

BEZPEČNOSTNÍ NÁVODY SÚJB

bezpečné využívání jaderné energie a ionizujícího záření

Projekt aktivní zóny tlakovodního reaktoru

jaderná bezpečnost

BN-JB-3.2 (Rev. 0.1)



HISTORIE REVIZÍ

Revize č.	Účinnost od	Garant	Popis či komentář změny
0.0	1. 8. 2017	Macháčková	Nově zpracovaný návod
0.1	11. 12. 2017	Macháčková	Doplnění čísla vyhlášky o požadavcích na projekt jaderného zařízení a doplnění textu v bodech 4.16, 4.17 a 5.134

Jaderná bezpečnost

Bezpečnostní návod BN-JB-3.2 PROJEKT AKTIVNÍ ZÓNY TLAKOVODNÍHO REAKTORU

Vydal: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, prosinec 2017

Č. j.: SÚJB/OS/23345/2017

Tisk:

Účelová publikace bez jazykové úpravy, připomínky směřujte na e-mailovou adresu pripominky_navody@sujb.cz

OBSAH

1. ZKRATKY, DEFINICE A POJMY	5
ZKRATKY.....	5
DEFINICE A POJMY	6
2. ÚVOD	10
DŮVOD VYDÁNÍ.....	10
CÍL	10
PŮSOBNOST	10
PLATNOST A ÚČINNOST.....	11
3. ROZSAH A VÝCHODISKA	11
ROZSAH.....	11
STRUKTURA.....	12
4. OBECNÉ POŽADAVKY NA PROJEKT A PROJEKTOVOU ZMĚNU AZ.....	13
OBECNÉ POŽADAVKY NA PROJEKT SYSTÉMŮ, KONSTRUKCÍ A KOMPONENT AKTIVNÍ ZÓNY	16
PROJEKTOVÉ ANALÝZY AKTIVNÍ ZÓNY	18
5. SPECIFICKÉ POŽADAVKY NA PROJEKT AKTIVNÍ ZÓNY A SOUVISEJÍCÍ KRITÉRIA A LIMITY	19
OBECNĚ	19
NEUTRONOVĚ-FYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKY AZ.....	20
TERMOHYDRAULICKÉ VLASTNOSTI AZ	22
TERMOMECHANICKÉ VLASTNOSTI AZ	24
MECHANICKÉ VLASTNOSTI AZ.....	32
OCHRANNÉ SYSTÉMY JADERNÉHO REAKTORU A ŘÍDICÍ A MONITOROVACÍ SYSTÉMY AZ	33
SPRÁVA PALIVOVÉHO SYSTÉMU A AKTIVNÍ ZÓNY.....	40
VÝPOČTY PODKRITICNOST PŘI SKLADOVÁNÍ PALIVA V BSVP A OS	43
6. OVĚŘOVÁNÍ A TESTOVÁNÍ	45
OBECNĚ	45
OVĚŘOVÁNÍ PROJEKTU	46
INSPEKCE	47
TESTOVÁNÍ PROTOTYPŮ A LEAD TEST ASSEMBLY	48
7. POŽADAVKY PRO SMĚSNOU ZÓNU	50
ANALÝZY PROJEKTOVÝCH CHARAKTERISTIK SMĚSNÉ ZÓNY.....	50
NEUTRONOVĚ-FYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKY SMĚSNÉ ZÓNY	51
TERMOHYDRAULICKÉ VLASTNOSTI SMĚSNÉ ZÓNY	52
OCHRANNÉ SYSTÉMY JADERNÉHO REAKTORU A ŘÍDICÍ A MONITOROVACÍ SYSTÉMY AZ	53
OVĚŘOVÁNÍ PROJEKTU	53
8. ZÁVĚR	53
9. PŘÍLOHY	54
PŘÍLOHA Č. 1.....	54
PŘÍLOHA Č. 2.....	56
PŘÍLOHA Č. 3.....	57
10. LITERATURA	67

1. ZKRATKY, DEFINICE A POJMY**ZKRATKY**

AZ	Aktivní zóna
BEPU	Best Estimate Plus Uncertainties (metoda nejlepšího odhadu se zahrnutím neurčitostí)
BN	Bezpečnostní návod SÚJB
BSVP	Bazén skladování vyhořelého paliva
BUC	Burnup Credit (Kredit vyhoření)
DNBR	Departure from nucleate boiling ratio (Rezerva do krize varu)
I. O	Primární okruh
IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)
JZ	Jaderné zařízení
KAZ	Komponenty aktivní zóny
KHP	Zařízení pro kontrolu hermetičnosti pokrytí PE
LaP	Limity a podmínky bezpečného provozu
LOCA	Loss of Coolant Accident (Nehoda spojená s únikem chladiva)
LTA	Lead Test Assembly (Testovací palivový soubor)
OS	Obalový soubor
PBC	Partial Boron Credit (Kredit rozpustného absorbátoru)
PCMI	Pellet – cladding mechanical interaction (Vzájemné mechanické působení tabletky a pokrytí PE)
PE	Palivový element
PIIP	Post Irradiation Inspection Programme (Program poradiačního měření)
PS	Palivový soubor
RIA	Reactivity Initiated Accident (Nehoda způsobená neřízeným vnosem reaktivity)

SKK AZ	Systémy, konstrukce a komponenty aktivní zóny
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association (Asociace západoevropských dozorných orgánů)

DEFINICE A POJMY

Pro účely tohoto návodu se rozumí:

Abnormální provoz	Stav jaderného zařízení odchylojící se od normálního provozu, jehož výskyt lze očekávat, který nevede k závažnému poškození systémů, konstrukcí a komponent s vlivem na jadernou bezpečnost a po kterém je jaderné zařízení bez opravy schopno normálního provozu (po odstranění příčiny iniciační události)
Bezpečnostní limit	Mezní hodnota parametru charakterizujícího stav jaderného zařízení nebo jiného vyjádření bezpečnostní, technické nebo administrativní podmínky, jejíž překročení znamená ohrožení jaderné bezpečnosti, radiační ochrany nebo technické bezpečnosti v důsledku poruchy systému, konstrukce nebo komponenty
Bezpečnostní zásoba podkritičnosti	Je okamžitá existující (nebo okamžitá dosažitelná) hodnota podkritičnosti reaktoru po odkompenzování teplotního a výkonového efektu reaktivity v případě, že všechny vysunuté řídicí regulační orgány se plně zasunou do AZ, s výjimkou jednoho regulačního orgánu s největší reaktivitou, který zůstane úplně vysunut
BUC	Uvážení snížení reaktivity PS umístěných v BSVP, které je důsledkem použití jaderného paliva v AZ (vyhoření jaderného paliva), využitě ve výpočtech podkritičnosti BSVP
Fyzické bariéry	Bariéra, která brání úniku radioaktivních látek do životního prostředí
Chladivo	Kapalina zajišťující odvod tepla z palivového systému, zpomalování rychlých neutronů (plní zároveň funkci moderátoru) a homogenní rozpptýlení rozpustného absorbátoru v AZ
Instrumentace	Zařízení k měření klíčových bezpečnostních parametrů AZ (např. měření teploty nebo neutronového toku) umístěné v reaktorové nádobě nebo vně reaktorové nádoby

Jaderné zařízení	Stavba nebo provozní celek, jehož součástí je jaderný reaktor využívající štěpnou řetězovou reakci, sklad ozářeného jaderného paliva a sklad čerstvého jaderného paliva, pokud není součástí jiného jaderného zařízení
Komponenty aktivní zóny	SKK AZ umístěné během provozu v AZ (materiálové klastry, regulační orgány, neutronové zdroje, diskretní vyhořívající absorbatory, hydraulické zátky vodicích trubek apod.)
Kritérium přijatelnosti	Bezpečnostní, technická nebo administrativní podmínka nebo mezní hodnota veličiny určující jejich přijatelnost z hlediska jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, technické bezpečnosti, monitorování radiační situace, zvládání radiační mimořádné události nebo zabezpečení;
LaP	LaP tvoří soubor požadavků, při jejichž plnění je výkon činnosti považován za bezpečný (soubor jednoznačně definovaných podmínek, pro které je prokázáno, že provoz jaderného zařízení je bezpečný)
Load Follow	Provoz reaktoru v proměnném zatížení podle potřeb elektrické sítě nebo známého výkonového diagramu
Netěsnost	Porušení celistvosti pokrytí PE takovým způsobem, že dojde ke ztrátě hermetičnosti a uvolnění radioaktivních látek z hermetického prostoru pokrytí PE do chladiwa
Nové typy PS	Takový typ PS, u něhož byla provedena taková projektová změna, která vyžaduje povolení SÚJB
Obalová vsázka	Vsázka, která vykazuje nejnepříznivější vlastnosti ze všech relevantních variant z hlediska sledovaného cíle (např. kritéria přijatelnosti), a s jejímiž parametry jsou provedeny bezpečnostní analýzy (tj. vsázka je dostatečně konzervativní, aby pokryla očekávané reálné vsázky)
Odstavení reaktoru	Uvedení AZ do podkritického stavu a udržení v něm řízeným zasunutím nebo pádem regulačních orgánů nebo zavedením rozpustného absorbatu
On-line a off-line sipping	Způsob/metoda zjišťování netěsných PS. On-line se provádí před vyvezením nebo během vyvážení PS z AZ do BSVP. Off-line se provádí s předem určenými PS (podezřelé z netěsnosti, potvrzení těsnosti při nefunkčnosti on-line sippingu apod.) pro potvrzení nebo vyvrácení netěsnosti

Palivový element	Jaderný materiál hermeticky uzavřený pokrytím PE (zahrnuje pokrytí PE, palivové tabletky, plnicí plyn, pružiny, zátky, vyhořívající absorbátory apod.)
Palivový soubor	Seskupení PE, které umožňuje bezpečné manipulace s jaderným palivem a je do jaderného reaktoru zaváženo jako jeden celek (zahrnuje PE, hlavici, patici, distanční a turbulizující mřížky, pružinky, spojovací komponenty a další)
Palivový systém	Projektem jaderného zařízení určená sestava PS a dalších komponent aktivní zóny nezbytných k řízení reaktivity a k udržení projektové struktury PS v AZ (Palivový systém se skládá ze všech komponent PS a KAZ)
PBC	Zahrnutí vlivu rozpustného absorbátoru v chladivu při výpočtech podkritičnosti BSVP
PCI	Vzájemné komplexní působení mezi palivovou tabletkou a pokrytím PE, kdy dochází k přímému kontaktu tabletky a pokrytí PE, které může vést až k porušení pokrytí PE
Pokrytí PE	Pokrytí PE je hermeticky uzavřená obálka PE naplněná inertním plynem, v jejímž vnitřním prostoru jsou umístěny palivové tabletky
Porušení PE	Narušení hermetičnosti pokrytí PE, které umožňuje únik radioaktivní látky z PE
Poškození PE/PS/KAZ	PE, PS nebo KAZ je považován/a za poškozený/ou, je-li překročen jakýkoli projektový limit, pokud není prokázáno jinak
Projektová rezerva	Rozdíl mezi projektovým limitem, definovaným pro specifické fyzikální parametry, a maximální/minimální vypočtenou či změřenou hodnotou tohoto fyzikálního parametru po započtení všech neurčitostí
Projektový limit	Kritérium přijatelnosti, které je používáno pro hodnocení schopnosti jaderného zařízení plnit jeho funkci předpokládanou projektem jaderného zařízení; projektovým limitem je zejména limit stanovený právním předpisem nebo na jeho základě odvozené kritérium přijatelnosti, které odpovídá způsobu hodnocení schopnosti jaderného zařízení plnit jeho funkci předpokládanou projektem jaderného zařízení,
Projekt AZ	Návrh nové AZ (v rámci výstavby nového JZ), projektová změna AZ nebo její části

Prokazatelně přenositelné výsledky a zkušenosti	Výsledky a zkušenosti, získané na jiném jaderném či experimentálním zařízení, které jsou využity k prokázání vlastností projektu AZ, viz odst. (4.6) a (4.11)
Příčné proudění	Proudění chladiva mezi PS v AZ způsobené rozdílnými lokálními hydraulickými odpory nebo výkony, rozdílným umístěním distančních mřížek nebo vyrovnáváním nerovnoměrného rozložení průtoku na vstupu do AZ, které se týká především bezobálkových konstrukcí PS
Směsná zóna	Směsná zóna je taková AZ, v níž jsou současně zavezeny dva nebo více typů paliva, které se liší svým projektem z hlediska termohydraulických, termomechanických nebo neutronově-fyzikálních vlastností takovým způsobem, že se mění předpoklady bezpečnostního hodnocení provedeného pro stávající palivo
Stávající PS, PE či SKK AZ	PS, PE či SKK AZ, které jsou provozovány/umístěny minimálně jednu kampaň v AZ
Typ PE	Způsob konstrukčního (např. šroubovité PE) nebo jiného projektového řešení PE (např. tabletky bez centrálního otvoru), které se liší některými z vlastností PE
Všechny stavy JZ	Jedná se o normální a abnormální provoz, základní projektové nehody a rozšířené projektové podmínky bez tavení AZ
Vyhořívající absorbatory	Materiál s vysokým absorpčním účinným průřezem pro záchyt tepelných neutronů, který se po absorpci neutronů změní na materiál s velmi nízkým absorpčním účinným průřezem pro tepelné neutrony

2. ÚVOD

DŮVOD VYDÁNÍ

- (2.1) Státní úřad pro jadernou bezpečnost je ústředním správním úřadem pro oblast využívání jaderné energie a ionizujícího záření.
- (2.2) V rámci své pravomoci a působnosti, v souladu se zásadami činnosti správních orgánů a mezinárodní praxí, vydává návody, ve kterých dále rozpracovává požadavky na zajištění jaderné bezpečnosti, technické bezpečnosti, radiační ochrany, monitorování radiační situace, zvládnutí radiační mimořádné události a zabezpečení.
- (2.3) Důvodem pro vydání tohoto bezpečnostního návodu **PROJEKT AKTIVNÍ ZÓNY TLAKOVODNÍHO REAKTORU** je požadavek na zajištění bezpečnosti projektu palivového systému v souladu s právními předpisy ČR se zohledněním mezinárodních doporučení WENRA, IAEA, US NRC a významných evropských provozovatelů jaderných elektráren. Tyto požadavky jsou v právních předpisech ČR uvedeny v zákoně č. 263/2016 Sb., atomový zákon [1], a dále stanoveny ve vyhlášce SÚJB č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení [2].
- (2.4) Tento návod by měl být využit při přípravě podkladové dokumentace předkládané k žádosti o povolení provozu JZ nebo o povolení projektové změny AZ tlakovodního reaktoru a souvisejících SKK AZ. V přiměřeném rozsahu je možné tento návod využít při přípravě podkladové dokumentace předkládané k žádosti o povolení umístění JZ.

CÍL

- (2.5) Bezpečnostní návod je určen zejména pro žadatele o povolení k provozu nebo k projektové změně AZ tlakovodního reaktoru a souvisejících SKK AZ, kterému nabízí možný postup, jehož dodržení mu zajistí, že jeho aktivity v dané oblasti budou v souladu s požadavky atomového zákona, jeho prováděcími právními předpisy a doporučeními IAEA.
- (2.6) Cílem tohoto bezpečnostního návodu **PROJEKT AKTIVNÍ ZÓNY TLAKOVODNÍHO REAKTORU** je rozpracování požadavků na projekt nebo projektovou změnu AZ a souvisejících SKK AZ.

PŮSOBNOST

- (2.7) Bezpečnostní návod je zaměřen na jaderná zařízení ve smyslu Úmluvy o jaderné

bezpečnosti – jaderné elektrárny, jeho principy a postupy lze v omezené míře vztáhnout také na další jaderná zařízení s využitím odstupňovaného přístupu.

PLATNOST A ÚČINNOST

- (2.8) Bezpečnostní návod, resp. jeho poslední revize, nabývá platnost publikací na www.sujb.cz, účinnost je uvedena na str. 2. Revize bezpečnostního návodu je prováděna na základě nových poznatků vědy a techniky, obdrženy připomínky veřejnosti a zkušeností s jeho praktickým používáním.

3. ROZSAH A VÝCHODISKA

ROZSAH

- (3.1) Bezpečnostní návod rozpracovává obecné požadavky uvedené v § 46 zákona č. 263/2016 Sb. [1] a vyhlášky SÚJB č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení [2], které se týkají projektu a projektové změny AZ a SKK AZ.
- (3.2) Tento bezpečnostní návod navazuje na BN JB-1.12 NAVRHOVANÝ OBSAH BEZPEČNOSTNÍCH ZPRÁV [14], který obecně stanoví požadavky na obsah bezpečnostních zpráv. Dále navazuje na BN-02.2 SKLADOVÁNÍ VYHOŘELÉHO JADERNÉHO PALIVA V SAMOSTATNÝCH JADERNÝCH ZAŘÍZENÍCH [15].
- (3.3) Projekt AZ by měl splnit nejen požadavky tohoto návodu, ale také dalších návodů vydaných SÚJB, viz lit. [14] a [16], aby byly splněny všechny legislativní požadavky týkající se projektu AZ.
- (3.4) Ověření bezpečnostních limitů AZ, iniciační události, bezpečnostní analýzy kapitoly 15 PpBZ a rozšířené projektové podmínky jsou popsány v lit. [16], [17], [18] a [19].
- (3.5) Tento BN se zaměřuje na projekt a projektové změny AZ, tj. neutronovou, termohydraulickou, termomechanickou a mechanickou část projektu, problematiku směsných zón, PBC, BUC a další související problematiky s využitím zkušeností z místní i světové praxe.
- (3.6) Tento BN je primárně určen pro PS s PE, které se skládají ze zirkoniového pokrytí PE a oxidických uranových tabletek, jejichž obohacení nepřesahuje 5 % U235 se započítáním neurčitostí.
- (3.7) Pro účely návodu vycházíme z následujících SKK AZ uvedených níže, která jsou umístěna v tlakové nádobě reaktoru. V aktivní zóně dochází ke štěpné řetězové reakci. Z pohledu základního členění se AZ skládá z palivového systému

(PS a KAZ), chladiva a dalších komponent a konstrukcí (např. instrumentace měření a vnitřní vestavby tlakové nádoby reaktoru). Systémy, komponenty a konstrukce AZ zahrnují:

- PE, který se skládá z tabletek oxidu uranu (s vyhořívajícím absorbátorem anebo bez něj) umístěných v pokrytí PE, plnicího plynu, distanční pružiny a příslušných koncovek,
- PS, který se skládá z palivových elementů, konstrukcí a komponent (např. vodicí trubky, distanční mřížky, hlavice, patice, obálka), které udržují PE a PS v předdefinovaném geometrickém uspořádání,
- SKK AZ, které se skládají z komponent umístěných během provozu ve vodicích trubkách PS, resp. se do AZ přemísťují při řízení a odstavení AZ (např. regulační orgány),
- Čidla vnitroreaktorového měření,
- Chladivo, které odvádí teplo z AZ, zároveň je moderátorem, který zpomaluje rychlé neutrony, a obsahuje rozpustný absorbátor,
- Část vnitřních vestaveb tlakové nádoby reaktoru v přímém kontaktu s PS (opěrné desky, plášť AZ apod.)

(3.8) Stavby jaderného zařízení se myslí normální a abnormální provoz, projektové nehody a rozšířené projektové podmínky bez tavení AZ. Analýzy spojené s tavením paliva v AZ a BSVP nejsou součástí tohoto bezpečnostního návodu.

STRUKTURA

(3.9) Základní členění tohoto návodu odpovídá obvyklému členění bezpečnostního hodnocení projektu AZ podle jednotlivých odborných disciplín a oblastí hodnocení a zahrnuje neutronově-fyzikální charakteristiky, termohydraulické vlastnosti, termomechanické vlastnosti, mechanické vlastnosti konstrukcí, ochranné systémy jaderného reaktoru, řídicí systémy a monitorovací systémy AZ a správu jaderného paliva a nakládání s ním. V rámci jednotlivých disciplín a oblastí hodnocení diskutuje projektové požadavky a příslušná projektová kritéria. Speciální pozornost je věnována problematice směsných zón.

(3.10) Obsah tohoto návodu vychází z draftu bezpečnostního návodu IAEA pro Projekt AZ tlakovodních reaktorů IAEA DS488 lit. [8] a z dokumentu Provoz a povolování směsných zón ve vodou chlazených reaktorech IAEA TECDOC No. 1720 [9].

4. OBECNÉ POŽADAVKY NA PROJEKT A PROJEKTOVOU ZMĚNU AZ

- (4.1) Základní požadavky na projekt a projektovou změnu AZ jsou stanoveny v zákoně č. 263/2016 Sb. [1].
- (4.2) Další požadavky na projekt palivového systému jsou specifikovány ve vyhlášce SÚJB č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení [2].
- (4.3) Požadavky na úplnost a srozumitelnost dokumentace systému řízení jsou uvedeny ve vyhlášce č. 408/2016 Sb., o požadavcích na systém řízení [3].
- (4.4) Základní požadavky na projekt JZ a provádění projektových změn jsou uvedeny v dokumentu IAEA SSR-2/1 (Rev. 1) [7]. Další doporučení pro oblast projektování aktivní zóny, ze kterých čerpá tento bezpečnostní návod, jsou zpracována v dokumentu WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors [11] (Issue E, G a Q).
- (4.5) Požadavky na obsah bezpečnostní dokumentace pro kapitolu 4 provozní bezpečnostní zprávy, ze kterých čerpá tento bezpečnostní návod, jsou uvedeny v BN-JB-1.12 (kapitola 4) lit. [14], dokumentu US NRC NUREG – 0800 (kapitola 4) lit. [12] a US NRC Regulatory Guide 1.70 lit. [13].
- (4.6) Prokazatelně přenositelné výsledky a zkušenosti musí být získány s PS či KAZ stejné konstrukce a stejných vlastností, které jsou určující pro přenositelnost daného výsledku. Tyto výsledky a zkušenosti z provozu musí být získány na takovém jaderném či experimentálním zařízení, na kterém jsou provozovány a zkoumány za stejných podmínek, jaké jsou/budou na JZ držitele povolení; jedná se zejména o parametry a způsob provozování
- (4.7) Projekt AZ musí stanovit hodnoty klíčových parametrů a projektových limitů, u kterých musí být zhodnoceny velikosti rezerv. Pokud není některý parametr vymezen projektem, musí být nastaveny takové rezervy, které zajistí plnění projektových limitů ve všech stavech JZ.
- (4.8) Projekt AZ a jejich SKK musí být navržen tak, aby nedošlo k porušení žádného projektového limitu na palivo (nového i stávajícího typu paliva) a nesmí překročit projektové limity JZ. Nový typ paliva musí být kompatibilní se stávajícím typem paliva umístěným v AZ z hlediska termohydraulického, mechanického, termomechanického a neutronově-fyzikálního.
- (4.9) AZ musí být navržena tak, aby bylo ve všech stavech JZ zajištěno plnění příslušných bezpečnostních funkcí, dodržení příslušných projektových limitů a splnění kritérií přijatelnosti. Ochranné, řídicí a monitorovací systémy AZ musí být navrženy a nastaveny tak, aby nedošlo k překročení stanovených projektových limitů palivového systému ve všech stavech JZ. Tyto rezervy musí

být řádně zdůvodněny, zdokumentovány a jejich případné využití musí mít řízený charakter. U klíčových bezpečnostních parametrů je doporučena rezerva 15 %, pokud není jako dostatečná prokázána jiná velikost rezervy.

- (4.10) Směsná zóna se vyznačuje tím, že je v AZ současně provozován dva a více typů paliva, které mají takový dopad do stávajícího bezpečnostního hodnocení, že dojde ke změně předpokladů bezpečnostních analýz. Jedná se o změny s dopady do některé z následujících oblastí:
- Neutronově-fyzikální – materiálové složení a geometrické uspořádání štěpného materiálu a vyhořívajících absorbátorů;
 - Termohydraulická – změna velikosti tlakové ztráty (celkové i lokální), termohydraulických vlastností (DNBR);
 - Mechanická – změna pevnostních a dynamických charakteristik konstrukce paliva (deformace, vibrace, zatížení při LOCA a zemětřesení);
 - Termomechanická – výchozí hodnoty entalpie tabletek, výchozí množství štěpných látek, materiálu pokrytí PE.
- (4.11) Pokud nelze doložit prokazatelně přenositelné experimentální a provozní zkušenosti s provozem směsné zóny (tedy společného umístění nového a již provozovaného typu jaderného paliva v AZ), musí být navržen program LTA. V programu LTA musí být stanoveny požadavky na provedení měření předem stanovených parametrů a musí být stanovena doba, po kterou bude tento program realizován (avšak doporučuje se nejméně po dobu 3 let). V programu LTA musí být stanoven počet PS, který bude v rámci tohoto programu zavezen do reaktoru (doporučuje se maximální počet 12 PS). Tento minimální počet musí být řádně zdůvodněn, podložen analýzami a v souladu se specifickým cílem programu LTA. Požadavky na program LTA a jeho vyhodnocení jsou uvedeny v odst. (6.1) -(6.24).
- (4.12) Provozovatel musí zajistit, aby byl jaderný materiál efektivně využit (minimalizace parazitního zachytu a úniku neutronů) a zároveň aby bylo minimalizováno radiační zatížení tlakové nádoby reaktoru, a to při zachování dostatečných rezerv dle odst. (4.7) a (4.9).

Principy ochrany do hloubky

- (4.13) Projekt AZ musí být robustní (uvažuje všechny události, ke kterým může dojít během provozu JZ), spolehlivý a musí mít definovány rezervy. Splněním těchto požadavků pro obalové vsázky budou plněny tři základní bezpečnostní funkce.
- (4.14) Projekt AZ musí být navržen tak, aby byly plněny tři základní bezpečnostní funkce ve všech stavech JZ. Základními bezpečnostními funkcemi jsou:
- Schopnost bezpečně odstavit jaderný reaktor a udržet ho dlouhodobě v podkritickém stavu (se zahrnutím sekundární kritičnosti) a zajistit dostatečnou podkritičnost v BSVP a dalších systémech pro manipulaci a skladování jaderného paliva,

- Schopnost odvádět teplo z AZ a dlouhodobě odvádět zbytkové teplo z AZ, BSVP a dalších systémů pro manipulaci a skladování,
- Zabránění úniku radioaktivních látek do životního prostředí a v případě úniku jeho omezení na co nejnižší úroveň.

(4.15) Projekt AZ musí zajistit prevenci:

- Poškození integrity fyzických bariér,
- Porušení fyzické bariéry, pokud je poškozena,
- Porušení fyzické bariéry jako důsledek porušení jiné fyzické bariéry.

(4.16) Projekt AZ musí uvažovat následující fyzické bariéry:

- Pokrytí PE,
- Primární okruh a,
- Kontejnment,

kteřé brání úniku radioaktivních látek do životního prostředí.

(4.17) Pokrytí PE představuje první bariéru, která během normálního a abnormálního provozu reaktoru musí být schopna zabránit úniku radioaktivních látek do chladiva. Pro projektové nehody a rozšířené projektové podmínky bez tavení AZ musí být zajištěna podkritičnost a schopnost dlouhodobého chlazení AZ i BSVP.

(4.18) Jednotlivé SKK AZ musí být rozděleny do bezpečnostních tříd podle jejich funkce a významu v souladu s požadavky uvedenými v lit. [1] a Příloze č. 1 lit. [2].

(4.19) PS a jeho jednotlivé komponenty se významnou měrou podílejí na plnění všech tří základních bezpečnostních funkcí. Pokrytí PE musí být klasifikované do bezpečnostní třídy v souladu s lit. [1], [2], jelikož:

- Těsnost a konstrukční integrita PE zajišťují v provozních stavech JZ první a druhou bariéru ochrany do hloubky, tj. ochranu před únikem radioaktivních látek do životního prostředí,
- Zachování geometrie PS a svazku PE umožňuje rychlé odstavení reaktoru a udržení dostatečného chlazení AZ v havarijních stavech JZ, neporušení fyzických bariér a omezenou míru jejich porušení v havarijních stavech, a tím i zajištění plnění základních bezpečnostních funkcí. Dále umožňuje manipulace s PS, a tím i likvidaci havárie JZ.

(4.20) Regulační orgány, jako součást ochranného systému, musí být klasifikovány do bezpečnostní třídy v souladu s lit. [1], [2], jelikož jejich selhání může vést k selhání systému pro rychlé odstavení reaktoru a zprostředkovaně vést k porušení těsnosti PE a narušení geometrie konstrukce PS.

(4.21) Zdůvodnění klasifikace jednotlivých SKK AZ do bezpečnostních tříd musí být přesně popsáno v souladu s nastavenými pravidly uvedenými v lit. [1] a [2].

Inženýrské postupy při zajištění bezpečnosti

- (4.22) Projekt AZ musí prokázat dostatečnou bezpečnost ve všech stavech JZ. Dostatečná bezpečnost může být prokázána, buď výpočtově, na základě dokumentovaných provozních zkušeností, experimentálním měřením nebo kombinací uvedených postupů. Analýzy a výpočty musí být provedeny takovými výpočetními prostředky, které byly hodnoceny v Odborné hodnotící komisi dle požadavků SÚJB, nebo musí být předloženo ověření správnosti a vhodnosti použitých kódů na základě výpočtů benchmarkových úloh. Provozní zkušenosti i experimentální měření musí být prokazatelně přenositelné.
- (4.23) Při posuzování projektu a změn projektu AZ musí být použito bezpečnostní hodnocení, které se bude stále rozvíjet a zdokonalovat v souladu s novými poznatky získanými jak z provozních zkušeností, tak z výzkumu. Postup hodnocení je blíže popsán v kapitole 5 tohoto návodu.
- (4.24) Projekt AZ musí zohlednit podmínky nakládání a skladování jaderného paliva stanovené výrobcem PS a KAZ pro všechny typy PS a KAZ provozovaných společně v reaktoru. Projekt musí obsahovat požadavky na skladování a manipulace všech PS a KAZ, které budou společně skladovány.

OBECNÉ POŽADAVKY NA PROJEKT SYSTÉMŮ, KONSTRUKCÍ A KOMPONENT AKTIVNÍ ZÓNY

- (4.25) SKK AZ, ať už jako celek nebo jednotlivé části, musí být navrženy tak, aby byly provozuschopné, spolehlivé a plnily svoji funkci ve všech stavech JZ. Proto musí projekt SKK AZ plnit specifické projektové požadavky, které jsou uvedeny v odst. (3.8)–(4.38).

Vnější vlivy

- (4.26) Projekt SKK AZ musí zahrnovat kvalifikaci na seismické odolnosti v souladu s požadavky uvedenými v kapitole 3.9 lit. [14].

Projektové limity

- (4.27) Projektové limity jednotlivých SKK AZ musí být stanoveny pro všechny projektové stavy JZ. Limity musí být nastaveny tak, aby zajistily plnění příslušných bezpečnostních funkcí.
- (4.28) Projektové limity musí být nastaveny tak, aby plnily požadavky na ochranu do hloubky uvedené v odst. (4.13) - (4.19).

Inženýrská pravidla projektování

- (4.29) Inženýrská pravidla projektování pro SKK AZ představují metody a postupy, kterými je dosaženo odpovídajícího průkazného a opakovatelného projektového řešení v souladu se zadáním a současně splnění bezpečnostních požadavků. Tato

pravidla by měla obsahovat:

- použití odpovídajících technických norem,
- použití ověřených výpočetních kódů a inženýrských přístupů,
- konzervativní nebo BEPU přístup k bezpečnostnímu hodnocení,
- specifické analýzy pro ověření spolehlivosti projektu (např. experimentálně nebo provozními zkušenostmi),
- ověřování a testování,
- dodržení provozních limitů a podmínek,
- zohlednění provozních zkušeností.

Spolehlivost projektu

(4.30) SKK AZ musí být projektovány tak, aby splnily přísné požadavky na spolehlivost s ohledem na jejich bezpečnostní význam. Výpočty, výroba a všechny související činnosti musí být řízeny tak, aby bylo dosaženo vysoké kvality a spolehlivosti celého systému/zařízení. Míra spolehlivosti musí být odpovídajícím způsobem doložena (např. experimentálně nebo provozními zkušenostmi).

(4.31) Specifické požadavky na spolehlivost projektu jsou popsány v odst. (5.28).

Limity a podmínky bezpečného provozu

(4.32) LaP musí zahrnovat podmínky pro bezpečný provoz všech SKK AZ v reaktoru a jejich bezpečné skladování v BSVP pro normální a abnormální provoz.

(4.33) LaP musí být navrženy tak, aby příslušná projektová kritéria pro všechny SKK AZ byla splněna ve všech stavech JZ. Bližší specifikace je uvedena v lit.[2] a [6].

Požadavky na projekt SKK AZ

(4.34) Projekt SKK AZ musí být zpracován tak, aby umožnil zkoušení, inspekce, opravy, manipulace, kalibrace nebo údržbu PE, PS a KAZ.

(4.35) Projekt SKK AZ musí dále zajistit, že KAZ, PE a PS musí vydržet manipulace při transportu, skladování, montáži a výměně PS bez poškození.

(4.36) Projekt AZ musí být přezkoumán při každé projektové změně AZ a navazujících systémů, např.:

- Významné změny konstrukce PS nebo PE nebo typu paliva (např. MOX),
- Zvýšení vyhoření nad aktuální limit (na základě výsledků výzkumu),
- Významné prodloužení projektové délky palivové kampaně (např. přechod z 12-ti na 18-ti měsíční kampaň apod.),
- Zvýšení tepelného výkonu reaktoru.

(4.37) Projekt SKK AZ musí být takový, aby předcházel poškození PE, PS a KAZ během provozu za nestandardních podmínek (např. během fyzikálních testů, zhoršujících se chemických podmínek).

- (4.38) Projekt SKK AZ musí být takový, aby zajistil pád regulačních orgánů do AZ v požadovaném čase až do dolní koncové polohy a nedošlo ke zpomalení nebo zaseknutí regulačního orgánu uvnitř vodicích trubek. Neplnění této bezpečnostní funkce může být způsobeno průhybem PS. Schopnost pádu regulačních orgánů a jeho trvání (doba pádu) musí být pravidelně testovány.

PROJEKTOVÉ ANALÝZY AKTIVNÍ ZÓNY

- (4.39) Analýzy musí být provedeny pro všechny stavy JZ. Pro analýzy a hodnocení musí být použit konzervativní přístup, pokud nejsou pro specifické případy žadatelem navrženy jiné přístupy.

- (4.40) V analýzách musí být zohledněny následující hlavní faktory:

- Očekávaný rozsah provozních stavů,
- Teplotní koeficient reaktivity paliva (Dopplerův koeficient),
- Teplotní koeficient reaktivity chladiva,
- Dutinový koeficient reaktivity chladiva a moderátoru,
- Rychlost a účinnost změny koncentrace rozpustného absorbátoru v chladivu a moderátoru,
- Rychlost a velikost vnosu kladné reaktivity způsobené pohybem regulačních orgánů nebo změny provozních parametrů,
- Rychlost a velikost vnosu záporné reaktivity během odstavení reaktoru (rychlost vnosu okamžité zásoby reaktivity),
- Provozní charakteristiky zařízení bezpečnostních systémů, obsahující přechody mezi provozními stavy zařízení (např. přechod z aktivního chlazení bezpečnostními systémy do přirozené cirkulace),
- Rozpad xenonu a dalších absorbátorů neutronů pro analýzy dlouhodobého provozu aktivní zóny.

Výše zmíněné faktory musí být stanoveny tak, aby byly pokryty všechny události, které mohou nastat během provozu JZ, pro všechny typy PS.

- (4.41) Analýzy musí prokázat pro všechny stavy JZ, že projektové limity paliva platné pro dané stavy JZ nebudou překročeny.
- (4.42) Specifické projevy chování paliva, např. nafouknutí (ballooning), porušení pokrytí PE a zkroucení a průhyb PE a PS musí být zahrnuty do analýz.
- (4.43) Hodnocení charakteristik AZ musí jasně vymezit, které analýzy, resp. parametry jsou platné pro obalovou vsázku a je možno je považovat za generické, a které analýzy je nutné opakovat pro každou specifickou vsázku. Tento rozsah musí být vymezen pro všechny oblasti projektování AZ (neutronově-fyzikální, termohydraulickou, termomechanickou, mechanickou). Všechny analýzy musí být řádně zdokumentovány, nezávisle ověřeny a prováděny kvalifikovaným personálem, vše v souladu s požadavky lit. [3] a [4].

- (4.44) Pro každou z oblastí projektových analýz AZ (zejména pro neutronově-fyzikální, termohydraulické, termomechanické a mechanické chování) musí být použity výpočtové kódy na stejné metodologické bázi (využívají obdobný matematický základ výpočtu). Citlivostní analýza musí být provedena stejnou metodikou, jako byla provedena pro stávající projekt AZ/JZ.

5. SPECIFICKÉ POŽADAVKY NA PROJEKT AKTIVNÍ ZÓNY A SOUVISEJÍCÍ KRITÉRIA A LIMITY

OBECNĚ

- (5.1) Projekt AZ musí být navržen tak, aby nedošlo k překročení žádného projektového limitu na PE a PS (nového i stávajícího PS či PE) a nesmí dojít k ohrožení jaderné bezpečnosti JZ (nesmí dojít k takovému čerpání rezerv, které by způsobily ohrožení jaderné bezpečnosti JZ). Projekt AZ musí být kompatibilní se stávajícími PS a PE umístěnými v AZ z hlediska neutronově-fyzikálního, termohydraulického, mechanického a termomechanického.
- (5.2) Musí být nastaveny specifické projektové limity se zahrnutím odpovídajících rezerv, a to pro hodnotitelné parametry, jakými jsou zejména:
- Maximální lokální a střední lineární, nebo celkový výkon PE,
 - Minimální DNBR,
 - Maximální teplota a entalpie palivové tabletky,
 - Maximální teplota pokrytí PE.

Projektové analýzy musí odpovídajícím způsobem zohlednit neurčitosti hodnot provozních parametrů (např. výkon reaktoru, průtok chladiva AZ, průtok přes obtoky AZ, vstupní teplotu a tlak chladiva, jaderné vlastnosti, neurčitosti korelace DNBR a inženýrské koeficienty neurčitosti faktoru horkého kanálu), neutronově-fyzikálních vlastností AZ a výpočetních metod použitých při hodnocení termohydraulických projektových limitů.

- (5.3) Při stanovení projektových limitů musí být komplexně a konzervativně zahrnuty všechny chemické, fyzikální, hydraulické a mechanické faktory ovlivňující příslušný mechanismus porušení pokrytí PE, stejně jako rozměrové tolerance PE. Pokud daný mechanismus poškození/porušení pokrytí PE a příslušný limit závisí na vyhoření PE, musí být v experimentální analýze zahrnut vliv ozáření na vlastnosti pokrytí PE a PE tak, aby byla zajištěna reprezentativnost experimentálních výsledků.

NEUTRONOVĚ-FYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKY AZ

Projektové požadavky

- (5.4) Projekt AZ musí být navržen tak, aby výsledný účinek zpětných vazeb v AZ byl záporný (tj. aby výsledný efekt reaktivity působil proti rychlému zvýšení výkonu reaktoru) ve všech provozních stavech s kritickým reaktorem. Výkon reaktoru musí být řízen kombinací inherentních (neutronově-fyzikálních a termohydraulických charakteristik) a aktivních zásahů ochranných a řídicích systémů jaderného reaktoru a AZ, které musí adekvátně působit ve všech stavech JZ.
- (5.5) Relevantní neutronově-fyzikální parametry, jakými jsou reaktivita, koeficienty reaktivity, účinnosti regulačních orgánů a rozložení výkonu, musí být analyzovány s ohledem na všechny použité typy PS. Průkazy kompatibility všech typů PS mohou být odvozeny z výpočtů samostatného PS v nekonečném prostředí.

Projektová kritéria a limity

- (5.6) Projekt AZ musí stanovit klíčové bezpečnostní parametry, které charakterizují neutronově-fyzikální vlastnosti AZ. Stanovení souboru klíčových bezpečnostních parametrů musí odpovídat předpokladům bezpečnostních analýz, které prokazují dodržování specifických projektových kritérií popsanych v odst. (5.47) - (5.56). Soubor klíčových bezpečnostních parametrů musí být definován tak, aby zůstal zachován pro projekty všech očekávaných specifických vsázek. Typickými klíčovými bezpečnostními parametry jsou zejména:
- Teplotní koeficient reaktivity pro palivo a moderátor,
 - Hustotní koeficient reaktivity chladiva,
 - Bórový koeficient reaktivity a koncentrace kyseliny borité,
 - Bezpečnostní zásoba podkritičnosti,
 - Maximální vnosi reaktivity regulačními orgány,
 - Účinnost (vnosu záporné reaktivity) regulačních orgánů,
 - Radiální a axiální peaking faktory (koeficienty nevyrovnání výkonu), zahrnující příspěvek vyvolaný Xe oscilacemi, pokud je relevantní,
 - Poměrný maximální lineární tepelný výkon,
 - Dutinový koeficient reaktivity.
- (5.7) U každé zásadní projektové změny s potenciálním dopadem na projekt AZ musí být ověřena platnost souboru klíčových bezpečnostních parametrů. Pokud dojde ke změně hodnoty některého z těchto parametrů, musí být zhodnocena míra vlivu této změny. V případě významného odchýlení se od původních hodnot klíčových bezpečnostních parametrů, musí být stanoveny, zhodnoceny a ověřeny nové klíčové bezpečnostní parametry. Zásadními změnami projektu jsou míněny následující změny:
- Projektová změna JZ, SKK nebo provozu JZ,

- Závažné změny v řízení palivových kampaní, např. významné prodloužení délky palivové kampaně,
 - Zavedení nového typu JP,
 - Zvýšení limitu vyhoření JP.
- (5.8) Projekt AZ musí obsahovat výpočty stacionárních i nestacionárních prostorových rozložení neutronového toku a tepelného výkonu, neutronově-fyzikálních charakteristik a účinnosti jednotlivých způsobů řízení reaktivity ve všech stavech JZ, pokud není prokázáno pro některé vybrané stavy JZ, že k těmto jevům nedojde, nebo jsou ověřovány jiným způsobem. Výpočty musí být provedeny pro všechny předpokládané provozní stavy JZ. Vypočtené distribuce výkonu lze aplikovat pro základní projektové nehody a rozšířené projektové podmínky bez tavení AZ. Toto rozložení musí být respektováno v analýzách termomechanického chování PE a rezervy na nedosažení krizových podmínek přestupu tepla a průkazů splnění ostatních relevantních projektových kritérií.
- (5.9) Klíčové bezpečnostní parametry, jakými jsou např. koeficienty reaktivity, musí být vypočteny pro vybrané provozní stavy (např. nulový výkon, nominální výkon, začátek kampaně, konec kampaně) a pro příslušnou strategii řízení palivových vsázek (kampaní). Musí být analyzována závislost těchto parametrů na palivové vsázce a jejím vyhoření. Ve všech uvažovaných stavech JZ musí být při aplikaci koeficientů reaktivity použity odpovídající konzervativní přístupy.
- (5.10) Rychlost a velikost vnosu reaktivity od jednotlivých prostředků regulace (regulační orgány a/nebo rozpustný absorbátor) musí být omezena, nebo musí být nastaveny příslušné ochrany a omezení tak, že výsledná výkonová změna nepřesáhne specifické limity pro významné iniciační události spojené s vnosem reaktivity, jakými jsou:
- Vystřelení neúčinnějšího regulačního orgánu,
 - Pád regulačního orgánu,
 - Neřízený vnik čistého kondenzátu,
 - Neřízené vysouvání jedné skupiny regulačních orgánů.
- Omezení rychlosti a velikosti vnosu reaktivity musí být stanoveno na základě analýz prokazujících, že projektová kritéria paliva popsaná v odst. (5.48) - (5.56) jsou plněna. Tyto analýzy musí být provedeny pro všechny typy paliva použitého v AZ, resp. pro obalovou vsázku paliva v AZ, pro všechny uvažované provozní stavy JZ a rozsah vyhoření a s odpovídajícími konzervativními podmínkami a předpoklady.
- (5.11) Projekt AZ musí být navržen tak, aby bylo možné monitorovat a řídit celkový i lokální výkon použitím prostředků pro monitorování výkonu a řízení reaktivity, a to tak, že v žádném místě AZ a na žádném z PE nesmí dojít k překročení stanovených limitů lokálního lineárního a poproutkového výkonu. Řídicí a monitorovací systémy AZ musí být projektovány tak, aby byly schopny zohlednit změny rozložení výkonu způsobené lokálními změnami reaktivity

v důsledku např. použití směsné zóny, výskytu anomálií axiálního offsetu, průhybu nebo zkroucení PS. Výpočtové modely a jejich neurčitosti, použité v projektu řídicích a monitorovacích systémů AZ, musí rovněž zohledňovat variabilitu měření jednotlivých detektorů neutronového toku (způsobenou např. umístěním, sníženou provozuschopností, odstíněním nebo stárnutím).

- (5.12) Maximální dovolené zasunutí regulačních orgánů musí zajistit odpovídající hodnotu bezpečnostní zásoby podkritičnosti, tedy zajistit bezpečné odstavení reaktoru, ve všech stavech JZ. Stanovení a sledování limitů zasunutí regulačních orgánů (např. v závislosti na výkonové hladině, resp. vyhoření) musí zajistit odpovídající velikost bezpečnostní zásoby podkritičnosti po celou dobu provozu.
- (5.13) Ve výpočtech bezpečnostní zásoby podkritičnosti musí být zahrnuty provozní efekty reaktivity AZ ve všech stavech AZ, které mohou nastat během palivové kampaně, např. efekty úbytku vyhořívajícího absorbátoru, vyhořívání bóru v kyselině borité, efekty prostorového rozložení výkonu apod.

TERMOHYDRAULICKÉ VLASTNOSTI AZ

Obecné požadavky

- (5.14) Základním cílem tepelného a hydraulického návrhu AZ musí být zajištění takového přenosu tepla z AZ, které zajistí odvod tepla z AZ ve všech stavech JZ.

Projektové požadavky

- (5.15) Termohydraulický projekt AZ musí zahrnovat odpovídající rezervy a opatření, aby bylo zajištěno, že:
- Nedojde k překročení specifických termohydraulických projektových limitů ve všech provozních stavech, tj. během normálního provozu a abnormálního provozu,
 - Podíl porušených PE (stanovený pomocí výskytu DNB) během projektové nehody a rozšířených projektových podmínek bez tavení AZ zůstane pod úrovní příslušných kritérií přijatelnosti.
- (5.16) Statistické metody použité při termohydraulických výpočtech musí zahrnovat i vliv průhybu PE a PS.

Projektová kritéria a limity

- (5.17) Analýzy musí zohlednit projektové limity na minimální a maximální průtok chladiva v AZ a tyto limity musí být respektovány, nebo musí být předložena detailní analýza, která prokáže, že nedojde k překročení projektových limitů AZ.
- (5.18) Analýzy musí zohlednit limity na hydrodynamickou stabilitu průtoku přes PS a KAZ. Tyto limity musí být respektovány, nebo musí být předložena detailní analýza, která prokáže, že nedojde k překročení projektových limitů AZ.

- (5.19) Analýzy termohydraulického projektu AZ musí zohledňovat všechny specifické projektové prvky PS a související výrobní a provozní odchylky. Jedná se zejména o rozteče mezi PE, výkony PE, tvar a velikost subkanálů, distanční mřížky a turbulizátory včetně jejich přípustných provozních deformací.
- (5.20) Termohydraulický projekt AZ musí respektovat prostorové rozložení vstupních a výstupních teplot chladiva a rozložení průtoku v AZ. Tyto parametry musí být respektovány při projektování ochranných systémů jaderného reaktoru a řídicích a monitorovacích systémů AZ.

Analýzy musí zahrnovat hodnocení vlivu rozvrstvení teplot chladiva ve smyčkách a jeho způsobu měření. Tento vliv musí být dále zahrnut při projektování ochranných systémů jaderného reaktoru a řídicích a monitorovacích systémů AZ a návrhu změny jejich nastavení.

Projekt AZ musí zajistit, že stanovení minimálního podílu kritického a provozního výkonu (tzn. např. stanovení minimálního dosaženého DNBR) zohledňuje fakt, že korelace kritického tepelného toku byly stanoveny na základě testů provedených ve stacionárních podmínkách. V důsledku toho musí být použita a prokazatelně doložena stanovená rezerva pro hodnocení nestacionárních iniciačních událostí normálního a abnormálního provozu. Jelikož je korelace kritického tepelného toku naměřena za ustálených stacionárních podmínek, musí být rezerva taková, aby nedošlo k poškození PE ani za nestacionárních podmínek normálního a abnormálního provozu.

V některých projektech (pokud není použito kritérium porušení dosažení DNBR) může být dosažení kritického tepelného toku na větším než přípustném počtu PE v podmínkách základních projektových nehod a rozšířených projektových podmínek bez tavení AZ akceptovatelné, a to v takovém případě, kdy je v termomechanickém projektu ke stanovení počtu porušených PE použita jiná přijatelná analytická metoda.

- (5.21) Výpočty DNBR musí být mj. provedeny pro obalovou vsázku, která prokáže dostatečnou bezpečnost AZ. Hodnoty DNBR musí být vypočteny pro různé tlaky a vyneseny do grafu závislosti výkonu reaktoru na vstupní teplotě, kde budou patrné křivky DNB a saturace pro různé hodnoty tlaků.
- (5.22) Experimenty pro stanovení korelací kritického tepelného toku musí být provedeny pro dostatečně širokou škálu předpokládaných provozních podmínek a s dostatečným počtem měřených bodů tak, aby takto získaná data pro stanovení limitních hodnot minimálního kritického tepelného toku byla statisticky vyhodnotitelná v souladu se světovou praxí.
- (5.23) K prokázání plnění odst. (5.2) - (5.20) je možné použít přístupy, jejichž příklady jsou uvedeny níže:

- Pro hodnocení DNBR, resp. korelace hustoty kritického tepelného toku musí být zajištěno s 95 % pravděpodobností na 95 % úrovni spolehlivosti, že „horký“ palivový element v AZ nedosáhne podmínek krize varu během žádných podmínek normálního ani abnormálního provozu;
 - Limitní (minimální) hodnota DNBR, resp. korelace hustoty kritického tepelného toku musí být stanovena tak, že počet PE, které dosáhnou krize varu během normálního nebo abnormálního provozu, nepřekročí stanovenou limitní hodnotu, např. vyjádřenou podílem počtu PE nacházejících se v podmínkách DNB na 1000 PE vyskytujících se v AZ.
- (5.24) Posouzení vlivu hydraulických zatížení na chování PE a PS by měl být primárně součástí termohydraulické části projektu PS, avšak zároveň by měl být zahrnut do hodnocení přijatelnosti lokalizované koroze, eroze povrchů, vibrace způsobené průtokem chladiva a otěru PE.
- (5.25) Nepoškození PS působením hydrodynamických efektů musí být prokázáno pomocí testů provedených na kvalifikovaných hydraulických smyčkách, s použitím plnorozměrových maket PS a v prototypových zkušebních podmínkách (např. tlak, teplota a příčné proudění). Hydraulické testy musí být zejména provedeny pro:
- Otěr způsobený průtokem chladiva (flow-induced fretting wear test) – test musí potvrdit, že nedojde překročení projektových limitů na poškození PS otěrem,
 - Vibrace způsobené průtokem chladiva (flow-induced vibration test) – test musí prokázat, že pro různé velikosti průtoků chladiva kolem PS nedojde k překročení amplitudy kmitů vlastní frekvence PS do takové míry, aby došlo k překročení projektového limitu na poškození PS otěrem,
 - Tlakové ztráty (pressure drop test) – test musí prokázat, že nedojde ke změně proudění chladiva takovým způsobem, že by byly překročeny projektové limity PS.

Metodika provedení testů a volba testovacích podmínek musí s rezervou zajistit splnění příslušných projektových limitů PS.

TERMOMECHANICKÉ VLASTNOSTI AZ

Projektové požadavky

- (5.26) Projekt AZ musí zajistit, že během normálního a abnormálního provozu jsou dodrženy všechny projektové limity PS a PE (konstrukční integrita, geometrie, maximální přípustné napětí atd.) a tudíž nedojde k jejich poškození ani k porušení PE (ztráta těsnosti pokrytí PE). V podmínkách nehody (základní projektové nehody a rozšířené projektové podmínky bez tavení AZ) musí počet porušených PE splňovat kritéria přijatelnosti pro radiologické důsledky. Zároveň musí být zajištěna taková geometrie PS, kterou je možné dlouhodobě chladit

a která nebrání pádu orgánů mechanické regulace. Přičemž úroveň aktivity radionuklidů musí být hodnocena za výše zmíněných podmínek tak, aby bylo prokázáno, že budou plněny povolené limity úniků radioaktivních látek do životního prostředí a nedojde k jejich překročení.

- (5.27) Projekt PE (s nebo bez vyhořívajících absorbátorů) a PS musí respektovat konkrétní podmínky pracovního prostředí daného JZ (např. teplota, tlak a chemie chladiva, vlivy ozáření na palivo, mikrostrukturu materiálů PE a PS; statické a dynamické namáhání včetně vibrací způsobených průtokem chladiva; změny v chemických a fyzikálních vlastnostech konstrukčních materiálů).

Důležité jevy, které musí být zahrnuty v projektu PE, PS z hlediska ozařování a pracovního prostředí jsou popsány v kapitole 9, společně s těmi pro regulační orgány, neutronové zdroje a hydraulické zátoky vodicích trubek KAZ.

- (5.28) Projekt AZ musí zajistit spolehlivou funkci KAZ, PE a PS v průběhu celého jejich životního cyklu zahrnujícího výrobu, přepravu, manipulaci v JZ, provoz v AZ, skladování a umístění do úložiště, kdekoli je to aplikovatelné. V projektu KAZ, PS a PE musí být definovány klíčové způsoby zajištění spolehlivosti, důležité jsou zejména následující:

- Dohled nad výrobou (procesy fabrikace),
- Potlačení vlivu nečistot (zabránění přítomnosti cizích předmětů),
- Monitorování a řízení výkonových změn AZ k omezení interakce tabletky a pokrytí PE,
- Řízení tvorby úsad a korozních vrstev (chemický režim I. O),
- Prevence poškození pokrytí PE vlivem vibrace PE v distanční mřížce (Grid-to-Rod fretting),
- Monitorování stavu paliva a inspekční postupy.

- (5.29) Projekt PS a JZ musí zajistit, že v podmínkách normálního a abnormálního provozu nedojde k poškození PS vlivem mechanického zatížení způsobeného zejména následujícími vlivy:

- Veškeré manipulace s PS a PE včetně zavážení,
- Úmyslné i neúmyslné změny výkonu,
- Přítlačné síly na PS (které vyrovnávají hydrodynamické vztlakové síly a geometrické změny vnitřních částí reaktoru a PS; způsobené ozářením a teplotní roztažností),
- Teplotní gradienty,
- Hydraulické síly, včetně příčného proudění mezi deformovanými PS nebo odlišnými PS ve smíšené zóně,
- Vliv ozáření na materiály (např. radiační růst a napuchání),
- Hydrodynamické vibrace PE a vibrační otěr pokrytí PE (Grid-to-Rod fretting),
- Neelastické deformace skeletu PS, které mohou vést k nadměrné deformaci PS – zkrut a průhyb).

(5.30) V podmínkách normálního a abnormálního provozu musí projekt AZ zajistit, že maximální teplota v palivových tabletách je s dostatečnou rezervou nižší, než teplota tavení paliva, s uvážením příslušných neurčitostí a projektových vlastností daného JZ. Teplota tavení musí být definována jako funkce závisající na vyhoření a chemickém složení tabletky, která musí být adekvátně podložena experimentálně získanými výsledky.

(5.31) Projekt AZ musí zajistit, že napětí a deformace v pokrytí PE budou omezeny na takovou míru, aby nedošlo k překročení projektových limitů paliva pro stanovené stavy. Pro provozní a havarijní stavy AZ musí být definovány specifické projektové limity na napětí v pokrytí PE, jeho trvalou deformaci, korozi a hydridaci.

Důsledky velkých deformací pokrytí PE (např. ballooning), musí být hodnoceny v bezpečnostních analýzách havarijních stavů, aby byl dostatečně konzervativně určen jejich vliv na odvod tepla, porušení PE (např. prasknutí a roztržení) a následný únik štěpných produktů z PE.

(5.32) Projekt AZ musí zajistit, že změny geometrie PS a PE budou omezeny na přijatelnou míru tak, aby nedošlo k dotyku nebo mechanické interakci mezi PE a hlavicí PS (nepřípustné namáhání PE na vzpěr) a mezi PE a patičí PS, že průhyby PE a/nebo PS budou omezeny na přijatelnou míru a že deformace regulačních orgánů a jejich další případné interakce s vodicími trubkami PS neovlivní strukturální integritu PS a/nebo bezpečnostní funkci regulačních orgánů.

Projekt AZ musí obsahovat posouzení relaxace pružinek distančních mřížek během ozařování PS tak, aby se omezila možnost otěru mezi mřížkou a PE (Grid-to-Rod-Fretting). V analýzách geometrické stability musí být zahrnut vliv ozáření na komponenty PE, PS a KAZ, na mechanické vlastnosti použitých materiálů, jako např. pevnost v tahu, tažnost, radiační růst, creep, radiační zpevnění a relaxace. Vliv ozáření na odolnost distančních mřížek proti stlačení ve vodorovném směru musí být respektován při hodnocení seismických událostí nebo LOCA (analýza mechanické odezvy PS na seismické/LOCA zatížení – průkaz zachování uchlazené geometrie PE a PS).

(5.33) Růst PE a PS způsobený ozářením musí být limitován, aby nedošlo ke kontaktu PE s hlavicí a patičí PS. Průhyb a zkrut PE a PS může vést k výkonovým anomáliím, zejména pokud je změněna rozteč PE. Tyto vlivy musí být analyzovány nebo podloženy experimentálními daty.

(5.34) Pro podmínky normálního a abnormálního provozu JZ musí projekt AZ zajistit, že nedojde k poškození PE vlivem termomechanického zatížení během lokálních a celozónových změn výkonu (např. v důsledku zavezení PS na jinou pozici v AZ, pohybů regulačních orgánů nebo dalších důvodů změny reaktivity) a změn rozložení výkonu.

(5.35) Projekt PE musí obsahovat analýzy prokazující, že nedojde k překročení

projektových limitů na deformaci nebo napětí v pokrytí PE vlivem mechanického zatížení (např. tlak chladiva, seismické zatížení). Mechanické a termomechanické analýzy chování PE, PS a KAZ musí zohlednit také vliv ozáření, chemických interakcí a dalších změn ve vlastnostech použitých materiálů.

- (5.36) Korozní praskání pokrytí PE pod napětím vyvolané komplexní interakcí tabletky s pokrytím PE za přítomnosti agresivních plynných štěpných produktů musí být uváženo v projektu AZ a musí být stanovena kritéria, jejichž splnění zabrání poškození PE tímto mechanismem. Kritéria musí být stanovena zejména s cílem:
- Snížit tahová napětí v pokrytí PE pomocí omezení rychlosti změn výkonu (poskytnutí dostatečného času pro relaxaci napětí v pokrytí PE) nebo oddálením doby, kdy dojde k uzavření mezery mezi pokrytím PE a tabletkou (toho může být dosaženo zvýšením počátečního plnicího tlaku v pokrytí PE nebo optimalizováním creepových vlastností pokrytí PE),
 - Omezit korozní působení štěpných produktů (např. jód, kadmium, cesium) vznikajících v tabletce použitím ochranné vrstvy na vnitřní straně pokrytí PE. Tato vrstva může omezit i velikost koncentrace napětí v pokrytí PE,
 - Snížit množství korozivních štěpných produktů na rozhraní tabletky a pokrytí PE použitím aditiv v materiálu paliva, která mohou přispět k nižšímu uvolnění korozivních plynných štěpných produktů z krystalové mřížky paliva,
 - V neutronově-fyzikální části projektu AZ snížit hodnoty koeficientů lokálního nevyrovnání výkonu (a tím i možné velikosti změn lokální hustoty vývinu tepla).
- (5.37) Koncentrace napětí v pokrytí PE způsobená chybějícími tabletkami, axiálními mezerami ve sloupci tabletek, porušenými povrchy tabletek nebo fragmenty tabletek paliva v mezeře palivo-pokrytí PE, musí být explicitně modelována (zahrnuta do neurčitostí nebo rezerv), nebo musí být tyto anomálie prokazatelně vyloučeny (např. kontrolami během výrobního procesu).
- (5.38) Projekt PE musí obsahovat analýzy prokazující, že nedojde k poškození PE v důsledku použití integrálních vyhořívajících absorbátorů v palivových tabletách (odlišné tepelné, mechanické, chemické a mikrostrukturální vlastnosti) a jejich vlivu na integrální chování PE.
- (5.39) Projekt PE musí zajistit, že pro Zr slitiny pokrytí PE musí být použit adekvátně validovaný model pro stanovení množství absorbovaného vodíku a kyslíku v pokrytí PE. Vliv absorbovaného vodíku a kyslíku na chování pokrytí PE musí být uváženo při stanovení projektových kritérií PE pro podmínky provozních stavů (hydrogen pick-up) tak, aby specifická projektová kritéria PE pro havarijní stavy (např. pro RIA a LOCA) mohla být vyjádřena jako funkce koncentrace vodíku v pokrytí PE před začátkem přechodového stavu.
- (5.40) PE a PS musí být navrženy tak, aby byly kompatibilní s (chemickým) prostředím chladiva během provozních režimů, včetně provozních režimů odstavení a výměny paliva.

- (5.41) Projektové analýzy PE musí zahrnovat degradaci podmínek přenosu tepla v PE z důvodu tvorby úsad na povrchu pokrytí PE, způsobené transportem korozních produktů z I. O nebo dalšími chemickými procesy, pokud tvorbu těchto úsad nelze prokazatelně vyloučit. Pokud dochází v tlakovodním reaktoru k zachycování rozpustného absorbátoru ve vrstvách úsad na povrchu PE, musí být tento vliv (axial offset anomaly, crud induced power shift) zahrnut do neutronově-fyzikální části projektu AZ.
- (5.42) Projekt JZ musí dále zajistit, že v podmínkách základních projektových nehod a rozšířených projektových podmínek bez tavení AZ nedojde k takovému poškození PS (např. vlivem silového zatížení způsobeného projektovou seismickou událostí kombinovanou se zatížením při velké LOCA), které by bránilo plnění základních bezpečnostních funkcí (bezpečné odstavení, zachování uchlazené geometrie PS), viz odst. (5.44).
- (5.43) Pro podmínky normálního a abnormálního provozu JZ musí být v projektu PE a PS prokázáno splnění následujících požadavků:
- Mezery a tolerance uvnitř PS i mezi sousedícími PS musí být tak veliké, aby poskytovaly dostatečný prostor pro radiační růst a deformaci (průhyb, zkrut) PE a PS,
 - Průhyb a růst PE i deformace PS musí být omezeny na přijatelnou míru tak, aby nedošlo k takovému negativnímu ovlivnění termohydraulického chování, rozložení výkonu v AZ, termomechanického chování paliva a manipulací s palivem, které není předpokládáno v projektu,
 - Nesmí dojít k poškození PS z důvodu únavy materiálu působením cyklického napětově-deformačního zatěžování,
 - Deformace PS, způsobená mechanickými a hydraulickými přitlačnými silami a příčným prouděním v AZ, musí být omezena na takovou míru, která nebude mít vliv na lokální rezervy kritického tepelného toku stanovené projektem. Dále také nesmí deformace PS omezit zasouvání nebo pád regulačních orgánů (např. dobu pádu) tak, aby bylo znemožněno bezpečné odstavení reaktoru během všech stavů JZ,
 - Poškození vibracemi a otěrem nesmí ovlivnit celkové chování a funkci PE, PS a podpůrných konstrukcí.
- (5.44) Pro podmínky nehod (základní projektové nehody a rozšířené projektové podmínky bez tavení AZ) musí projekt AZ zabránit takovým interakcím mezi PE nebo PS a podpůrnými konstrukcemi PS, které by mohly zabránit bezpečnostním systémům v jejich funkci, předpokládané v bezpečnostních analýzách. Konkrétně musí být zajištěno následující:
- Projektová funkce komponent bezpečnostních systémů (např. regulačních orgánů ochranných systémů jaderného reaktoru a jejich vodicích trubek),
 - Projektové chlazení AZ (i pro dlouhodobé chlazení AZ).
- (5.45) Projekt PE musí zajistit, že v podmínkách normálního a abnormálního provozu

nedojde k nadměrnému poškození pokrytí PE vlivem PCI, pokud není prokázáno projektem jinak.

Během rychlých základních projektových nehod, které vedou k rychlým změnám výkonu (např. nehody spojené se změnou reaktivity), může dojít k porušení PE působením PCI v kombinaci se zkřehnutím materiálu pokrytí PE způsobeným hydridací v reaktoru při vysokých vyhořeních. Porušení PE tímto mechanismem musí být zohledněna a posouzena v bezpečnostních analýzách.

(5.46) Kritérium porušení pokrytí PE při změnách výkonu (power ramps) musí být podloženo jedním z následujících přístupů nebo jejich kombinací s uvážením specifik daného typu PE a to zejména materiálu paliva a pokrytí PE:

- Vnitroreaktorovými testy, tzv. in-pile power-ramp testy,
- Modelováním vnitroreaktorových testů, nebo
- Experimenty provedenými na ozářeném pokrytí PE.

Experimentální databáze musí dostatečně pokrývat projektový rozsah vyhoření a možných výkonových změn. Projektový rozsah musí pokrývat všechny oblasti, které jsou kritické, zejména pak oblast vyhoření 25 – 40 MWd/kgU. Počet měřených bodů musí umožňovat dostatečné statistické zpracování v celém projektovém rozsahu.

Pokud je kritérium porušení PE ověřováno termomechanickým výpočetním kódem (např. ve formě maximálního povoleného napětí nebo hustoty deformační energie), je nutné, aby toto kritérium bylo odvozeno z experimentálních dat stejným kódem, nebo musí být prokázáno, že je k ověření tohoto kritéria aplikovatelný i jiný výpočetní kód.

Projektová kritéria a limity paliva

(5.47) Projektové limity paliva musí být stanoveny s uvážením všech fyzikálních, chemických a mechanických procesů, které ovlivňují chování PE a PS během všech stavů JZ.

(5.48) Pro podmínky normálního a abnormálního provozu musí projekt PE zahrnovat minimálně následující limity:

- V žádném místě palivové tabletky nedojde k tavení,
- Nedojde k přehřátí pokrytí PE (krize varu),
- Nedojde ke kolapsu pokrytí PE (vlivem vnějšího přetlaku chladiva),
- Vnitřní tlak v PE nepřekročí hodnotu, která by vyvolala deformaci pokrytí PE zhoršující podmínky přestupu tepla mezi PE a chladičem,
- Koroze a hydridace pokrytí PE nesmí překročit povolené limity,
- Poškození pokrytí PE otěrem a poškrábáním nesmí překročit stanovené limity,
- Napětí a deformace pokrytí PE nesmí překročit stanovené limity.

(5.49) Komponenty PE a PS musí být navrženy tak, aby jejich projekt vykazoval

deformace a radiační růst jen takového rozsahu, že nedojde k porušení projektových limitů PE tím, že nedojde k nadměrné:

- Silové interakci mezi koncovkami PE a hlavicí PS (aby nedošlo k průhybu PE vlivem nadměrného namáhání na vzpěr),
- Narušení lokálního rozložení výkonu v PE,
- Snížení lokálních rezerv do kritického tepelného toku v PS,
- Narušení pohyblivosti regulačních orgánů a jejich schopnosti pádu do AZ,
- Narušení možnosti manipulací s PS.

(5.50) PS, KAZ a vnitřní části reaktoru musí být navrženy tak, aby minimalizovaly riziko/nebezpečí zachycení cizích předmětů v PS a aby tím nedošlo k poškození PE v provozních stavech.

(5.51) Projektové limity na vyhoření paliva, vyplývající z termomechanického chování PE a PS, nesmí být při projektování AZ překročeny.

(5.52) Pro základní projektové nehody a rozšířené projektové podmínky bez tavení AZ musí projekt PE zajistit, že:

- Počet porušených PE nepřekročí určité procento z celkového počtu PE v AZ tak, aby byly omezeny radiologické důsledky každé nehody uvažované v projektu JZ, a byly zachovány limity pro radiologické důsledky,
- Při stanovování celkového počtu porušených PE musí být uvažovány všechny známé mechanismy porušení pokrytí PE. Zejména chemické reakce včetně oxidace a hydridace, ballooningu nebo kolapsu pokrytí PE, nebo porušení pokrytí PE způsobené mechanickým namáháním nebo tavením atd.,
- Používaná kritéria porušení pokrytí PE musí být založena na výsledcích experimentálních studií,
- Pokud v jakékoli axiální souřadnici překročí klíčový parametr (radiálně zprůměrovaná hodnota entalpie PE, napětí, deformace, teplota, hustota deformační energie (Strain Energy Density) apod.) určitou limitní hodnotu (cladding burst limit), stanovenou na základě reprezentativních experimentálních výsledků, získaných za podmínek odpovídajících vnitroreaktorovým podmínkám (experimentální parametry musí minimálně obsahovat: teplotu chladiva, tlak chladiva, rychlost proudění chladiva, kinetiku vnosu reaktivity a vnitřní tlak v PE), musí být uvažováno porušení PE. Protože se pevnost pokrytí PE mění vlivem ozáření a závisí na typu slitiny pokrytí PE, předpokládá se, že tento limit rovněž závisí na typu a materiálu pokrytí PE.

(5.53) Odvod tepla z AZ nesmí být ohrožen např.:

- Vlivem nafouknutí (ballooning) nebo roztržením (bursting) pokrytí PE (např. během LOCA),
- Nadměrnou deformací komponent PS nebo vnitřních částí reaktoru (např. během seismické události),
- Blokováním průtoku chladiva.

Projekt PE a AZ musí v dostatečné míře zabránit tomu, aby při RIA nedošlo k narušení tlakové hranice I. O vlivem teplotní exploze PE, nebo poškození palivového systému a vnitřních částí I. O omezujícímu schopnost odvodu tepla z AZ. Toto je obecně zajištěno limity na maximální hodnotu klíčového parametru (např. entalpii tabletky) a na jeho povolený nárůst.

- (5.54) K zajištění strukturální integrity PE musí být stanoveny a zdůvodněny následující projektové limity:
- Maximální lokální teplota pokrytí PE a ekvivalentní množství zoxidovaného materiálu pokrytí PE během havarijní události nesmí překročit takovou hodnotu, kde by oxidace pokrytí PE způsobila nadměrné zkřehnutí materiálu pokrytí PE nebo se nekontrolovatelně urychlovala (exotermická reakce). Vlivy fragmentace palivových tabletek a relokace fragmentů uvnitř PE na maximální lokální hodnotu teploty pokrytí PE musí být řádně zhodnoceny. Možné vlivy částíček paliva rozptýlených v I. O z porušených PE na radiační důsledky nehod a uchlazenost AZ musí být řádně vyhodnoceny,
 - Pokrytí PE nesmí být během podmínek nehody poškozeno do takové míry, aby nevydrželo mechanické namáhání během nehody (např. zatížení vyvolané LB LOCA). Hodnocení musí vzít v úvahu míru oxidace pokrytí PE vzniklou jak před vznikem přechodového stavu, tak i během něj (a to z vnější strany pokrytí PE, eventuálně i z vnitřní strany pokrytí PE u porušených PE), dále musí zahrnovat i chemické interakce mezi tabletkou a pokrytím PE. Vodík i kyslík, které jsou absorbovány do pokrytí PE během normálního a abnormálního provozu a havarijních podmínek, nesmí způsobit takové zhoršení mechanických vlastností pokrytí PE (zkřehnutí), aby vydržely zatížení způsobená manipulací, transportem a skladováním PS. Vliv kyslíku a vodíku absorbovaných v pokrytí PE na jeho pevnost a tažnost musí být stanoven,
 - Kritéria porušení PE a poškození PE a PS pro RIA musí být stanovena tak, aby respektovala počáteční stav PE před vznikem nehody (např. obsah vodíku a kyslíku před narušením normálního provozu, vyhoření PE).
- (5.55) Během LOCA nesmí množství vodíku, které vzniká při reakci chladiva a pokrytí PE, přesáhnout limitní hodnotu (např. poměr (např. 1 %) k celkovému množství vodíku, který by vznikl při reakci chladiva s pokrytím PE. Jedná se o hodnotu, která zajistí, že není dosažena taková koncentrace vodíku, aby nedošlo k jeho zahoření (výbuchu).
- (5.56) Strukturální deformace PE, PS, KAZ nebo vnitřních částí reaktoru nesmí zhoršit pohyblivost regulačních orgánů nad míru očekávanou v bezpečnostních analýzách. Teplota tavení regulačních orgánů s uvážením eutektických reakcí nesmí být překročena v žádném místě AZ ve všech stavech JZ.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI AZ

Projektové požadavky

- (5.57) KAZ a s nimi související vnitřní části reaktoru musí být navrženy tak, aby jejich strukturální integrita byla zachována ve všech stavech JZ, uvažovaných v projektu. Strukturální integrita musí být prokázána pro všechny relevantní mechanizmy poškození KAZ a vnitřních částí reaktoru, např. vibrace (způsobené mechanicky nebo průtokem chladiva) a únava, teplotní, chemické, hydraulické a radiační vlivy (včetně radiačního růstu) i seismická zatížení, a to buď výpočty, nebo experimentálně. Zvláštní důraz musí být kladen na průkaz nepoškození komponent určených k řízení reaktivity a bezpečnému odstavení reaktoru, schopnosti odvodu tepla, stejně jako neporušení tlakové hranice I. O. Průkaz musí brát v úvahu vlivy vysokých tlaků, vysokých teplot, teplotních změn a rozložení teplot, koroze, radiačního zatížení a celkového ozáření během celé doby životnosti komponent na jejich fyzické rozměry, silové zatížení a materiálové vlastnosti.
- (5.58) Projekt regulačních orgánů a ostatních KAZ musí zajistit, že vydrží všechny manipulace s nimi při výměně paliva, transportu a skladování bez jejich poškození.
- (5.59) Projekt KAZ a nosných vnitřních částí reaktoru musí umožňovat nezbytnou kontrolu KAZ a vnitřních částí reaktoru (např. vizuální).
- (5.60) Nosné a podpůrné vnitřní části reaktoru musí být navrženy tak, aby vydržely statické i dynamické zatížení, včetně jejich zatížení při překládce a manipulaci s PS.
- (5.61) Projekt nosných konstrukcí v reaktoru musí prokázat rezervy do limitu na teplotní napětí ve všech stavech JZ, včetně vlivu gama ohřevu na jejich chlazení a teplotní odezvy. Stejně tak musí být v analýzách zahrnuty chemické vlivy chladiva na tyto komponenty, zejména pak koroze, hydridace, korozního praskání pod napětím a tvorba usazenin.
- (5.62) Konstrukce PS a vodicí trubky pro regulační/odstavné orgány a pro vnitroreaktorovou instrumentaci musí být navrženy tak, aby tato zařízení a instrumentace byly ve stanovené poloze a byly minimalizovány možnosti chybné manipulace obsluhy (může být prokázáno bezpečnostními analýzami, nebo zajištěno administrativně v provozní dokumentaci nastavením dostatečné kontroly), silovým zatížením a hydraulickými silami způsobenými prouděním chladiva, a to ve všech stavech JZ. Projekt JZ musí umožnit údržbu těchto zařízení a instrumentace. Projekt musí respektovat možnost, že hydrodynamické vibrace těchto komponent, instrumentace nebo jejich vodicích trubek mohou v dlouhodobém provozu způsobovat otěr, opotřebení a jejich následné selhání/porušení. Rozměrová stabilita vodicích struktur musí být prokázána pro celou dobu jejich projektové životnosti.

- (5.63) Projekt KAZ a vnitřních částí reaktoru musí v případě potřeby usnadnit výměnu regulačních orgánů a vnitroreaktorové instrumentace bez poškození jiných komponent AZ a vnitřních částí reaktoru, nepřijatelného vnosu reaktivity a/nebo nepřipustného ozáření osob.
- (5.64) V reaktorové nádobě mohou být instalovány nejrůznější vestavby v závislosti na konkrétním typu reaktoru. Mohou to být např. tepelné stínění, plášť AZ a reflektor. Tyto vestavby musí být projektovány tak, aby jejich mechanické chování neohrozilo žádnou z bezpečnostních funkcí AZ po celou dobu jejich životnosti.
- (5.65) Projekt neutronových zdrojů musí zajistit, že:
- Zdroje produkují dlouhodobě stálý a dostatečný tok neutronů, který zajistí přesnější detekci případných změn na nízké hladině neutronového toku i v případě dlouhodobého odstavení reaktoru,
 - Zdroje jsou mechanicky stálé a vhodné k použití v podmínkách normálního a abnormálního provozu.

Projektová kritéria a limity

- (5.66) Projekt KAZ a vnitřních vestaveb reaktoru musí splňovat všechny požadavky a kritéria definované v technických normách, které jsou uvedeny v programu systému řízení, které se vztahují na příslušnou bezpečnostní třídu zařízení, stanovenou v odst. (4.18) - (4.21).

OCHRANNÉ SYSTÉMY JADERNÉHO REAKTORU A ŘÍDICÍ A MONITOROVACÍ SYSTÉMY AZ

Projektové požadavky

- (5.67) Řídicí a monitorovací systémy AZ a způsob zpracování a interpretace měřených hodnot musí být navrženy tak, aby byly schopny identifikovat změny v rozložení neutronového toku v AZ s dostatečnou přesností a zabránily tak překročení projektových limitů paliva.
- (5.68) V projektu AZ musí být stanoveny parametry dostatečně charakterizující stav AZ a musí být zajištěno jejich odpovídající měření. Mezi ty nejdůležitější parametry patří následující:
- Celkový výkon reaktoru,
 - Prostorové rozložení hustoty toku neutronů a související koeficienty nerovnoměrnosti (peaking faktory),
 - Teplota chladiva na vstupu do a výstupu z AZ a rozložení teplot ve smyčkách I. O,
 - Průtok chladiva AZ,
 - Tlak I. O,

- Pozice regulačních orgánů v AZ,
- Koncentrace rozpustného absorbátoru a obsah B-10.

Další parametry mohou být odvozeny z měřených parametrů. Jsou to např.:

- Čas zdvojení neutronového toku (případně perioda),
- Rychlost změny neutronového výkonu,
- Okamžitá hodnota reaktivity,
- Axiální a radiální nevyrovnání neutronového výkonu,
- Termohydraulické parametry AZ (např. DNBR).

- (5.69) Projekt PS a AZ musí umožňovat a zajišťovat použití potřebné instrumentace a detektorů pro monitorování parametrů AZ, jakými jsou výkon AZ (hladina, rozložení a časově závislé odchylky), stav a fyzikální parametry chladiva (tlak a teplota) a účinnost prostředků pro odstavení reaktoru (např. rychlost vnosu reaktivity regulačními orgány ve srovnání s jejich limity pro vnos reaktivity). Použitá instrumentace a způsob zpracování a interpretace měřených hodnot musí být takový, že v případě ohrožení stanovených limitních hodnot mohou být včas provedena nápravná opatření. Použitá instrumentace a její umístění musí umožňovat monitorování těchto parametrů v celém rozsahu jejich předpokládaných hodnot a ve všech stavech JZ včetně výměny paliva.
- (5.70) Projekt ochranného systému jaderného reaktoru a řídicích a monitorovacích systémů AZ musí zajistit, aby všechny výkonové změny, které mohou vést k porušení projektových limitů paliva během normálního a abnormálního provozu, byly spolehlivě a včas detekovány a potlačeny.
- (5.71) Prostředky pro řízení reaktivity musí být navrženy tak, aby umožnily udržení požadované výkonové hladiny a rozložení výkonu s dostatečnou rezervou v rámci stanovených provozních limitů, a to včetně změn spojených s kompenzací reaktivity, jako jsou např.:
- Řízené změny výkonu,
 - Změny koncentrace xenonu,
 - Změny zpětnovazebných koeficientů,
 - Změna průtoku nebo teploty chladiva,
 - Vyhořívání paliva a vyhořívajících absorbátorů.
- (5.72) Regulační orgány musí být navrženy tak, aby byly schopny uvést reaktor do podkritického stavu i v podmínkách základních projektových nehod a rozšířených projektových podmínek bez tavení AZ.
- (5.73) Použití regulačních orgánů nebo systémů pro řízení reaktivity během normálního a abnormálního provozu nesmí omezit jejich provozuschopnost a schopnost zajištění plnění bezpečnostní funkce pro případ nutnosti rychlého odstavení reaktoru.
- (5.74) Maximální velikost a rychlost vnosu kladné reaktivity ve všech stavech JZ musí

být omezeny a/nebo dostatečně kompenzovány tak, aby se předešlo porušení tlakového rozhraní I. O a v důsledku toho k poškození AZ a schopnosti chlazení AZ během následné události spojené s úniky chladiva z I. O.

- (5.75) Prostorové uspořádání, rozdělení do skupin, rychlost a pořadí vysouvání regulačních orgánů, včetně souvisejících nastavení v řídicích a ochranných systémech musí být navrženy tak, aby nedošlo k překročení projektových limitů AZ během možného nekontrolovaného vysouvání regulačních orgánů.
- (5.76) Systémy řízení reaktivity pomocí rozpustného absorbátoru musí být navrženy tak, aby bylo zamezeno nepředvídatelnému snížení koncentrace absorbátoru v chladivu, které by mohlo vést k překročení projektových limitů na palivo. Jednotlivé části těchto systémů musí být navrženy tak, aby byla zajištěna rovnoměrná koncentrace rozpustného absorbátoru v celém jeho objemu (např. ohříváním a promícháváním). Koncentrace rozpustného absorbátoru musí být měřena ve všech nádržích.
- (5.77) Detailní analýza provozuschopnosti a fungování systémů řízení AZ a souvisejících provozních podmínek musí být provedena tak, aby odhalila jakékoliv možnosti pro případné neúmyslné ředění bóru během provozu a při odstaveném reaktoru.
- (5.78) Účinnost regulačních orgánů (mechanické regulace) musí být ověřena přímým měřením.
- (5.79) Projekt regulačních orgánů musí zohledňovat jejich opotřebení a vliv ozáření, za provozu např.: vyhoření absorbátoru, změny fyzikálních vlastností a produkci štěpných plynných produktů.

V projektu systému mechanického řízení AZ musí být zohledněny následující vlivy:

- Vlivy ozáření regulačních orgánů – úbytek absorpčního materiálu nebo napuchání a zahřívání materiálu v důsledku absorpce neutronů a gama záření. V návaznosti na dopady těchto vlivů musí být orgány mechanické regulace v souladu s projektem obměňována či změněno její umístění v AZ;
 - Chemické vlivy – např. koroze povrchů regulačních orgánů, pohyb radioaktivních korozních produktů v chladivu I. O;
 - Deformace a posunutí konstrukčních prvků – zohlednění pohybu vnitřních vestaveb reaktoru způsobeného teplotní roztažností, radiacním zatížením, mechanickým zatížením nebo vnějšími událostmi, jakým je např. zemětřesení.
- (5.80) Ochranný systém reaktoru musí zajistit ve všech stavech JZ, že nebudou překročeny projektové limity stanovené pro bezpečnostní zásobu podkritičnosti uvedené v odst. (5.12) a (5.13). Projekt jednotlivých zařízení musí zajistit spolehlivost celého systému a zároveň nezávislost řídicích a ochranných funkcí.
- (5.81) Účinnost regulačních orgánů, rychlost vnosu reaktivity a bezpečnostní zásoba podkritičnosti musí být nastaveny tak, aby byla splněna stanovená projektová

kritéria na palivový systém. Podrobný popis požadavků je uveden v následujících odst. (5.82) -(5.91).

- (5.82) Rychlost odstavení musí být taková, aby nebyly překročeny projektové limity na PE, PS a tlakové rozhraní I. O.
- (5.83) Při projektování a výpočtech rychlosti odstavení musí být zohledněny následující faktory:
- Rychlost odezvy instrumentace, která iniciuje odstavení,
 - Rychlost odezvy akčních členů regulačních orgánů,
 - Umístění regulačních orgánů,
 - Axiální profil absorpčního materiálu v regulačních orgánech,
 - Rychlost vnosu absorbátoru do AZ, např. doba pádu regulačních orgánů způsobená gravitací nebo efektivita dávkování rozpustného absorbátoru.
- (5.84) Ověření dostatečnosti návrhu ochranných systémů jaderného reaktoru musí zahrnovat hodnocení událostí se zahrnutím poruchy vedoucí k omezení jejich účinnosti pro odstavení reaktoru. Za dostatečně reprezentativní událost může být považována událost selhání pádu nejúčinnějšího regulačního orgánu, tedy jeho zaseknutí v horní koncové poloze. Projekt ochranného systému reaktoru musí být navržen tak, aby nedošlo k jeho selhání ze společné příčiny.
- (5.85) Projekt ochranných systémů jaderného reaktoru včetně jejich akčních členů (regulačních orgánů) musí pro zajištění vysoké spolehlivosti aplikovat některé z níže uvedených inženýrských přístupů nebo jejich rozumnou kombinaci:
- Zavedení systémů, které mají jednoduchou strukturu a umožňující jednoduchý provoz,
 - Výběr osvědčených komponent a zařízení,
 - Použití řešení, které je bezpečné při poruše (tzv. Fail safe), kde je to možné,
 - Zhodnocení všech možných způsobů vzniku poruchy a zavedení redundantní iniciace systému pro odstavení (např. měření, senzory). Musí být zajištěna diverzita iniciace odstavení např. tím, že jsou použity dva odlišné a fyzikálně nezávislé parametry, které určují, kdy dojde k iniciaci systému rychlého odstavení reaktoru. Tyto parametry by měly být stanoveny pro všechny uvažované události, kde je to možné,
 - Funkční oddělení a fyzická separace systémů pro odstavení (toto zahrnuje oddělení řídicích a odstavných funkcí) pro všechny uvažované události včetně představitelných mechanismů jednoduchých poruch a poruch se společnou příčinou, jak je to jen možné,
 - Zajištění snadného zasunutí regulačních orgánů do AZ v podmínkách okolního prostředí odpovídajících normálnímu a abnormálnímu provozu, základních projektových nehod a rozšířených projektových podmínek bez tavení AZ,
 - Zahrnutí možnosti oprav, provozní inspekce a testování,

- Zajištění prostředků pro komplexní testování během uvádění do provozu a v pravidelných odstávkách na výměnu paliva nebo odstávkách pro údržbu,
- Testování iniciačních mechanismů (nebo částečné zasouvání regulačních orgánů, pokud je to možné) během provozu.

V případě projektové změny stávajícího zařízení není nutné předkládat detailní popis řešení. Detailní popis tohoto systému musí být uveden v příslušné kapitole bezpečnostní zprávy, na který se může žadatel odkázat.

- (5.86) Projekt ochranného systému reaktoru musí zohlednit opotřebení jednotlivých komponent a zahrnovat výpočty životnosti regulačních orgánů (např. stanovení počtu rychlých odstavení). Výpočty životnosti musí zahrnovat nejen opotřebení způsobené pohybem regulačních orgánů v AZ (zejména pak pády regulačních orgánů při rychlém odstavení) a radiačním zatížením (napuchání, změna chemických vlastností), ale také úbytek absorbátoru (vyhořívání).
- (5.87) Ochranný systém reaktoru musí být naprojektován tak, aby byl schopen kompenzovat předpokládané neřízené vnusy kladné reaktivity, které by mohly vést k sekundární kritičnosti po odstavení, během manipulací s palivem nebo během rutinních i nerutinních činností v odstaveném stavu v normálním a abnormálním provozu. Projekt ochranných systémů jaderného reaktoru a systémů zajišťujících podkritičnost v BSVP musí posoudit všechny stavy a činnosti, které mohou vést ke snížení úrovně podkritičnosti v odstaveném stavu (např. manipulace s absorbátory, úbytek obsahu absorbátoru, manipulace s palivem a vnik čistého kondenzátu). Tyto události musí být následně analyzovány pro podmínky s nejnižší dosažitelnou zásobou podkritičnosti.

Projekt ochranných systémů jaderného reaktoru musí definovat počet regulačních orgánů a jejich účinnost (tedy reaktivita vázaná v jednotlivých regulačních orgánech).

- (5.88) Účinnost ochranných systémů jaderného reaktoru a udržení podkritičnosti musí být prokázána pro podmínky obalové vsázky.
- (5.89) Část akčních členů ochranných systémů jaderného reaktoru může být použita pro účely řízení reaktivity a prostorového rozložení výkonu, nesmí tím však být ohrožena provozuschopnost systému rychlého odstavení reaktoru ve všech stavech JZ.
- (5.90) Ochranné systémy jaderného reaktoru musí být možno testovat během provozu (v prakticky dosažitelném rozsahu), a takto prokazovat jejich schopnost plnit jejich bezpečnostní funkci.
- (5.91) Ochranné systémy jaderného reaktoru musí být fyzicky a funkčně odděleny od řídicích systémů tak, aby byla prakticky vyloučena možnost poruchy ze společné příčiny a aby případná porucha řídicích systémů neohrozila provozuschopnost ochranných systémů.

Provozní limity řídicích systémů a nastavení ochranných systémů jaderného reaktoru

- (5.92) Projekt AZ musí stanovit příslušné provozní limity a pro případ jejich překročení stanovit související akční úrovně (setpointy) pro zásah řídicích systémů a aktivaci činností, nastavení alarmů nebo úrovní aktivace ochranného systému jaderného reaktoru.

Nastavení provozních limitů a související nastavení setpointů řídicích a ochranných systémů musí zohlednit vlivy vyhoření paliva, vzájemný vliv sousedících regulačních orgánů (snížení účinnosti tzv. shadowing efektem), zvrstvení chladiva v cirkulačních smyčkách a rozložení teplot v chladivu na výstupu z PS.

- (5.93) Stanovení provozních limit a souvisejících nastavení setpointů řídicích systémů musí zohledňovat vlivy stárnutí systému chlazení reaktoru (např. ucpání trubiček parogenerátorů).
- (5.94) Iniciační úrovně (setpointy) musí být nastaveny tak, aby byl reaktor spolehlivě řízen a odstaven v celém časovém úseku jeho provozu. Automatická iniciace řídicích systémů AZ a ochranných systémů jaderného reaktoru musí být nastavena s takovou rezervou, aby i v průběhu přechodových dějů nedošlo k poškození paliva, případně aby byl zmírněn rozsah poškození paliva v počátečních stádiích nehody na úroveň předpokládanou v bezpečnostních analýzách.
- (5.95) Instrumentace AZ a její provoz, provozní limity a postupy musí být stanoveny tak, aby byly vyloučeny příliš vysoké hodnoty celkové účinnosti orgánů mechanické regulace (pro případy iniciačních událostí typu vystřelení klastru nebo neřízeného vysouvání klastrů) a rychlosti vnosu kladné reaktivity. Účinnost těchto opatření musí být prověřována. Tam, kde je to možné, musí být nastaven alarm, který upozorní na porušení nebo blížící se porušení těchto opatření.
- (5.96) Projektové limity, neurčitosti, provozní limity, požadavky na instrumentaci a nastavení iniciačních úrovní (setpointy) musí být odpovídajícím způsobem zohledněny do znění limit a podmínek bezpečného provozu JZ.

Instrumentace a provozní kontrola AZ

- (5.97) Instrumentace AZ musí být navržena tak, aby poskytovala dostatek informací o chování AZ příslušným řídicím a ochranným systémům, zejména prostorově a časově dostatečně detailní informace o rozložení výkonu v AZ. Projekt AZ musí zahrnovat implementaci detektorů a zařízení, které dostatečně zajistí monitorování velikosti a změn v celkovém výkonu AZ a lokálních hodnot rozložení výkonu v AZ, aby nedošlo k překročení projektových limitů (např. rozložení výkonu, tepelný výkon, neutronový výkon) v celém rozsahu projektových výkonových změn. Na základě vyhodnocení rychlosti změny konkrétního parametru, kterou stanoví projekt AZ, musí být určeno, zda aktivování příslušné funkce řídicích systémů může být manuální nebo musí

proběhnout automaticky.

- (5.98) Během provozu musí být monitorováno a průběžně vyhodnocováno množství radionuklidů v chladivu, aby byla k dispozici soustavná kontrola integrity pokrytí PE a indikace, zda nedošlo k porušení pokrytí PE.
- (5.99) Přesnost měření, rychlost odezvy, rozsah měření a spolehlivost všech monitorovacích systémů musí odpovídat jejich zamýšlenému způsobu použití a požadované funkci. Monitorovací systém musí být navržen tak, aby jej bylo možné pravidelně nebo soustavně testovat.
- (5.100) Měření, která jsou určena pro monitorování situace po nehodě, musí být kvalifikována pro odpovídající podmínky okolního prostředí, tudíž musí být schopna monitorovat situaci (např. reaktivitu, hladinu v reaktoru, teploty) i dlouhodobě po nehodě.
- (5.101) Výkon a jeho prostorové rozložení musí být monitorovány vněreaktorovým (ex-core) a vnitroreaktorovým (in-core) měřením, případně jejich kombinací, (např. neutronové ionizační komory, štěpné komory, samonapájecí detektory, lokální měření teploty chladiva). Měření lokálního výkonu v různých místech AZ musí být projektováno tak, aby bylo schopno zajistit, že budou zachovány rezervy do projektových limitů na palivo i se zohledněním změn v prostorovém rozložení výkonu v AZ v důsledku řízení AZ a vyhoření paliva. Rozložení výkonu v AZ musí být nepřetržitě nebo alespoň periodicky monitorováno. In-core detektory musí být systematicky rozmístěny v AZ tak, aby monitorovací systém spolehlivě detekoval lokální změny hustoty výkonu. Ex-core i in-core detektory musí být pravidelně kalibrovány.
- (5.102) Monitorovací systém AZ musí být navržen tak, aby parametry AZ byly vždy udržovány v souladu s provozními limitami.
- (5.103) V odstaveném stavu reaktoru musí být v provozu takový počet a typ měření nebo kombinace měření neutronového toku a přídavných neutronových zdrojů v AZ, aby byl spolehlivě monitorován neutronový tok v AZ a vývin zbytkového tepla (např. použitím speciálních detektorů s odpovídající citlivostí), a to ve všech stavech JZ a po celou dobu provozu, kdy jsou PS v tlakové nádobě reaktoru, mj. i během všech manipulací s PS v reaktoru a všech fází spouštění reaktoru.
- (5.104) Schopnost pádu regulačních orgánů a jeho doba pádu musí být pravidelně testovány. Projekt systému rychlého odstavení reaktoru musí zahrnovat program a zařízení pro testování doby pádu regulačních orgánů. Časový vývoj výsledků měření musí být pravidelně vyhodnocován.
- (5.105) Pokud je použito více systémů monitorování neutronového toku pro různé rozsahy, musí být tyto systémy logicky propojeny vhodnými blokádami a nastaveními přesahů, aby byla AZ v daném rozsahu monitorována s požadovanou přesností a aby nedocházelo k nežádoucím odstavením reaktoru.

SPRÁVA PALIVOVÉHO SYSTÉMU A AKTIVNÍ ZÓNY

Projektové požadavky

(5.106) Hlavním cílem správy palivového systému a AZ je zajistit bezpečné, spolehlivé a efektivní využití PE, PS a KAZ v jaderném reaktoru.

(5.107) Palivové vsázky musí být navrženy v souladu s požadavky na řízení reaktivity AZ a rozložení výkonu v AZ, aby nebyly dosaženy nebo překročeny projektové limity paliva.

Správa palivového systému a AZ musí zahrnovat:

- Prostředky, jakými jsou zejména výpočetní kódy, musí zajistit plnění následujících funkcí správy palivového systému a AZ: projektování a bezpečnostní hodnocení vsázek (specifikace zavážených PS do AZ, rozmístění PS k zajištění optimálního vyhoření a požadovaných toků neutronů atd.), objednávka sortimentu PS a KAZ, řízení reaktivity a monitorování provozu AZ,
- Strategii provozování AZ, která umožní maximální provozní flexibilitu při optimálním využití jaderného paliva a zachování rezerv do projektových limitů správy paliva.

(5.108) Strategie naplňování funkcí správy palivového systému a AZ musí zajistit mj. informace o:

- Kartogramu zavezení AZ včetně obohacení a rozmístění štěpného materiálu a vyhořívajících absorbátorů na úrovni PE, pozice PS a KAZ v AZ a jejich orientace v AZ pro každou palivovou kampaň,
- Plánu (harmonogram) manipulací s palivem (instrukční soubor manipulací s PS apod.),
- Konfigurace a omezení u prostředků pro řízení AZ a odstavení reaktoru (včetně nastavení řídicích a monitorovacích systémů AZ, nastavení ochranného systému, nastavení monitorovacího systému AZ),
- Rozmístění a manipulací s KAZ.

(5.109) Vyhořívání vsázky a fyzikální parametry AZ jsou parametry vstupující do bezpečnostních analýz, nastavení monitorovacího a ochranného systému a provozních předpisů. Tyto fyzikální parametry zahrnují: podmínky provádění fyzikálních testů (např. kritická koncentrace rozpustného absorbátoru a kritické polohy regulačních orgánů), kinetické parametry AZ, palivové teplotní koeficienty reaktivity, moderátorové teplotní koeficienty reaktivity, účinnosti jednotlivých regulačních orgánů a celých skupin regulačních orgánů a koeficienty nerovnoměrnosti rozložení výkonu (tzv. výkonové peaking faktory).

Je nutné soustavně nebo periodicky ověřovat průběh vyhořívání vsázky a platnost očekávaných fyzikálních parametrů v mezích možností měření monitorovaných parametrů AZ.

- (5.110) Při projektování vsázky AZ musí být vyhodnoceno a potvrzeno, že byly dodrženy zavedené přístupy k využití paliva a k nastavení provozních omezení AZ, protože v opačném případě by mohlo dojít k překročení nebo porušení projektových limitů.
- (5.111) Při projektování vsázek a pro jejich realistické analýzy je žádoucí pro všechny stavy JZ přednostně používat multidimenzionální a celozónové výpočetní kódy. BEPU výpočty a příslušné metodické postupy musí zahrnovat citlivostní analýzu.
- (5.112) Analýzy projektu vsázky a související výpočty musí pokrývat všechny obvyklé provozní události a provozní stavy během kampaně, např.:
- Normální a abnormální provoz zahrnující reprezentativní rozložení výkonu,
 - Load Follow a jiné cyklické výkonové změny,
 - Dosahování kritického stavu,
 - Opětovné spouštění bloku a provoz na různých výkonových hladinách,
 - Výměna paliva,
 - Odstavený reaktor.
- Jakmile dojde ke změně projektové vsázky nebo se změní charakteristiky PE/PS (např. obohacení, rozměry PE, rozmístění PE nebo změna materiálu pokrytí PE), musí být provedeny a zdokumentovány nové výpočty.
- (5.113) Analýzy projektu AZ musí zahrnovat limitní povolené rozložení výkonu v libovolných PS a libovolné axiální pozici v AZ, tj. jak z pohledu poproutkového rozložení výkonu, tak i lokálního lineárního výkonu. Analýzy musí respektovat neurčitosti zahrnující dopady změny geometrie PS způsobené provozem na neutronové a termohydraulické chování a výpočty (např. změna poměru a paliva moderátoru z důvodu průhybu nebo zkrutu PS). Analýzy projektu AZ musí dále zahrnout radiální rozložení výkonu uvnitř PS (včetně zohlednění zkrutu) a deformace axiálního rozložení výkonu způsobené distančními mřížkami a dalšími komponentami takovým způsobem, aby výpočty správně identifikovaly nejzatíženější místa a stanovily lokální výkonové úrovně.
- (5.114) Bezpečnostní hodnocení musí popisovat každou iniciační událost, která by mohla způsobit neočekávanou kritičnost při manipulacích s palivem během výměny paliva.
- (5.115) Správnost zavezení palivové vsázky v souladu s projektem musí být ověřeny během testů spouštění pomocí in-core měření rozložení výkonu v AZ (bližší vymezení požadavků je uvedeno v kapitole 6 tohoto BN).
- (5.116) Vsázka musí být naprojektována tak, že ani v případě nesprávného zavezení PS nedojde k překročení projektových limitů AZ pro danou iniciační událost.

Projektová kritéria a limity

- (5.117) Obalová vsázka musí obsahovat soubor klíčových bezpečnostních parametrů,

kteřé budou pouřívány pro ověření přijatelnost konkrétního návrhu palivové vsázky během provozu.

- (5.118) Analýza projektu vsázky AZ musí ověřit, že daná vsázka bude plnit všechny stanovené projektové limity paliva ve všech stavech JZ, případně ověřit splnění všech klíčových bezpečnostních parametrů, viz odst. (5.6) a (5.117).

Specifické případy provozování AZ

- (5.119) Pro různé provozní stavy musí být předem analyzováno předpokládané rozložení výkonu v AZ a předpokládaná historie teplot, které stanoví dopad do provozu (např. Load Follow, výkonové změny, spouštění reaktoru a výměna paliva). Vyhodnocením těchto parametrů musí být určeny vlivy souvisejících výkonových a teplotních cyklů na termomechanické chování PE (např. nárůst tlaku v PE způsobený zvýšeným únikem plyných produktů štěpení do mezery mezi tabletkou a pokrytím PE a únava materiálu pokrytí PE).
- (5.120) Projekt AZ musí zajistit dostatečnou schopnost řízení reaktivity během Load Follow a jiných výkonových změn tak, aby byla zajištěna rovnováha mezi výkonem AZ a výkonem turbogenerátoru a dostatečná stabilita ve výkonovém rozložení AZ.
- (5.121) Provozní limity AZ musí odpovídajícím způsobem zohledňovat lokální odchylky výkonu způsobené během Load Follow.
- (5.122) Projekt JZ musí být navržen tak, aby umožňoval detekci a identifikaci poškozených PS a PE. Dále musí být stanoveny postupy pro určení příčiny poškození PS a PE. Pro zjišťování příčin poškození PS a PE musí být navržena vhodná instrumentace. Držitel povolení je povinen zjistit příčinu vzniklého poškození PS a PE a musí stanovit nápravná opatření.
- (5.123) Musí být nastaveny adekvátní postupy pro manipulace s poškozenými PS a limity provozu AZ s poškozenými PS.
- (5.124) Případný provoz AZ s porušenými PE musí zůstat v mezích radiochemických požadavků, které jsou vymezeny limitem na aktivity radionuklidů v chladiřu uvedeným v LaP.
- (5.125) Projekt AZ a plánování provozu JZ musí nastavit adekvátní postupy a limity pro provoz AZ s poškozenými PS s cílem minimalizovat provoz s netěsnými PE, a tím minimalizovat osobní dávky pracovníků JZ
- (5.126) PS obsahující poškozené PE mohou být opraveny nebo zrekonstruovány výměnou těchto PE za náhradní PE, případně makety PE nebo ponecháním volných míst. Ponechání volných míst v PS musí být limitováno tak, aby byly zachovány projektové limity.
- (5.127) Vliv opraveného PS na projekt AZ musí být odpovídajícím způsobem zhodnocen.

Vliv projektu paliva a správy palivového systému na přepravu, skladování a ukládání

(5.128) Projektové limity paliva popsané v odst. (5.48) - (5.56) je nutné doplnit o další požadavky, jejichž naplnění zajistí, že PE a PS zůstanou nepoškozené i po skončení palivové kampaně po jejich vyvezení z AZ do BSVP. Tyto požadavky se vztahují na manipulace, skladování a ukládání PE a PS. Mezi klíčové bezpečnostní parametry, které jsou sledovány v období provozu v AZ a mohou mít zásadní vliv na chování PE a PS po ukončení provozu (ozařování v reaktoru) patří následující charakteristiky, které je nutno odpovídajícím způsobem posoudit:

- Zvýšená oxidace a hydridace pokrytí PE a překročení kritérií přijatelnosti, stanovených v projektu PE a PS, může vést ke zpožděnému vodíkovému praskání pokrytí PE během manipulací nebo skladování, nebo k porušení PE během nehody při přepravě, což musí být omezeno a zahrnuto do projektu, nebo vyloučeno.
- Nadměrný otěr PE o mřížku – nadměrné (nad míru uvažovanou v projektových analýzách) lokální poškození pokrytí PE většinou není možné zjistit, dokud opotřebení neprojde celou stěnou a nedojde k porušení pokrytí PE. U některých PE, poškozených otěrem, může dojít k takovému lokálnímu zeslabení stěny, které může vést k porušení pokrytí PE např. dlouhodobým působením creepu při skladování nebo namáháním v důsledku nehody při přepravě, což musí být omezeno a zahrnuto do projektu, nebo vyloučeno.
- Dosažitelné vyhoření – projekt paliva, projektování vsázek a výsledná vyhoření vyváženého paliva ovlivňují jeho izotopické složení a vnitřní tlak v PE. Vysoká dosahovaná vyhoření mohou zvyšovat nároky na stínění a chlazení paliva při následných manipulacích a skladování paliva.

VÝPOČTY PODKRITičNOST PŘI SKLADOVÁNÍ PALIVA V BSVP A OS**Obecné požadavky**

(5.129) Projekt JZ a OS musí být navržen tak, aby splňoval požadavky na podkritičnost pro obalovou vsázku při přepravě, dopravě, skladování a ukládání paliva se zahrnutím odpovídajících neurčitostí a rezerv pro všechny užívané typy PS.

(5.130) Projekt JZ a OS musí plnit požadavky uvedené v odst. (5.129) tak, že nedojde k překročení hodnoty efektivního koeficientu násobení:

- 0,95 pro všechny stavy JZ a
- 0,98 pro podmínky optimální moderace pro OS při suchém skladování.

(5.131) Hodnota efektivního koeficientu násobení musí být stanovena pro obalovou vsázku konzervativním přístupem, tzn. pro čerstvé palivo. Při výpočtu hodnoty koeficientu násobení musí být provedena citlivostní analýza, která stanoví hodnoty všech neurčitostí (zejména konstrukční, výpočtu, metodiky apod.).

Specifické požadavky pro mokré skladování ve skladovacích mřížích

(5.132) Projekt skladovacích mříží musí zahrnovat analýzy pro čerstvé palivo stanovující hodnotu podkritičnosti daného uskupení, nebo využít některou z metod uvedených v odst. (5.133) - (5.136). Analýzy musí být provedeny zejména pro následující podmínky:

- Zaplavení jaderného paliva čistou vodou o maximální hustotě,
- Pád PS při manipulacích s PS (např. na hlavice ostatních PS uskladněných v BSVP).

(5.133) Pro analýzy podkritičnosti BSVP je možné využít metody BUC, PBC nebo zahrnutí obsahu vyhořívajících absorbátorů. Kdy se do počátečních podmínek zahrnuje minimální koncentrace rozpustného absorbátoru v chladivu BSVP (tedy PBC), nebo minimální hodnota vyhoření uložených PS v BSVP (tedy BUC). Pokud je použita některá z těchto tří metod, je nutné stanovit, jakými kontrolami a administrativními opatřeními bude zajištěno, že nedojde k překročení limit stanovených na základě použitých předpokladů těchto výpočtů (minimální koncentrace rozpustného absorbátoru, nebo minimální vyhoření PS). Pokud výše uvedené analýzy podkritičnosti zohledňují množství absorbátoru v konstrukcích BSVP, tak je rovněž nutné stanovit, jakými kontrolami a administrativními opatřeními bude zajištěno, že nedojde ke snížení koncentrace absorbátoru v daném materiálu (konstrukční materiál nebo chladivo) pod hodnotu použitou ve výpočtech s uvážením všech neurčitostí a rezerv.

(5.134) V metodě BUC se využívá změna izotopického složení během vyhořívání paliva, jehož důsledkem je snížení reaktivity PS. Tato metoda může umožnit v odůvodněných případech hodnocení bezpečnosti zohlednění reálného obsahu štěpitelných izotopů, nárůst koncentrace aktinidů, nárůst koncentrace štěpných produktů a snížení koncentrace vyhořívajících absorbátorů v jednotlivých PS. Při aplikaci metody BUC se používá několik úrovní množství vybraných nuklidů, je možné použít pouze nuklidů ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu .

Při výpočtu koncentrací nuklidů musí být uvažováno a popsáno chlazení, provozní parametry reaktoru při vyhořívání (teplotu paliva, teplotu a hustotu moderátoru, koncentraci bóru v chladivu, historii ozařování, axiální a radiální profil při vyhoření, vliv vyhořívajících absorbátorů, polohu absorpčních tyčí).

Při výpočetním modelování vyhořívání musí být zahrnuty takové parametry reaktoru, které dávají maximální reaktivitu vyhořelého paliva. Proto je zapotřebí nejprve analyzovat vliv jednotlivých parametrů vyhoření a pak zvolit ten nejkonzervativnější postup. Vybraný postup musí být zdůvodněn.

(5.135) V metodě PBC se využívá minimální koncentrace rozpustného absorbátoru v chladivu BSVP. Tato hodnota musí být stanovena na základě zahrnutí zejména:

- neurčitostí v měření koncentrace rozpustného absorbátoru v chladivu,
- dopravního zpoždění při snižování koncentrace rozpustného absorbátoru,
- maximální rychlost snižování koncentrace rozpustného absorbátoru,

- neurčitost zohledňující absenci zásahu obsluhy při neřízeném snižování koncentrace rozpustného absorbátoru,
- neurčitosti stanovení hodnoty odstavné koncentrace rozpustného absorbátoru.

(5.136) V metodě zahrnutí obsahu vyhořívajících absorbátorů se využívá obsah vyhořívajících absorbátorů integrovaných do paliva, ať už jako součást tabletky nebo pokrytí. Tato metoda musí zahrnovat citlivostní analýzu, která stanoví neurčitosti zejména ve výpočtu, koncentraci, izotopického složení, množství a konstrukčních rozměrech.

Specifické požadavky pro suché skladování v OS

(5.137) Analýzy podkritičnosti pro OS musí být provedeny pro podmínky základních projektových nehod a podmínky optimální moderace. Dále musí být definovány podmínky optimální moderace.

(5.138) Analýzy podkritičnosti musí být provedeny pro transportní OS, zejména tedy pro zásobníky čerstvého jaderného paliva a OS pro skladování ozářeného jaderného paliva.

(5.139) Analýzy podkritičnosti musí zahrnovat události spojené s pádem PS na obalový soubor, zaplavení čistou vodou o maximální hustotě a zaplavení vodní pěnou.

6. OVĚŘOVÁNÍ A TESTOVÁNÍ

OBECNĚ

(6.1) Bezpečný provoz AZ, palivového systému (PE, PS a KAZ), řídicích a monitorovacích systémů AZ po celou dobu jejich projektové životnosti vyžaduje robustní program ověřování, inspekcí a testování procesů projektování a projektového hodnocení zařízení. Toho může být dosaženo níže popsáním způsobem.

(6.2) V případě provozování nového typu PS nebo nového/modifikovaného typu PS (kompletní výměna celé AZ nebo směsná zóna) musí být navržen postup monitorování a testování této AZ a/nebo paliva. Tento program musí pokrývat zejména ty parametry, které nelze spolehlivě prokázat jinak než přímým měřením na SKK AZ, s ohledem na praktickou proveditelnost měření.

(6.3) Rozsah a postup monitorování/testování musí být definován v programech monitorování a testování AZ/paliva pro jednotlivé etapy (program monitorování AZ, fyzikálních testů, PIIP paliva). Program PIIP musí identifikovat parametry, které je možné měřit a provést na daném typu PS, např. vizuální kontroly

pro bezobálkové konstrukce PS.

OVĚŘOVÁNÍ PROJEKTU

- (6.4) Program ověřování musí prokázat schopnost AZ/paliva spolehlivě vykonávat jejich funkci v relevantním časovém intervalu, se zřetelem na uvažované funkční a bezpečnostní předpoklady, platné v daných provozních podmínkách (např. podmínky tlakové, teplotní, radiační zátěže, mechanického zatížení a vibrace). Tyto provozní podmínky musí zahrnovat i odchylky parametrů předpokládané ve všech stavech JZ.
- (6.5) Charakteristiky určitých postulovaných iniciačních událostí mohou vylučovat provedení reálných testů jak při prvním, tak i opětovném uvedení daného systému do provozu, které by měly prokázat, že dané SKK AZ jsou schopny plnit své stanovené bezpečnostní funkce v dané situaci, např. v případě zemětřesení. V takovém případě je nezbytné naplánovat a provést požadované ověřovací testy daných SKK AZ ještě před jejich instalací na JZ.
- (6.6) Metody ověřování musí zahrnovat:
- Provedení typových zkoušek na reprezentativních SKK AZ, které budou dodávány,
 - Provedení testů na dodaných SKK AZ,
 - Použití prokazatelně přenositelných provozních zkušeností,
 - Analýzy založené na dostupných a použitelných testovacích datech,
 - Přímé měření na díle během provozu (kde je to možné),
 - Jakákoli kombinace výše zmíněných metod.
- (6.7) Ověřování projektu palivového systému může být založena i na řádně dokumentovaných provozních zkušenostech se stejným nebo podobným palivem, ale musí být prokázána přenositelnost těchto zkušeností. Musí být jasně definován obor platnosti těchto přenositelných provozních zkušeností a musí být vyhodnoceny příslušné záznamy z měření za provozu. Musí být uvedeno maximální dosažené vyhoření, výkonová historie a změřené charakteristiky chování PS musí být porovnány s definovanými projektovými kritérii pro takové mechanismy poškození a parametry, jakými jsou např. radiační růst, ohyb, zkrut, tření a doba pádu regulačních orgánů mechanické regulace, opotřebení otěrem, oxidace, hydridace a tvorba úsad.
- (6.8) Před fyzikálním spouštěním jaderného reaktoru s novým typem AZ nebo paliva, ať již v případě prvního spouštění nebo po výměně paliva, musí být definován rozsah a způsob měření testů fyzikálního spouštění, kterými budou ověřeny neutronově-fyzikální charakteristiky AZ. Tyto testy musí zahrnovat především měření klíčových bezpečnostních parametrů AZ, které lze spolehlivě ověřit až na samotném JZ (kritická koncentrace H_3BO_3 , neutronové charakteristiky regulačních orgánů, rozložení výkonu, hodnoty koeficientů a efektů reaktivity

atd.). Získané výsledky měření je nutno porovnat s výsledky získanými analyticky a s hodnotami příslušných projektových kritérií. Testy fyzikálního spouštění musí být navrženy a prováděny v souladu s lit. [2], s využitím lit. [20].

- (6.9) Fyzikální testy spouštění musí ověřit platnost předem vypočtených neutronově-fyzikálních charakteristik AZ a bezpečnostního hodnocení projektu AZ, které obsahuje stanovení nejdůležitějších parametrů a jejich porovnání s hodnotami obalové vsázky. Neutronově-fyzikální charakteristiky AZ musí být vypočteny před zavezením prvního PS do reaktoru.

INSPEKCE

- (6.10) Systémy JZ musí být navrženy tak, aby bylo možné identifikovat každý PS a KAZ, a zajistit jeho správné umístění a orientaci (natočení) v AZ. Po prvním zavezení PS do reaktoru i po každé výměně musí být ověřena správná pozice i orientace každého PS i KAZ (pro KAZ administrativně nebo vizuálně).
- (6.11) Přístrojové vybavení pro měření a inspekce palivového systému musí být udržováno v provozuschopném stavu. Projekt přístrojového zařízení musí obsahovat dobu životnosti, způsob údržby a nakládání s tímto zařízením. Projekt přístrojového zařízení musí být navržen v souladu s nejnovějšími poznatky vědy a techniky v době jeho projektování.
- (6.12) Přístrojové vybavení pro měření a inspekce palivového systému musí být pravidelně přezkoumáváno, zda je přesnost a použití měření adekvátní nebo je nutné toto zařízení modernizovat a uvést ho tak opět v soulad s nejnovějšími poznatky vědy a techniky.
- (6.13) Přístrojové vybavení pro měření a inspekce paliva a programy měření a inspekce paliva musí být navrženy tak, aby byla dostupná informace o aktuálním stavu paliva. Stav paliva musí být doložen výpočtově, měřením nebo jejich kombinací.
- (6.14) Program monitorování a testování paliva musí zohledňovat projektové limity PS a PE a definovat postupy pro jejich ověření, zejména tyto:
- Míra oxidace a hydridace povrchů PE a konstrukčních prvků PS,
 - Deformace PS a PE,
 - Přítomnost cizích předmětů a poškození integrity PS a PE.
- (6.15) Před zavezením PS do OS musí být ověřena jejich těsnost.
- (6.16) Před zavezením PS do OS musí být výpočtově (s uvážením reálné výkonové historie) nebo měřením nebo jejich kombinací pro každý PS stanoveno zejména:
- Velikost vyhoření stanovené v souladu s výkonovou historií PS,
 - Inventarizace množství štěpných materiálů,
 - Vnitřní tlak v PE,

- Velikost tepelného výkonu PS.

TESTOVÁNÍ PROTOTYPŮ A LEAD TEST ASSEMBLY

- (6.17) Při testování prototypů a LTA v AZ je nutné vypracovat harmonogram provozu a program monitorování a testování daného PS/KAZ. Prototypem se rozumí takový PS nebo KAZ, který nebyl doposud provozován na stejném typu JZ, tzn., nejsou k dispozici prokazatelně přenositelné provozní a experimentální zkušenosti s jeho chováním.
- (6.18) Program monitorování a testování PS/KAZ musí být zpracován v takovém rozsahu, aby bylo ověřeno chování PS/KAZ při provozu v AZ. Příklad takového programu pro bezobálkové konstrukce PS je uveden v Příloze č. 2 v odst. (9.5). Program musí stanovit mj., která měření budou provedena a jaké metody budou použity k měření jednotlivých kritérií přijatelnosti a ke splnění cílů testování. Dále musí být stanoveny očekávané výsledky těchto měření, které musí být porovnány s naměřenými hodnotami.
- (6.19) Program monitorování a testování PS/KAZ musí být průběžně vyhodnocován po každé palivové kampani. Obsahem vyhodnocení tohoto programu musí být zejména porovnání předpokládaných (vypočtených) a měřených hodnot sledovaných parametrů a jejich srovnání s příslušným kritériem přijatelnosti. Po ukončení programu musí být vyhotoveno celkové vyhodnocení výsledků programu, kde bude mj. uvedeno, jaké jsou výsledné rezervy do kritérií přijatelnosti, reprezentativnost a rozsah platnosti získaných výsledků, způsob přenesení závěrů programu do podmínek budoucího využití PS/KAZ, jejich projektování, výroby, zajištění jakosti, provozování, skladování a ukládání. Souhrnné vyhodnocení programu monitorování a testování PS/KAZ (LTA, PIIP atd.) musí být provedeno neprodleně po dokončení programu. Vyhodnocení musí obsahovat porovnání předpokládaných hodnot a průběhu sledovaných parametrů s naměřenými daty a kritériálními hodnotami, reprezentativnost a obor platnosti získaných výsledků ve srovnání s reálnými provozními podmínkami, závěry ohledně výsledků testování a splnění cílů programu, zpětnou vazbu ze zkušeností získaných z provozu a následná nápravná a bezpečnostní opatření zahrnující i doporučení ohledně dalšího provozu, eventuálně testování.
- (6.20) Před každým prvním zavezením nového typu PS/KAZ do reaktoru musí být na daném prototypu nebo vybrané množině LTA/KAZ provedeno měření počátečního stavu v rozsahu nutném pro splnění cílů testování (tzv. precharakterizace, tedy měření hmotnosti, geometrie, které jsou specifikovány v projektové dokumentaci a dokumentaci předané po dopravení na JZ) a stanoveny neutronově-fyzikální, termohydraulické a mechanické podmínky, ve kterých bude příslušný prototyp resp. LTA/KAZ během následující kampaně provozována. Po každé kampani musí být provedeno vyhodnocení

skutečných pracovních podmínek LTA/KAZ a jejich porovnání s předpokládanými. V případě významných rozdílů musí být přehodnocena platnost předpokladů programu testování, eventuálně upraven příslušný harmonogram provozu tak, aby byl splněn cíl programu monitorování a testování.

- (6.21) Projekt prototypu PS/KAZ musí zajistit možnosti monitorování, testování a inspekcí s cílem prokázat, že AZ, PS, KAZ, vnitřní části reaktoru, systémy řízení a ochrany jsou po celou dobu své životnosti schopny plnit své projektové, zejména pak bezpečnostní funkce. Podrobnější informace a doporučení pro provádění monitorování, inspekcí a testování jsou uvedeny v lit. [10].
- (6.22) Testování a měření prototypů PS/KAZ mimo reaktor např. na měřicích stenech, smyčkách, v BSVP, v horkých komorách s cílem určení jejich skutečných charakteristik (mechanických, termohydraulických atd.) musí být provedeno vždy, pokud je to prakticky proveditelné. Zahrnuje to zejména následující druhy měření:
- Zatěžovací testy distančních mřížek,
 - Mechanické a funkční měření pohyblivosti regulačních orgánů,
 - Strukturální mechanické testy PS (boční, axiální a torzní tuhost, měření vlastních frekvencí, amplitudy a charakteristiky tlumení kmitů),
 - Měření hydraulických charakteristik PS, hydraulického odporu, celkové hydraulické ztráty i místních odporů, ověření platnosti korelací kritického tepelného toku, vztlkové síly, hydrodynamické vibrace a otěr regulačních orgánů, vibrace PS, otěrem PE (s respektováním předpokládané relaxace kontaktních pružinek v distanční mřížce), opotřebení a hodnocení celkové životnosti PS/KAZ, seismické odolnosti, odolnosti proti příčnému proudění atd.
- (6.23) Při ozařovacích testech formou LTA programů v energetickém reaktoru musí být dosažené vyhoření v souladu s projektovou hodnotou vyhoření, fluence nebo výkonové historie pro nový typ PE, PS nebo KAZ. Následně musí být proměřeny následující parametry:
- Radiační růst a změny vnějšího průměru PE, KAZ,
 - Oxidace a hydridace PE, distančních mřížek, vodicích trubek (např. obálka PS),
 - Poškození pokrytí PE otěrem (Grid-to-Rod Fretting),
 - Růst, ohyb a zkrut PS,
 - Axiální růst a průhyb PE,
 - Vnější známky mechanické interakce tabletek s pokrytím PE (ridging, bambooning),
 - Těsnost a známky poškození pokrytí PE,
 - Relaxace přítlačných pružin PS a kontaktních pružin distančních mřížek,
 - Otěr a poškození vodicích trubek PS.
- (6.24) Pokud nelze provést testování nového PS/KAZ v reaktoru nebo na měřicím stendu, je nezbytné věnovat zvláštní pozornost analytickým metodám

vyhodnocení příslušných projektových kritérií a následným plánům monitorování a inspekcí paliva tak, aby bylo zaručeno splnění funkčních a bezpečnostních požadavků na PS/KAZ.

- (6.25) AZ, ve které jsou umístěny testovací LTA, je směsnou zónou a jsou pro ni v platnosti požadavky, které platí pro směsnou zónu.

7. POŽADAVKY PRO SMĚSNOU ZÓNU

ANALÝZY PROJEKTOVÝCH CHARAKTERISTIK SMĚSNÉ ZÓNY

- (7.1) Všechny analýzy musí být provedeny pro všechny typy paliva použité v AZ, i když jsou rozdílní dodavatelé paliva, pokud není prokázáno (např. zpřesněním metody na základě novějších a přesnějších experimentů) a zdůvodněno jinak. Analýzy musí být provedeny v souladu s odst. (4.44).
- (7.2) Projekt směsné zóny musí zahrnovat výpočty přerozdělení tlakového spádu mezi novým a stávajícím typem PS, který slouží ke stanovení síly působící na přítlačné pružiny PS. Přítlačné síly pružin musí být navrženy tak, aby nedošlo ke vzplutí PS, a zároveň nesmí narušit geometrickou stabilitu PS (ztrátu stability při namáhání PS na vzpěr).
- (7.3) Projekt směsné zóny musí být navržen tak, aby nedošlo k nadměrné deformaci geometrie PS a aby nebyl překročen předem stanovený projektový rozdíl hydraulických odporů PS různého typu (zejména pak nového typu PS sousedícího se stávajícím).
- (7.4) Projekt nového typu PS musí zahrnovat vyhodnocení závislosti vibrací jednotlivých komponent na vyhoření, intenzitě vibrací a míře otěru s ohledem na podmínky ve směsné zóně.
- (7.5) Obalová vsázka pro směsnou zónu musí zahrnovat výpočty průtoku chladiva kolem jednotlivých PE. Průtok musí být charakterizován pozicí PS v AZ a rozložením rychlosti průtoku chladiva v AZ. Výpočty průtoků musí postihnout nejhorší možné varianty rozložení průtoku chladiva v AZ a okolo PE (zajištění dostatečného konzervatismu).
- (7.6) Obalová vsázka musí zahrnovat výpočty, které stanoví velikost budících sil působících na jednotlivé typy PS umístěné společně v AZ. Výsledky výpočtů, provedené pro všechny typy PS umístěných v AZ, musí být potvrzeny provedením experimentálních měření vlastních frekvencí PS.
- (7.7) Různý počet turbulizujících a distančních mřížek v novém typu PS oproti

stávajícím PS způsobí změnu velikosti a rozložení hydraulického odporu, což vede ke změně rozložení příčného proudění chladiva v AZ a samotného proudění v PS. Velký rozdíl v hydraulických odporech může způsobit významné snížení průtoku, zejména lokálních průtoků v jednotlivých typech PS a tím snížit hodnotu DNBR. Velikost průtoku a příčného proudění musí být experimentálně ověřena, zanalyzována a zhodnocena. Pokud nejsou pro lokální hodnoty průtoku směsnou zónou k dispozici experimentální data, musí být pro účely výpočtu DNBR stanovena velikost průtoků konzervativním přístupem nebo vypočtena validovaným výpočtovým kódem. Dopad přerozdělení průtoků na DNBR musí být vyhodnocen, přičemž toto hodnocení musí obsahovat požadavky na způsob provozování reaktoru (v tomto případě zpravidla tzv. korekční faktory na limity výkonu proutku) zajišťující plnění kritéria DNBR pro směsnou zónu.

- (7.8) Mají-li typy PS současně provozované ve směsné zóně odlišnou konstrukční tuhost, musí projekt zahrnovat výpočty sil působících na PS během základních projektových nehod, stanovit míru deformace geometrické stability PS a prokázat plnění základních bezpečnostních funkcí. Kombinací průhybů jednotlivých typů PS nesmí dojít k takovému omezení schopnosti pádu regulačních orgánů nebo zaseknutí regulačních orgánů ve vodící trubce, tzv. IRI (Incomplete Rod Insertion), které by vedlo k porušení limitu na bezpečnostní zásobu podkritičnosti. Analýzy nebo experimentální data musí prokázat, že nedojde k narušení geometrické stability PS a plnění základních bezpečnostních funkcí.
- (7.9) Přítlačné síly pružin PS musí být stanoveny tak, aby PS všech typů paliva umístěných v AZ byly dostatečně tlačeny do opěrné desky za účelem zajištění ochrany před vzplutím PS ve všech stavech JZ. Zároveň tyto síly nesmí být takové, aby způsobovaly takový průhyb PS všech typů paliva umístěných v AZ, který by vedl k narušení základních bezpečnostních funkcí.
- (7.10) V případě bezpečnostních analýz pro LOCA je nutné zahrnout nehomogenity způsobené směsnou zónou pro nejnepríznivější konfiguraci.

NEUTRONOVĚ-FYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKY SMĚSNÉ ZÓNY

- (7.11) Projekt AZ musí zohledňovat všechny geometrické, materiálové a provozní změny související s implementací nového palivového systému. Například změna konstrukce PS nebo PE může vést ke změně vodo-uranového poměru, což zapříčiní změnu (zkreslení) neutronového toku na rozhraní různých typů paliva.
- (7.12) Ve výpočtech musí být odpovídajícím způsobem zahrnuty všechny nehomogenity na hranicích jednotlivých typů paliva, které mohou vést k neočekávané změně hustoty toku neutronů a rozložení výkonu v AZ, případně až ke ztrátě validity použitých metodik výpočtů. Projekt AZ musí odpovídajícím způsobem zohlednit vlivy použití různých typů a rozmístění vyhořívajících absorbátorů, konstrukčních materiálů a odlišného termohydraulického chování kanálů na rozložení teplot.

Zejména musí být zohledněny dopady na projektové neurčitosti kritických parametrů.

- (7.13) Pokud jsou v projektu palivového systému použity vyhořívající absorbátory, musí být modelován průběh jejich vyhořívání a vliv tohoto vyhořívání na okolní PS a celou AZ. Současně musí být zahrnut vliv vysokého gradientu neutronového toku, který je způsoben přítomností vyhořívajícího absorbátoru, na neurčitosti in-core měření v místě tohoto gradientu.
- (7.14) V použitých modelech a neurčitostech koeficientů nevyrovnání monitorovacích systémů rozložení výkonu musí být prokazatelně zohledněny efekty směsné AZ popsané v odst.(7.11) - (7.13).
- (7.15) Pokud se projekt nového typu PS odlišuje od ostatních typů paliva výškou sloupce tabletek v PE a velikostí axiálního blanketu (sloupec tabletek oxidického uranu z přírodního uranu) tak, že dojde ke změně předpokladů bezpečnostních analýz, musí být tyto nové PS zaváženy postupně po menším počtu PS v AZ, aby byly axiální nehomogenity způsobené zavážením takto odlišných PS minimalizovány. Program zavážení a celé výměny nového typu PS musí být vypracován a odůvodněn před zamýšleným zavážením.
- (7.16) Při výpočtech v rámci analýz musí být použity relevantní výpočtové kódy a ověřené knihovny zohledňující nové typy PS. Součástí analýz musí být zhodnocení nejistot výpočtu, použité metody výpočtového kódu a citlivostní analýza. Výpočtové kódy a použité knihovny musí být řádně podloženy validními experimentálními daty a ověřeny benchmarkovými úlohami nebo musí být posouzeny Odbornou hodnotící komisí.
- (7.17) Projekt směsné zóny musí zahrnovat analýzy provedené pro všechny stavy JZ, které určí maximální hodnoty klíčových bezpečnostních parametrů v závislosti na typu paliva a případně omezí hodnotu celkové i lokální hustoty vývinu tepla v AZ.

TERMOHYDRAULICKÉ VLASTNOSTI SMĚSNÉ ZÓNY

- (7.18) Termohydraulické charakteristiky nového typu PS či PE musí být navrženy, pokud možno, co nejbližší ke stávajícím PS a PE.
- (7.19) Celkový hydraulický odpor nových PS musí být takový, aby byl minimalizován negativní dopad na vstupní parametry pro výpočty bezpečnostního hodnocení stávajících PS. Změna hydraulického odporu nového PS oproti stávajícímu, která zhorší vstupní parametry pro výpočty bezpečnostních analýz, musí být detailně analyzována a zhodnocena.
- (7.20) Vztahové síly musí být vypočteny pro nový typ PS a PE pro nejtěžší hydraulické podmínky, tj. přeběh provozních otáček hlavních cirkulačních čerpadel v horkém stavu na nominálním výkonu a pro studené stavy na nulovém výkonu.

- (7.21) Má-li nový typ PS jiný hydraulický odpor než stávající PS, musí být v termohydraulických analýzách zohledněno přerozdělení rozložení průtoku chladiva AZ (výpočty DNBR, vektory rychlosti chladiva a rozložení entalpie chladiva).
- (7.22) Analýzy bezobálkových konstrukcí PS musí zahrnovat výpočty příčného proudění mezi jednotlivými PS různých typů. Analýzy musí prokázat dostatečné chlazení jednotlivých PE a nesmí dojít k takovému zvýšenému mechanickému namáhání PE a PS, které by vedlo k překročení projektových limitů. Výpočty příčného proudění musí být podloženy experimentálními daty z testování maket nového PS.
- (7.23) Vliv hydraulických zatížení dle odst. (5.24) musí být zhodnocen pro všechny typy PS umístěných v AZ. Metodika provedení testů a volba testovacích podmínek musí zajistit splnění příslušných projektových limitů pro každý PS umístěný v AZ s takovou rezervou, která zajistí, že nedojde k překročení projektových limitů všech PS umístěných společně v AZ.

OCHRANNÉ SYSTÉMY JADERNÉHO REAKTORU A ŘÍDICÍ A MONITOROVACÍ SYSTÉMY AZ

- (7.24) Monitorovací a řídicí systémy AZ musí být nastaveny tak, aby byly schopny měřit a identifikovat změny důležitých parametrů pro všechny typy paliva umístěné v AZ tak, aby nedošlo k překročení projektových limitů paliva. Dále musí být provedeno zhodnocení vlivu různých typů PS a PE na přesnost měření a na schopnost odhalení změn důležitých parametrů.

OVĚŘOVÁNÍ PROJEKTU

- (7.25) V případě první aplikace směsné zóny musí být přehodnocen stávající program fyzikálních testů spouštění a posouzeno, zda je dosavadní rozsah dostačující, nebo je nutné jej rozšířit.

8. ZÁVĚR

- (8.1) Tento BN shrnuje a rozvádí požadavky právních předpisů ČR, dokumentů WENRA a IAEA (porovnání viz Příloha č. 3), světovou praxi dozorných orgánů (např. US NRC, STUK, ÚJD a další).

9. PŘÍLOHY

PŘÍLOHA Č. 1

Body, které musí být postihnuty v projektu PE, PS, regulačních orgánů, neutronových zdrojů, hydraulických zátek a jiných KAZ (např. materiálový klastr)

(9.1) Projekt PE musí zahrnovat následující analýzy:

Pokrytí PE

- Opotřebení a vibrací PE (opotřebení otěrem PE o mřížku);
- Mechanických vlastností pokrytí PE po ozáření;
- Materiálových a chemických vlastností;
- Korozního namáhání;
- Cyklického namáhání a únavy materiálu;
- Geometrické a chemické stability pokrytí PE po ozáření.

Materiál tabletek, regulačních orgánů i vyhořívajících absorbátorů

- Geometrické stability ozářených tabletek;
- Teplotní zhušťování tabletek (kinetika a velikost densifikace);
- Chemické interakce pokrytí PE s tabletkami;
- Množství vznikajících plynných produktů štěpení a jejich rozložení v tabletce;
- Kinetiky úniku plynných produktů štěpení;
- Plynného napučání;
- Termomechanických vlastností po ozáření;
- Mikrostrukturálních změn jako funkce ozáření.

Vlastnosti PE

- Teploty a rozložení teplot v tabletce a pokrytí PE;
- Kinetiky a velikosti mezery mezi tabletkou a pokrytím PE;
- Vlivů ozáření na chování PE (např. přeuspořádání fragmentů tabletek, praskání tabletek, napučání pevných a plynných produktů štěpení, únik plynných produktů štěpení a zvyšování tlaku v PE, zhoršování přenosu tepla v pokrytí PE);
- Průhybu PE,
- Růstu PE.

Analýzy musí být provedeny validovanými analytickými modely a/nebo experimentálními daty (získané z výzkumných zařízení nebo z provozních zkušeností, např. LTA). Modely musí umožňovat simulaci vyhoření.

(9.2) Projekt regulačních orgánů musí zahrnovat následující analýzy:

- Vnitřního tlaku a souvisejícího napětí v pokrytí PE během normálního a abnormálního provozu a v podmínkách základních projektových nehod;
- Teplotní roztažnosti a napuchání způsobené ozářením;
- Změn absorpčního materiálu a pokrytí PE způsobených ozářením;
- Vlivů opotřebení otěrem na odolnost pokrytí PE.

(9.3) Projekt neutronových zdrojů musí zahrnovat následující analýzy:

- Vlivů ozáření;
- Účinnosti zahrnující vlivy zastínění (tzv. shadowing) periferními PS;
- Vnějších hazardů (např. zemětřesení).

(9.4) Projekt hydraulických zátek a materiálových klastrů musí zahrnovat následující analýzy:

- Interakce s vodicími trubkami způsobené teplotní roztažností nebo napucháním z ozáření;
- Vlivu opotřebení otěrem na odolnosti vodicích trubek.

PŘÍLOHA Č. 2

(9.5) Program monitorování a testování

- Srovnání predikovaných a měřených výkonů PE/PS v průběhu předcházející kampaně pro začátek, střed a konec kampaně.
- U zkoušky pádu regulačních orgánů se zaznamenávají průběhy a celkové doby pádu všech regulačních orgánů, čímž se ověří plnění bezpečnostní funkce PS a regulačních orgánů, správná funkce ukazatele polohy a geometrickou stabilitu vodicích trubek.
- Analýza gama-spektrometrie chladiva během kampaně a po odstavení bloku pro detekci přítomnosti netěsných PE.
- Zkouška tření regulačních orgánů při demontáži a opětovné montáži reaktoru.
- On-line Sipping, nebo off-line sipping příp. kontrola hermetičnosti pokrytí PE pro nalezení netěsných PS, které je možné dále zkontrolovat, případně provést další měření (např. ultrazvukem).
- Zaznamenávání sil zavážecího stroje při manipulacích s PS a KAZ z důvodu ochrany PS a KAZ před poškozením během manipulací (odřetí, zaseknutí, přetržení apod.) a pro odhalení nadměrných deformací PS a KAZ.
- Ověření souladu projektových předpokladů se skutečným chováním PS a PE v AZ reaktoru. Toto ověření může být provedeno např.:
 - Kontrolou netěsných PS pro zjištění příčin a rozsahu porušení PE (otěr, výrobní vady apod.) vizuální kontrolou kamerovým systémem, ultrazvukem nebo další dostupnou metodu pro určení polohy a mechanismu porušení netěsného PE.
 - Vytipování PS, které jsou reprezentativní pro všechny typy PS provozovaných v AZ, následným měřením jejich geometrie po vyvezení z AZ. Jedná se především o měření zkrutu, prohnutí a velikost axiálního růstu PE a PS.
 - Inspekci PS k odhalení přítomnosti a míry hydridace a oxidace povlaku PE vizuální kontrolou nebo využitím dalších dostupných metod.
 - Zkouškou spojení závěsné/vložené tyče s regulačními orgány.

PŘÍLOHA Č. 3**Tabulka srovnání se světovou praxí****Tabulka č. 1 Srovnání s referenčními úrovněmi WENRA Reactor Safety Reference Levels – oblasti E, G a Q**

WENRA Reactor Safety Reference Levels Oblasti E, G a Q	Prováděcí odstavce tohoto návodu
Issue E: Design Basis Envelope for Existing Reactors	
E1 Objective	
E1.1 The design basis shall have as an objective the prevention or, if this fails, the mitigation of consequences resulting from anticipated operational occurrences and design basis accidents. Design provisions shall be made to ensure that potential radiation doses to the public and the site personnel do not exceed prescribed limits and are as low as reasonably achievable.	(4.13)
E2 Safety strategy	
E2.1 Defence-in-depth shall be applied in order to prevent, or if prevention fails, to mitigate harmful radioactive releases.	(4.14)
E2.2 The defence-in-depth concept shall be applied to provide several levels of defence including a design that provides a series of physical barriers to prevent uncontrolled releases of radioactive material to the environment, as well as a combination of safety features that contribute to the effectiveness of the barriers. The design shall prevent as far as practicable: <ul style="list-style-type: none"> • challenges to the integrity of the barriers; • failure of a barrier when challenged; • failure of a barrier as consequence of failure of another barrier. 	(4.14) (4.15)
E3. Safety functions	
E3.1 During normal operation, anticipated operational occurrences and design basis accidents, the plant shall be able to fulfil the fundamental safety functions: <ul style="list-style-type: none"> • control of reactivity, • removal of heat from the reactor core and from the spent fuel, and • confinement of radioactive material. 	(4.14)

E4. Establishment of the design basis	
E4.1 The design basis shall specify the capabilities of the plant to cope with a specified range of plant states within the defined radiation protection requirements. Therefore, the design basis shall include the specification for normal operation, anticipated operational occurrences and design basis accidents from Postulated Initiating Events (PIEs), the safety classification, important assumptions and, in some cases, the particular methods of analysis.	(4.21) (4.22)
E4.2 A list of PIEs shall be established to cover all events that could affect the safety of the plant. From this list, a set of anticipated operational occurrences and design basis accidents shall be selected using deterministic or probabilistic methods or a combination of both, as well as engineering judgement. The resulting design basis events shall be used to set the boundary conditions according to which the structures, systems and components important to safety shall be designed, in order to demonstrate that the necessary safety functions are accomplished and the safety objectives met.	(4.22) (4.23) (4.25)
E4.3 The design basis shall be systematically defined and documented to reflect the actual plant.	(4.23)
E5. Set of design basis events	
E5.1 Internal events such as loss of coolant accidents, equipment failures, maloperation and internal hazards, and their consequential events, shall be taken into account in the design of the plant. The list of events shall be plant specific and take account of relevant experience and analysis from other plants.	(4.13) (4.23) (4.29)
E7.2 Criteria for protection of the fuel rod integrity, including fuel temperature, Departure from Nucleate Boiling (DNB), and cladding temperature, shall be specified. In addition, criteria shall be specified for the maximum allowable fuel damage during any design basis accident.	(4.7)
E8. Demonstration of reasonable conservatism and safety margins	
E8.1 The initial and boundary conditions shall be specified with conservatism.	(4.40)
E8.4 A stuck control rod shall be considered as an additional aggravating failure in the analysis of design basis accidents.	(5.84)
E8.7 The safety analysis shall: (a) rely on methods, assumptions or arguments which are justified and conservative; (b) provide assurance that uncertainties and their impact have been given adequate consideration; (c) give evidence that adequate margins have been included when defining the design basis to ensure that all the design basis events are covered; (d) be auditable and reproducible.	(4.39)(4.40) (4.41) (4.42) (4.43)

E9. Design safety functions	
E9.1 The fail-safe principle shall be considered in the design of systems and components important to safety.	(5.84)
E9.2 A failure in a system intended for normal operation shall not affect a safety function.	(5.85) (5.84) (5.91)
E9.4 The reliability of the systems shall be achieved by an appropriate choice of measures including the use of proven components, redundancy, diversity, physical and functional separation and isolation.	(5.85) (5.84) (5.91)
E9.8 Sub-criticality shall be ensured and sustained: <ul style="list-style-type: none"> • in the reactor after planned reactor shutdown during normal operation and after anticipated operational occurrences, as long as needed; • in the reactor, after a transient period (if any) following a design basis accident³³; • for fuel storage during normal operation, anticipated operational occurrences, and design basis accidents. 	(5.88) 00
E9.9 Means for removing residual heat from the core after shutdown and from spent fuel storage, during and after anticipated operational occurrences and design basis accidents, shall be provided taking into account the assumptions of a single failure and the loss of off-site power.	(4.14)
E10. Instrumentation and control systems	
E10.1 Instrumentation shall be provided for measuring all the main variables that can affect the fission process, the integrity of the reactor core, the reactor cooling systems, the containment, and the state of the spent fuel storage. Instrumentation shall also be provided for obtaining any information on the plant necessary for its reliable and safe operation, and for determining the status of the plant in design basis accidents. Provision shall be made for automatic recording of measurements of any derived parameters that are important to safety.	(5.68)
E10.2 Instrumentation shall be adequate for measuring plant parameters and shall be environmentally qualified for the plant states concerned.	(5.99)
E10.7 Redundancy and independence designed into the protection system shall be sufficient at least to ensure that: <ul style="list-style-type: none"> • no single failure results in loss of protection function; and • the removal from service of any component or channel does not result in loss of the necessary minimum redundancy. 	(5.91)
E10.8 The design shall permit all aspects of functionality of the protection system, from the sensor to the input signal to the final actuator, to be tested in operation.	(5.90)

Exceptions shall be justified.	(5.85)
E10.9 The design of the reactor protection system shall minimize the likelihood that operator action could defeat the effectiveness of the protection system in normal operation and anticipated operational occurrences. Furthermore, the reactor protection system shall not prevent operators from taking correct actions if necessary in design basis accidents.	(5.62)
Issue G: Safety Classification of Structures, Systems and Components	
G1. Objective	
G1.1 All SSCs important to safety shall be identified and classified on the basis of their importance for safety.	(4.18) (4.21)
G2. Classification process	
G2.1 The classification of SSCs shall be primarily based on deterministic methods, complemented where appropriate by probabilistic methods and engineering judgment.	(4.21)
G2.2 The classification shall identify for each safety class: <ul style="list-style-type: none"> • The appropriate codes and standards in design, manufacturing, construction and inspection; • Need for emergency power supply, qualification to environmental conditions; • The availability or unavailability status of systems serving the safety functions to be considered in deterministic safety analysis; • The applicable quality requirements. 	(4.29)
Issue Q: Plant Modifications	
Q1. Purpose and scope	
Q1.1 The licensee shall ensure that no modification to a nuclear power plant, whatever the reason for it, degrades the plant’s ability to be operated safely.	(5.7)
Q2. Procedure for dealing with plant modifications	
Q2.1 The licensee shall establish a process to ensure that all permanent and temporary modifications are properly designed, reviewed, controlled, and implemented, and that all relevant safety requirements are met.	(2.4) (4.23) (5.7)
Q2.2 For modifications to SSC, this process shall include the following: <ul style="list-style-type: none"> • Reason and justification for modification; 	(3.1)

<ul style="list-style-type: none"> • Design; • Safety assessment; • Updating plant documentation and training; • Fabrication, installation and testing; and • Commissioning the modification. 	(5.7)
Q3. Requirements on safety assessment and review of modifications	
Q3.1 An initial safety assessment shall be carried out to determine any consequences for safety.	(4.39) (6.4)
Q3.3 Comprehensive safety assessments shall demonstrate all applicable safety aspects are considered and that the system specifications and the relevant safety requirements are met.	(4.22) (6.6)
Q4. Implementation of modifications	
Q4.1 Implementation and testing of plant modifications shall be performed in accordance with the applicable work control and plant testing procedures.	(6.1) (6.2) (6.3)
Q4.2 The impact upon procedure training, and provisions for plant simulators shall be assessed and any appropriate revisions incorporated.	(6.7)
Q4.3 Before commissioning modified plant or putting plant back into operation after modification, personnel shall have been trained, as appropriate, and all relevant documents necessary for plant operation shall have been updated.	(6.5)

Tabulka č. 2 Srovnání s požadavky SSR-2/1 (Rev. 1)

<p style="text-align: center;">IAEA Safety Standards</p> <p style="text-align: center;">For protecting people and the environment</p> <p style="text-align: center;">Safety of Nuclear Power Plants: Design</p>	<p style="text-align: center;">Prováděcí odstavce tohoto návodu</p>
<p>Requirement 4: Fundamental safety functions</p> <p>Fulfilment of the following fundamental safety functions for a nuclear power plant shall be ensured for all plant states: (i) control of reactivity; (ii) removal of heat from the reactor and from the fuel store; and (iii) confinement of radioactive material, shielding against radiation and control of planned radioactive releases, as well as limitation of accidental radioactive releases.</p>	<p>(4.14)</p>
<p>4.1 A systematic approach shall be taken to identifying those items important to safety that are necessary to fulfil the fundamental safety functions and to identifying the inherent features that are contributing to fulfilling, or that are affecting, the fundamental safety functions for all plant states.</p>	<p>(4.18)</p>
<p>4.2. Means of monitoring the status of the plant shall be provided for ensuring that the required safety functions are fulfilled.</p>	<p>(5.70)</p> <p>(5.68)</p>
<p>Requirement 7: Application of defence in depth</p> <p>The design of a nuclear power plant shall incorporate defence in depth. The levels of defence in depth shall be independent as far as is practicable.</p>	<p>(4.13)</p>
<p>4.9. The defence in depth concept shall be applied to provide several levels of defence that are aimed at preventing consequences of accidents that could lead to harmful effects on people and the environment, and ensuring that appropriate measures are taken for the protection of people and the environment and for the mitigation of consequences in the event that prevention fails.</p>	<p>(4.17)</p>
<p>4.13A. The levels of defence in depth shall be independent as far as practicable to avoid the failure of one level reducing the effectiveness of other levels. In particular, safety features for design extension conditions (especially features for mitigating the consequences of accidents involving the melting of fuel) shall as far as is practicable be independent of safety systems.</p>	<p>(4.15)</p>
<p>Requirement 9: Proven engineering practices</p>	
<p>4.15. National and international codes and standards that are used as design rules for items important to safety shall be identified and evaluated to determine their applicability, adequacy and sufficiency, and shall be supplemented or modified as</p>	<p>(4.22)</p>

necessary to ensure that the quality of the design is commensurate with the associated safety function.	
4.16. Where an unproven design or feature is introduced or where there is a departure from an established engineering practice, safety shall be demonstrated by means of appropriate supporting research programmes, performance tests with specific acceptance criteria or the examination of operating experience from other relevant applications. The new design or feature or new practice shall also be adequately tested to the extent practicable before being brought into service, and shall be monitored in service to verify that the behaviour of the plant is as expected.	(6.1) - (6.8)
Requirement 43: Performance of fuel elements and assemblies Fuel elements and assemblies for the nuclear power plant shall be designed to maintain their structural integrity, and to withstand satisfactorily the anticipated radiation levels and other conditions in the reactor core, in combination with all the processes of deterioration that could occur in operational states.	(5.29)
6.1. The processes of deterioration to be considered shall include those arising from: <ul style="list-style-type: none"> • Differential expansion and deformation; • External pressure of the coolant; • Additional internal pressure due to fission products and the build-up of helium in fuel elements; • Irradiation of fuel and other materials in the fuel assembly; • Variations in pressure and temperature resulting from variations in power demand; • Chemical effects; • Static and dynamic loading, including flow induced vibrations and mechanical vibrations; • Variations in performance in relation to heat transfer that could result from distortion or chemical effects. <p>Allowance shall be made for uncertainties in data, in calculations and in manufacture.</p>	(5.29) (5.35) (5.79)
6.2. Fuel design limits shall include limits on the permissible leakage of fission products from the fuel in anticipated operational occurrences so that the fuel remains suitable for continued use.	(5.125)
6.3. Fuel elements and fuel assemblies shall be capable of withstanding the loads and stresses associated with fuel handling.	(4.35) (9.5)
Requirement 44: Structural capability of the reactor core	(5.57)

<p>The fuel elements and fuel assemblies and their supporting structures for the nuclear power plant shall be designed so that, in operational states and in accident conditions other than severe accidents, a geometry that allows for adequate cooling is maintained and the insertion of control rods is not impeded.</p>	
<p>Requirement 45: Control of the reactor core</p> <p>Distributions of neutron flux that can arise in any state of the reactor core in the nuclear power plant, including states arising after shutdown and during or after refuelling, and states arising from anticipated operational occurrences and from accident conditions not involving degradation of the reactor core, shall be inherently stable. The demands made on the control system for maintaining the shapes, levels and stability of the neutron flux within specified design limits in all operational states shall be minimized.</p>	<p>(5.67)</p> <p>(5.101)</p> <p>(5.103)</p>
<p>6.4. Adequate means of detecting the neutron flux distributions in the reactor core and their changes shall be provided for the purpose of ensuring that there are no regions of the core in which the design limits could be exceeded.</p>	<p>(5.67)</p> <p>(5.97)</p> <p>(7.24)</p>
<p>6.5. In the design of reactivity control devices, due account shall be taken of wear out and of the effects of irradiation, such as burnup, changes in physical properties and production of gas.</p>	<p>(5.79)</p>
<p>6.6. The maximum degree of positive reactivity and its rate of increase by insertion in operational states and accident conditions not involving degradation of the reactor core shall be limited or compensated for, to prevent any resultant failure of the pressure boundary of the reactor coolant systems, to maintain the capability for cooling and to prevent any significant damage to the reactor core.</p>	<p>(5.74)</p>
<p>Requirement 46: Reactor Shutdown</p> <p>Means shall be provided to ensure that there is a capability to shut down the reactor of the nuclear power plant in operational states and in accident conditions, and that the shutdown condition can be maintained even for the most reactive conditions of the reactor core.</p>	<p>(5.80)</p> <p>(5.82)</p>
<p>6.7. The effectiveness, speed of action and shutdown margin of the means of shutdown of the reactor shall be such that the specified design limits for fuel are not exceeded.</p>	<p>(5.87)</p>
<p>6.8. In judging the adequacy of the means of shutdown of the reactor, consideration shall be given to failures arising anywhere in the plant that could render part of the means of shutdown inoperative (such as failure of a control rod to insert) or that could result in a common cause failure.</p>	<p>(5.85)</p> <p>(5.86)</p>

<p>6.9. The means for shutting down the reactor shall consist of at least two diverse and independent systems.</p>	<p>(5.85)</p>
<p>6.10. At least one of the two different shutdown systems shall be capable, on its own, of maintaining the reactor subcritical by an adequate margin and with high reliability, even for the most reactive conditions of the reactor core.</p>	<p>(5.85)</p>
<p>6.11. The means of shutdown shall be adequate to prevent any foreseeable increase in reactivity leading to unintentional criticality during the shutdown, or during refuelling operations or other routine or non-routine operations in the shutdown state.</p>	<p>(5.87)</p>
<p>6.12. Instrumentation shall be provided and tests shall be specified for ensuring that the means of shutdown are always in the state stipulated for a given plant state.</p>	<p>(5.90)</p>
<p>Requirement 80: Fuel handling and storage systems</p> <p>Fuel handling and storage systems shall be provided at the nuclear power plant to ensure that the integrity and properties of the fuel are maintained at all times during fuel handling and storage.</p>	<p>(5.29)</p>
<p>6.64. The design of the plant shall incorporate appropriate features to facilitate the lifting, movement and handling of fresh fuel and spent fuel.</p>	<p>(4.24)</p>
<p>6.65. The design of the plant shall be such as to prevent any significant damage to items important to safety during the transfer of fuel or casks, or in the event of fuel or casks being dropped.</p>	<p>(4.35)</p>
<p>57 6.66. The fuel handling and storage systems for irradiated and non-irradiated fuel shall be designed:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) To prevent criticality by a specified margin, by physical means or by means of physical processes, and preferably by use of geometrically safe configurations, even under conditions of optimum moderation; b) To permit inspection of the fuel; c) To permit maintenance, periodic inspection and testing of components important to safety; d) To prevent damage to the fuel; e) To prevent the dropping of fuel in transit; f) To provide for the identification of individual fuel assemblies; g) To provide proper means for meeting the relevant requirements for radiation protection; h) To ensure that adequate operating procedures and a system of accounting for, and control of, nuclear fuel can be implemented to prevent any loss of, or loss of control over, nuclear fuel. 	<p>(4.14)</p> <p>(5.28)</p> <p>(5.133)</p>

<p>6.67. In addition, the fuel handling and storage systems for irradiated fuel shall be designed:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) To permit adequate removal of heat from the fuel in operational states and in accident conditions; b) To prevent the dropping of spent fuel in transit; c) To avoid causing unacceptable handling stresses on fuel elements or fuel assemblies; d) To prevent the potentially damaging dropping of heavy objects such as spent fuel casks, cranes or other objects onto the fuel; e) To permit safe keeping of suspect or damaged fuel elements or fuel assemblies; f) To control levels of soluble absorber if this is used for criticality safety; g) To facilitate maintenance and future decommissioning of fuel handling and storage facilities; h) To facilitate decontamination of fuel handling and storage areas and equipment when necessary; i) To accommodate, with adequate margins, all the fuel removed from the reactor in accordance with the strategy for core management that is foreseen and the amount of fuel in the full reactor core; j) To facilitate the removal of fuel from storage and its preparation for off-site transport. 	<p>(4.14) (4.24) (5.29) (5.132)</p>
<p>6.68A. The design shall include the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Means for monitoring and controlling the water temperature for operational states and for accident conditions that are of relevance for the spent fuel pool; b) Means for monitoring and controlling the water level for operational states and for accident conditions that are of relevance for the spent fuel pool; c) Means for monitoring and controlling the activity in water and in air for operational states and means for monitoring the activity in water and in air for accident conditions that are of relevance for the spent fuel pool; d) Means for monitoring and controlling the water chemistry for operational states. 	<p>(5.87) (5.128) (5.133)</p>

10.LITERATURA

- [1] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon
- [2] Vyhláška SÚJB č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení
- [3] Vyhláška SÚJB č. 408/2016 Sb., o požadavcích na systém řízení
- [4] Vyhláška SÚJB č. 358/2016 Sb., o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení
- [5] Vyhláška SÚJB č. 379/2016 Sb., o schválení typu některých výrobků v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření a přepravě radioaktivní nebo štěpné látky
- [6] Vyhláška SÚJB č. 21/2017 Sb., o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení
- [7] International Atomic Energy Agency, Safety Standards for protecting people and the environment, Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements, No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016)
- [8] International Atomic Energy Agency, Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series Draft DS488, IAEA, Vienna (2017)
- [9] International Atomic Energy Agency, Operation and Licensing of Mixed Cores in Water Cooled Reactors, IAEA TECDOC Series TECDOC No. 1720, IAEA, Vienna (2013)
- [10] International Atomic Energy Agency, Maintenance, Surveillance and In-Service Inspection in Nuclear Power Plants, NS-G-2.6, IAEA, Vienna (2002)
- [11] WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors - UPDATE IN RELATION TO LESSONS LEARNED FROM TEPCO FUKUSHIMA DAI-ICHI ACCIDENT; WENRA RHWG; 24th September 2014
- [12] United States Nuclear Regulatory Commission, Standard Review Plan, NUREG-0800
- [13] United States Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide, 1.70
- [14] BN – JB – 1.12, NAVRHOVANÝ OBSAH BEZPEČNOSTNÍCH ZPRÁV (v přípravě)
- [15] BN – JB – 02.2, SKLADOVÁNÍ VYHOŘELÉHO PALIVA V SAMOSTATNÝCH JADERNÝCH ZAŘÍZENÍCH, SÚJB, březen 2010
- [16] BN – JB – 2.1, DETERMINISTICKÉ ANALÝZY ZÁKLADNÍCH PROJEKTOVÝCH NEHOD (v přípravě)
- [17] BN – JB – 2.2, DETERMINISTICKÉ ANALÝZY ROZŠÍŘENÝCH PROJEKTOVÝCH PODMÍNEK DEC A (v přípravě)
- [18] BN – JB – 2.4, PROVÁDĚNÍ BEZPEČNOSTNÍCH ANALÝZ METODOU NEJLEPŠÍHO ODHADU S UVÁŽENÍM VSTUPNÍCH DAT (v přípravě)
- [19] BN – JB – 2.8, DETERMINISTICKÉ ANALÝZY UDÁLOSTÍ V ODSTAVENÝCH STAVECH JZ A V BAZÉNECH SKLADOVÁNÍ OZÁŘENÉHO JADERNÉHO PALIVA (v přípravě)
- [20] ANSI/ANS – 19.6.1 – 2011 Reload start-up physics tests for pressurized water reactors, USA, January 13, 2011