do původního koncového stavu odstavení,
- $T_S$  - porovnávaný časový úsek při porovnání kumulativního rizika z odstavení do navrženého koncového stavu odstavení a původního koncového stavu odstavení.

Za stav pro výpočet  $R_C$  se volí Režim 1, neboť přes přechodové stavy následující po původním koncovém stavu odstavení se přechází v obou porovnávaných případech a předpokládá se stejná doba setrvání v nich.

Pro kumulativní riziko z průběhu odstavení do navrhovaného koncového stavu, ze setrvání v něm do ukončení opravy a z náběhu z tohoto stavu za stejné časové období jako v případě výše platí:

$$r_N = CR_P \times T_{PD} + \sum_i (CR_{MDi} \times T_{MDi}) + CR_N \times (TR - T_{PD} - \sum_i T_{MDi}) + R_N \times T_{NU} + \sum_i (R_{MUi} \times T_{MUi}) + R_P \times T_{PU} \quad (D48)$$

kde je:

- $T_{PD}$  - obvyklá doba strávená v původním koncovém stavu odstavení při odstavení s NEPSCH komponentou,
- $CR_N$  - podmíněná četnost sledované míry rizika (CCDF, CFDF, CLERF) v navrhovaném koncovém stavu odstavení s NEPSCH komponentou,

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

$T_{PU^*}$  - obvyklá doba strávená v původním koncovém stavu odstavení při náběhu z původního koncového stavu odstavení po opravě komponenty (může být stejná jako  $T_{PU}$ ).

Význam jednotlivých položek je patrný z Obr. D-4 (je zde záměrně ukázána velmi vysoká úroveň okamžitého rizika z mezistavů).

Nyní je potřeba vyřešit nerovnici:

$$r_N \leq r_P \quad (D49)$$

Pokud se označí:

$$r_{PM} = R_P \times T_{PU} + R_C \times T_C \quad (D50)$$

$$r_{NM} = CR_P \times T_{PD} + \sum_i (CR_{MDi} \times T_{MDi}) + R_N \times T_{NU} + \sum_i (R_{MUi} \times T_{MUi}) + R_P \times T_{PU^*} \quad (D51)$$

pak platí:

$$CR_P \times TR + r_{PM} \geq CR_N \times (TR - T_{PD} - \sum_i T_{MDi}) + r_{NM} \quad (D52)$$

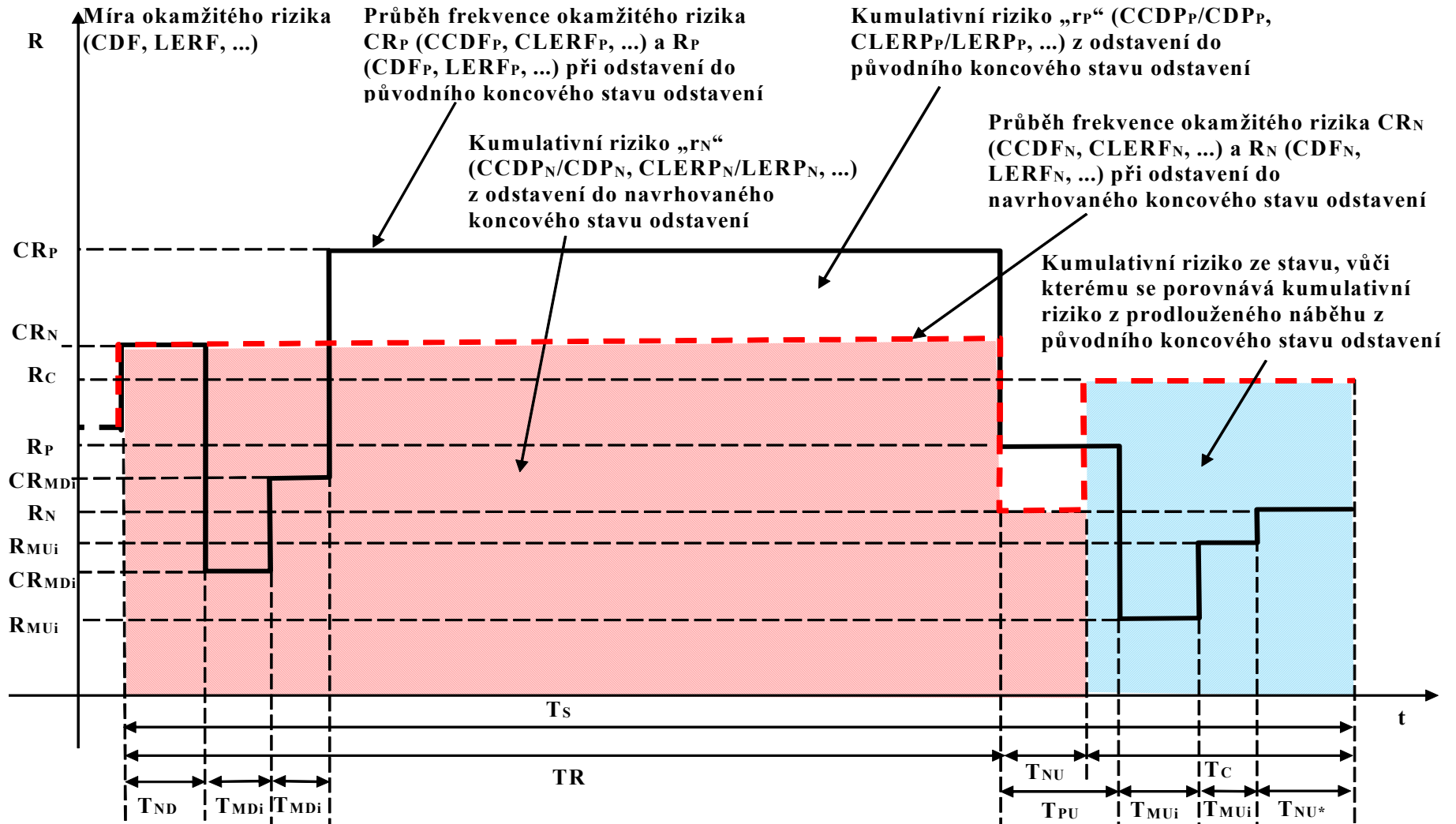
Pozn.: Je-li  $T_{PU} = T_{PU^*}$ , pak se členy  $R_P \times T_{PU}$  a  $R_P \times T_{PU^*}$  mohou v rovnicích (D50) a (D51) odstranit.

Odtud vyplývá mezní hodnota očekávané doby opravy (pokud je doba opravy delší, tak je i kumulativní riziko při odstavení do nového koncového stavu nižší než při odstavení do původního koncového stavu):

$$TR \geq [r_{NM} - CR_N \times (T_{PD} + \sum_i T_{MDi}) - r_{PM}] / (CR_P - CR_N) \quad (D53)$$

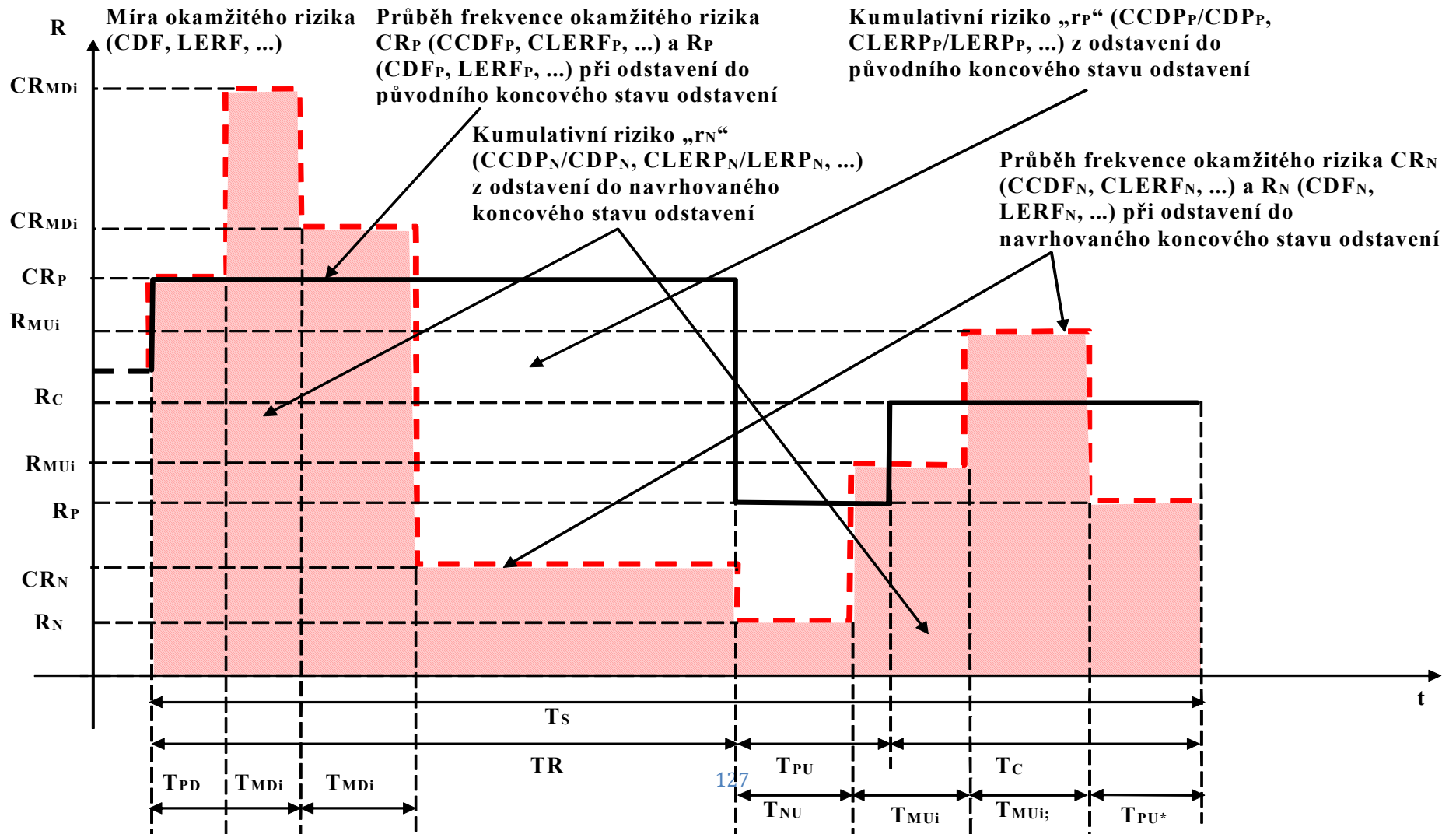
Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obr. D-3: Specifický případ rizika z přechodových stavů po navrhovaném koncovém stavu odstavení**



Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obr. D-4: Příklad významného rizika z přechodových stavů před navrhovaným koncovým stavem odstavení**



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## Příloha E

# Příklady řešení vybraných aspektů hodnocení změn PK

## E.1 Vliv zkoušek na riziko

Pokud se vyhodnocení zabývá změnami ve způsobu provádění periodických kontrol (PK), musí výsledná změna hodnot veličin  $\Delta CDF_{nom}$  ( $\Delta FDF_{nom}$ ) nebo  $\Delta LERF_{nom}$  brát rovněž v úvahu všechny efekty změny v provádění PK, které mohou ovlivnit rozhodování o akceptovatelnosti změny, tj. které by mohly způsobit navýšení rizika. Dále je možno využít některých efektů změny PK ke kompenzaci navýšeného rizika.

Změna frekvence PK může mít vliv na následující druhy rizik, viz NUREG/CR-6141 [G5]:

1. Riziko limitované testem (tzv. test-limited risk)
2. Riziko způsobené testem (tzv. test-caused risk)

## E.2 Riziko způsobené testem

V úvahu přicházejí následující efekty změny PK, včetně změny frekvence PK s vlivem na riziko způsobené testem:

### *a) Nepohotovost komponent v důsledku provádění PK (zkoušky, testu)*

Představuje příspěvek k celkové nepohotovosti komponenty na požadavek. Tento příspěvek vzniká v případě, že komponenta není schopna během provádění kontroly (zkoušky, testu) zastávat svoje funkce požadované pro zvládnutí IU.

Tato nepohotovost lze vypočítat z doby prostoje, po kterou daná komponenta není schopna plnit funkce požadované pro zvládnutí IU. Tato doba obecně není totožná s dobou trvání kontroly (zkoušky, testu), i když tomu tak v některých případech může být. Někdy je možno uvážit také pravděpodobnost uvedení zařízení do provozuschopného stavu během provádění testu (zvláště u zařízení SKŘ) v případě vzniku IU.

Se zvyšující frekvencí PK vzrůstá příspěvek od této nepohotovosti, avšak v případě obvyklého prodloužení frekvence PK se tento příspěvek naopak snižuje. Proto se zahrnutí tohoto efektu může s výhodou použít pro kompenzaci navýšeného rizika. Tento druh nepohotovosti je už standardní součástí PSA modelů.



Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

### ***b) Chyby při uvedení zařízení do provozu po PK***

Představuje příspěvek k celkové nepohotovosti komponenty na požadavek. Tento příspěvek vzniká v případě, že komponenta není schopna po provádění kontroly (zkoušky, testu) zastávat svoje funkce požadované pro zvládnutí IU v důsledku jejího opětovného neuvedení do provozu, její špatné konfigurace apod.

Chyby tohoto druhu jsou obvykle v PSA analyzovány jako tzv. pre-accident human errors. Se zvyšující se frekvencí PK vzrůstá příspěvek od této nepohotovosti, avšak v případě obvyklého prodlužování frekvence PK se tento příspěvek naopak snižuje. Proto se zahrnutí tohoto efektu může s výhodou použít pro kompenzaci navýšeného rizika. Tento druh nepohotovosti je obvykle v PSA modelu zanedbáván kvůli následným kontrolám, kontinuálnímu monitorování stavů či možnosti automatického uvedení do požadovaného stavu při vzniku IU.

### ***c) Přejížděcí procesy způsobené PK***

Tento příspěvek k riziku souvisí s přechodovými procesy vyvolanými zkouškou, které vedou k IU.

Je třeba odhadnout podmíněnou pravděpodobnost přechodových procesů vedoucích na IU a vyvolaných zkouškou. Dostupné údaje specifické pro elektrárnu, které jsou k dispozici z jedné elektrárny, mohou pro tento účel být nedostatečné. V tomto případě mohou být použity údaje z provozní zkušenosti jiných, přibližně stejně dlouho provozovaných elektráren.

Se zvyšující frekvencí PK vzrůstá příspěvek od takových IU k riziku, avšak v případě obvyklého prodlužování frekvence PK se tento příspěvek naopak snižuje. Proto se zahrnutí tohoto efektu může s výhodou použít pro kompenzaci navýšeného rizika.

### ***d) Opatření zařízení způsobené PK***

Představuje příspěvek k intenzitě poruch komponent v důsledku degradace nebo opotřebením komponent následkem zvýšeného počtu požadavků na jejich fungování během zkoušek.

Tento efekt se vztahuje na několik málo druhů zařízení a zkoušek. Není obecně separátně modelován v PSA, neboť údaje k podpoře kvantitativní analýzy je obtížné získat. Se zvyšující frekvencí PK vzrůstá příspěvek od tohoto druhu poruch, avšak v případě obvyklého prodlužování frekvence PK se tento příspěvek naopak snižuje.

## **E.3 Riziko limitované testem**

### ***a) Pravděpodobnost selhání na požadavek pro komponenty v režimu vyčkávání***

Pravděpodobnost selhání komponenty v režimu vyčkávání (v tzv. stand-by režimu) v důsledku nahodilých selhání je vypočítávána na základě exponenciálního modelu, kdy se předpokládá, že po zkoušce je komponenta naprosto spolehlivá (pravděpodobnost selhání je „0“).

Č. j. SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

Pravděpodobnost  $Q(t)$ , že komponenta v čase „t“ selže je v tomto modelu popsána jako:

$$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \approx \lambda t \quad (E1)$$

kde:  $\lambda$  je intenzita poruch, která reprezentuje nahodilá selhání (předpokládá se konstantní)

TI je interval provádění zkoušek (frekvence PK)

$$0 < t < TI$$

$$\lambda TI \ll 1$$

Průměrná pravděpodobnost selhání stand-by komponenty „q“ je pro konstantní intenzitu poruch  $\lambda$  určena následujícím vzorcem:

$$q = \frac{1}{TI} \int_0^{TI} Q(t) dt = 1 - \frac{1}{\lambda TI} [1 - \exp(-\lambda TI)] \quad (E2)$$

Pro případ  $\lambda TI \ll 1$  může být vzorec (E2) zjednodušen následovně:

$$q \approx \frac{1}{2} \lambda TI \quad (E3)$$

Předpokládá se, že v tomto modelu jsou všechny mechanismy poruch časově závislé a jsou reprezentovány intenzitou poruch  $\lambda$ .

Pravděpodobnost „ $Q(t)$ “ může dále zahrnovat tzv. zbytkovou pravděpodobnost selhání „ $q_{zb}$ “, která není vztahena k času. Tato veličina představuje selhání způsobená namáháním, ke kterým dochází pouze v okamžiku požadavku na zapracování zařízení (např. elektrické a mechanické namáhání apod.).

V tomto případě je pak:

$$Q(t) \approx q_{zb} + \lambda t \quad (E4)$$

a průměrná nepohotovost je popsána jako:

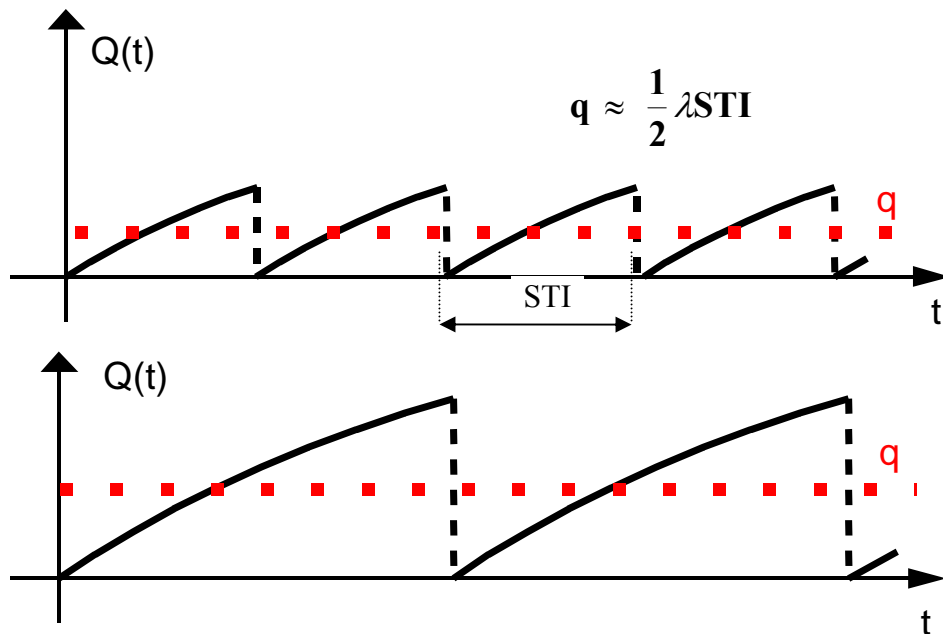
$$q \approx \frac{1}{2} \lambda TI + q_{zb} \quad (E5)$$

Vliv intervalu provádění zkoušky „frekvence PK“ na pravděpodobnost selhání komponenty (bez uvážení zbytkové pravděpodobnosti) je zobrazen v grafické formě na Obrázku E-1.

Se zvyšující délkou frekvence PK (a tedy klesající frekvencí PK) vzrůstá příspěvek od těchto pravděpodobnosti selhání k riziku, proto v případě obvyklého prodlužování frekvence PK je tento příspěvek nejdůležitější.

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

**Obrázek E-1: Vliv intervalu provádění zkoušky na nepohotovost komponenty**



### ***b) Potenciál pro CCF***

Obsahuje-li změna PK i změnu strategie zkoušek, pak se může měnit i podíl poruch CCF. Cyklické (staggered) testy mají obvykle nižší podíl poruch CCF než soustředěné testování kvůli jiným modelům výpočtu CCF. Některé stávající programy PSA, např. RiskSpectrum<sup>®</sup> PSA Professional, mohou do jisté míry změnu schématu testování zohlednit. Jinak je možné vliv změny schématu ocenit pouze analyticky (např. změnou CCF parametrů).

Přesnější vztah pro modely CCF v závislosti na schématu testování lze nalézt např. v NUREG/CR-5485, Appendix A [G6].

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

## 4. Literatura

### 4.1 Legislativa, dokumenty SÚJB

- [P1] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon
- [P2] Vyhláška č. 162/2017 Sb., o požadavcích na hodnocení bezpečnosti podle atomového zákona
- [P3] BN-JB-2.6-Rev.0.0: Využití PSA v rizikově orientovaném rozhodování při hodnocení změn konfigurace zařízení JE předkládaných k povolení na SÚJB
- [P4] BN-JB-2.5-Rev.1.0: Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti
- [P5] BN-JB-5.4 (Rev. 0.0): Provádění změn konstrukcí, systémů, komponent a procesů jaderných zařízení

### 4.2 Mezinárodní směrnice a dokumenty

- [G1] US NRC, Regulatory Guide 1.174, “An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis”, Revision 2, May 2011.
- [G2] US NRC, Regulatory Guide 1.177, “An Approach for Plant-Specific, Risk-Informed Decision-making: Technical Specifications”, Revision 1, May 2011.
- [G3] US NRC, “Risk-Informed Decision-making: Technical Specifications”, NUREG-0800, Standard Review Plan, Chapter 16.1, 1998.
- [G4] US NRC, “Use of Probabilistic Risk Assessment in Plant-Specific Risk-Informed Decision making: General Guidance”, NUREG-0800, Standard Review Plan, Chapter 19, Rev 1, November 2002.
- [G5] NUREG/CR-6141. P.K. Samanta, I.S. Kim, “Handbook of Methods for Risk Based Analyses of Technical Specifications”, BNL-NUREG-52398, November 1994.
- [G6] NUREG/CR-5485. Guidelines on Modelling Common-Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment. INEEL/EXT-97-01327. INEEL, June 1998.
- [G7] IAEA-TECDOC-729. Risk based optimization of technical specification for operation of nuclear power plants. IAEA, Vienna, December 1993.

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

- [G8] Deriot, M. S.: Methods Concerning Risk-Based Assessment of Technical Specifications. In: Proceedings of ICONE 5, 5th International Conference on Nuclear Engineering, May 26-30, Nice 1997.
- [G9] IAEA-TECDOC-1200. Applications of probabilistic safety assessment (PSA) for nuclear power plants. Vienna, February 2001.
- [G10] [G11] Sandstedt. J.: PSA Applications on Swedish BWR with the Aid of Risk Spectrum. In: IAEA-TECDOC-737, Advances in reliability analysis and probabilistic safety assessment for nuclear power reactors. Vienna, March 1994.
- [G11] NUMARC 93-01. Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants. Revision 3. NEI, 2000.
- [G12] IAEA-TECDOC-719. Defining initiating events for purposes of probabilistic safety assessment. IAEA, Vienna, September 1993.
- [G13] IAEA-TECDOC-648. Procedures for conducting common cause failure analysis in probabilistic safety assessment. IAEA, Vienna, May 1992.
- [G14] INSAG-12. Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants. 75-ISAG-3, Rev. 1. IAEA, Vienna, October 1999.
- [G15] JE Dukovany: A004b Zdůvodnění limitů a podmínek bezpečného provozu. A004b-214-07, revize 2. Březen 2008.
- [G16] IAEA-TECDOC-1511. Determining the quality of probabilistic safety assessment (PSA) for applications in nuclear power plants. Vienna, July 2006.
- [G17] Hoffman, D. R.; Mann, B. D.: Status of Industry Risk Informed technical Specifications Initiatives. In: International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment, PSA 05, September 11-15, San Francisco 2005.
- [G18] Husťák, S.: Hodnocení akceptovatelnosti nebo změn dob provedení limitovaných systémů. Rešerše. Revize 1. ÚJV 12063 T. ÚJV Řež, říjen 2003.
- [G19] Husťák, S.: Návrh metodiky pro hodnocení dob provedení v LaP. Revize 2. ÚJV 12099 T. ÚJV Řež, a.s., září 2004.
- [G20] Husťák, S.: Posouzení návodů na rizikově orientované hodnocení a zpracování návrhů na jejich doplnění. Revize 2. ÚJV Z 4651 T. ÚJV Řež, a.s., březen 2017.
- [G21] IAEA Safety Standard Series No. NS-R-1. Safety of Nuclear Power Plants: Design Requirements. IAEA, Vienna, September 2000.
- [G22] Reactor Safety Reference Levels – Issue O (Probabilistic Safety Assessment), WENRA, 2008, včetně Updating WENRA Reference Levels for existing reactors in the light of TEPCO Fukushima Dai-ichi accident lessons learned, listopad 2013, updated 20. - 22.5.2014)

Č. j..SÚJB/OKHJB/11055/2017	<b>BN-JB-2.7 (REV. 0.0)</b>	revize č. 0.0
Jaderná bezpečnost		
2.7		účinný od 1. 1. 2018

[G23] Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants: IAEA Safety Standards Series No. SSG-3, IAEA, Vienna, 2010.

[G24] Development and Application of Level 2 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants: IAEA Safety Standards Series No. SSG-4, IAEA, Vienna, 2010.

**Garant: Ing. Petr Adamec**