

# BEZPEČNOSTNÍ NÁVODY SÚJB

Bezpečné využívání jaderné energie a ionizujícího záření

## Program řízení stárnutí FAC v jaderných elektrárnách typu VVER

Jaderná bezpečnost

BN-JB-5.6 (Rev. 1.0)



STÁTNÍ ÚŘAD  
PRO JADERNOU  
BEZPEČNOST

**HISTORIE REVIZÍ**

Revize č./č.j.	Účinnost od	Garant	Popis či komentář změny
1.0/ SÚJB/LI ETE/1114/2020	01. 01. 2021	Jan Jiroušek	Nové přepracované vydání BN-JB-5.6, rev. 1.0 v návaznosti na účinnost zákona č. 263/2016 Sb. a prováděcí vyhlášky č. 358/2016Sb., vyhlášku č. 408/2016 Sb. a vyhlášku č. 21/2017 Sb.

**Jaderná bezpečnost**

**Bezpečnostní návod PROGRAM ŘÍZENÍ STÁRNUTÍ FAC V JADERNÝCH ELEKTRÁRNÁCH  
TYPU VVER**

**Vydal: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha, leden 2021**

**Č.j.: SÚJB/LI ETE/1114/2020**

**BN-JB-5.6 (Rev. 1.0)**

Účelová publikace bez jazykové úpravy, připomínky směřujte na adresu:  
připomínky\_navody@sujb.cz

**OBSAH NÁVODU**

Použité zkratky a pojmy.....	4
1. ÚVOD .....	6
1.1 Důvod vydání .....	6
1.2 Cíl .....	6
1.3 Působnost.....	6
1.4 Platnost.....	6
2. PŘEDMĚT NÁVODU A OBLAST POUŽITÍ.....	7
3. ZÁKLADNÍ BODY ÚČINNÉHO PROGRAMU ŘÍZENÉHO STÁRNUTÍ FAC .....	8
4. PRACOVNÍ POSTUPY A DOKUMENTACE .....	10
4.1 Řídicí dokumentace .....	10
4.2 Prováděcí postupy.....	10
4.3 Ostatní dokumentace .....	11
4.4 Záznamy o výměnách komponent a potrubních úseků.....	11
5. Základní úlohy při plnění PŘS FAC.....	13
5.1 Identifikace potenciálně náchylných systémů a tras.....	13
5.1.1 Potenciálně citlivé systémy .....	13
5.1.2 Systémy vyloučené z hodnocení.....	14
5.2 Predikční analýza.....	14
5.3 Výběr komponent k inspekčním .....	15
5.4 Příprava a provádění inspekcí .....	15
5.4.1 Inspekční techniky.....	16
5.4.2 Příprava měřicího místa .....	17
5.4.3 Značení sítě a měřicích bodů.....	18
5.4.4 Měření tloušťky stěny UTT metodou podle ČSN EN ISO 16809 .....	18
5.4.5 Měření chemického složení materiálu komponent .....	19
5.5 Vyhodnocení inspekcí a stanovení zbytkové životnosti.....	19
6. Sběr a archivace vstupních a výstupních dat .....	21
6.1 Rozčlenění dat do skupin .....	21
6.2 Způsob a archivace dat .....	21
7. Dlouhodobá strategie .....	22
7.1 Odolný materiál.....	22
7.2 Chemie vody .....	23
7.3 Lokální konstrukční změny .....	23
8. Zajištění jakosti.....	24

9. Závěr .....	25
Přílohy .....	27
Příloha 1: Schéma Programu monitorování a predikce prouděním urychlené koroze (PŘS FAC) .....	27
Příloha 2: Systém dokumentace pro PŘS FAC.....	30
Literatura .....	31
Zpracovatelé .....	32
Garant .....	32

## POUŽITÉ ZKRATKY A POJMY

### Zkratky

AtZ	Zákon 263/2016Sb., atomový zákon	$t_m$	Minimální akceptovatelná tloušťka stěny
DN	Jmenovitý průměr	$t_n$	Jmenovitá, resp. nominální tloušťka stěny
PN	Jmenovitý tlak	UT	Zkoušení ultrazvukem
FAC	Koroze urychlená prouděním média (Flow Accelerated Corrosion)	UTT	Měření tloušťky stěny ultrazvukem
JE	Jaderná elektrárna	VVER	Vodo-vodní energetický reaktor, patřící do skupiny tlakovodních reaktorů
PŘS	FAC Program řízeného stárnutí FAC	V21	Vyhláška č. 21/2017Sb., o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení
PPK	Plán provozních kontrol	V358	Vyhláška č.358/2016Sb. - O požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení
Re	Reynoldsovo kritérium	V408	Vyhláška č. 408/2016Sb., o požadavcích na systém řízení
RT	Radiografické zkoušení	VZ	Vybrané zařízení (písm. b) odst. 3 §4 AtZ
SKK	Systémy, konstrukce a komponenty		
SJZ	Systém jednotného značení		
SŘ	Systém řízení		

### Definice, pojmy

#### Degradace

Okamžité nebo postupné zhoršování charakteristik SKK, které by mohlo narušit jeho schopnost zajišťovat projektovou funkci v rámci daných kritérií přijatelnosti.

#### Degradační mechanismus

Způsob (forma), jakým degradace probíhá.

#### Komponenta

Část, kterou je část segmentu vymezena zpravidla spojovacími svary a vyznačující se jedinou geometrickou klasifikací podle uživatelského manuálu příslušného počítačového programu

#### Ověřovací měření (inspekce)

Měření tlouštěk stěn a chemického složení materiálů, prováděná na skupině potrubních komponent specifikované pro daný blok/rok za účelem zpřesnění stanovení rychlosti FAC a predikce zbytkové životnosti potrubního segmentu.

#### Potrubní trasa

vymezuje logický podsystém okruhu jako spojnicí mezi důležitými zařízeními daného okruhu (např. potrubí napájecí vody parogenerátoru). Ve specifických případech (malý počet komponent) může tento pojem splýnout s pojmem „segment“, obvykle označený unikátním kódem SJZ

#### Predikce

- Odhad/stanovení rychlosti zeslabení tloušťky stěny komponent vlivem prouděním urychlené koroze a celkového úbytku tloušťky stěny těchto komponent k určitému datu,

kteřé se provádí na základě vzájemné korelace různých faktorů, jako jsou geometrický tvar, chemické složení materiálu, chemie vody, podmínky toku atd.

- Stanovení doby dosažení minimální akceptovatelné tloušťky  $t_m$ .

### **První predikční analýza**

Posouzení potrubních komponent trasy z hlediska jejich náchylnosti k prouděním urychlené korozi. Analýza na trase, kde dosud neproběhlo inspekční měření tloušťek stěn a výsledky vycházejí pouze z provozních dat a teorie, se nazývá první predikční analýzou.

### **Program řízeného stárnutí FAC**

Program řízeného stárnutí je dokumentovaný souhrn činností a postupů, které vedou k identifikování všech mechanismů stárnutí, které jsou relevantní pro SKK důležité z hlediska bezpečnosti, ke stanovení jejich možných dopadů a ke stanovení nezbytných opatření pro zachování provozuschopnosti/funkčnosti a spolehlivosti těchto SKK. Požadavky na PŘS stanovuje § 12 V21

PŘS FAC je program zaměřený na identifikaci, sledování a řízení degradace prouděním urychlenou korozi.

### **Prouděním urychlená koroze (FAC)**

Představuje významný degradační mechanismus potrubních komponent sekundárních a méně často též vnějších okruhů jaderných elektráren. Je to proces, při kterém je ochranná oxidická vrstva na povrchu uhlíkatých nebo nízkolegovaných ocelí trvale odstraňována prouděním vody nebo směsí voda-pára. Na holém povrchu potrubí pak dochází k reoxidaci a proces tak kontinuálně pokračuje.

**Pozn.: Erozní koroze** – Proces zahrnující společné působení koroze a eroze. Ke korozní erozi může docházet např. v potrubí s vysokou rychlostí proudění kapaliny a v čerpadlech a potrubích, která dopravují kapaliny obsahující abrazivní částice suspendované nebo strhávané proudem plynu- kap. 4.25, ČSN EN ISO 8044 (2020)

### **Rychlost FAC**

Úbytek tloušťky stěny potrubní komponenty v mm/rok zapříčiněný prouděním urychlenou korozi. Větší dopad než rovnoměrná koroze, však může mít selektivní napadení (např. FAC v tepelně ovlivněných oblastech svarů).

### **Segment**

Soubor, kterým se rozumí potrubní úsek s homogenními termodynamickými a chemickými charakteristikami

### **Stárnutí**

Degradační proces, při kterém se vlastnosti SKK postupně mění s časem, nebo četností užívání.

### **Zpřesněná predikční analýza:**

Analýza trasy, kde již bylo na vybraných komponentách provedeno měření tloušťek stěny, stanovena korozní rychlost. Jejím výstupem musí být stanovení všech sledovaných parametrů (viz § 11 a § 12 V21).

## 1. ÚVOD

### 1.1 Důvod vydání

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) je ústředním orgánem státní správy, který vykonává státní správu a kontrolu 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.

### 1.2 Cíl

Cílem tohoto dokumentu je poskytnout návod a doporučení držitelům povolení k provozu jaderného zařízení (dále jen provozovateli) k provádění PŘS FAC u potrubí potenciálně citlivých k prouděním stimulované korozi u jaderných elektráren s bloky VVER. Výsledkem úspěšného zavedení PŘS FAC by měla být minimalizace poškození důležitých komponent sekundárního okruhu, dále snížení pravděpodobnosti porušení integrity stěn tlakových potrubních systémů sekundárního okruhu, ztráty chlazení důležitých systémů i dopadu na SKK s vlivem na JB a TB. Návod si však neklade za cíl vytvořit seznam všech systémů, na kterých se FAC může vyskytnout. Tento návod dále nemá za cíl poskytnout všechny vyčerpávající informace k obsahu, přípravě a průběhu PŘS FAC, ale formulovat hlavní požadavky a doporučení pro jednotlivé části PŘS.

### 1.3 Působnost

Dokument je zaměřen především na systémy jaderných elektráren s bloky VVER s vlivem na jadernou bezpečnost, tedy na SKK vykonávající bezpečnostní funkce a případně SKK, jejichž porucha může vykonávání bezpečnostních funkcí jiných VZ ovlivnit. Je však možné jej využít i pro sledování degradace FAC mimo oblast vybraných zařízení.

### 1.4 Platnost

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

## 2. PŘEDMĚT NÁVODU A OBLAST POUŽITÍ

Poruchy sekundárních a vnějších okruhů na jaderných elektrárnách typu VVER potvrzují, že SKK s vlivem na JB, této části jaderné elektrárny je nutné věnovat náležitou pozornost. Jedním z významných degradačních faktorů ohrožujících spolehlivost a zbytkové životnosti a konečně samotnou integritu SKK je prouděním urychlená koroze. Vhodný způsob řešení problematiky prouděním urychlené koroze je zavedení a provádění dlouhodobého programu řízeného stárnutí, jenž je souborem činností nezbytných pro zjištění a predikci stavu potrubních tras podléhajících prouděním urychlené korozi (viz významné degradační mechanismy v programu „ŘÍZENÍ STÁRNUTÍ ZAŘÍZENÍ JADERNÝCH ELEKTRÁREN“ v platném znění). Výstupy z programu řízení stárnutí pro prouděním urychlenou korozi jsou základem plánu údržby pro zavedení dostatečných systémových opatření, spočívajících v systematické monitorovací činnosti, spolehlivé predikci poškození a implementaci všech dosažitelných provozních zkušeností do hodnocení stavu a stárnutí SKK. Cílem tohoto prediktivního přístupu je s dostatečným předstihem eliminovat možnost výskytu defektu na SKK s vlivem na JB a TB, který by mohl vést k významnému porušení tlakového rozhraní potrubního systému, event. k porušení bezpečnostní funkce daného systému.



### 3. ZÁKLADNÍ BODY ÚČINNÉHO PROGRAMU ŘÍZENÉHO STÁRNUTÍ FAC

Mezi hlavní body účinného PŘS FAC patří:

- **Identifikace potenciálně citlivé SKK**

Jsou takové, jež jsou provozovány za podmínek umožňujících rozvoj prouděním urychlené koroze.

- **Hlavní podmínky vzniku FAC:**

- medium, korodující materiál daného SKK,
- dostatečná rychlost pohybu korozního media pro snos korozních produktů z korodovaného povrchu SKK (za přechod se obvykle považuje  $Re \geq 20\ 000$ ),
- a obsah Cr v oceli  $< 1,25\ %$ .

- **Podpora provozovatele,**

tzn. poskytnutí nezbytných finančních zdrojů na zajištění všech potřebných úkolů v rámci PSŘ FAC; určení pravomocí, dostatečná kvalifikace a školení pracovníků; zajištění potřebné komunikace a nezbytného sdílení dat a informací mezi příslušnými odděleními; zajištění průběžného sledování zkušeností s FAC i mimo vlastní elektrárnu; rozvoj a provádění dlouhodobých plánů vedoucích ke snížení poškození vlivem FAC; zajištění požadované kvality, která spočívá i v přípravě a dokumentaci postupů potřebných úkonů a provádění periodických nezávislých kontrolních hodnocení všech PŘS FAC; zajištění, že všechny postupy, analýzy, prediktivní modely a dokumentace jsou průběžně aktualizovány a závěrečné zprávy z odstávek jsou předkládány včas, realizace následných opatření vedoucích k minimalizaci FAC.

- **Analýzy;**

Na běžné JE existuje několik tisíc komponent, které jsou potenciálně náchylné k FAC. Bez přesných a důkladných analýz FAC, isometrických výkresů, databáze potrubí (viz příloha č. 4 V358), včetně inspekcí a historie výměn existuje pouze jediný způsob, jak zabránit únikům média a poruchám potrubí – inspektovat každou potenciálně náchylnou komponentu (viz §15 odst. 5 V21) během každé odstávky, což je neuskutečnitelný inspekční program.

Základním cílem FAC analýz je zajistit průkazy o dlouhodobém udržení požadované úrovně JB a TB. Vzorek komponent k inspekcím by měl být vybrán tak, aby jednak obsahoval vůči FAC nejcitlivější komponenty, a zároveň zajistil dostatečnou přesnost modelu. V úvahu je třeba vzít lokální podmínky, stáří a historii elektrárny, bloku, tloušťku stěny a rozměry potrubí, materiál, ale i délku kampaně a zkušenosti z jiných průmyslových oblastí. Pro každou potrubní komponentu by mělo být analytickou metodou odhadnuto, jaká je míra jejího opotřebení, kdy by měla být komponenta znovu zkontrolována, opravena nebo vyměněna. Vhodnými a v praxi prověřenými analytickými nástroji jsou již zavedené programy – Tabulka č. 1.

program	země
CHECWORKS	USA, EPRI
COMSY	Německo, Framatom
BRT-CICERO	Francie, EDF
RAMEK	Ukrajina, ENERGOATOM

**Tabulka č. 1**

- **Provozní zkušenosti;**

Zkoumání a začlenění provozních zkušeností do programu monitorování FAC je velmi cenným doplňkem analýz a souvisejících inspekcí SKK, zejména při identifikaci problémových oblastí, k pochopení příčin rozdílů míry poškození u některých podobných komponent, porozumění důsledkům FAC při změnách chemie vody, navýšení výkonu atd., shromáždění informací o použitých materiálech, technice oprav a výměn, o kontrolních postupech, atd.

- **Inspekce;**

Přesnost inspekcí SKK je základem efektivního PŘS FAC. Měření tloušťek stěn určuje rozsah poškození komponent, poskytuje údaje potřebné k určení trendu zeslabení vlivem prouděním urychlené koroze a zároveň data vedoucí k vylepšení predikčního modelu. Důkladná a přesná prohlídka několika komponent je pro PŘS FAC mnohem prospěšnější než jen zběžná kontrola velkého počtu komponent. Dosavadní praxe nedoporučuje zaznamenávání pouze jedné minimální tloušťky zjištěné na komponentě, častěji je doporučován systematický sběr dat, který umožní opakovatelnost měření a dává prostor k určení výsledných trendů. Významným příspěvkem pro hodnocení degradace může být prohlídka a měření FAC na SKK po jejich demontáži a rozřezání.

- **Školení a inženýrský úsudek;**

Pravidelné školení a společné konzultace výstupů inspekcí příslušných zaměstnanců je nezbytným předpokladem pro úspěšný PŘS FAC a predikční program. Provádění správných technických rozhodnutí, od modelování až po hodnocení inspekčních dat, je nedílnou složkou PŘS FAC. Je proto důležité, aby pracovníci, kteří se podílejí na programu, byli znalí provozních zkušeností, byli řádně kvalifikováni ve svých oborech, vyškoleni v problematice FAC a uměli zpracovat i potřebné vstupní informace od jiných útvarů, jako např. o chemii vody, údržbě, provozu, tepelné výkonnosti atd. Přestože znalosti a inženýrský úsudek jsou důležitou složkou úspěšného PŘS FAC, nemohou nahradit potřebné analýzy a kontroly.

- **Dlouhodobá strategie;**

Dalším bodem úspěchu v PŘS FAC je vytvoření a realizace dlouhodobého strategického plánu, který by měl být zaměřen na důsledné monitorování rychlosti FAC a inspekce SKK s vysokou mírou rizika výskytu FAC (viz odst. 2 § 4 V408) a dokladování plnění požadavků na zajištění technické bezpečnosti (V358). Široký záběr inspekcí FAC významně přispívá předcházení poruch SKK. S rostoucí dobou provozu, roste počet korektivních zásahů (oprav a výměn) z důvodů narůstající pravděpodobnosti poruch SKK. Všechny tyto aspekty by měly být uvažovány společně.

## 4. PRACOVNÍ POSTUPY A DOKUMENTACE

Doporučuje se vypracovat ucelený soubor postupů, ve kterých je definováno zavedení PŘS FAC jak dílčí části programu řízení stárnutí jaderné elektrárny. Součástí dokumentace by mělo být určení zodpovědnosti, provádění inspekcí SKK, hodnocení a další. Všechny tyto postupy spolu vytvářející program řízeného stárnutí jsou dokumenty systému řízení a mají být kontrolovány, jejich výsledky dokumentovány a ověřovány zejména podle § 10 odst. 3 V358 a § 14 a §15 V408. Požadavky na postupy provádění procesu řízeného stárnutí a požadavky na program řízeného stárnutí jsou uvedené v § 11 a § 12 V21.

### 4.1 Řídící dokumentace

Součástí této dokumentace by měl být definován celý program a určeny jednotlivé zodpovědnosti. Obsaženy by také měly být:

- cíl zabývat se dlouhodobými aspekty řízení dopadů prouděním urychlené koroze a vytvořit prostředí pro zavedení PŘS FAC, včetně organizačních a finančních opatření,
- určení úkolů, které mají být provedeny (včetně prováděcích postupů) a související povinnosti,
- definice základní odpovědnosti za provádění PŘS FAC, pravomoci pracovníků odpovědných za provádění programu, dále jejich organizační vazby na pracovníky údržby a další útvary, které vzniknou z pracovních postupů PŘS FAC,
- požadavky zajištění jakosti, zejména § 3 až § 5 V408,
- určení dlouhodobých cílů a strategie vedoucích k řízení míry opotřebení vlivem prouděním urychlené koroze, zejména § 3 V408.

Dokumentace musí být pravidelně revidována a aktualizována tak, aby v ní byly zachyceny:

- organizační změny a změny zodpovědnosti,
- změny norem, zákonů a licenčních požadavků.

### 4.2 Prováděcí postupy

Prováděcí pracovní postupy by měly být vypracovány pro každý konkrétní úkol v rámci PŘS FAC, nejméně však pro tento rozsah činností zejména § 3 V408:

- identifikaci systémů náchylných k prouděním urychlené korozi (citlivostní analýza),
- provádění FAC analýzy,
- výběr komponent a sestavení plánu inspekcí,
- příprava a provádění inspekcí,
- postup pro stanovení obsahu legujících prvků v materiálu potrubí, pokud se provádí,
- a vyhodnocení naměřených dat,
- hodnocení poškozených komponent,
- způsob komunikování výstupů z PŘS FAC do plánu oprav a výměn SKK, s cílem trvalého zajištění shody VZ, zejména ve smyslu § 10 odst. 3 V358,

- vyhotovení (aktualizace) plánu navazujících inspekcí příštích odstávkách.

Pracovní postupy a návody musí být rovněž pravidelně revidovány a aktualizovány tak, aby reagovaly na individuální nebo organizační změny a zodpovědnosti, na změnu norem, zákonů a licenčních požadavků a vývoj nových poznatků a technologií, zejména § 3 až § 5 V408.

#### 4.3 Ostatní dokumentace

Vstupní data by měla být dokumentována v rozsahu:

- axonometrické výkresy modelovaných, resp. měřených SKK,
- termo- a hydrodynamické veličiny popisující stav média (rychlost proudění, vlhlost a teplota),
- enviromentální veličiny (teplota, pH, použité aminy),
- geometrie komponent,
- materiálové parametry potrubí (druh oceli, chemické složení, mechanické vlastnosti),
- rozměrové parametry SKK.

Veškerá rozhodnutí, výsledky, protokoly měření by měly být vhodným způsobem archivovány (§ 4 odst. 2 V408). Dokumentace by měla navíc obsahovat citlivostní analýzu, predikční model a hodnotící zprávu z každé provozní odstávky, která bude obsahovat seznam inspektovaných SKK, výsledky inspekcí a jejich vyhodnocení zastřešené zpřesněnou predikční analýzu. Dále doporučení pro další provoz nebo případně doporučení k opravě či výměně.

Citlivostní analýza by měla být periodicky aktualizována a měla by zohledňovat následující vlivy:

- dlouhodobé provozní změny v daném okruhu, včetně trvalých změn (např. nastavení průtoku škrcení špoupátek a ventilů),
- designové změny SKK, včetně změn použitého materiálu (např. „Entrance Effect“),
- změny související se dočasnými změnami výkonu výrobního bloku (teplota, tlak, průtoky, entalpie),
- získané provozní zkušenosti.

Aktualizace predikčního modelu musí být provedena v předpsané periodě, která má zahrnovat:

- výsledky inspekcí SKK v daném období,
- výměny a opravy SKK,
- úpravy vodo-chemických režimů.

Konečně je nezbytné, aby citlivostní analýza, predikční model, výběr inspekčních lokalit, hodnocení komponent, hodnotící zpráva z odstávky a veškerá další dokumentace související s hodnocením prošla přezkoumáním, ověřením a validací (§ 5 V408).

#### 4.4 Záznamy o výměnách komponent a potrubních úseků

Z hlediska hodnocení jsou velmi důležité záznamy o výměnách komponent, které byly v minulosti provedeny, neboť predikce míry opotřebení i zbytkové životnosti souvisí s datem, kdy byla komponenta dána do provozu a s počtem provozních hodin, zejména podle § 15 V21.

Informace o těchto výměnách by měly být zahrnuty do predikčního modelu, a pokud možno také vyznačeny na isometrických výkresech používaných pro potřeby PŘS FAC.

## 5. ZÁKLADNÍ ÚLOHY PŘI PLNĚNÍ PŘS FAC

### 5.1 Identifikace potenciálně náchylných systémů a tras

#### 5.1.1 Potenciálně citlivé systémy

Je potřebné určit, které systémy je nutné považovat za citlivé k prouděním stimulované korozi a vést seznam těchto systémů. Určení těchto systémů by mělo vycházet z následujících podkladů:

- potrubní rozvody odpovídající kritickým parametrům tlaku, průměru trubky resp. součinu nominálního tlaku a průměru:

riziko FAC	Jmenovitý tlak (PN v bar)	Jmenovitý průměr (DN v mm)	PN x DN
pravděpodobné	0,5	100	> 3 500
kritické	10	> 500	> 5 000

- zkušenost provozovatele doložená záznamy. Provozovatel vede záznamy o všech událostech, které mohou mít vztah k prouděním urychlené korozi. Za tyto události je nutné pokládat zejména:
  - všechny případy úniků média v důsledku FAC, na základě vizuálního hodnocení stavu vnitřního povrchu potrubí,
  - známé zkušenosti s poškozením vlivem FAC nebo významným ztenčením tloušťky stěny potrubí z jiných elektráren typu VVER, provozovaných za analogických podmínek, zejména chemického režimu vody v sekundárním i dalších okruzích s vlivem na jadernou bezpečnost,
  - všechny případy porušení komponent v důsledku FAC,
  - všechna naměřená zeslabení komponent, kde je zbytková tloušťka stěny menší, než je minimální akceptovatelná tloušťka stěny komponenty,
  - zkušenosti s FAC jiných provozovatelů.

Z hlediska zkušeností s výskytem prouděním urychlené koroze za potenciálně nejcitlivější, resp. s největším dopadem na SKK s vlivem na JB, lze považovat systémy:

- napájecí vody,
- ostré páry,
- odluhů parogenerátorů,
- technické vody důležité i nedůležité.

S výjimkou systému z materiálu s vysokým obsahem chrómu (>1,25 % Cr), nelze zcela určit prahové hodnoty pro vyloučení vzniku prouděním urychlené koroze, ale většinou vzájemnou kombinací přispívají k významnému zeslabení jejího vlivu. Rozhodnutí o vyjmutí systému nebo jeho části z inspekčního programu by proto mělo být podloženo dlouhodobými provozními

zkušenostmi, kvalifikovaným posouzením ze všech uvedených hledisek a mělo by být i součástí základního dokumentu pro hodnocení prouděním urychlené koroze na elektrárně.

Systémy nebo jejich části by neměly být z hodnocení vyjmuty pouze na základě nízkého tlaku, nejde-li zároveň o trasy malých průměrů. Tlak nemá vliv na působení prouděním urychlené koroze, má pouze vliv na zbytkovou tloušťku, kdy by mohlo dojít k poškození, a na následky poškození. Poškození v nízkotlakých systémech může mít velice významné důsledky pro provoz. Jedná se o možnou ztrátu bezpečnostní funkce, případně o interakci s jiným zařízením významným pro jadernou bezpečnost, jehož funkce může být ztrátou integrity potrubí ohrožena.

### 5.1.2 Systémy vyloučené z hodnocení

Některé systémy nebo jejich části lze z dalšího hodnocení vyloučit z důvodu jejich relativně nízké náchylnosti k prouděním urychlené korozi, vždy se ovšem musí přihlížet k potřebě zajištění technické bezpečnosti JE. Na základě množství laboratorních dat a provozních zkušeností lze z hodnocení vyloučit:

- *Systémy nebo jejich části, které jsou vyrobeny z korozivzdorné nebo nízkolegované oceli s minimálním obsahem 1, 25 % Cr. Vyjmout z hodnocení lze však pouze trasy, kde z takto odolného materiálu vůči prouděním urychlené korozi jsou vyrobeny všechny potrubní komponenty. Pokud se na trase nacházejí komponenty, vyrobené z uhlíkaté oceli, jsou naopak považovány za vysoce náchylné a musí být analyzovány. Hrozí zde totiž nebezpečí tzv. „Entrance Efektu“, kdy komponenty z méně odolného materiálu, které se nacházejí ve směru proudění za komponentami z vysoce odolného materiálu, podléhají vlivům prouděním urychlené koroze ve zvýšené míře. Nutné je také upozornit na to, že materiály s vysokým obsahem chrómu, které jsou odolné vůči prouděním urychlené korozi, mohou být náchylné k jiným druhům poškození, jako je např. mikrobiální koroze, kavitace nebo eroze způsobená nárazem kapalných částic (*liquid impingement erosion*). Dokud není mechanismus poškození jasně identifikován, vyměněné komponenty by měly zůstat v PŘS FAC.*
- *Systémy, kde podíl kapalné složky ve dvoufázovém médiu je nižší než 0,01 %, tj. trasy s téměř suchou párou. Nicméně některé dosavadní zkušenosti ukazují, že v některých systémech s přehřátou párou se za určitých okolností, mimo běžných provozních podmínek nebo při sníženém výkonu, může vyskytnout zvýšený obsah vlhkosti, a proto by jistý rozsah monitorování měl být zachován.*
- *Systémy nebo jejich části, bez pohybu média nebo které pracují méně než 2 % provozního času elektrárny.*

## 5.2 Predikční analýza

Efektivní PŘS FAC musí být postaven na schopnosti predikovat zeslabení v jednotlivých okruzích s VZ na delší období provozu. Provozovatel jaderné elektrárny musí být schopen dostatečně přesně stanovit citlivost SKK k FAC, resp. čerpání jejich životnosti. Na základě této predikce jsou určována opatření, tj. měření, výměna nebo oprava komponent s vyčerpanou životností a celková strategie postupu ve vztahu k provozním podmínkám.

K provedení takovéto predikce je možné vytvořit výpočtový model pro konkrétní okruh elektrárny, u kterého bude popsán způsob provedení analýzy s určením rozsahu parametrů potřebných pro analýzu, citlivost modelu a způsob, jak byly jednotlivé hodnoty parametrů získány. Dále pak způsob, jak je model podpořen experimentálním hodnocením při

parametrech analogických provozních parametrů komponent a materiálů okruhu, jak jsou do modelu vložena data z inspekcí, a jak tato data vylepšují model a způsob ověření modelu.

Jiným způsobem je použití již ověřených predikčních programů jako je např. CHECWORKS, BRT-CICERO nebo COMSY, jež jsou využívány na celé řadě elektráren ve světě, u nichž existuje dobrá korelace mezi výsledky predikce a měřeními na konkrétních komponentách.

### 5.3 Výběr komponent k inspekci

Inspekce rozumíme měření tloušťky stěny potrubní komponenty pomocí nedestruktivní metody (např. ultrazvuku) na síti bodů pokrývajících její povrch.

Výběr inspekčních míst by měl splňovat tyto základní požadavky:

- ve výběru musí být zastoupeny všechny typy komponent z potrubní trasy, které byly určeny jako citlivé k FAC,
- výběr musí být dostatečně objektivizován. Jako zdroj informací k výběru komponent slouží:
  - modelování ověřeným počítačovým programem (viz tab. č. 1), nebo predikce podle vlastního, nezávisle ověřeného modelu,
  - zkušenosti provozovatele se systémem, zejména s již indikovanými poškozeními degračním mechanismem FAC. Vychází z dokumentace zkušeností, která je vedena provozovatelem,
  - inženýrský úsudek. I když jde o nejméně objektivní metodu, její zařazení je vhodné, protože zohledňuje veškeré podmínky provozu,
  - ve výběru by měly být dále zastoupeny všechny geometrie komponent, které se vyskytují v posuzovaném systému,
  - do výběrových kritérií by měly být zahrnuty také zkušenosti jiných provozovatelů, zejména z jaderných elektráren stejného typu (tj. tlakovodních). Dále je nutné definovat způsob, jak tuto informaci zahrnout do procesu rozhodování,
  - pro výběr komponent je potřebné připravit podrobná kritéria, která budou zohledňovat:
    - nutnost potřeby měření těch komponent, které leží na podobných trasách v místech s již prokázanou degradací vlivem FAC,
    - celkový počet komponent kontrolovaných v odstávce. Provozovatel zdůvodní počet vybraných komponent na základě stavu systému, existence výchozích dat, zkušeností a doporučení,
    - v jakém vztahu je měření na poškozené, respektive vyměněné komponentě k sousedním komponentám.

### 5.4 Příprava a provádění inspekce

Rozsah měření na komponentě by měl být definován tak, aby bylo možné:

- přijmout rozhodnutí, je-li komponenta schopna dalšího provozu, případně jak dlouho je schopna provozu do vyčerpání životnosti (dosažení tloušťky tm),
- vylepšení predikčního programu buď ve formě počítačového programu, nebo jiného technicky relevantního postupu.



Měření tloušťek stěn je rutinním procesem a změřením značného množství bodů v síti vždy obsahuje určité množství chybných měření, které se projeví, podle doposud získaných zkušeností, významnými odchylkami. Program musí obsahovat postupy, které zajistí vyloučení vlivu těchto chybných měření tak, aby nevnuly do hodnocení a následně do změněného modelu hrubou chybu, která by ovlivnila predikce poškození neměřených komponent. S ohledem k charakteru těchto chyb jde většinou o vyšší míru konservatismu, než je nutné, a důsledkem pak je větší počet kontrol během dalších odstávek. Hrubé chyby lze eliminovat přímo v rámci přípravy personálu, malé rozdíly v naměřených hodnotách musí být vyhodnoceny statistickými metodami.

Některé druhy komponent, jako jsou např. T-kusy, příruby a ohyby, mají nerovnoměrnou tloušťku stěny z důvodů výrobní technologie, např. ovality. Navržené postupy proto musí respektovat i eliminaci těchto rozdílů a to tak, aby byly zachovány požadavky na JB a TB.

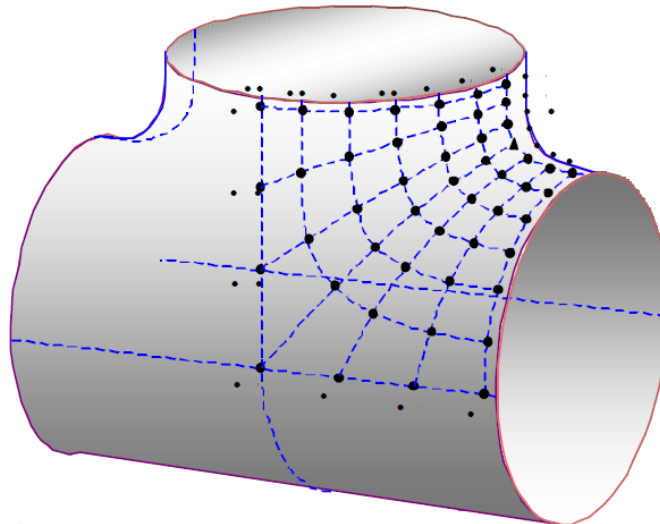
#### 5.4.1 Inspekční techniky

Inspekci potrubních komponent lze provádět použitím metod ultrazvukového zkoušení (UT, UTT), radiografie (RT) nebo vizuálním pozorováním (přímé i nepřímé). UT, UTT i RT mohou být použity při stanovení míry poškození, UT/UTT metoda poskytuje komplexnější data při hodnocení zbytkové tloušťky potrubí větších průměrů.

Radiografická metoda se naopak více využívá při hodnocení potrubí malých průměrů (DN < 50) a také svarů, komponent s nerovnoměrným povrchem, jako jsou např. ventily nebo průtokové trysky a nátrubky. Další výhodou RT metody je široké pokrytí a poskytnutí vizuálních informací o ztenčení stěny komponenty. Navíc lze RT metodu použít i za provozu, bez nutnosti odstranění izolace. Její užití bude s ohledem ke shora popsaným omezením spíše okrajové.

Vizuální kontroly se nejčastěji používají při prohlídkách ventilů a jiných armatur a také při kontrolách potrubí velkých průměrů. Tyto vizuální kontroly se provádějí na vnitřním povrchu potrubí a obvykle se označují jako tzv. vnitřní revize. Doplňkově se lokální UTT provádí na místech enormního zeslabení nalezených při vnitřní revizi.

Inspekce pomocí UTT spočívá v měření tloušťky stěny komponenty v průsečkových bodech měřicí sítě, která je nanesena na komponentě. Pokud získaná data naznačují významné ztenčování, měla by být měřicí síť v dané lokalitě zmenšena (zkrácena vzdálenost mezi průsečíky sítě) a měření provedeno tak, aby byl identifikován rozsah a hloubka defektu – Obrázek č. 1. Minimální vzdálenost mezi měřícími body má být dostatečně malá pro zajištění kvalitního popisu skutečné situace na dané komponentě.



**Obrázek č. 1** – Příklad rozložení měřicí sítě

Získaná inspekční data jsou dále využita třemi způsoby:

1. k zjištění, zda u komponenty dochází k opotřebení a k určení lokality, kde k tomuto zeslabení dochází v největší míře,
2. k zjištění rozsahu a hloubky zeslabení,
3. k zjištění rychlosti a trendu zeslabování.

#### 5.4.2 Příprava měřicího místa

Příprava měřicího místa sestává z odizolování komponenty, jejího základního očištění, nanesení pracovní sítě, vybroušení ploch pracovní sítě do požadované kvality a konečného značení měřících bodů (viz ČSN EN ISO 16809).

Rozsah sejmutí izolace se liší dle tvaru komponenty. U dostatečně dlouhých přímých částí musí být odhalena část v délce přibližně tří průměrů potrubí, u krátkých přímých částí se provádí odizolování celého přímého úseku. V případě, že se na začátku přímé části nachází svar (pro krátké přímé části též na konci komponenty), musí být odhaleno i okolí tohoto svaru tak, aby k němu byl dobrý přístup z obou stran. Pravidlo o přístupnosti ke svarům platí také pro ostatní tvary potrubí (ohyby, T-kusy, atd.).

Na očištěný povrch se nanese pracovní síť pro vyznačení měřících bodů. Pro rozměření pracovní sítě se použijí speciální šablony ve tvaru pásky s vyznačenými body. K vyznačení se užíje vhodný popisovací prostředek, který je na daném podkladu dobře viditelný. Pokud je síť nanášena na část potrubí bez povrchových nerovností a znečištění (např. nová, vyměněná část potrubí), není třeba tento úsek mechanicky čistit a místo pracovní sítě se nanáší přímo konečná měřicí síť.

Kvalita povrchu kontrolovaného místa je jedním z nejvýznamnějších faktorů. Vyznačené průsečky ortogonální pracovní sítě (křížky označená místa) se mechanicky očistí tak, aby byly z plochy odstraněny nerovnosti způsobené povrchovou korozí, usazeninami či jinými nečistotami, popř. nánosem barvy. Povrch není nutné čistit na úroveň neoxidovaného

(vyleštěného) kovu, ale jen do stavu, který zajistí dostatečnou akustickou vazbu mezi měřicí sondou, a přitom nebude zbytečně odebírán základní materiál potrubí.

#### 5.4.3 Značení sítě a měřicích bodů

Konečná měřicí síť se vyznačuje na upravený povrch do středu očištěných ploch a jednotlivé měřicí body mají tvar křížků. Síť se nanáší permanentní teplovzdornou a oteruvzdornou barvou prostřednictvím fixu. Je důležité dbát na dostatečnou viditelnost a čitelnost zanačených křížků, neboť vyznačený rastr by měl na potrubí zůstat zachován i pro opakované inspekce. Stejně důležitá je i dostatečná kvalita povrchu. V případě opakovaného měření na komponentě je nezbytné použít stejnou síť, co se týče rozměrů, polohy a orientace. Zvláštní důraz je potřebné přitom dát na správnou orientaci sítě, neboť pootočení sítě by znemožnilo použití srovnávací metody.

Zkušenosti ukazují, že je velmi obtížné předpovědět, ve kterém místě na komponentě se projeví největší zeslabení. Aby bylo zajištěno, že lokalita s největší mírou opotřebení bude detekována, musí měřicí síť plně pokrýt inspektovanou tvarovou komponentu (ohyby, T-kusy, škrtnuté clony, expanze, redukce atd.). Plně pokrývající síť je také dobrým základem budoucí inspekce a hodnocení komponenty. U přímých částí je doporučeno nanést měřicí síť nejméně do vzdálenosti tří průměrů potrubí za tvarovou komponentou nebo svarem.

#### 5.4.4 Měření tloušťky stěny UTT metodou podle ČSN EN ISO 16809

Pro tloušťky měření na potrubích ultrazvukem platí následující požadavky:

- provádějící pracovníci jsou pro danou metodu kvalifikováni podle ČSN EN ISO 20807, resp. ČSN EN ISO 9712;
- parametry UTT měřidla a jeho příslušenství umožňují měření s citlivostí nejméně 3 % při měřených tloušťkách v rozmezí 5 - 20 mm a s citlivostí lepší než 10 % při tloušťkách pod 2 mm;
- tloušťkoměr je kalibrován pro měření. Kalibrace se provádí pravidelně před zahájením a ukončením měření, případně i v jeho průběhu tak, aby se zabránilo chybám měření způsobeným nesprávným nastavením přístroje;
- přístroj má možnost automatického ukládání dat do interní paměti a následného exportu naměřených dat v patřičném formátu do počítače;
- záznamy UTT měření jsou k dispozici nejméně ve dvojí podobě, aby se vyloučila možnost ztráty dat z důvodu poruchy paměťového média.

Měření se provádí v definované a předem připravené síti. Měření začíná v bodě popsaném jako „počátek souřadné soustavy“ a pokračuje po površkách po proudu a obvodových kružnicích ve směru hodinových ručiček, tj. po vyčerpání všech bodů površky pokračuje měření na další površke ve zmíněném směru.

Pracovníci mají pro každou komponentu k dispozici tzv. mezní neboli minimální hodnotu tloušťky. Jestliže je změřená tloušťka menší než mezní (nebo se jí blíží) v jednom nebo několika bodech, upozorní na to příslušného zodpovědného pracovníka (§ 4 odst. 1 písm. a) čl. 2. V408). Taková komponenta nesmí být znovu zaizolována, dokud není přijato rozhodnutí o jejím dalším provozu. Při výskytu těchto příznaků se vždy přistoupí k podrobnému měření okolí bodu s tloušťkou menší než mezní. Toto měření se provede rastrovým snímáním tloušťky. Data z tohoto doplňkového měření jsou zapsána do zvláštního souboru. Po každém

měření jsou naměřená data hodnocena na přítomnost významných odchylek jak ve směru větších, tak menších tloušťek. V případě podezření na výskyt hrubé chyby měření je měření v daném místě zopakováno.

*Pozn.: Při vyhodnocování měření je třeba aktuální naměřená data vždy porovnávat jak s výsledky předchozích měření, tak i s původní tloušťkou stěny komponenty (z dokumentace skutečného stavu, nebo lépe z označení namontované součásti na pozici). Na obdobných jaderných elektrárnách v zahraničí už došlo k situaci, kdy naměřené časy průchodu UT signálu stěnou a navazující pevnou vrstvou korozních úsad byly mnoho let mylně interpretovány jako čas průchodu homogenním materiálem – tedy jako souvislá ocelová stěna!*

#### 5.4.5 Měření chemického složení materiálu komponent

Je doporučováno spolu s inspekčním měřením tloušťky stěny komponent provádět současně i měření obsahu legujících prvků v materiálu, zejména pak chrómu, mědi a molybdenu. Tyto prvky mají významný vliv na rychlost FAC, a tudíž i vliv na přesnost predikce  $t_m$ .

Bez znalosti složení je nutno ve výpočtu použít nejnižší obsah těchto prvků, který je pro danou ocel garantován normou a může být i nulový. Je proto vhodné využít přístupu k volnému povrchu komponent v průběhu měření tloušťky stěny a změřit (při prvním měření na komponentě) také její chemické složení. Jako vhodné se ukazuje použití emisní spektroskopie z odjiskřeného povrchu komponenty nebo použití rentgenofluoresenčního (XRF) analyzátoru, alternativně též Laser Inducted Breakdown Spectroscopy (LIBS).

Povrch musí být očištěn od veškerých oxidů a mastnoty. Před samotným měřením je třeba vyzkoušet správné nastavení přístroje na kontrolních vzorcích a v případě neshody provést rekalibraci, která zajistí dosažení správných výsledků. Měření se provádí na každé části potrubí oddělené svary, tedy např. na segmentových kolenech se zjistí složení na všech jednotlivých segmentech. Měření každé části se skládá ze tří odběrů, přičemž výsledný obsah jednotlivých prvků je průměrem z těchto tří odběrů. K provedenému měření se pořizuje náčrt a zápis o provedeném měření.

### 5.5 Vyhodnocení inspekci a stanovení zbytkové životnosti

Měření tloušťek na každé komponentě musí být vyhodnoceno zejména s ohledem na určení:

- naměřené minimální tloušťky a její porovnání s minimální akceptovatelnou tloušťkou. Na základě tohoto porovnání je potřebné určit dobu do další kontroly, resp. další provozovatelnost komponenty,
- rozsah defektu (ztenčení) pro případnou pevnostní analýzu,

Měření komponenty bude vyhodnoceno tak, aby bylo možné stanovit pro danou komponentu:

- odhad rychlosti prouděním urychlené koroze,
- odhad doby do dosažení akceptovatelné - mezní tloušťky  $t_m$

Akceptovatelná-mezní tloušťka představuje poměrnou část jmenovité tloušťky stěny:

$$t_m \geq 0,875 \cdot t_n$$

Kde jmenovitá tloušťka byla projektem definována v souladu s požadavky NTD ASI sekce III., resp. ASME IX. apod. Přičemž může být lokálně na dané komponentě tloušťka podkročena, v takovém případě však vždy musí být zajištěno, aby příslušná SKK plnila svou funkci v souladu s projektem ve všech provozních stavech a havarijních podmínkách a aby případnou ztrátou integrity neohrozila jiné SKK s vlivem na bezpečnost a nesnížila úroveň JB.

## 6. SBĚR A ARCHIVACE VSTUPNÍCH A VÝSTUPNÍCH DAT

V systému prací podporujících PSŘ FAC je sběr dat východiskem pro další činnosti, zejména:

- vytvoření termodynamického a chemického modelu okruhu,
- principiální výběr tras, které budou v predikčním modelu prouděním urychlené koroze zahrnuty,
- tvorbu predikčního modelu,
- hodnocení přípustnosti komponent pro další provoz.

Vzhledem k tomu, že využití predikčního modelu klade nároky zejména na kvalitu vstupních dat, je nutné definovat jednotlivé vstupní parametry, způsob jejich získávání, ověření a požadavky na jejich přesnost.

Provozovatel by měl zabezpečit přehlednou archivaci vstupních dat, výsledků měření a predikcí jak na elektrárně, tak i u externích kooperací, zejména ve vztahu k budování predikčních modelů.

Databáze výsledků slouží k určení komponenty k dalšímu provozu, jejímu vyřazení nebo definuje dobu do dalšího měření.

### 6.1 Rozčlenění dat do skupin

Systém rozdělení vstupních dat do skupin, který je základem také pro jejich archivaci, je založen na principech, se kterými pracují různé počítačové programy zabývající se monitorováním, hodnocením a predikcí poškození způsobeného prouděním urychlenou korozi. Důvodem je to, že většina dat by měla vyhovovat požadavkům těchto programů, které jsou nástrojem pro modelování a predikci tohoto druhu poškození. Jednotlivé okruhy jsou rozčleněny na skupiny, které reprezentují:

- výrobní blok,
- výkon reaktoru a termo- a hydrodynamická data okruhu,
- chemický režim bloku za sledované období,
- provoz a odstávky bloku,
- potrubní trasu,
- segment,
- komponentu.

### 6.2 Způsob a archivace dat

Vstupní i výstupní data jsou archivována tak, aby respektovala uvedené členění. Data tedy musí být uchováována a zálohována. Primární i záložní data musí být verifikována pracovníkem odpovědným za provádění hodnocení prouděním urychlené koroze v elektrárně, zejména podle § 5 odst. 3 V408.

Kromě provozovatele archivuje data také organizace provádějící modelování a organizace měřící tloušťky komponent v rozsahu plynoucím z jejich podílu na hodnocení.

## 7. DLOUHODOBÁ STRATEGIE

Cílem programu monitorování a predikce prouděním urychlené koroze by nemělo být pouhé zjištění současného stavu a provádění inspekcí, ale také snaha o snižování náchylnosti potrubních komponent k tomuto druhu degradačního mechanismu a optimalizace procesu plánování inspekcí SKK, aby nedošlo ke snížení úrovně JB a TB. Proto je doporučováno vypracování dlouhodobé strategie zejména v souladu s § 3 až § 5 V408.

Jedním z možných přístupů je nahrazení pouze těch komponent, které vykazují největší opotřebení. Ten přístup je vyhovující, pokud je opotřebení úzce lokalizováno. Jedná se většinou o lokality za ohyby, ventily nebo clonami. Ve většině případů však opotřebení bývá rozšířeno v celém systému, neboť proudění a chemie vody působí v celé trase, a je jen otázkou času, kdy jednotlivé potrubní komponenty a zařízení budou muset být také vyměněny. Přístup „od výměny k výměně“ je možná méně nákladný krátkodobě, ale z hlediska dlouhodobého není obecně příliš efektivní. Navíc některé dosavadní zkušenosti ukazují, že může dojít k nečekaným selháním u komponent, u kterých byla naplánována výměna v pozdějším termínu.

Proto je doporučováno, aby v zájmu zvyšování jaderné bezpečnosti, byla přijata strategie systematického snižování rychlosti prouděním urychlené koroze v okruzích JE. Vedou k tomu tři možnosti:

1. lepší, odolnější materiál,
2. vhodnější chemické režimy,
3. lokální konstrukční změny.

Použití odolného materiálu může redukovat rychlost poškození až k nulovým hodnotám, v závislosti na lokalitě a daném okruhu mohou změny v chemickém režimu snížit rychlost prouděním urychlené koroze až desetkrát a v konkrétních oblastech mohou ke zlepšení přispět i konstrukční změny.

### 7.1 Odolný materiál

Mnoha experimentálními pracemi i zkušenostmi bylo prokázáno, že na rychlost prouděním urychlené koroze mají vliv zejména chróm, měď a molybden, přičemž obsah chrómu je klíčový. Jeho vliv se příznivě uplatňuje především na zpevnění oxidické vrstvy na povrchu potrubí, na snížení její porozity a na změnách korozního potenciálu.

Náhrada uhlíkatých ocelí za oceli chróm-molybdenové nebo za materiál s vložkou z nerez ocelí vede ke značnému zmírnění škod způsobených prouděním urychlenou korozí po dobu životnosti elektrárny. Další z možností je zajištění, aby všechny měněné komponenty z uhlíkaté oceli obsahovaly minimálně 1,25 % Cr.

Změny materiálu mohou být uplatněny v celých systémech, nebo mohou být provedeny opravy ve zvlášť k poškození náchylných oblastech (ohyby, T-kusy, rychločinné armatury, regulační ventily, ventily, atd.). V druhém případě je však třeba věnovat zvýšenou pozornost nebezpečí možného výskytu tzv. „Entrance efektu“, tj. k urychlenému zeslabování tloušťky potrubí z „horšího“ materiálu, které bezprostředně navazuje na materiál „lepší“. Upozornit je třeba také na tu skutečnost, že náhrada materiálu automaticky neznamená snižování rychlosti poškození, pokud degradační mechanismy jsou i jiné než FAC (například je-li poškození způsobováno kavitací).

## 7.2 Chemie vody

Obecně závisí prouděním urychlená koroze na řadě parametrů. Parametry typu rychlosti proudění, geometrie potrubí (průměr, poloměr ohybu, T-kusy), teploty a entalpie proudícího média, obsah kapalné fáze ve dvoufázové směsi voda/pára atd. jsou dány koncepcí bloku, projektem je také předepsán materiál potrubí, který je kromě dodatečných úprav (výměna za ušlechtlejší) rovněž neměnný. Jediné parametry, které lze měnit ve stávajícím zařízení, a tím výrazně snižovat poškození vlivem prouděním urychlené koroze, jsou chemické parametry média.

Změny v chemických režimech jsou přitažlivé především tím, že mohou snížit rychlost poškození globálně v celém okruhu a pomáhají snižovat rychlost transportu železa v okruhu, v důsledku čehož je zpomaleno tvorba nánosů z korozních produktů (např. zanášení parogenerátorů) a prodloužení životnosti ionexů při demineralizaci. Je však nutno poznamenat, že úpravy chemického režimu rychlost poškození pouze zpomalují a tloušťku stěny poškozeného potrubí neobnovují. Inspekční prohlídky proto musí i nadále pokračovat.

### Chemické veličiny ovlivňující rychlost FAC:

- obsah kyslíku (resp. redox potenciál)
- alkalita vyjádřená jako studené pH - (měřená nebo počítaná hodnota pH při 25 °C)
- alkalita vyjádřená jako horké pH(t) – (počítaná hodnota pH při teplotě t °C).

## 7.3 Lokální konstrukční změny

Obecně lze říci, že vliv konstrukčních změn na redukci rychlosti poškození vlivem prouděním urychlené koroze je menší, než u změn materiálových a při úpravách chemického režimu. Například při změně průměru potrubí z DN300 na DN350, při zachování stejných parametrů, dojde ke snížení rychlosti FAC o přibližně 20 %. Existují však případy, kdy konstrukční změny mohou být účinnější:

- zvýšení průměru potrubí vede ke snížení rychlosti poškození u regulačních ventilů. Ty jsou obvykle navrženy tak, že při průtoku těmito ventily obvykle dojde ke snížení průměru základního potrubí o 60 %, což má za následek zvýšení rychlosti proudění média. Takto lokálně zvýšená rychlost je velmi často příčinou poškození potrubí za ventilem po proudu. Rekonstrukce systému regulačních ventilů, která povede ke snížení lokální rychlosti proudění a ke snížení turbulencí, tak může výrazně snížit rychlost poškození FAC,
- v případě potrubních tras s dvoufázovým médiem (vlhkou parou) může být rychlost poškození vlivem FAC snížena lokálním poklesem vlhkosti. Toho lze dosáhnout jednak úpravami vedoucími k lepší účinnosti stávajících separace vlhkosti (lokální úpravy s vlivem na proudění směsi), nebo instalací dodatečných odlučovačů vlhkosti, čímž se dosáhne menšího množství kapek vody narážejících na stěnu následných potrubních komponent a zařízení. To pochopitelně vede k výraznému snížení poškození vlivem FAC.



## 8. ZAJIŠTĚNÍ JAKOSTI

Veškeré činnosti spojené s realizací těchto návrhů a doporučení musí být prováděny podle předem zpracovaného programu zajištění jakosti v souladu s požadavky V408. Hlavní požadavky:

- zajištění pracovních postupů, kontrola prováděných činností, zejména podle § 14 a § 15 V408,
- zabezpečení nezávislé kontroly vkládání a vyhodnocování vstupních dat všech činností souvisejících s monitorovacím a predikčním programem v souladu s § 5 V408,
- vytvoření systému, který včas odhalí nedostatky v pracovních postupech a činnostech,
- vytvoření vhodné organizační struktury pro zajištění kontroly,
- definování vztahu programu zajištění jakosti pro PŘS FAC a predikční program k dokumentům o zajištění jakosti elektrárny zejména podle § 15 odst. 1 V408,
- zabezpečení pravidelných auditů pro posouzení aplikace kontroly jakosti v monitorovacím a predikčním programem, zejména v souladu s § 4 odst. 2 písm. e) V408.

## 9. ZÁVĚR

Cílem Programu monitorování a predikce prouděním urychlené koroze z hlediska bezpečnosti JE je s akceptovatelnou pravděpodobností zabezpečit, že nedojde při provozu ke ztrátě integrity tlakového potrubí sekundárního ani jiného okruhu, významného z hlediska jaderné bezpečnosti. Pro splnění tohoto cíle je potřebné, aby v rámci realizace PŘS byly vytvořeny dostatečné předpoklady pro realizaci následných základních úkolů:

- identifikaci systémů náchylných k prouděním urychlené korozi,
- určení (predikci) rychlosti prouděním urychlené koroze na dané komponentě,
- identifikaci potrubních komponent pro inspekce a použití vhodných inspekčních metod,
- analýzu naměřených dat včetně jejich archivace,
- zabezpečení základních dat před začátkem provozu elektrárny; v případě nedostatku těchto dat postupovat náhradním způsobem spočívajícím na příklad ve zjištění skutečného stavu a dostupných provozních informací jako vstupu pro první - náhradní hodnocení,
- na základě stanovených hodnotících kritérií, zejména v souladu s § 5 odst. 2 V408, provést vyhodnocení integrity potrubí a jeho zbytkové životnosti do dalšího měření včetně doporučení na opravu, případně výměnu degradované části potrubí.

V základním schématu činností, které jsou neoddělitelnou součástí monitorovacího a predikčního programu, musí být zabezpečeno:

- definování programu monitorování a predikce pro konkrétní podmínky každého bloku jaderné elektrárny,
- identifikace okruhů s vlivem na jadernou bezpečnost, náchylných k poškození vlivem prouděním urychlené koroze,
- kvalifikovaný způsob rozhodování o rozsahu inspekci,
- predikce poškození,
- provedení inspekci v rozsahu nutném pro potvrzení predikci a identifikaci poškozených komponent,
- způsob vyhodnocení naměřených dat,
- rozhodovací kritéria pro další provoz měřené komponenty,
- kontrolovatelný systém dokumentace.

Výše uváděné práce jsou minimálním rozsahem pro zavedení efektivního programu monitorování a predikce FAC. Tento program může být dále doplňován o další části, které zefektivní údržbu a provoz.

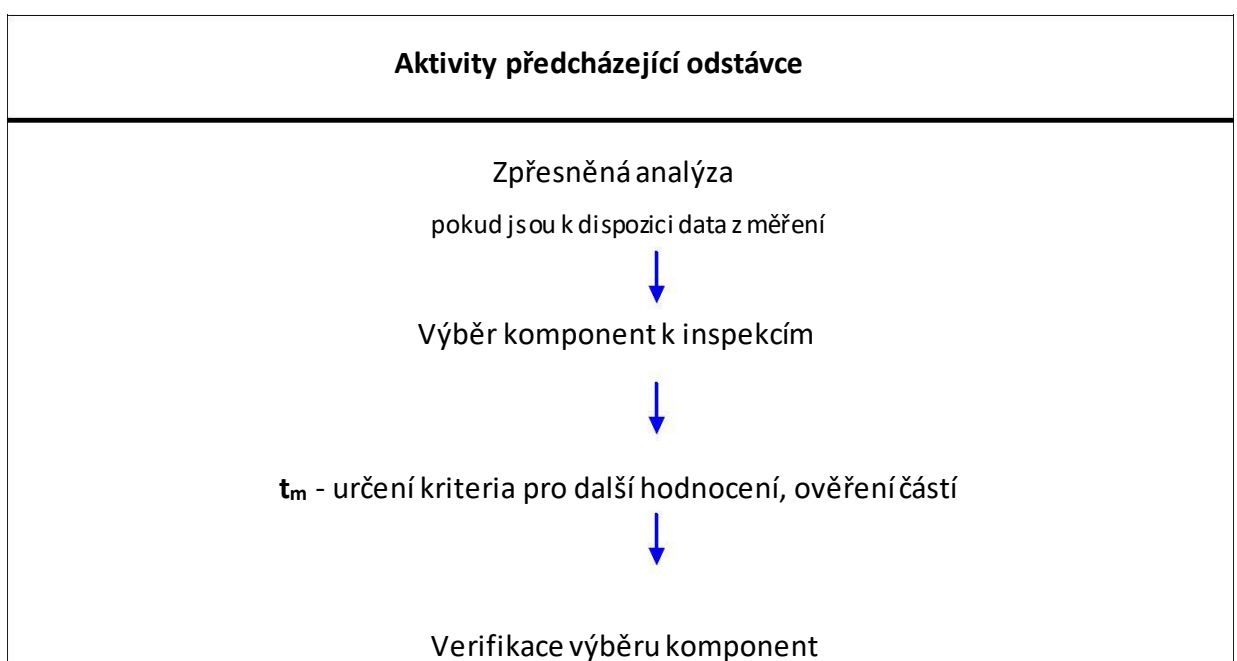
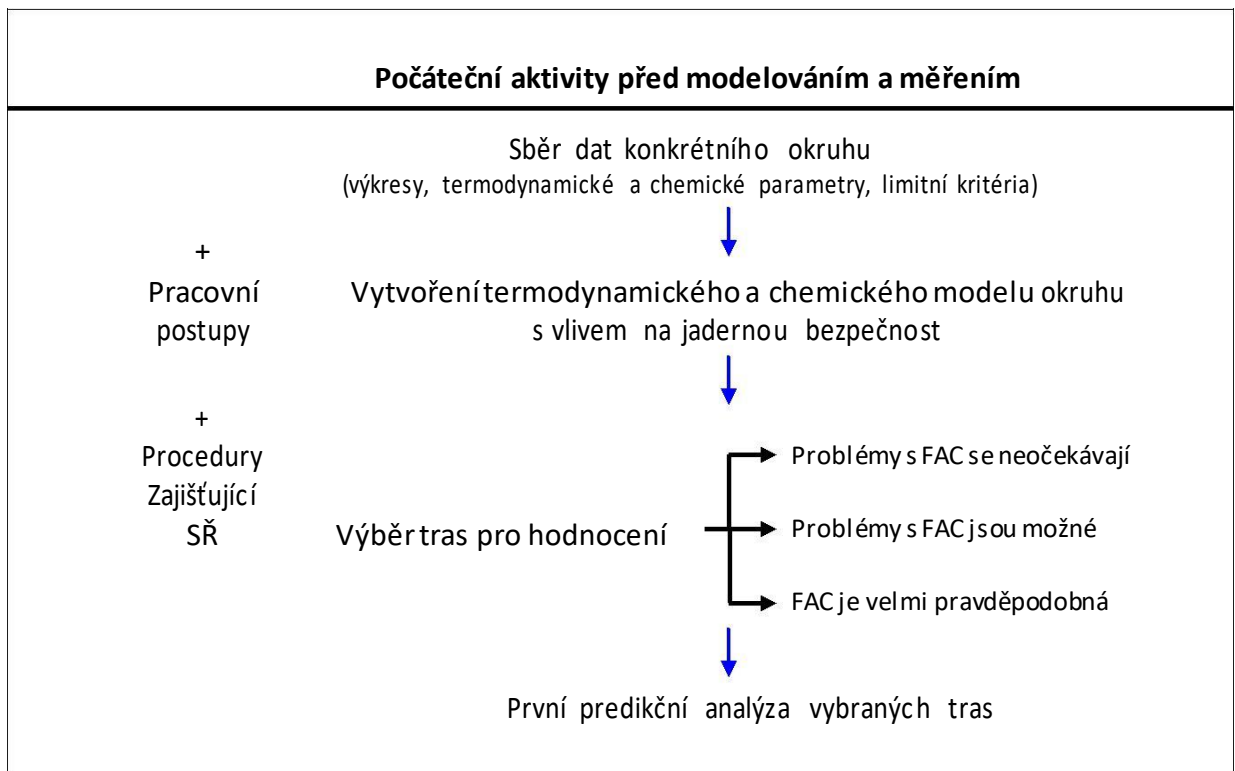
Zejména kombinací lepších chemických režimů s použitím odolnějších materiálů lze výrazně snížit poškození FAC. Provozovatel elektrárny by měl pečlivě posoudit tyto možnosti jak z technického, tak i z finančního hlediska a rozhodnout, jak nejvhodněji důsledky způsobené tímto druhem poškození zmírnit.

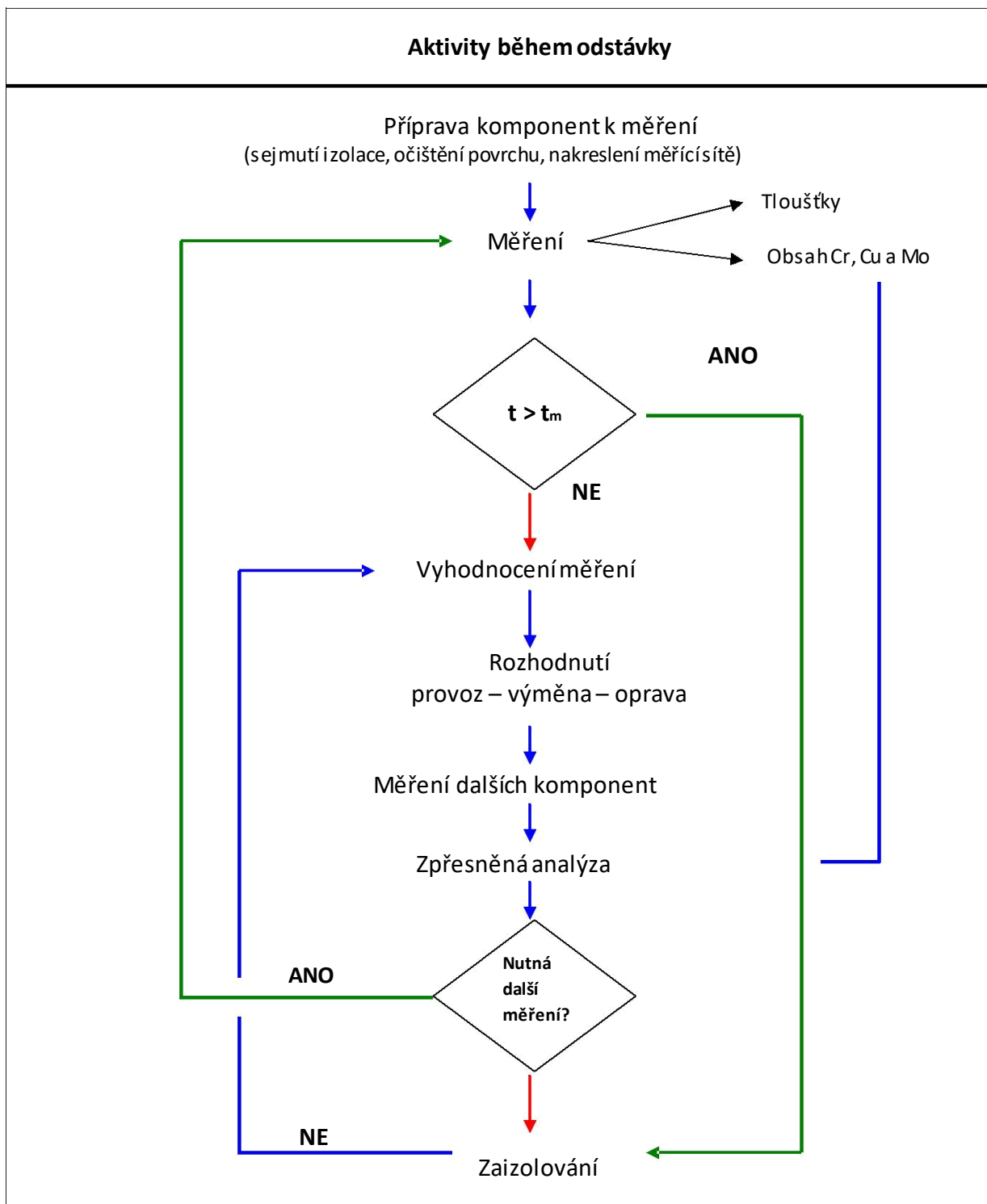
Je prospěšné vytvořit takové organizační podmínky, kde jsou jednoznačně dány odpovědnosti a vazby pracovníků vykonávajících tento program na další organizační útvary,

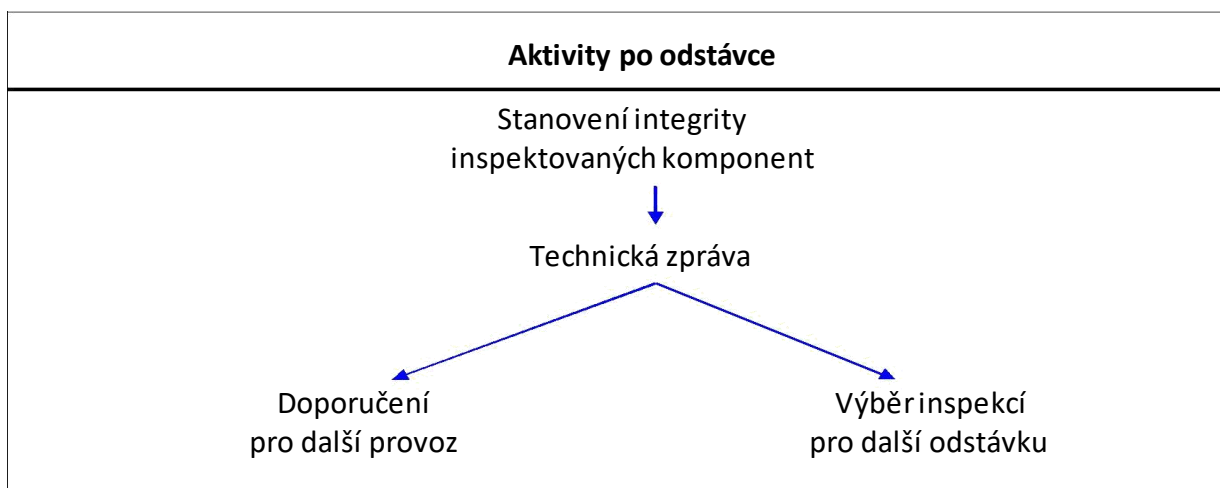
případně organizace. Vhodné také je specifikovat povinnosti jiných útvarů ve vztahu k programu monitorování a predikce FAC.

## PŘÍLOHY

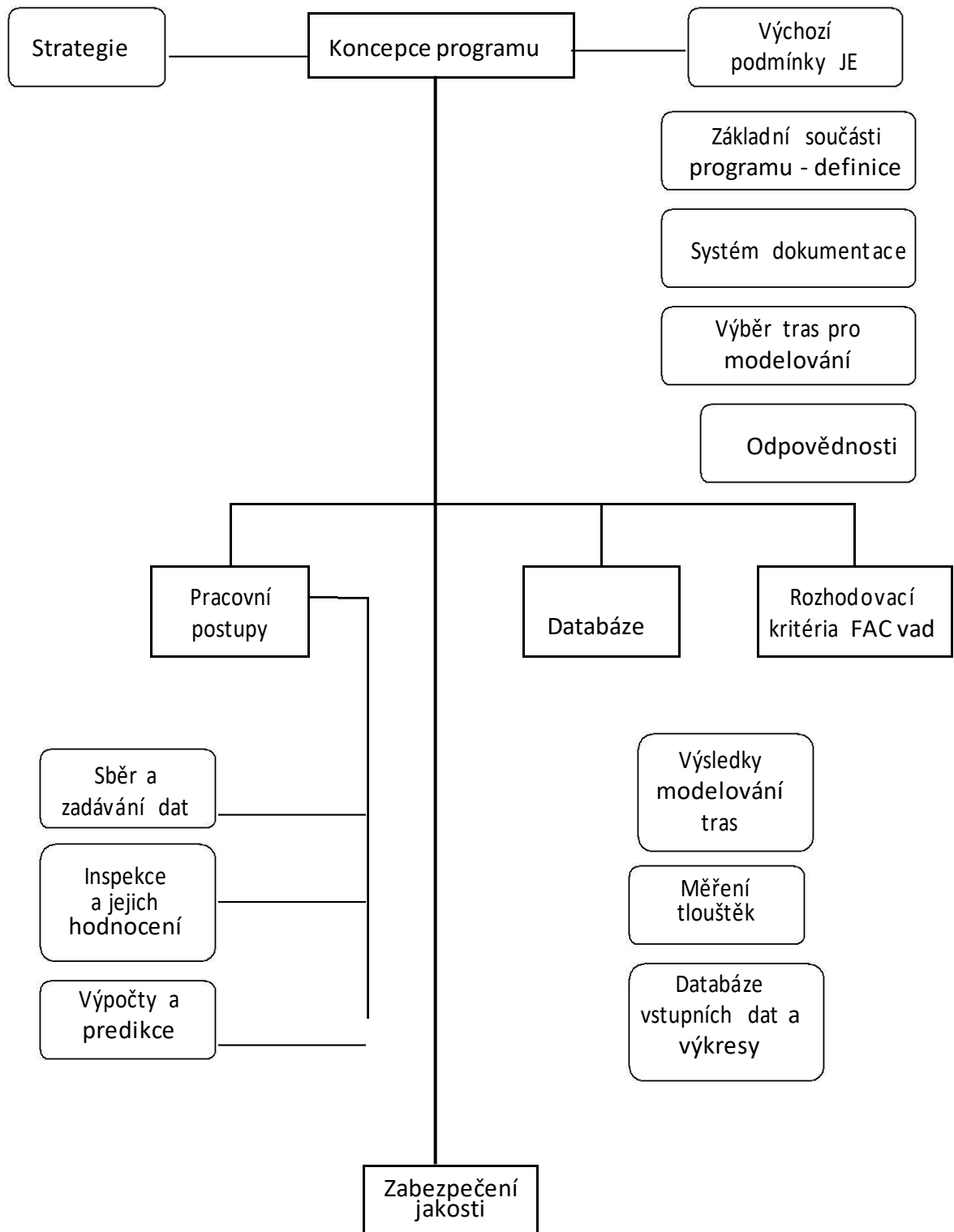
## Příloha 1: Schéma Programu monitorování a predikce prouděním urychlené koroze (PŘS FAC)







## Příloha 2: Systém dokumentace pro PŘS FAC



**LITERATURA**

- [1] Zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon
- [2] Vyhláška SÚJB č. 408/2016 Sb., Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o požadavcích na systém řízení.
- [3] Vyhláška č. 21/2017Sb., o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení
- [4] Material Degradation and Related Managerial Issues of Nuclear Power Plants, Proceedings of a Technical Meeting IAEA, Vienna, February 2005 Recommendations for an Effective Flow-Accelerated Corrosion Program, NSAC-202L-R4, EPRI, Palo Alto, CA, 2013, 3002000563
- [5] Flow-Accelerated Corrosion in Power Plants: Revision 2, EPRI, Palo Alto, CA, 2016, 3002008071
- [6] NRC Inspection Manual, „Inspection of Erosion-Corrosion/Flow-Accelerated Corrosion Monitoring Programs“, Inspection Procedure 49001, December 1998
- [7] CHECWORKS User Group (CHUG) Positron Paper 1 „Guidelines for Interviewing Plant Personnel within a Flow-Accelerated Corrosion Program“, Altran Corporation Technical Report 95217-TR-01, August 1996
- [8] Engineering Program Guide, Flow-Accelerated Corrosion (FAC), Institute of Nuclear Power Operations, 2005
- [9] Technická zpráva, arch. č. 792/11/2016, SVÚOM
- [10] Technická zpráva 805/11/2016, SVÚOM
- [11] Potrubní trasy TVD – obecné zásady údržby potrubních tras, verze 6, ČEZ, a. s., zpracovatel 9053TE232
- [12] Konferenční příspěvek „Влияние отложений продуктов коррозии на достоверность эксплуатационного контроля при проведении ультразвуковой толщинометрии“, Konference GIDROPRESS 21. - 24. 05. 2019, Podolsk, Ruská Federace
- [13] NTD ASI – III – 2020, HODNOCENÍ PEVNOSTI ZAŘÍZENÍ A POTRUBÍ JADERNÝCH ELEKTRÁREN TYPU VVER, SEKCE III



## **ZPRACOVATELÉ**

Zdeněk Mokerský

SVÚOM, s. r. o., IČO 25794787

## **GARANT**

Jan Jiroušek