



Pravděpodobnostní hodnocení rizika

Materiály z **88. semináře** Odborného centra **Spolehlivost**
konaného dne **13. 2. 2024**

Odborní garanti semináře:
RNDr. Jaroslav Holý, Ing. Jiří Sedlák, ÚJV Řež



Obsah

Zahájení semináře, informace o přednášejících a firmě ÚJV

Ing. Jiří Sedlák, ÚJV Řež

Metody hodnocení rizik provozu jaderně energetických zařízení

Ing. Jiří Sedlák, ÚJV Řež

Analýzy provozní zkušenosti podporující a využívající model PSA

Ing. František Štván, ÚJV Řež

Externí ohrožení jako přispěvatel k riziku provozu JE

Ing. Stanislav Hušťák, ÚJV Řež



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

Metody hodnocení rizik provozu jaderně energetických zařízení

Ing. Jiří Sedlák

ÚJV Řež



Metody hodnocení rizik provozu jaderně energetických zařízení

13.2.2024, Jiří Sedlák



Seminář Odborného centra Spolehlivost:
Pravděpodobnostní hodnocení rizika



PŘEHLED TÉMAT

- Krátké představení ÚJV Řež, a. s.
- Legislativní požadavky na hodnocení bezpečnosti jaderných elektráren
- Základní rozdělení analytických metod hodnocení bezpečnosti
- Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti - PSA
 - Historie PSA
 - Stromy událostí
 - Stromy poruch
 - Chyby lidského činitele
 - Využití PSA v nejaderných oblastech
- Diskuse





HISTORICKÉ MILNÍKY ÚJV, A. S.

- 1955
 - Zřízen Ústav jaderné fyziky a zahájena výstavba areálu v Řeži.
- 1957
 - Spuštěn výzkumný reaktor VVR-S (dnes LVR-15) a uskutečněna první štěpná jaderná reakce v Československu.
- 1972
 - Změna názvu na Ústav jaderného výzkumu.
- 1992
 - Privatizace a transformace na v akciovou společnost (ČEZ, a. s., SE, a.s., ŠKODA JS a.s. a obec Husinec)
- 2012,
 - Změna názvu na ÚJV Řež, a. s.

3 |

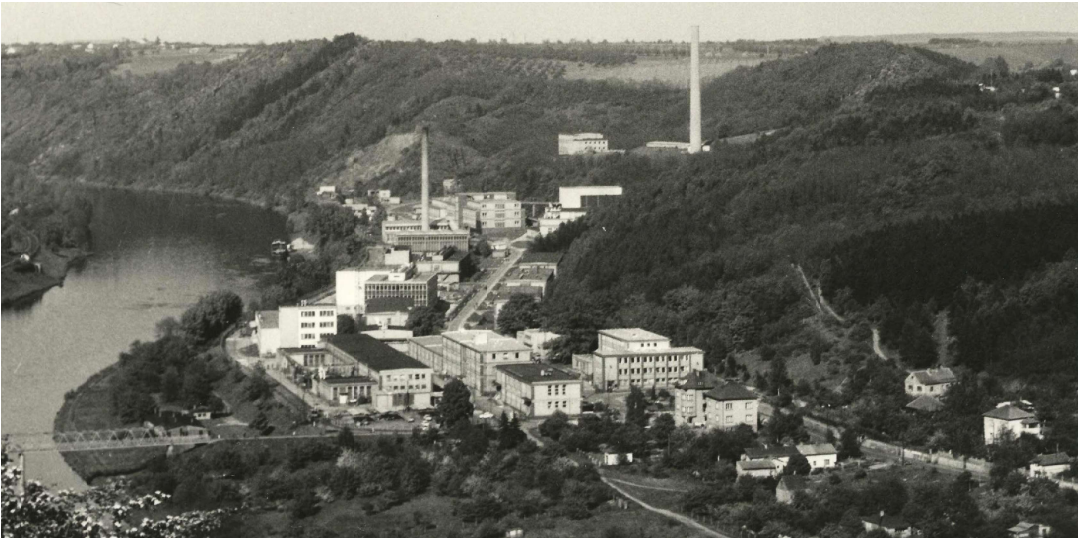


PŘED ROKEM 1955



4 |

HISTORICKÉ FOTO



5

2019



6

ÚJV Řež – lidé, zkušenosti, infrastruktura

- Aplikovaný výzkum a projektové a inženýrské činnosti v oblasti
 - Energetiky
 - Průmyslu
 - Zdravotnictví
- Špičkové technologické pracoviště v ČR i v evropském kontextu
- Zkušení odborníci
- Jedinečná technická infrastruktura

LIDSKÉ ZDROJE
KNOW-HOW
700+
ZAMĚSTNANCŮ

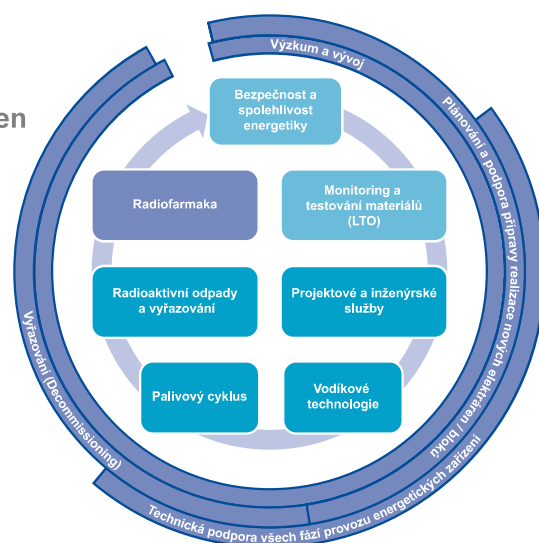
TRADICE
65+
LET

PŘÍJMY ZA ROK
1,6 mld. Kč

CELKOVÁ AKTIVA
3,2 mld. Kč

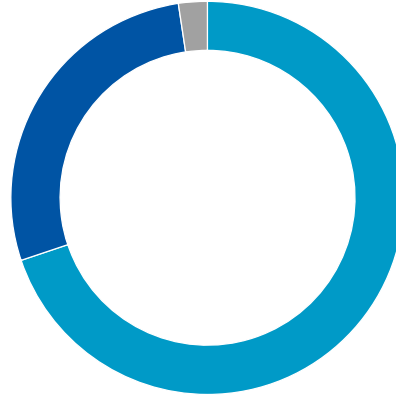
PRODUKTY A SLUŽBY

- Analýzy jaderné bezpečnosti a spolehlivosti
- Podpora palivového cyklu jaderných elektráren
- Inženýrské a projektové služby
- Radioaktivní odpady a vyřazování
- Podpora provozu jaderných i klasických energetických zdrojů
- Výzkum a vývoj
- Vodíkové technologie
- Radiofarmaka



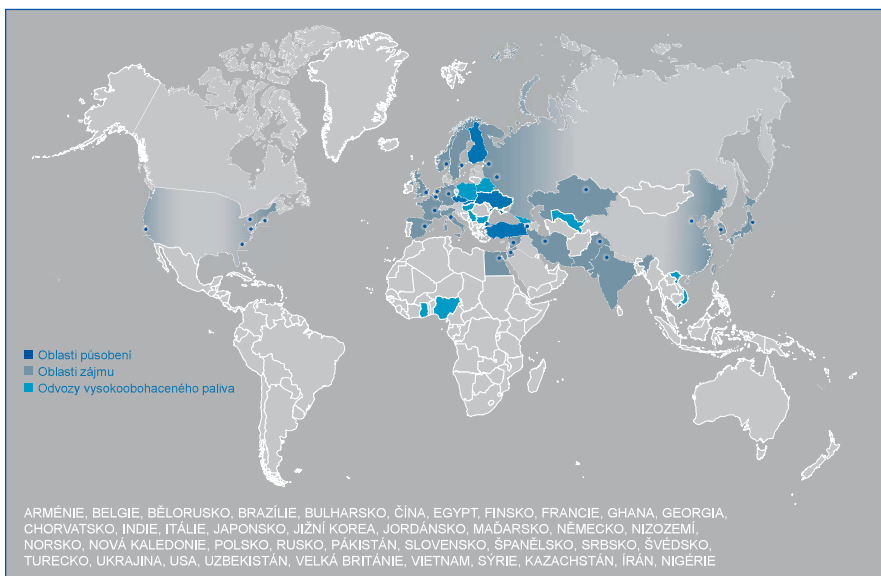
AKCIONÁŘI

■ ČEZ, a. s.	69,85 %
■ Slovenské elektrárne, a. s.	27,77 %
■ Obec Husinec	2,38 %

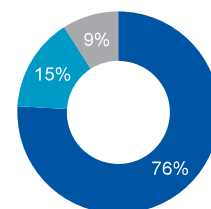


9

AKTIVITY ÚJV Řež VE SVĚTĚ



GEOGRAFICKÉ ROZDĚLENÍ PŘÍJMŮ



76% Česká republika
15% Evropská unie
9% Ostatní



10



SKUPINA ÚJV

- Portfolio služeb mateřské společnosti ÚJV Řež synergicky doplňují 100% vlastněné dceřiné společnosti, spojené do Skupiny ÚJV.
- Skupinu ÚJV tvoří:
 - ÚJV Řež (www.ujv.cz)
 - Centrum Výzkumu Řež (www.cvrez.cz)
 - Výzkumný a zkušební ústav Plzeň (www.vzuplzen.cz)
 - ŠKODA PRAHA (www.skodapraha.cz)
 - RadioMedic s.r.o. (www.radiomedic.cz)



DIVIZE ÚJV ŘEŽ, A. S.

- Divize JADERNÁ BEZPEČNOST A SPOLEHLIVOST
 - Reaktorová fyzika a podpora palivového cyklu
 - Bezpečnostní analýzy
 - Těžké havárie a termomechanika
 - Analýzy spolehlivosti a rizik
- Divize INTEGRITA A TECHNICKÝ INŽENÝRING
- Divize RADIOAKTIVNÍ ODPADY A VYŘAZOVÁNÍ
- Divize ENERGOPROJEKT PRAHA
- Divize RADIOFARMAKA



HODNOCENÍ JADERNÉ BEZPEČNOSTI

- Hodnocení bezpečnosti je v praxi realizováno:
 - průběžným **sledováním** jaderné a technické **bezpečnosti** (dohled, kontroly, zkoušky),
 - **deterministickým hodnocením** jaderné bezpečnosti (bezpečnostní analýzy),
 - **pravděpodobnostním hodnocením** jaderné bezpečnosti a jeho aplikacemi – například pomocí monitoru okamžitého rizika provozu,
- s využitím nejnovějších poznatků výzkumu a vývoje.

LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA HODNOCENÍ JADERNÉ BEZPEČNOSTI

- Garant jaderné bezpečnosti v ČR – Státní úřad pro jadernou bezpečnost ([SÚJB](#))
- Zákon 263/2016 Sb. - **atomový zákon**
 - § 48 Hodnocení bezpečnosti
 - (1) Během životního cyklu jaderného zařízení musí být pravidelně, systematicky, komplexně a ověřitelným způsobem prováděno hodnocení úrovně jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, technické bezpečnosti, monitorování radiační situace, zvládnutí radiační mimořádné události a zabezpečení (dále jen "hodnocení bezpečnosti") a jeho dokumentování.
 - (2) Hodnocení bezpečnosti musí zahrnovat tyto typy hodnocení:
 - a) **deterministické hodnocení bezpečnosti**,
 - b) **pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti** v případě jaderného zařízení, které není výzkumným jaderným zařízením s jaderným reaktorem o tepelném výkonu nižším než 2 MW, skladem radioaktivního odpadu, skladem vyhořelého jaderného paliva nebo úložištěm radioaktivního odpadu,
 - c) **periodické hodnocení bezpečnosti**,
 - d) **průběžné hodnocení bezpečnosti** a
 - e) **zvláštní hodnocení bezpečnosti**.



Vyhláška ze dne 25. května 2017 o požadavcích na hodnocení bezpečnosti podle atomového zákona (Sbírka zákonů č. 162 / 2017) § 5

- (1) Praviděpodobnostní hodnocení bezpečnosti musí zahrnovat
 - a) 1. úroveň pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti, v jejímž rámci musí být prováděna analýza projektu jaderného zařízení a jeho provozu, včetně předcházejících fází životního cyklu, tak, aby byl odhalen sled událostí, které mohou vést k poškození jaderného paliva nebo systému, konstrukce nebo komponenty obsahující jiné radioaktivní látky vyskytující se v tomto zařízení a stanovena frekvence výskytu za rok, s níž může dojít k takovému poškození v důsledku sledu těchto událostí, a
 - b) 2. úroveň pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti, v jejímž rámci musí být prováděna analýza chronologického rozvoje následků poškození jaderného paliva a jiných systémů, konstrukcí nebo komponent s obsahem radioaktivních látek vyskytujících se v jaderném zařízení, odhalených v rámci 1. úrovně pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti, včetně kvantitativního hodnocení fenoménů z toho vyplývajících; v rámci 2. úrovně pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti musí být odhaleny způsoby, jimiž se uniklé radioaktivní látky mohou šířit do životního prostředí.

16 |

Vyhláška ze dne 25. května 2017 o požadavcích na hodnocení bezpečnosti podle atomového zákona (Sbírka zákonů č. 162/2017) § 5 (pokr.)

- (2) Praviděpodobnostní hodnocení bezpečnosti musí zohlednit
 - a) radioaktivní látky vyskytující se v jaderném zařízení,
 - b) provozní režimy jaderného zařízení, včetně odstávek, a
 - c) vnitřní a vnější iniciační události, včetně plošně působících vnitřních a vnějších iniciačních událostí.
- (3) V rámci pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti musí být vytvořen model pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti, který musí být založen na realistickém modelování průběhu rozvoje vnitřních a vnějších iniciačních událostí.

17 |

Vyhláška ze dne 25. května 2017 o požadavcích na hodnocení bezpečnosti podle atomového zákona (Sbírka zákonů č. 162/2017) § 7

- Na základě modelu pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti musí být proveden
 - výpočet **frekvence výskytu poškození jaderného paliva v aktivní zóně** jaderného reaktoru za rok
 - výpočet **celkové frekvence výskytu poškození jaderného paliva v aktivní zóně a mimo aktivní zónu** za rok
 - výpočet **frekvence výskytu velkého časného úniku** radioaktivních látek za rok
- Všechny výpočty musejí zahrnovat
 - celkovou frekvenci výskytu,
 - frekvenci výskytu pro jednotlivé dílčí provozní stavy a
 - frekvenci výskytu pro jednotlivé skupiny iniciačních událostí,



18 |

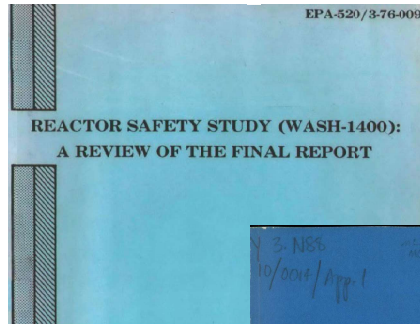
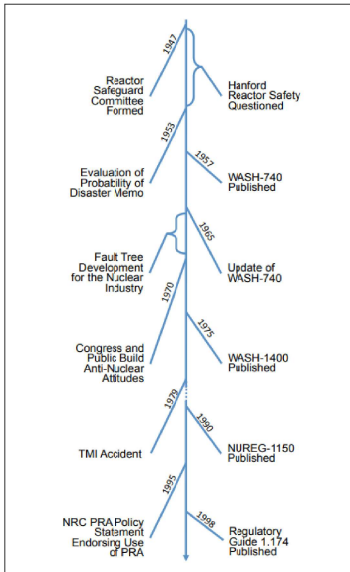
VYUŽITÍ VÝSTUPŮ PSA

- Ve všech fázích životního cyklu
 - Licenční řízení (zadávací bezpečnostní zpráva)
 - Předprovozní bezpečnostní zpráva - PpBZ (PSAR)
 - Provozní bezpečnostní zpráva - PBZ (FSAR)
 - Periodické hodnocení bezpečnosti (PSR – Periodic Safety Review)
 - Rizikově orientovaný dozor (RIR – Risk Informed Regulation)
 - Rizikově orientované rozhodování (RIDM – Risk Informed Decision Making)
 - Prodloužení životnosti (LTO – Long Term Operation)
 - Využití projektových rezerv (Power Upgrading)
 - Vyřazování z provozu (Decommissioning)

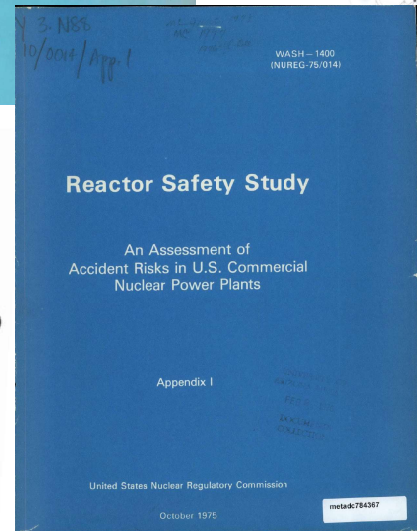


19 |

PSA/PRA - HISTORIE



1. Farmer's Paper (1967) *call for new approach to reactor safety*
2. Reactor Safety Study (1975) Wash-1400
3. German Risk Study (1979)
4. Risk Assessment Review Group Report (1979)
5. Zion and Indian Point PRAs (1981) *London Chicago to near NYC*
6. NUREG - 1150 (1989) *govt study on severe accidents*
7. Individual Plant Examinations



CO JE PSA?

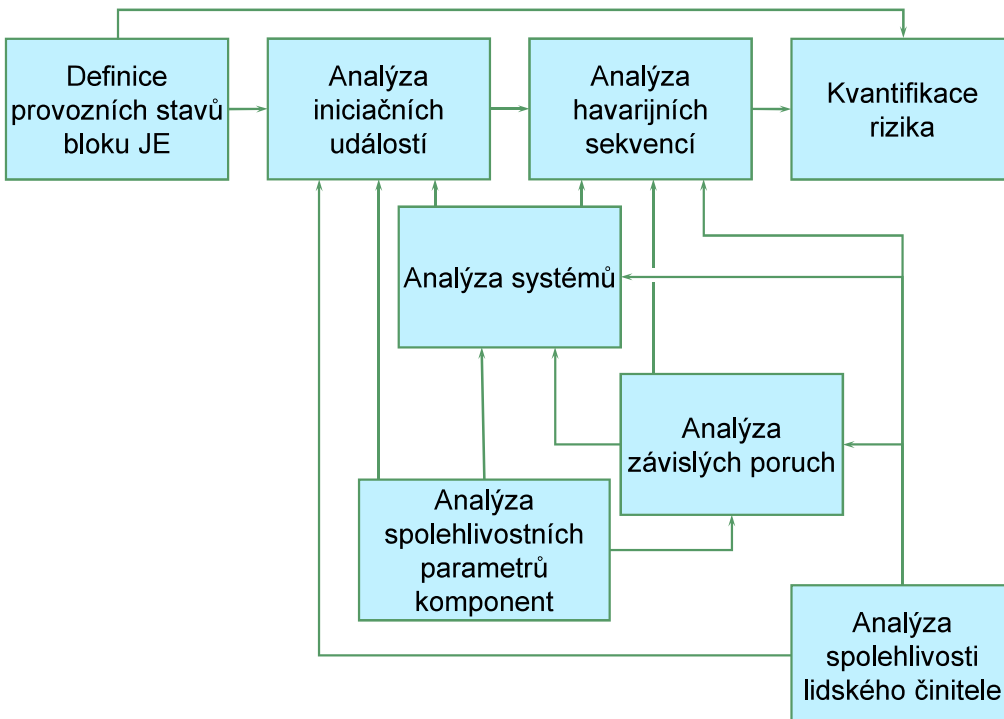
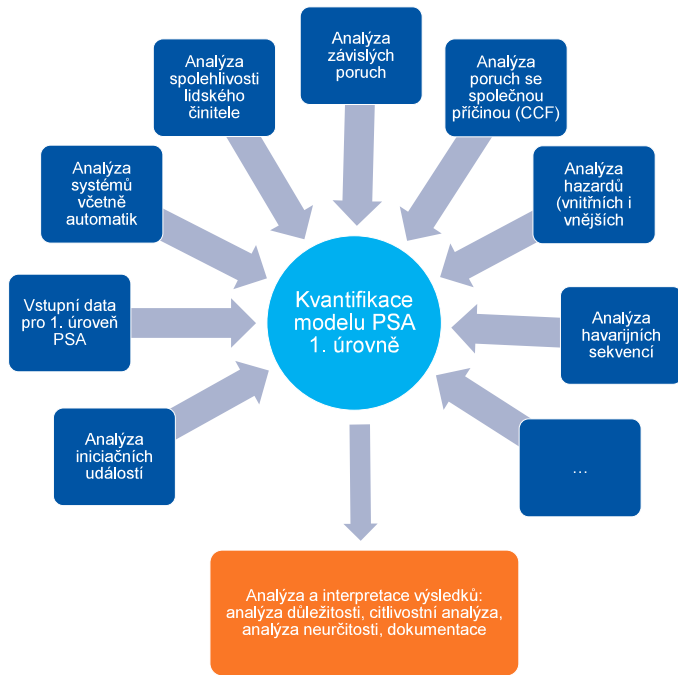
- PSA hledá odpovědi na otázky:
 - Co se může pokazit? (havarijní scénáře)
 - Jaká je pravděpodobnost těchto scénářů?
 - Jaké jsou jejich následky?
- Hodnocení rizika zahrnuje identifikaci a analýzu:
 - Iniciačních událostí
 - Událostí, které dostávají elektrárnu do abnormálního stavu
 - Bezpečnostních funkcí
 - Funkce určené ke zmírnění dopadu iniciačních událostí
 - Havarijních sekvencí
 - Kombinace úspěchů a selhání bezpečnostních funkcí v reakci na iniciační událost
- Úspěchem je odezva, která převede blok do ustáleného bezpečného stavu
- PSA model slouží k nalezení frekvencí „neúspěšových“ konsekvencí (CDF, FDF, LERF, ...)

TECHNICKÝ ZÁKLAD MODELU PSA

- PSA model se snaží zachytit reálný stav konkrétního projektu a způsobu provozu jaderného bloku
- PSA využívá multidisciplinární zdroje technických informací:
 - Projekt bloku JE
 - Termohydraulické analýzy odezvy bloku
 - Informace o kvalifikaci zařízení
 - Provozní zkušenost
 - Provozní a havarijní předpisy
 - Informace o údržbě
 - Data o externích událostech a odolnosti stavebních a strojních konstrukcí
 - Informace o lidském činiteli (včetně psychologických aspektů)
 - ...

TECHNICKÝ ZÁKLAD MODELU PSA (2)

- Porozumění odchylkám od bezpečného stavu bloku – iniciační události
 - Ztráta chladiva (Loss of coolant accident - LOCA)
 - Tranzient (ztráta napájecí vody, vakua v kondenzátoru, technické vody, atd.)
 - Ztráta vnější sítě
 - ...
- Porozumění odezvě bloku na iniciační událost
 - Fyzická odezva
 - Neutronový tok
 - Termohydraulika (tlak, teplota v primárním okruhu, hladina chladiva, ...)
 - Odezva automatiky
 - Odstavení reaktoru havarijním tyčemi (reactor trip)
 - Odstavení turbíny
 - Start havarijních systémů (vysokotlaké/nízkotlaké vstříkávání chladiva (ESFAS), ...)
 - Manuální odezva
 - Ruční odstavení reaktoru (manual reactor trip)
 - Ruční přepnutí cirkulace z jímky
 - ...
- Porozumění odezvě bloku umožní správné nastavení „úspěchových“ kritérií

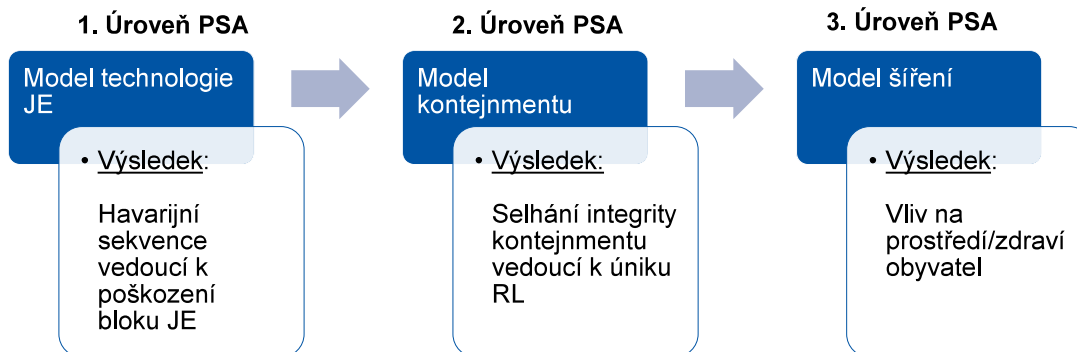


HLAVNÍ SOUČÁSTI MODELU PSA

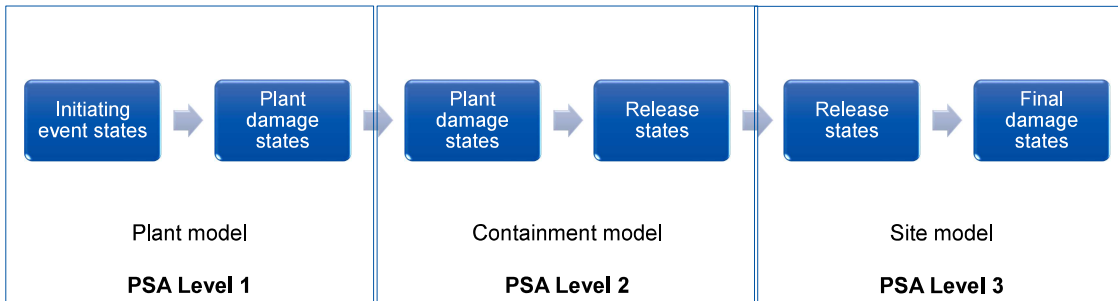
- PSA model využívá
 - **Stromy událostí** pro modelování sekvencí událostí od iniciační události až po koncové stavy
 - **Stromy poruch** pro modelování bezpečnostních funkcí odezvy bloku na iniciační událost včetně závislostí a zásahů obsluhy
 - **Odhady frekvencí a pravděpodobností** základních prvků modelu (např. iniciačních událostí, poruch zařízení, selhání lidského činitele, ...)

- Typické hlavní výstupy modelu PSA
 - 1. úroveň
 - Frekvence poškození aktivní zóny **CDF** = Core Damage Frequency
 - Frekvence poškození paliva **FDF** = Fuel Damage Frequency
 - 2. úroveň
 - Frekvence úniku štěpných produktů **LERF** = Large Early Release Frequency
 - 3. úroveň
 - Radiační následky pro životní prostředí a zdraví obyvatel

ÚROVNĚ PSA

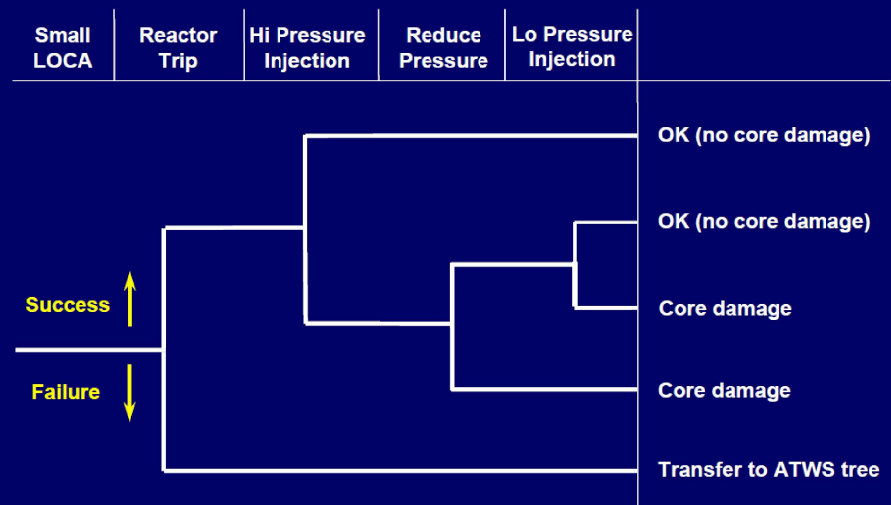


PSA LEVELS



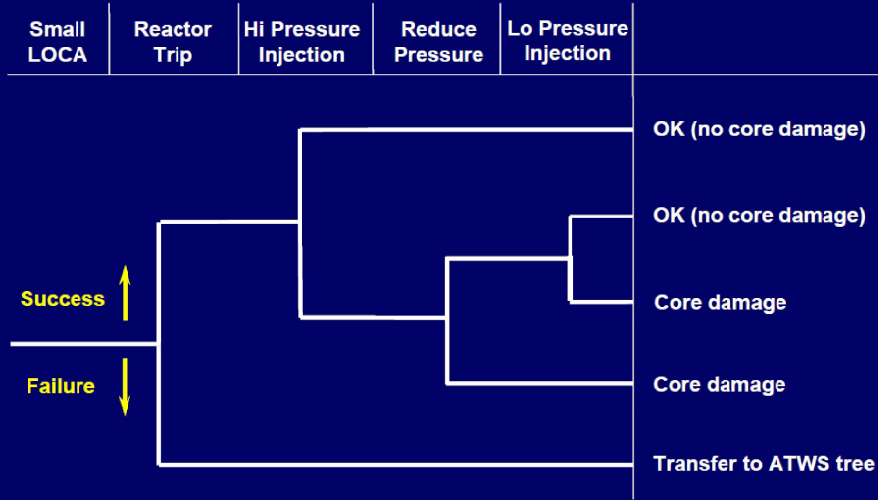
What is an event tree?

A graphical depiction of a sequence of events

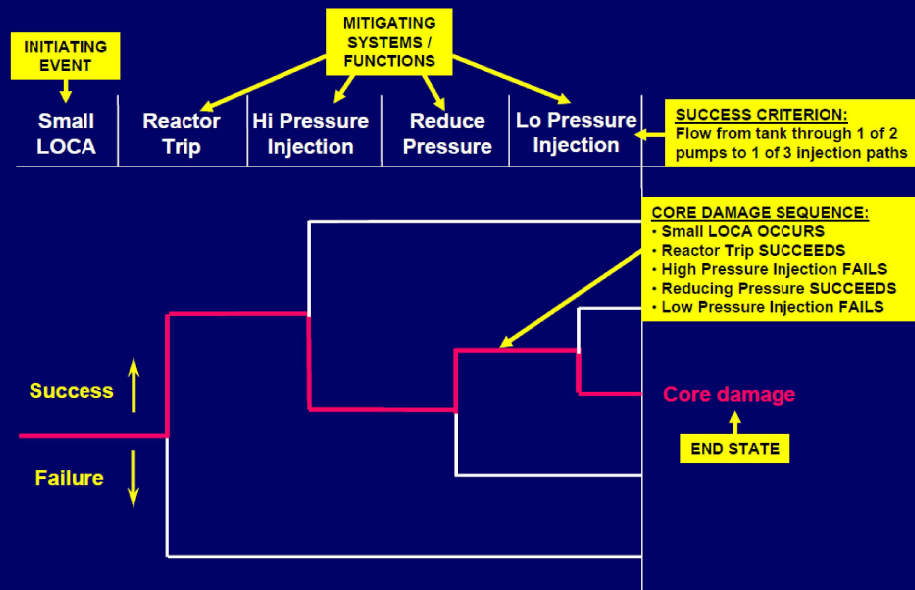


What is an event tree?

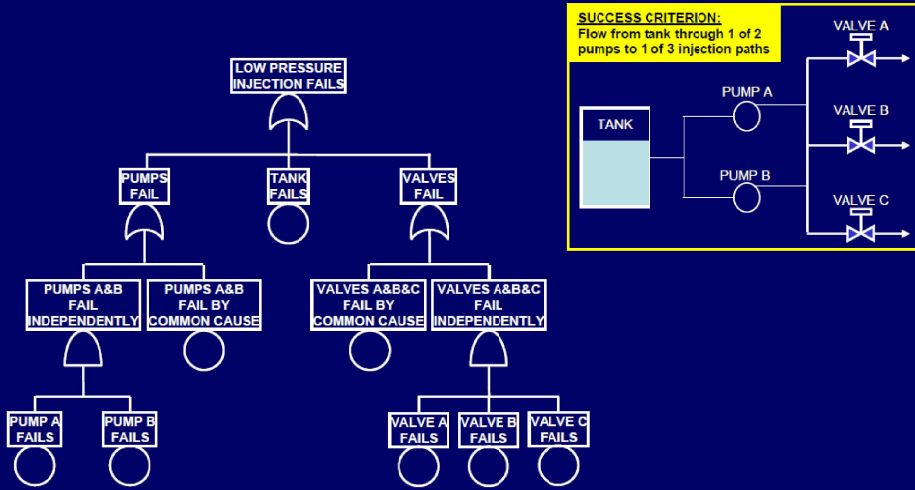
A graphical depiction of a sequence of events



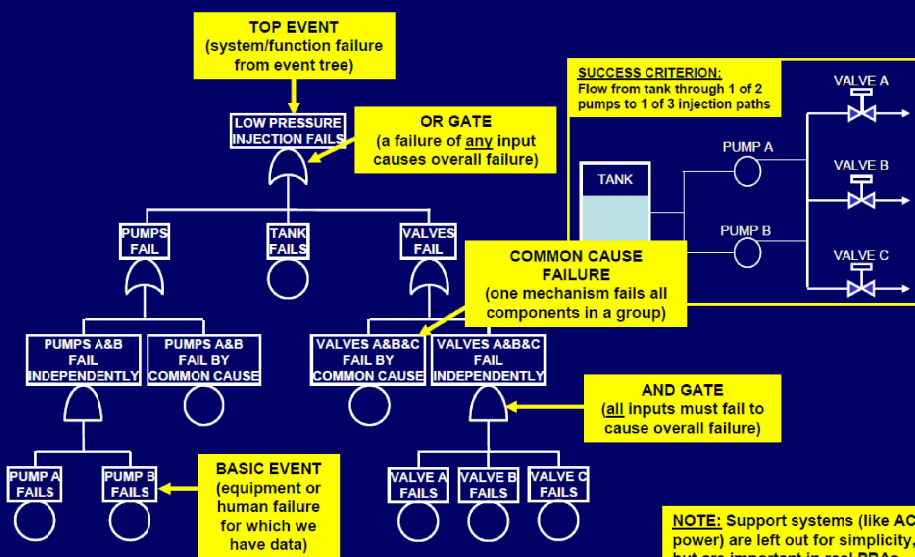
What is an event tree?



What is a fault tree?



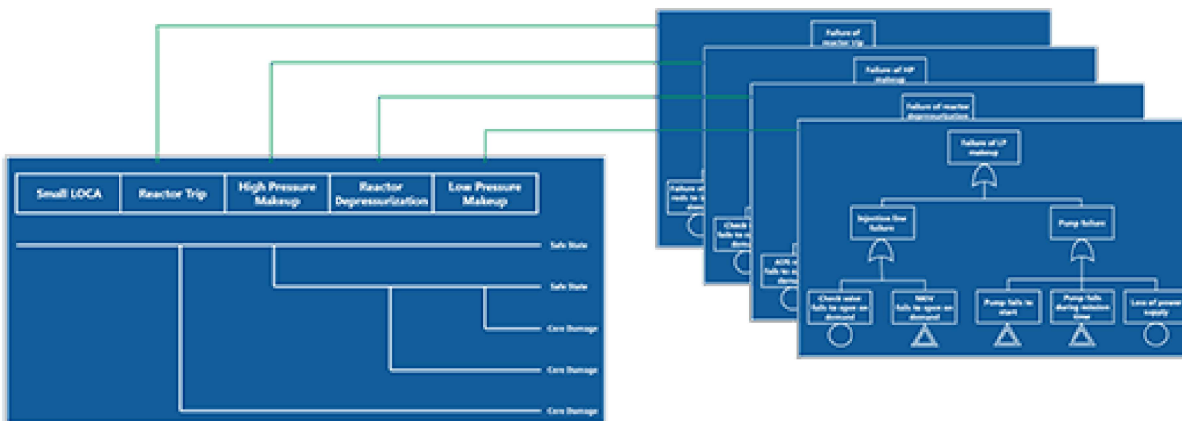
What is a fault tree?

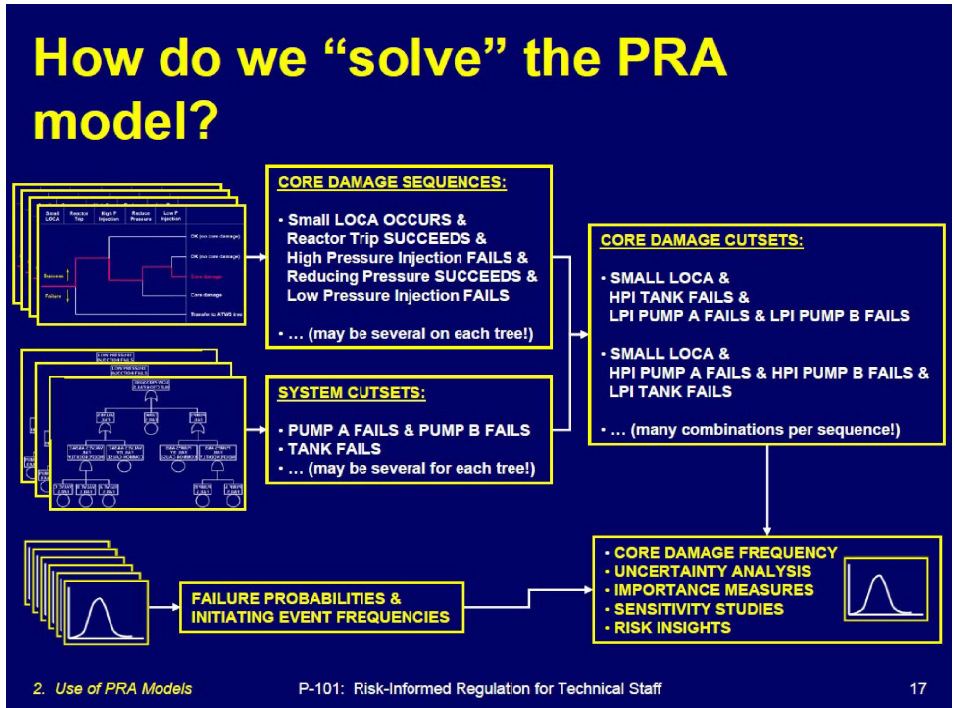


ZPŮSOB ŘEŠENÍ STROMU PORUCH

- Řešení stromu poruch
 - Seznam minimálních kritických řezů (cut sets) – minimální kombinace poruch, které vedou k celkové poruše, např.:
 - Čerpadlo A a čerpadlo B selže ze společné příčiny
 - Ventil A a ventil B a ventil C selžou ze společné příčiny
 - Čerpadlo A a čerpadlo B selžou nezávisle
 - Ventil A a ventil B a ventil C selžou nezávisle
 - Pravděpodobnost, že funkce selže, je odvozena z minimálních kritických řezů a z pravděpodobnosti poruch základních událostí

ILUSTRACE PROVÁZÁNÍ STROMU UDÁLOSTÍ SE STROMY PORUCH





ZDROJE DAT V MODELU PSA

- Generická data a provozní zkušenost
 - Frekvence iniciačních událostí (jen některých)
 - Intenzity poruch zařízení
 - Průměrná provozuschopnost zařízení
 - Frekvence testů
 - Pravděpodobnost obnovy provozuschopného stavu zařízení
- Speciální metody
 - Expertní odhad frekvence vzácných iniciačních událostí (např. velké ztráty chladiva - Large LOCA)
 - Analýza spolehlivosti lidského činitele (např. operátor nepřepnul na recirkulaci z jímky)
 - Analýza poruch se společnou příčinou (CCF - Common cause failure)
- Vliv neurčitosti pravděpodobnostních dat není tak velký, jak se obecně soudí, rozhodující vliv má obvykle logika vazeb v modelu a přijaté předpoklady (např. kritéria úspěchu).



VÝSTUP STROMU UDÁLOSTÍ

- Minimální kritické řezy pro „neúspěchové“ sekvence
 - Minimální kritické řezy vrcholových událostí (bezpečnostních funkcí) – stromů poruch X
 - Iniciační události
- Kvalita výsledků závisí na stupni poznání a kvalitě vstupních předpokladů (výstupů deterministických analýz)
- Praktické využití modelu v aplikacích PSA:
 - Rizikově založení rozhodování – Risk Informed Decision Making – RIDM
 - Monitorování rizika
 - Hodnocení provozních událostí – Accident Sequence Precursors – ASP
 - Optimalizace postupů, provozních limitů, optimalizace odstávky, ...
 - Validace modifikací projektu JE
 - Rizikově založený dozor – RIR – Risk Informed Regulation
 - ...

REÁLNÝ MODEL PSA

- Mnohem větší rozsah modelu, mnohem komplikovanější než ukázky
- Příklad PSA JE Dukovany (dvojblok), cca
 - 2800 stromů událostí
 - 400 vrcholových událostí stromů poruch (> 13000 stránek stromů poruch)
 - 16000 základních událostí
 - 40000 hradel
 - > 500 přepínačů
 - > 1700 skupin CCF (poruch se společnou příčinou)
 - atd.



SPOLEHLIVOST LIDSKÉHO ČINITELE V MODELU PSA JE

- Základní předpoklad:
 - spolehlivost člověka lze:
 - analyzovat,
 - popsat
 - kvantifikovat
- Odlišný typ zpracování informace než u spolehlivosti hardware
 - Mnohem vyšší variabilita lidských selhání
 - Vyšší dynamika ovlivnění lidské spolehlivosti relativně běžnou změnou vnějších podmínek
 - Lidská spolehlivost závisí mnohem více na attributech aktuální situace
 - Přímé statistiky lze využít k odhadu spolehlivosti lidských zásahů důležitých pro bezpečnost jen výjimečně



ZÁKLADNÍ TYPY LIDSKÝCH SELHÁNÍ ANALYZOVANÉ V PSA

- Selhání typu A - předhavarijní pochybení údržby s latentním efektem
 - Příklady:
 - Ponechání čerpadla/armatury v zajištěném stavu (odpojeno od elektrického napájení)
 - Ponechání armatury v nesprávné poloze
 - Použití nesprávného maziva
 - Chybná kalibrace měřidla (potenciál poruchy se společnou příčinou - CCF !)
- Selhání typu I - závažná porušení pravidel provozu vedoucí k mimořádnému stavu
 - Příklady:
 - Poddrenážování primárního okruhu
 - ...
- Selhání typu C - nezvládnutí odezvy na vznik mimořádného stavu
 - Příklady:
 - Neprovedení záložního zásahu při selhání automatik, např. nepřepnutí recirkulace
 - Nepřivedení záložního napájení elektrickou energií
 - Nedodržení trendu odtlakování primárního okruhu



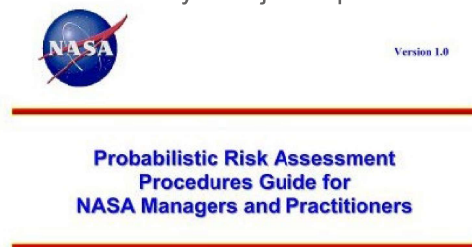
PŘÍKLADY VÝZNAMNÝCH LIDSKÝCH ZÁSAHŮ V MODELU PSA JE TYPU PWR

- Bloková dozorna
 - Vypnutí nadbytečných pohonů ESFAS (havarijní chlazení aktivní zóny)
 - Odtlakování primárního okruhu
 - Vytvoření odstavné koncentrace kyseliny borité v časovém limitu
 - Zprovoznění doplňování bazénu skladování vyhořelého paliva v časovém limitu
 - Otevření armatur havarijního napájení parogenerátorů
 - Doplnění chladiva v reaktoru na úroveň horkých větví smyčky
 - Izolace smyčky po prasknutí kolektoru/trubky parogenerátoru
 - Zaplavení bazénu výměny po ztrátě přirozené cirkulace

- Lokální obsluha
 - Ponechání armatur ve správné poloze po údržbě
 - Správné upevnění břemene

PSA MIMO JADERNÝ PRŮMYSL

- Tam, kde hrozí riziko selhání komplexního systému s velmi vážnými důsledky, ať na zdraví, životní prostředí, nebo ekonomické
- Metody se mohou mírně odlišovat a ne všechna odvětví využívají kompletní metody PSA
- Příklady:
 - Letectví
 - Kritická infrastruktura
 - Plynovody
 - Přenosové a distribuční soustavy
 - Kosmonautika



Děkuji za pozornost, dotazy ?



ÚJV Řež, a. s.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec, Czech Republic

e-mail: jiri.sedlak@ujv.cz
www.ujv.cz



POUŽITÉ ZKRATKY

ATWS	Očekávané přechodové procesy bez rychlého odstavení reaktoru	Anticipated Transient Without Scram
CCF	Porucha se společnou příčinou	Common cause failure
CDF	Frekvence poškození aktivní zóny	Core Damage Frequency
ESFAS	Systém pro spuštění technických prostředků pro zajištění bezpečnosti	Engineered Safety Features Actuation System
FDF	Frekvence poškození paliva	Fuel Damage Frequency
HPI	Vysokotlaké vstřikování chladiva	High Pressure Injection
LERF	Velký časný únik	Large Early Release Frequency
LOCA	Havárie spojená se ztrátou chladiva primárního okruhu	Loss of coolant accident
LPI	Nízkotlaké vstřikování chladiva	Low Pressure Injection
NPP	Jaderná elektrárna	Nuclear Power Plant
PRA	US ekvivalent k PSA	Probabilistic Risk Assessment
PSA	Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti	Probabilistic Safety Assessment
RL	Radioaktivní látky	





Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

Analýzy provozní zkušenosti podporující a využívající model PSA

Ing. František Štván

ÚJV Řež



Pravděpodobnostní hodnocení rizika

Zpětná vazba zkušeností z provozních událostí
Kvantifikace dat pro PSA
Analýzy prekursorů událostí

13.2.2024, František Štván
ČSVTS Novotného lávka



ZPĚTNÁ VAZBA ZKUŠENOSTÍ Z PROVOZNÍCH UDÁLOSTÍ



ZPĚTNÁ VAZBA - LEGISLATIVA



Požadavky národní legislativy

- Zákon č. 263/2016 Sb. Atomový zákon
- Vyhláška SÚJB č. 21/2017 Sb. o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení
- Vyhláška SÚJB č. 162/2017 Sb. o požadavcích na hodnocení bezpečnosti podle atomového zákona
- Vyhláška SÚJB č. 408/2016 Sb. o požadavcích na systém řízení
- SÚJB Bezpečnostní návod JB-5.2, revize 0.0, 2020, Využívání provozních zkušeností na jaderných zařízeních

3

ZPĚTNÁ VAZBA - LEGISLATIVA



Mezinárodní standardy

- SSG-50 - Operating Experience Feedback for Nuclear Installations (IAEA 2018)
- IAEA Safety Standards No. SSR-2/2 (Rev. 1), Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation, 2016
- WENRA, RL - WENRA Report, Safety Reference Levels for Existing Reactors 2020, February 2021
- a další...

4

ZPĚTNÁ VAZBA - VYLEPŠOVÁNÍ

Způsoby vylepšování

- **Vzdělávání pracovníků zpětné vazby z šetřících technik**
 - JRC Petten
 - Forschungszentrum Karlsruhe
 - IAEA Vídeň

- **PHARE Project 1/95 – Improvement of OEF (1998-1999)**
 - Vylepšení databáze sběru dat
 - Systematické kódování přímých a kořenových příčin událostí
 - Zavedení vnější zpětné vazby

- **Pravidelné setkávání pracovníků ZV z českých a slovenských JE**
 - Výměna zkušeností v oblasti šetření událostí a přijatých nápravných opatření



5

ZPĚTNÁ VAZBA – INTERNÍ DOKUMENTY

Interní dokumenty

- **Metodika - Šetření událostí a neshod kategorie závažnosti 1, 2, 3**
- **Související dokumenty**
 - Provozní předpis Řízení zjištění
 - Vypořádání zjištění SNAP
 - Školicí dny zaměstnanců
 - Hodnocení nevhodného zásahu (činnosti)
 - Rozbor významné události
 - Rozbor méně významné události
 - Zpráva o posouzení události VZV (Vnější zpětná vazba)
 - Kategorizace zjištění
 - Indikátory systému šetření událostí kategorie 1_2_3
 - a další...



6

VNITŘNÍ ZPĚTNÁ VAZBA – SOUČÁSTI



Systém zjišťování, klasifikace, zaznamenávání a ohlašování provozních událostí

- Co by měl zahrnovat:
 - Zavedený program pro šetření provozních událostí
 - Používání postupů popisujících vhodné metody šetření provozních událostí
 - Používání postupů popisujících vhodné metody šetření lidského faktoru
 - Odhalení příčiny (příčin) a okolnosti provozní události
 - Neprodlené šetření události, podle klasifikace závažnosti události je stanovena priorita šetření
 - Podle vyhlášky SÚJB č. 21/2017 Sb., § 6 odst. 1 a 2 se **významnou provozní událostí** rozumí taková provozní událost, která splňuje alespoň jedno z uvedených kritérií (celkem 27 bodů, které jsou ještě upřesněny)
 - **Méně významnou provozní událostí** je pak dle § 6 odst. 3 této vyhlášky provozní událost, která není významnou provozní událostí, přičemž i taková událost je zaznamenána a dále řešena

7

VNITŘNÍ ZPĚTNÁ VAZBA – SOUČÁSTI



Systém zjišťování, klasifikace, zaznamenávání a ohlašování provozních událostí

- Co by měl zahrnovat:
 - Vyhotovení zprávy o průběhu a výsledku šetření
 - Přijímání nápravných opatření pro předcházení opakování nebo snížení pravděpodobnosti opakování události
 - Sledování implementace nápravných opatření
 - Jednoznačnou metodiku, kterou při šetření využívají kompetentní zaměstnanci (sledování trendů)
 - Vytvoření prostředí, které podporuje zaměstnance při podávání zpráv o událostech, včetně „skoroudálostech“ se vztahem k bezpečnosti
 - Obeznamení personálu s významnými provozními událostmi – školicí dny (seznamení s kořenovými příčinami)
 - Program pro šetření provozních událostí, který využívá informace ze systému vnější zpětné vazby
 - Spolupráci s podpůrnými organizacemi (např. výrobci, výzkumnými organizacemi a projektanty) v případě potřeby

8

VNITŘNÍ ZPĚTNÁ VAZBA – SOUČÁSTI



Způsob zpracování a vedení dokumentace systému zpětné vazby

- Informace všech úrovní týkající se provozních zkušeností z normálního i abnormálního provozu včetně „skoroudálostí“ jsou systematicky uspořádávány
- Informace jsou dokumentovány a ukládány tak, aby byly snadno dostupné
- Informace jsou přehledné

Účinnost systému zpětné vazby

- Program zpětné vazby z provozních zkušeností je pravidelně vyhodnocován z pohledu jeho efektivity a potřeby jeho nezbytných zlepšení.
- Je vyhodnocována účinnost uložených nápravných opatření.
- Je-li nápravné opatření neúčinné, výsledky šetření provozní události jsou přehodnoceny a je navrženo nové nápravné opatření.

9

VNĚJŠÍ ZPĚTNÁ VAZBA – SOUČÁSTI



Způsob zajištění zpětné vazby z provozních zkušeností jiných JZ a relevantních nejaderných provozů

- Je zavedený systém vnější zpětné vazby na sběr, třídění, analýzu, a dokumentování zkušeností a bezpečnostně významných informací z jiných JZ a relevantních nejaderných provozů
- Jsou vyčleněni pracovníci a zdroje pro zajištění činností v systému vnější zpětné vazby.
- Informace všech úrovní týkající se provozních zkušeností z normálního i abnormálního provozu včetně „skoroudálostí“ jsou systematicky uspořádávány
- Informace jsou dokumentovány a ukládány tak, aby byly snadno dostupné a přehledné
- Je zavedený systém identifikace, výběru, pravidelného šetření a klasifikace údajů z dostupných mezinárodních systémů
- Systém vnější zpětné vazby obsahuje program hlášení / šíření bezpečnostně významných informací (na národní a mezinárodní úrovni).
- Pracovníci zodpovědní za vyhodnocování provozních zkušeností a šetření událostí musí mít odpovídající výcvik, zdroje

10

VNĚJŠÍ ZPĚTNÁ VAZBA – SOUČÁSTI



Využití provozních zkušeností z jiných jaderných zařízení a poznatků vědy a výzkumu

- Informace z jiných jaderných zařízení a relevantních nejaderných provozů jsou držitelem povolení systematicky využívány
- Na základě analýzy informací z jiných jaderných zařízení a relevantních nejaderných provozů jsou přijímána nápravná opatření
- Jsou prováděna a dokumentována pravidelná hodnocení účinnosti využívání zpětné vazby z jiných jaderných zařízení a relevantních nejaderných provozů
- Držitel povolení má nastavený systém poskytování informací o externích událostech a opatřeních z analýz externích událostí zodpovědnému personálu
- Je zaveden systém využívání informací o externích událostech při výcviku personálu.

11

VNĚJŠÍ ZPĚTNÁ VAZBA – VÝMĚNA ZKUŠENOSTÍ



Domácí

- Komunikace JE Dukovany – JE Temelín
- Komunikace DJE – DOKE
- Spolupráce s výzkumnými ústavy, projektanty, výrobci (desítky společností)

Mezinárodní

- Česko – Slovensko
- Komunita VVER (především spolupráce s Maďarskem)
- IRS (Incident reporting System for Nuclear Installations) – provozovaný IAEA – omezená přístupnost
- WANO (WORLD ASSOCIATION OF NUCLEAR OPERATORS) – přístupné pouze pro provozovatele

12



KONEC ČÁSTI VĚNOVANÉ ZPĚTNÉ VAZBĚ ZKUŠENOSTÍ Z PROVOZNÍCH UDÁLOSTÍ

13



KVANTIFIKACE DAT PRO PSA

14

DATOVÉ ZDROJE

- Generická data
- Specifická data
- Kombinace generických a specifických dat
- Bayesův přístup



15

DATOVÉ ZDROJE – GENERICKÁ DATA

Použito u několika málo komponent

- IAEA TECDOC 478 - COMPONENT RELIABILITY DATA FOR USE IN PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT, 1988

```

KAMCT  circuit breaker Voltage between 6 and 10 kV
Component boundary: breaker Operating mode: all Operating environment: normal
Generic failure mode: fail to change position Original failure mode: failure to change position
FAILURE RATE OR PROBABILITY mean : 1.7E-3/d 95%: 4.3E-3/d REPAIR TIME: 6 hours
Source: Swedish Rel.data book, tbl.52 Ultimate source: plant operating experience (7 BWR plants), ATV reports, LERS
Comment: Operating experience:total pop.278. No.of demands 1760.No.of failures 3. Critical failures occurred at 3 plants.
a=0.0208; b=12.2

PACRE  pump centrifugal
Component boundary: detail n/a. Sometimes include driver. Operating mode: all Operating environment: normal
Generic failure mode: fail to run Original failure mode: fails while running
FAILURE RATE OR PROBABILITY rec : 7.1E-6/hr high: 5.8E-4/hr low: 0.0E-0/hr
Source: IEEE 500 (1984) pg.890 Ultimate source: expert opinion, selected plant data
Comment: Given value is composite of several sources, different pump types and sizes and operating modes.More specific data included elsewhere

PACSE  pump centrifugal
Component boundary: Detail n/a.Sometimes include driver Operating mode: all Operating environment: normal
Generic failure mode: fail to start Original failure mode: fails to start
FAILURE RATE OR PROBABILITY rec : 4.7E-3/cy high: 2.5E-1/cy low: 0.0E-0/cy
Source: IEEE 500 (1984) pg.893 Ultimate source: expert opinion,selected plant data,WUREG 2886,1205,2232,NPR0-2
Comment: This value is composite of several sources, different pump types and operating modes.More detailed data are included elsewhere.

```



16

DATOVÉ ZDROJE – GENERICKÁ DATA

- IAEA-TECDOC-508- SURVEY OF RANGES OF COMPONENT RELIABILITY DATA FOR USE IN PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT, 1989

B(E) Source category: generic

PMURB pump motor driven
 Component boundary: pump and motor,excludes control circuits Operating mode: all Operating environment: extreme
 Generic failure mode: fail to run Original failure mode: failure to run, given start
 FAILURE RATE OR PROBABILITY mean : 3.0E-3/hr max: 2.0E-2/hr min: 6.0E-5/hr
 Source: NUREG 2815 (table C.1.) Ultimate source: expert opinion agregation and IREP data
 Comment: Extreme operating environment characterise interface with heavy chemical environment-boric acid.



17

DATOVÉ ZDROJE – SPECIFICKÁ DATA

Použito při odvození parametrů u většiny iniciačních událostí i komponent

- Analýza provozní historie
- Přiřazení záznamů o událostech k IU/komponentám
- Vyhodnocení dostatečnosti provozní historie
- Vyhodnocení relevantnosti (je ještě daná komponenta/poruchový mód aktuální)



18

DATOVÉ ZDROJE – KOMBINACE GENERICKÝCH A SPECIFICKÝCH DAT

Kvantifikace LOCA

- Generická informace – frekvence prasknutí segmentu potrubí
- Specifická informace – geometrie a počet segmentů na vlastní elektrárně
- Vynásobením frekvence prasknutí segmentu potrubí počtem segmentů = IE (LOCA) frekvence



19

DATOVÉ ZDROJE – BAYESŮV PŘÍSTUP

Jedná se také o případ kombinace generických a specifických dat

Kvantifikace IU na potrubí SO

- Generická informace – výskyt událostí na příbuzných elektrárnách VVER (zdroj IRS, PRIS)
- Specifická informace – výskyt událostí (často nulový) na vlastní elektrárně
- Spojení informací pomocí Bayesova přístupu



20

ROZDĚLENÍ DAT PODLE ZPŮSOBU KVANTIFIKACE

Iničiační události

- Frekvence

Porucha nezávislých komponent

- Intenzita poruch
- Nepohotovost komponenty



21 |

ROZDĚLENÍ DAT PODLE ZPŮSOBU KVANTIFIKACE

Datové prvky v PSA (dělení podle typu modelu)

- *typ1*: opravitelná komponenta
- *typ2*: periodicky testovaná komponenta
- *typ3*: nepohotovost
- *typ4*: porucha komponenty při běhu
- *typ5*: frekvence



22 |

INICIAČNÍ UDÁLOSTI

Výskyt iniciační události

Frequency

- $f = r/T$
- kde r je počet výskytů dané iniciační události a T je celková doba sledování provozních statistik

Platné pro

- Iniciační události (typ 5*)

*) Číslování dle Risk Spectrum



23

INICIAČNÍ UDÁLOSTI

Cca 200 IU (parametrů IU)

- LOCA
- Transienty
- Další (ředění bóru, MIL, studené natlakování, záplavy na strojně)

Záznamy z provozní historie

- Cca 450 potenciálních přispěvatelů k IU z provozní historie EDU za období 1990 - 2018



24

PORUCHY KOMPONENT – INTENZITA PORUCH



Poruchy nezávislých komponent

Intenzita poruch

- $\lambda = n/T$
- kde **n** je počet poruch dané komponenty během sledovaného období **T**

Platné pro komponenty

- Monitorovaná, opravitelná (*typ 1**)
- Periodicky testovaná (*typ 2*)
- Běh do poruchy (*typ 4*)

*) Číslování dle Risk Spectrum



25

PORUCHY KOMPONENT - NEPOHOTOVOST



Poruchy nezávislých komponent

Nepohotovost komponenty

- $u = p$
- kde **p** je pravděpodobnost, že komponenta bude nalezena v neprovoznoschopném stavu

Platné pro komponenty

- Zahrnuje rovněž nepohotovost komponenty z důvodu údržby/testu, pravděpodobnosti poruch na požadavek a předpočítané pravděpodobnosti poruch makro komponent, selhání lidského činitele, různé poměrové koeficienty (*typ 3**)

*) Číslování dle Risk Spectrum software



26

PORUCHY KOMPONENT

Cca 1450 parametrů pro poruchy komponent

- Definování hranic komponent
- Vytvoření populací reprezentující typově stejné nebo velmi podobné komponenty se stejným nebo velmi podobným způsobem provozu/údržby
- 350 parametrů charakterizováno intenzitou poruch
- 1100 parametrů charakterizováno jako nepohotovost – z toho cca 100 parametrů pro nepohotovost z důvodu údržby a testů

Záznamy z provozní historie

- Cca 1500 potenciálních přispěvatelů k poruchám komponent z provozní historie EDU za období 1990 - 2018



27

DATABÁZE ETE/EDU

- Vytvořena za účelem přehledného a dohledatelného způsobu odvození parametrů na základě specifických dat
- Verze pro ETE a pro EDU – malé rozdíly respektující způsob evidence provozní historie na obou JE
- Na EDU obsahuje provozní historii za období 2009-2018 pro komponenty (v několika specifických případech i před rokem 2009) a za období 1990 – 2018 pro iniciační události
- Import relevantních záznamů z provozní historie
- Analýza provozní historie
- Kvantifikace parametrů
- Přehledné textové a tabulkové výstupy pro dokumentování postupu kvantifikace parametrů



28

DATA BAZE EDU – IMPORT RELEVANTNICH ZAZNAMU Z PROVOZNI ZKUSENOSTI

- Metodika pro užívaní
- Zadávání surových dat
 - Deník SI
 - SIS
 - Hlášenky HOP
- Předběžné zpracování informací z provozních zkušeností
- Kategorizace IU/NPK



29

DATA BAZE EDU – IMPORT RELEVANTNICH ZAZNAMU Z PROVOZNI ZKUSENOSTI

The screenshot shows a software interface for managing operational experience data. The main title is "DATABÁZE PROVOZNIH ZKUSENOSTI PRO PODPORU PSA EDU".

Zpracování externích datových zdrojů

Import	Poslední soubor	Zpracování PK-IU-CCF	Transfer
Import ze SIS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NPK
Hlášení SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IU
			CCF

Zpracování informace uložené v databázi

Provozní zkušenost	Objekty	PSA	Parametry	BE
NPK	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IU	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CCF	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Doplňující informace

Časinky Provozní stavy Komponenty

Import ze PSA/Export do PSA

Import PSM	Poslední soubor	Export PSM
Import BED	Poslední soubor	Export BED

Přehledy

Parametry IU **Kontroly** Parametr-HOP Sestavy

Parametry NPK Historie pro IU Hist. pro NPK Historie pro NPK (jak bylo v 2013)

kap. 5-2 kap. 5-4 FIRE IU

Záznam o zpracování dat

Datum	Autor	Období sledování	Počet RR
24.11.2020	Milan Hladký	Odi: 01.01.2009 Do: 31.12.2018	40

Databáze obsahuje informace tvořící obchodní tajemství ÚJV řež a.s.



30

DATABÁZE EDU – HODNOCENÍ IU

Hodnocení provozních událostí - IU

Číslo události:

Název události:

Číslo bloku:

Provozní stav/Režim: Režim:

Parametr IU: Neprepočítávat parametry IU
IE-T5.1

help:

Název parametru IU:

Datum vzniku události:

Závažnost události:

Popis události:

Odkaz na zdroj informace: Odkaz na dokument:

Doplnující poznámka:

Uvažován příj. příspěvek 1 k IU:

Pinhodnotná událost T5.1: analyzováno



31

DATABÁZE EDU – PARAMETRY IU

Parametry iniciačních událostí

Kód parametru IU:

Název parametru:

Datum zahájení sledování události: Datum ukončení sledování události:

Úhrnná hodnota poruchové statistiky:

Frekvence parametru:

Parametry iniciačních událostí

Kód parametru:

Popis IU:

Bodový odhad:

Typ rozdělení:

Chybový faktor:

Medián rozdělení:

5% kvantil rozdělení:

95% kvantil rozdělení:

Variance rozdělení:

Způsob odhadu:

Poslední změna parametru:

Autor poslední změny:



32

DATABÁZE EDU – PARAMETRY IU – PŘÍSPĚVKY K IU



IE-T5.1 Ztrata napajeni z rozvodny Slavetice (400kV, 110kV)						
04.12.1990	186/9/1990	9	Chybná manipulace v rozvodně Slavětice, výpadek linek 400kV i 110kV všech bloků, bloky 2,4 zregulovaly na vlastní spotřebu, blok 3 v GO, na 1.bloku chybné působení distanční ochrany, selhání uzavření RZV TG11 (a tím neprojtí signálu HO-1 od uzavření RZV	S1	1	Uvažován plný příspěvek 1 k IU
01.05.2014	-230/9/2015	9	Opakovaný výpadek linky V438 Slavětice-Rakousko	S1	0,05	IU T5.5 - uvažovaná závažnost události 0,05
celkem pro IE-T5.1 (2 záznamy) s uvažovaným příspěvkem						1,050

DATABÁZE EDU – ZPRACOVÁNÍ NPK



Zpracování nezávislých poruch komponent

Zpracování nezávislých poruch komponent

Číslo události: C HOP: 23/4/2009 Datum vzniku události: 26.03.2009

Název události: Náhromot na kroužení obvodu náhlé 4TJ.062.10 v kódu B802/2

Komponenta: 4TJ.062.10 Parametry: Populace: PNP-TJ-RUN Výhledy:

Komponenta není modifikována v PSA Číslo bloku: 4

Provozní režim: 91

Provozní stav: 51

Zvýšené poruchy: 0/0

Nezávislost komponenty: PNP-TJ-RUN

Průběh poruchy: Náhromot na kroužení obvodu náhlé 4TJ.062.10 v kódu B802/2. Po stavění ELS nahradil PCD, nebyly přehledně napájeny na náhlé 4TJ.062.10, oáň. č. 93. Dle informací je odstavění zastaveno č. 100ač. -výřk. č. 1001. 24. 540 Dpř. Marš. zahájila dekonstrukci náhlé.

Zápis: SIS

Důvody poruchy: [1] Uvažování jako porucha možného výpadku bezpeč. T2 v režimě náhlé souřadnice. Rozpracování ostatní 2. události v podobném průběhu - nahromot na přehledných místech náhlé.

Zařízení/System:

typ zařízení: roční: analyzováno:

DATABÁZE EDU – PARAMETRY NPK



Unění parametrů populací

Populace
 Označení populace: **2009-2018** Technologie: S-STROJNI Typ parametru: **in**
 Název populace: **Cerpado TJ selze pri behu**
 Hranice komponent: **Čerpadlo (s elektromotorem) - čerpadlo, spolek, elektromotor, vlastní číhání, el. úborod (světlo, ohřev, voda), vodní, vzduch, technologické ochrany, speciálně automaticky (testování, rozložka a čerpaní), výmění, otro úborod, dělní, hospodářství**

Zelení parametry
 Celková doba běhu (hodin): 887 Použití období: 2009-2018
 Celková doba výčkářní: 0
 Celková poruchová statistika: 3,45
 Intenzita poruch běhu: 3,96E-03
 Intenzita poruch stavu: 0,00E+00

Průběh historie
 Začátek sledování populace: 01.01.2009 Celkem 8700 hodin
 Konec sledování populace: 01.01.2010
 Doba výčkářní: SM Doba výčkářní: Rst
 Pocházet...

Parametry populace 2009 - 2013
 Celková doba běhu (hodin): 427
 Celková doba výčkářní: 0
 Celkový počet výčkářní: 0
 Celková poruchová statistika: 6,3
 Počet komponent v populaci: 36
 Kód populace:
 Intenzita poruch běhu: 7,83E-04
 Intenzita poruch stavu: 0,00E+00

Parametry populace 2014 - 2018
 Celková doba běhu (hodin): 460
 Celková doba výčkářní: 0
 Celkový počet výčkářní: 0
 Celková poruchová statistika: 3,15
 Počet komponent v populaci: 36
 Kód populace:
 Intenzita poruch běhu: 6,85E-03
 Intenzita poruch stavu: 0,00E+00

Parametry populace 2009 - 2018
 Celková doba běhu (hodin): 887
 Celková doba výčkářní: 0
 Celkový počet výčkářní: 0
 Celková poruchová statistika: 3,45
 Počet komponent v populaci: 36
 Kód populace:
 Intenzita poruch běhu: 3,89E-03
 Intenzita poruch stavu: 0,00E+00

Komponenty v populaci
Blízké informace
 Populace a provoz

Blízké informace
 Zblízkem zblízka informace o spolehlivosti čerpadel TJ je posílá studie PSA databáze 02_VT úprava SAČZ a hlavním bezpečnostním a stabilizačním prvkem vývoje havarijních scénářů úpravy v odstavě číhání a U. Jeho topení pro pracovním měřím je stav výčkářní scenář s generací pro vnitř. lazečních poruch stavu, který je přirovnán k běžným dočasným poruchům a statistiku pro poruchový mód selže běhu.
 V letech 2014 a 2018 jsou uvedeny souhrnné přehledy statistik DG a čerpadel TJ za období 2009-2018.

Provoz a provoz
 Provoz čerpadel TJ obstarává na každém RG tři čerpadla nacházející se za běžného provozu ve stavu výčkářní a každé pouze při testech, při speciálních akčních nebo potencionálně při výskytu havarijních scénářů. Takovému výskytu v testech provozu EDU ještě nedošlo. Při předchozích testech probíhaly, že čerpadla TJ běžela pouze při testech a dále byla využita k běžnému provozu při speciálních příležitostech (viz. dlouhodobé čerhdy). V databázi statistik EDU s 01.01.2009 - 30.09.2012 jsou identifikované následující typy a počty běhů čerpadel TJ:
 *za 2009 - 2012: 301 kontrolní automatického stavu DG s ghermetizací a dobou trvání 1 hodina, v souhrnu se součtem příjímek reprezentativních 301 + 50,50 = 317 hodin běhu čerpadel TJ
 *Dlouhodobé běhy čerpadel TJ při odstavkách - celkem 133 hodin
 *za 2014 - 2018: 403 kontrolní automatického stavu DG s ghermetizací a dobou trvání 1 hodina, v souhrnu se součtem příjímek

35

DATABÁZE EDU – PARAMETRY NPK



Pravděpodobnostní parametry poruch komponent

Kód parametru: **FMP-TJ-RUN** Technologie: S-STROJNI
 Název parametru: **Cerpado TJ selze pri behu**

Bodový odhad: 3,89E-03
 Typ rozdělení: **lognormální**
 Chybový faktor: 2
 Medián rozdělení: 3,56E-03
 5% kvantil rozdělení: 1,78E-03
 95% kvantil rozdělení: 7,12E-03
 Variance rozdělení: 2,94E-06

Způsob odhadu: **Specifická informace**
 Poslední změna parametru: 25.03.2020
 Autor poslední změny: **Milan Hladký**
 Poznámka:

36



KONEC ČÁSTI VĚNOVANÉ KVANTIFIKACI DAT PRO PSA

37 |



ANALÝZY PREKURSORŮ UDÁLOSTÍ

38 |

HISTORIE ASP (ACCIDENT SEQUENCE PRECURSOR) 2001- SOUČASNOST

- **2001**
 - Úvod do analýzy prekursorů, seznámení se s přístupem v USA
- **2002 – 2006**
 - ad hoc ASP analýzy (pro SÚJB, JE Dukovany)
- **2006**
 - Vypracování vlastní metodiky na hodnocení ASP
- **2011**
 - Smlouva s SÚJB na pravidelné roční provádění analýz ASP
 - První analýza provedena zpětně za období 2007-2010 pro JE Dukovany a JE Temelín
- **2012 - 2017**
 - Pravidelné roční analýzy ASP vždy za předchozí rok



39 |

HISTORIE ASP 2001- SOUČASNOST

- **2018 Nový atomový zákon**
 - Je vyžadováno využívání/provádění vybraných aplikací
 - Vyhodnocování rizika provozních událostí pomocí PSA
 - Hodnocení ASP je jednou z požadovaných aplikací
 - Povinnost provádět požadované analýzy má provozovatel
 - Ukončení kontraktu s SÚJB – polovina roku 2018



40 |

HISTORIE ASP 2001- SOUČASNOST

- **2018 - 2020**
 - Diskuse o dalším pokračování mezi SÚJB, ČEZ a ÚJV
 - Od roku 2020 jsou v rámci komplexní služby opět prováděny analýzy ASP na roční bázi
- **2021**
 - Byla provedena analýza ASP za předchozí období (kompletní roky 2018-2020)
- **2022**
 - Analýzy ASP jsou prováděny pravidelně vždy za předchozí rok
 - V případě potřeby jsou prováděny ad hoc analýzy ASP dle požadavků ČEZ zrychleným způsobem



41

HODNOCENÍ RIZIKA UDÁLOSTÍ

- **Činnosti před analýzou**
 - Dvoukolové třídění událostí
 - Detailní znalost a pochopení vzniku a průběhu událostí vybraných pro hodnocení
- **Postup při hodnocení rizika události**
 - Modelování události v PSA
 - Kvantifikace a vyhodnocení
 - “What if?” – analýza „Co kdyby?“



42

MODELOVÁNÍ UDÁLOSTÍ V PSA



JE Dukovany	JE Temelín
Východisko pro model	
VVER440/213, 4 bloky (2 dvojbloky)	VVER1000/320, 2 bloky
Mnoho modifikací od původního návrhu (Living PSA)	
Software	
RiskSpectrum® PSA Professional Risk Monitor	Cafta Phoenix 3.0
Rozsah PSA	
Level 1 PSA pro všechny provozní módy	
Level 2 PSA pro plný výkon a nízkovýkonové stavy	
Vnitřní a vnější hazardy	

43

43

ANALÝZA UDÁLOSTÍ – UKAZATELE RIZIKA PRAHOVÉ HODNOTY

A



Typ události	Ukazatel	Riziková úroveň
Iniciační události	$CCDP \geq 1E-6$	Bezpečnostně významná událost (BVU)
	$1E-6 > CCDP \geq 1E-7$	Prekursor (předchůdce) BVU
	$CCDP < 1E-7$	Bezpečnostně nevýznamná událost
a) Potenciální IU b) Nepohotovost zařízení c) Potenciální nepohotovost zařízení	$\Delta CDF \geq 1E-6$ and $ICCDP \geq 1E-6$	Bezpečnostně významná událost (BVU)
	$1E-6 > ICCDP \geq 1E-7$	Prekursor (předchůdce) BVU
	$ICCDP < 1E-7$	Bezpečnostně nevýznamná událost

44

Děkuji za pozornost



ÚJV Řež, a. s.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec, Czech Republic

e-mail: sales@ujv.cz
www.ujv.cz





Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

Externí ohrožení jako přispěvatel k riziku provozu JE

Ing. Stanislav Husták

ÚJV Řež



Vnější ohrožení jako příspěvatel k riziku provozu JE

Ing. Stanislav Husťák
13.02.2024



Seminář Odborného centra Spolehlivost:
Pravděpodobnostní hodnocení rizika

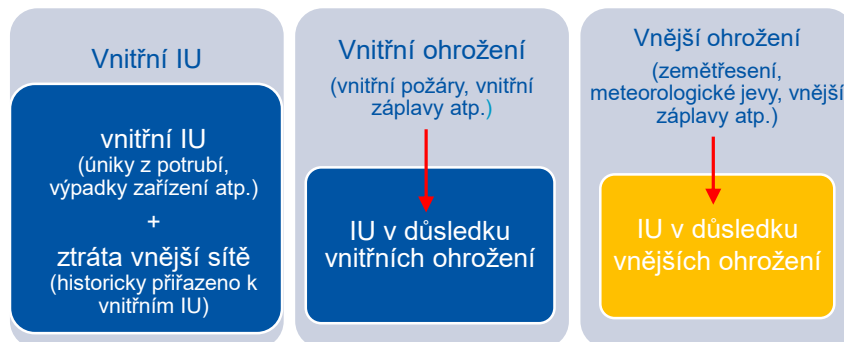


Obsah prezentace

- **Hodnocení vnějších ohrožení v kontextu PSA**
- **Hlavní kroky hodnocení vnějších ohrožení v PSA**
 - jsou zmíněny některé příslušné české i mezinárodní návody
- **Specifické aspekty hodnocení vnějších ohrožení v PSA**
- **Hodnocení vnějších ohrožení v ÚJV Řež, a. s.**
 - v PSA pro JE Dukovany
- **Ukázka příspěvku vnějších ohrožení k riziku provozu JE**
 - z PSA pro JE Dukovany

Typy iniciačních událostí v PSA pro JE

■ Typické dělení iniciačních událostí (IU) v PSA pro JE



Pozn.: Ztráta vnější sítě je zde míněna z jiných příčin než z důvodu analyzovaných vnějších ohrožení.

Ohrožení

■ Definice ohrožení z návodu SÚJB BN-JB-4.1*

- pro účely hodnocení dopadu ohrožení na JE

Potenciál škody nebo jiné újmy, působící jako faktor nebo podmínka, která by mohla nepříznivě ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, zabezpečení, monitorování radiační situace a zvládnání radiační mimořádné události

- odpovídajícím anglickým termínem používaným v PSA je „hazard“

- vnější ohrožení

Ohrožení pocházející ze zdrojů umístěných **mimo areál** jaderné elektrárny

Pozn.: „Mimo areál“ jaderné elektrárny (JE) v tomto případě znamená i v podloží pozemku JE nebo v atmosféře na pozemku JE.

*BN-JB-4.1 (Rev. 0.0), Umístění jaderného zařízení - hodnocení přírodních vlastností a jevů, SÚJB, 2021

Druhy vnějších ohrožení

■ Druhy vnějších ohrožení z návodu MAAE SSG-3*

- přírodní ohrožení spojené se vzduchem (air based)
 - tornádo, extrémní vítr, extrémní sněhová pokrývka, extrémní teplota, ...
- přírodní ohrožení spojené se zemí (ground based)
 - zemětřesení, sopečná činnost, rozsáhlý požár mimo JE, ...
- přírodní ohrožení spojené s vodou (water based)
 - vysoká hladina vody (záplavy od řek nebo jezer), tsunami, ...
- průmyslové havárie mimo JE
 - havárie (exploze) blízkých plynovodů, úniky toxických látek v okolí JE, ...
- pády letadel (náhodné)
- jiné
 - protržení přehrady, elektromagnetická interference, ...

*SSG-3, Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, IAEA, 2010

Analýza vnějších ohrožení v PSA

■ Hlavní kroky analýzy v PSA

- výběr (screening) vnějších ohrožení pro detailní analýzu v PSA
- analýza dopadu vnějších ohrožení
- stanovení frekvence vnějších ohrožení
- přiřazení iniciačních událostí
- analýza rozvoje iniciačních událostí v důsledku vnějších ohrožení
 - stromy poruch, stromy událostí
- stanovení příspěvku k mírám rizika počítaným v PSA

Pozn.: Tyto kroky a příslušná doporučení pro provedení těchto kroků jsou popsány např. v bezpečnostním návodu SÚJB BN-JB-2-5* (v tomto návodu je místo termínu „ohrožení“ použit především termín „riziko“), resp. v návodu MAAE SSG-3.

*BN-JB-2.5 (Rev. 1.0), Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti, SÚJB, 2018

Specifika analýzy vnějších ohrožení v PSA

■ Křivky (vnějších) ohrožení (hazard curves)

- frekvence výskytu ohrožení v závislosti na intenzitě ohrožení

■ Křivky porušitelnosti (fragility curves)

- závislost pravděpodobnosti poruchy zařízení, objektu apod. na intenzitě ohrožení

■ Zohlednění dopadu vnějších ohrožení

- ohrožení (zvláště pak vnější ohrožení) mohou významným způsobem redukovat schopnost JE zvládat iniciační události jimi vyvolané

■ Zohlednění kombinací ohrožení

- včetně kombinací vnějších a vnitřních ohrožení

Výběr vnějších ohrožení pro analýzu v PSA

■ Velké množství vnějších ohrožení k prověření

- např. pro PSA JE Dukovany se prověřovalo 91 vnějších ohrožení
 - čerpal se z mnoha zdrojů (seznamů)
 - většina ohrožení má však zjevně zanedbatelný dopad na provoz JE nebo jsou neaplikovatelné pro lokalitu JE Dukovany
- screening
 - dle očekávané frekvence (dle numerických kritérií pro zanedbání)
 - dle následků
 - konzervativní analýza pro účely screeningu
- iterativní proces
 - možné přehodnocení výběru po provedení detailní analýzy v PSA

Křivky vnějších ohrožení

■ Stanovují se pro většinu přírodních vnějších ohrožení

- frekvence výskytu intenzit ohrožení vyšších než daná intenzita
- nejčastěji je využíváno Gumbelovo rozdělení



Křivky vnějších ohrožení

■ Specifický bod křivek vnějších ohrožení

= frekvence 10^{-4} /rok

tj. pro intenzity ohrožení odpovídající době návratu 10000 let a více

- obvykle určuje oblast intenzit, na kterou musí být JE projektována
- v České republice je tato oblast intenzit vnějších ohrožení daná vyhláškou

■ Vyhláška 329/2017 Sb.

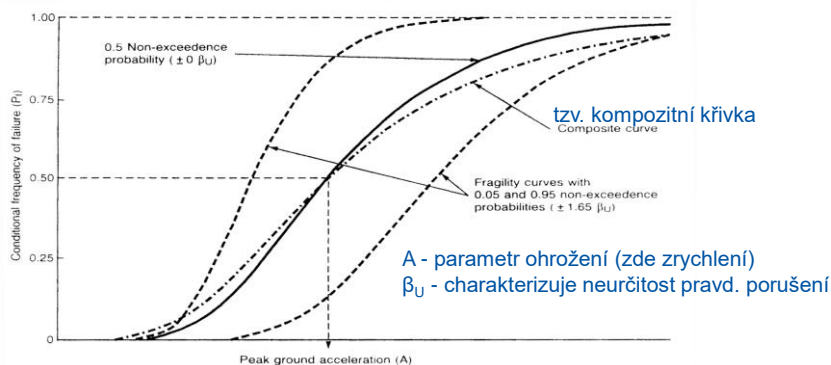
- o požadavcích na projekt jaderného zařízení
- § 11, odst. (3)

(3) Intenzita základní vnější projektové události musí být rovna intenzitě hodnocené vlastnosti území s četností výskytu jednou za 10 000 let nebo nižší, ...

Křivky porušitelnosti

■ Obvykle lognormální distribuční křivky

- závislost pravděpodobnosti poruchy zařízení, objektu apod. na intenzitě ohrožení (parametru ohrožení)
- ilustrativní příklad pro seismickou událost z IAEA-TECDOC-724



Křivky porušitelnosti

■ Parametry používaných křivek porušitelnosti v PSA

- pro nejčastěji používanou kompozitní křivku porušitelnosti je potřebné stanovit následující parametry:
 - A_m - intenzita pro medián pravděpodobnosti porušení
 - β_C - charakterizuje kompozitní (někdy také „mean“) křivku porušitelnosti
 - $\beta_C = \sqrt{\beta_R^2 + \beta_U^2}$
 - β_R - charakterizuje nahodilost pravděpodobností porušení
 - β_U - charakterizuje neurčitost pravděpodobností porušení
- teorie ke křivkám porušitelnosti
 - např. IAEA-TECDOC-1937* pro seismické ohrožení
 - pro některá další vnější ohrožení lze použít křivky porušitelnosti podobným způsobem jako pro seismické ohrožení

*IAEA-TECDOC-1937, Probabilistic Safety Assessment for Seismic Events, IAEA, 2020

Křivky porušitelnosti vs. binární přístup

■ Použití křivek porušitelnosti v PSA

- pro takové působení ohrožení, kdy lze očekávat spojitou funkci pro pravděpodobnost selhání zařízení (objektu) v závislosti na intenzitě ohrožení
 - např. pro působení seismické události, extrémního větru, extrémní sněhové pokrývky, tornáda

■ Použití binárního přístupu v PSA

zařízení není ovlivněno, objekt není ovlivněn

vs.

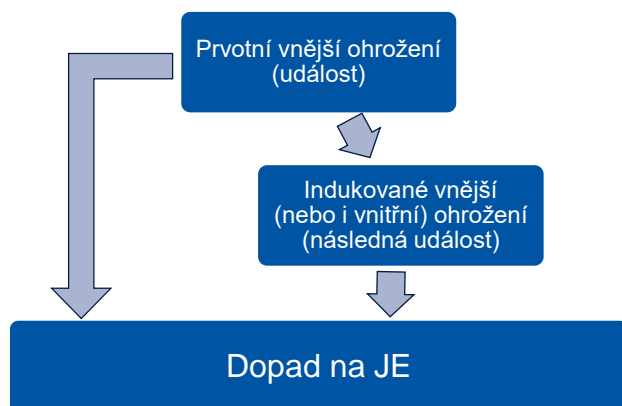
zařízení je porušeno (selže), objekt je porušen apod.

- používá se pro takové působení ohrožení, kdy lze očekávat skokovou změnu stavu zařízení (objektu) v závislosti na intenzitě ohrožení
 - např. pro působení záplavy, často i pro působení extrémních teplot

Kombinace událostí s vnějšími ohroženími

■ Závislé události

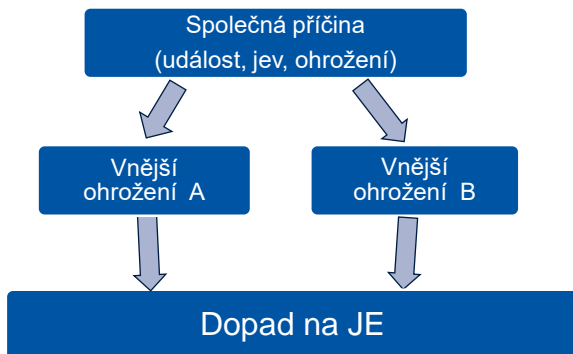
- jsou obvykle zohledněny v analýze prvotního vnějšího ohrožení



Kombinace událostí s vnějšími ohroženími

■ Korelované události

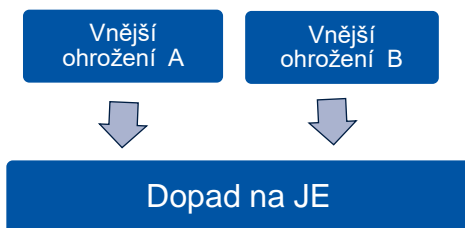
- jsou obvykle zohledněny v analýze jednoho z vnějších ohrožení nebo je provedena samostatná analýza souběhu korelovaných vnějších ohrožení



Kombinace událostí s vnějšími ohroženími

■ Nezávislé události

- obvykle se zanedbávají (zanedbatelná frekvence výskytu souběhu)



Pozn. Druhy kombinací ohrožení jsou převzaty z návodu MAAE SSG-64* (jsou aplikovatelné i pro vnější ohrožení).

*SSG-64, Protection against Internal Hazards in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA, 2021

Analýza vnějších ohrožení v modelu PSA

■ Přřazení parametru intenzity a diskretizace rozsahu

- v PSA se obvykle provádí diskretizace analyzovaného rozsahu parametru intenzity ohrožení na několik intervalů
- příklad z PSA pro JE Dukovany

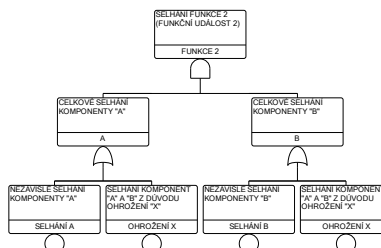
Ohrožení	Parametr intenzity	Počet intervalů
Extrémně nízká teplota	Minimální 6-ti hodinový průměr	3
Extrémní sněhová pokrývka	Výška vodního sloupce	6
Extrémní vítr	Rychlost větru v nárazu (1 s)	6
Extrémně vysoká teplota	Maximální 6-ti hodinový průměr	3
Tornádo	Rychlost větru v tornádu	3
Zemětřesení	PGA (Peak Ground Acceleration)	3

Analýza vnějších ohrožení v modelu PSA

■ Standardní analýza v modelu PSA

- přiřazení vhodných iniciačních události pro každý rozsah intenzit vnějšího ohrožení
 - nejčastěji ztráta vnější sítě
- stanovení pravděpodobnosti porušení zařízení (objektů) v definovaných intervalech intenzit
- analýza iniciační události v důsledku vnějšího ohrožení pomocí stromů událostí a stromů poruch

INICIAČNÍ UDÁLOST IU1	FUNKČNÍ UDÁLOST 1	FUNKČNÍ UDÁLOST 2	FUNKČNÍ UDÁLOST 3	No.	Freq.	Conseq.
IU1	FUNKCE 1	FUNKCE 2	FUNKCE 3			
				1		NENÍ RIZIKO
				2		NENÍ RIZIKO
				3		RIZIKO
				4		RIZIKO



Česká legislativa

■ Vyhláška 162/2017 Sb.

- o požadavcích na hodnocení bezpečnosti podle atomového zákona

- § 5, odst. (2), písm c)

- (2) Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti musí zohlednit

- ...

- c) vnitřní a **vnější** iniciační události, včetně plošně působících vnitřních a vnějších iniciačních událostí.

Pozn.: Plošně působící iniciační události = zde opis anglického termínu „hazards“.

Analýzy vnějších ohrožení v ÚJV Řež, a. s.

■ PSA pro JE Dukovany

- analýzy vnějších ohrožení v PSA 1. úrovně od roku 2008

- pro provoz JE na výkonu i v odstavených stavech JE

■ Reakce na událost na JE Fukushima v roce 2011

- podrobnější analýzy v PSA pro JE Dukovany v následujících letech

- mj. v souvislosti s implementací opatření na JE na základě zátěžových testů

- integrovaná PSA 1. a 2 úrovně pro vnější ohrožení od roku 2015

■ Současnost

- průběžná aktualizace analýzy vnějších ohrožení v PSA pro JE Dukovany na základě nových informací

- např. na základě výskytu tornáda kategorie F4 na Břeclavsku v roce 2021

■ Programové prostředky

- v ÚJV Řež, a. s. se pro modelování a výpočty v modelu PSA používá RiskSpectrum PSA

Vnější ohrožení v PSA pro JE Dukovany

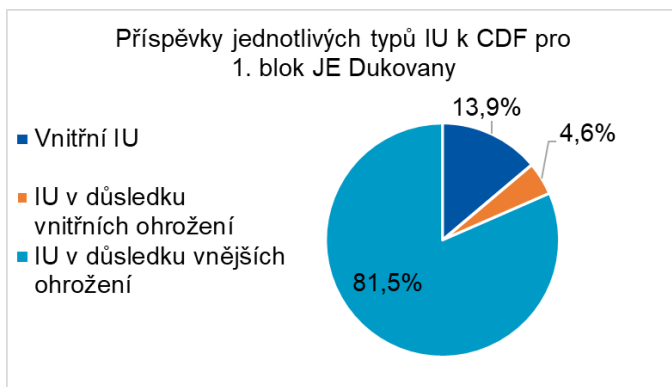
■ Analyzovaná vnější ohrožení

- extrémně nízká teplota
- extrémní sněhová pokrývka
- extrémní vítr
- extrémně vysoká teplota
- pád letadla (náhodný)
- prašná bouře
- tornádo
- zemětřesení

Pozn.: Analýza těchto vnějších ohrožení obsahuje i analýzu následných nebo korelovaných ohrožení, pokud tyto nebyly zanedbány.

Příspěvek k riziku provozu JE Dukovany

■ Odhadovaný příspěvek vnějších ohrožení k CDF



CDF = Core Damage Frequency (frekvence poškození aktivní zóny reaktoru)

Hlavní poznatky a závěry

■ Analýzy vnějších ohrožení jsou důležitou součástí PSA

- v současné době jsou analýzy vnějších ohrožení standardní součástí modelů PSA pro JE na celém světě
- vnější ohrožení jsou významným faktorem ovlivňujícím riziko z provozu JE, a to i v České republice
- výstupy z analýz vnějších ohrožení v PSA jsou součástí procesu rizikově-orientovaného rozhodování na JE v České republice

Děkuji Vám za pozornost



Skupina ÚJV
LIFE | INOVACE | TECHNOLOGIE

Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

ISBN 978-80-02-03051-5

Pravděpodobnostní hodnocení rizika

Sborník přednášek

kolektiv autorů

1. vydání

rok vydání 2024, Česká společnost pro jakost

63 stran