

TEHNIČNE

SPECIFIKACIJE

Ljubljana, januar 2013

Avtor: Dijana Makivić

Mentor: prof. dr. Iztok Tiselj



DEFINICIJE

- Definicije pojmov so potrebne za zagotavljanje enotnosti pri interpretacijah tehničnih specifikacij.

INSTRUMENTACIJA

- Pravilne meritve količin, kot so tlak, povprečna temperatura hladila, sprememba temperature hladila in moč reaktorja, so določene s tremi metodami.
- Preveritev kanala
- Test funkcionalnosti kanala.
- Kalibracija kanala

RCS (reactor cooling system) PUŠČANJE

- Ne identificirano puščanje.
 - Identificirano puščanje.
 - Puščanje skozi tlačno mejo.
-



OPERABILNOST

- Mejni pogoji obratovanja zahtevajo, da je določen sistem ali komponenta »operabilna«.
- Oznaka »operabilnost« določa, da je sistem, podsistem, mehanizem, komponenta ali naprava zmožna opraviti svoje varnostne funkcije.

NAČINI DELOVANJA

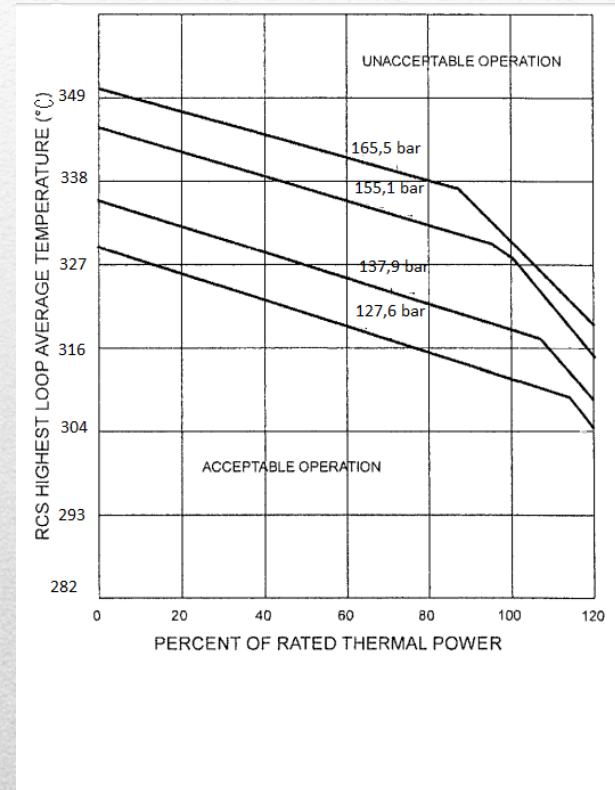
- Razlikujemo šest načinov delovanja, glede na različne kombinacije reaktivnosti sredice, nivoja moči, povprečne temperature hladila in zatesnjenosti pokrova reaktorske posode: obratovanje na moči, zagon, vroča pripravljenost, vroča zaustavitev, hladna zaustavitev, menjava goriva.

REZERVA ZAUSTAVITVE

- Rezerva zaustavitve je takojšnja količina reaktivnosti pri kateri je reaktor podkritičen ali pa bo podkritičen, ker so vse palice vstavljene v sredico. Izvlečena je lahko le ena banka kontrolnih palic, ki ima najvišjo reaktivno vrednost.
-

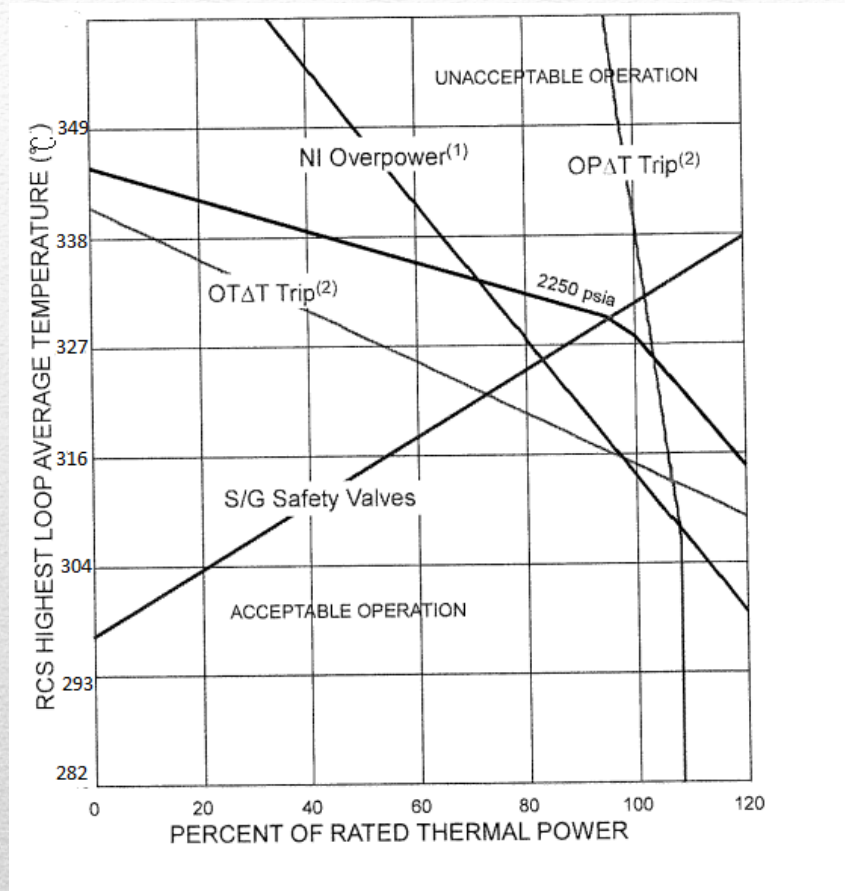
VARNOSTNE MEJE

- Varnostne meje so določene zaradi preprečevanja nekontroliranega izpusta fizijskih produktov med normalnim obratovanjem elektrarne.
- Možnost poškodbe goriva je preprečena s kriteriji:
- Kriterij 95/95
- Pravilno delovanje zaščitnega sistema reaktorja in varnostih ventilov uparjalnika.
- Varnostna limita RCS tlaka je določene na 188,6 bara, kar je 110% projektnega tlaka.



MEJE NASTAVITEV VARNOSTNIH SISTEMOV

- Meje nastavitve varnostnih sistemov so zaščitne nastavitve naprav, da preprečijo prekoračitev varnostnih mej tekom delovanja.





MEJNI POGOJI OBRATOVANJA (LCO)

Mejni pogoji obratovanja so razdeljeni na naslednja poglavja:

- Uporaba
 - Kontrolni sistem reaktivnosti
 - Mejni pogoji porazdelitve moči
 - Instrumentacija
 - Reaktorski hladilni sistem
 - Sistem za zasilno hlajenje sredice
 - Zadrževalni hram
 - Sistem elektrarne
 - Sistem električnega napajanja
 - Menjava goriva
-



KONTROLNI SISTEM REAKTIVNOSTI

Rezerva zaustavitve

- Zagotavljajo prehod reaktorja v podkritično stanje iz vseh načinov delovanja, prehodov in projektnih nezgod.

Reaktivnost sredice

- Natančna napoved reaktivnosti sredice je predpostavka varnostne analize. Velike razlike med dejansko in predpostavljeno reaktivnostjo sredice lahko nakazujejo, da predpostavke glede napak v zasnovi in numerične analize niso več veljavne.
- Potrebno preverjanje izmerjenih in izračunanih vrednosti reaktivnosti sredice

Temperaturni koeficient moderatorja

- Zagotavljajo, da so vrednosti temperaturnega koeficienta moderatorja znotraj meja določenih po nezgodnih analizah.
 - Najvišja zgornja dovoljena vrednost omeji posledice nezgode.
-



Poravnanoost palic in indikacija pozicij

- Operabilnost palic zagotavlja, da bo ob zasilni zaustavitvi reaktorja, vstavljena predpostavljena reaktivnost.
- Mejni pogoji za zaporedje in prekrivanje svežnjev kontrolnih palic omogočijo enotno stopnjo vstavljene in izvlečene reaktivnosti ter vzdržujejo sprejemljiv profil moči tekom premikanja palic.
- Operabilna morata biti dva indikatorja pozicije palic, ki zagotavljata detekcijo neoperabilne in neporavnane palice.

Izjemni testi

- Mejni pogoji obratovanja glede poravnave palic, zaustavitve reaktorja, vstavitve svežnjev palic, osne razlike fluksa, nagiba moči v kvadrantu, temperaturnega koeficienta moderatorja, minimalne temperature RCS ni potrebno upoštevati pri izvajanju fizikalnih testov.
-



INSTRUMENTACIJA

Zasilna zaustavitev (TRIP) reaktorja in proženje varnostnih elementov sistema

- Sistem za zasilno zaustavitev reaktorja (RTS) glede na parametre reaktorja sproži zaustavitev reaktorja in s tem varuje sredico
- Sistem za proženje varnostnih elementov glede na parametre enote sproži varnostni sistem (ESF)
- V sklop je vezano večje število kanalov, za zagotavljanje nemotenega delovanja v primeru izpadov, testiranja in vzdrževanja.

Nadzorna instrumentacija

- Funkcionalnost nadzorne instrumentacije zagotavlja dovolj informacij za oceno stanja poškodovane enote
 - Poleg informacij je operaterju na voljo tudi ročna kontrola za naprave.
 - Upravljanje s temi napravami je zaradi tega možno tudi z druge lokacije, ne le iz kontrolne sobe v primeru da bi bil dostop do kontrolne sobe onemogočen.
-

Ostali varnostni elementi

- Mejni pogoji za dizelske generatorje v primeru izpada napajanja (DG) zagotavlja da je možno ločeno delovanje vsake veje varnostnega sistema (ESF). Tako dizelski generatorji omogočajo nemoteno delovanje varnostnih sistemov v primeru nesreče, kjer pride do izpada električnega napajanja. V primeru nedelovanja dizelskih generatorjev lahko pride do zakasnelega vklopa varnostnih sistemov to pa lahko vodi do nedopustnih posledic v primeru nesreče.
 - Izoliran prezračevalni sistem zapre osamitvene ventile v določenih prezračevalnih sistemih in s tem izolira kontaminiran zrak. Tako je radioaktivni izpust v primeru nesreče zmanjšan na minimum.
 - Mejni pogoji za zasilni prezračevalni sistem v kontrolni sobi zagotavlja, da je prezračevalni sistem v kontrolni sobi izoliran.
-



REAKTORSKI HLADILNI SISTEM (RCS)

Kriza vrenja (DNB)

- Mejni pogoji obratovanja glede tlaka v tlačniku, povprečne temperature in pretoka v reaktorskem hladilnem sistemu zagotavljajo, da sredica obratuje znotraj mejnih pogojev določenih v varnostnih analizah.
- Obratovanje znotraj določenih mej bo zagotovilo ustrežanje kriteriju razmerja do krize vrenja (DNBR)

RCS minimalna temperatura za kritičnost

- Določena je minimalna temperatura za kritičnost za preprečitev kritičnosti reaktorja pri nižjih temperaturah, ki je predpostavljena v varnostnih analizah
-



RCS tlačne in temperaturne meje

- Mejne pogoje obratovanja določa analiza projektnih nezgod. Meje tlaka in temperature so določene za normalno obratovanje v izogib preveliki spremembi temperature in tlaka.

RCS zanke

- Med normalnim obratovanjem (MODE 1) morajo obratovati vse štiri zanke. Ta pogoj prepreči približevanje meji DNBR.
 - Med načinom obratovanja STANDBY (MODE 3) morata obratovati dve zanki, če se palice nepričakovano izvlečejo.
 - Med ugasnitvijo morata dve zanki biti operabilni in ena od njiju v obratovanju, kar zagotovi zadostno odvajanje zaostale toplote med ugasnitvijo.
-



Tlačnik

- Določen maksimalen nivo vode v tlačniku. Najnižja zahtevana kapaciteta grelcev v tlačniku zagotovi vzdrževanje tlaka v RCS in odvajanje zaostale toplote z naravnim ali prisilnim kroženjem reaktorskega hladila.

Zaščita pred prekomernim tlakom

- Ščitijo pred prekomernim tlakom. Pri normalnem načinu obratovanja morajo biti tlačni ventili operabilni in v primeru nezgode morajo varnostni ventili zmanjšati tlak na 110% projektne vrednosti (189,6 bar).
 - Pri temperaturi nižji od 143 °C v hladni veji je zahtevano zmanjšanje kapacitete vnosa hladila z omejevanjem števila črpalk za injiciranje hladila.
-



Upravljeni razbremenilni ventil (PORV)

- PORV ventili se odpre z motornim pogonom pri prevelikem tlaku, da zniža tlak v RCS. V varnostnih analizah je določeno, da se odprejo PORV ventili v primeru zloma cevi uparjalnika, da se ustavi uhajanje tekočine iz primarnega v sekundarni tok. Nezmožnost zaprtja PORV je LOCA (Three Mile Island Accident)

RCS puščanje

- Meja identificiranega puščanja je postavljena na 2271 l/h. Meja neidentificiranega puščanja je postavljena na 227 l/h. Puščanje skozi tlačno mejo ni dovoljeno.
 - Puščanje iz primarnega v sekundarni krog je omejeno na 23,7 l/h skozi kateri koli uparjalnik. Meja je zasnovana na predpostavki, da razpoka take stopnje ne bo vodila v LOCA.
-



- **SISTEM ZA ZASILNO HLAJENJE SREDICE (ECCS)**

 - **Zbiralniki**

 - Po LOCA analizi je predvideno, da so zbiralniki vedno zmožni dovajati vodo reaktorju. Štirje zbiralniki so potrebni za zagotovitev operabilnosti. Predvideno je, da voda iz vsaj treh zbiralnikov doseže sredico. Volumen in koncentracija bora mora biti v določenih mejah.

 - **ECCS mehanizmi**

 - Operabilnost ECCS mehanizmov zagotavlja zadosten pretok v ECCS pri LOCA. Pri načinih delovanja 1,2 in 3 sta potrebna dva operabilna ECCS mehanizma pri 4 en operabilen.

 - **Rezervoar za vodo**

- Temperatura in količina vode ter koncentracija bora se nadzorujejo v rezervoarju za zagotavljanje zadostne količine borirane vode.
-



ZADRŽEVALNI HRAM

Zadrževanje

- Zadrževalni hram mora biti zasnovan tako, da prenese tlake in temperature, ko pride do projektnih nezgod. Maksimalna dovoljena stopnja uhajanja je določena z L_a in znaša 0,1% mase na dan pri maksimalnem tlaku v zadrževalnem hramu.

Zadrževalni tlak in temperatura

- Zgornje limite zadrževalnega tlaka in temperature so začetni pogoji, ki so uporabljeni za analize nezgod, za določanje najvišjih tlakov in temperatur, ki jih prenese zadrževalni hram v primeru projektnih nezgod. S tem zagotovimo, da zadrževalni hram prenese tudi najhujšo projektno nesrečo (LOCA).
 - Spodnja limita zadrževalnega tlaka je začetni pogoj za varnostne analize pri nenamerni aktivaciji prh v zadrževalnem hramu.
-



Prhe in hladilni sistem zadrževanja

- Omogoča ohlajanje zraka v zadrževalnem hramu po nesreči.
- Operabilnost mehanizmov za prhanje in sistemov za dodajanje kemikalij za prhanje zagotavljajo, da je vsaj en mehanizem obeh sistemov delujoč med nesrečo, da odstranijo jod iz ozračja in vzdržujejo pH raztopine v zadrževalnem hramu. S temi funkcijami omejijo uhajanje radioaktivnega joda iz zadrževalnega hrama med in po nesreči.

Vodikov blažilni sistem

- Operabilnost vodikovega mešalnega sistema zmanjšuje možnosti potencialnega gorenja vodika, tako da prepreči kopičenje vodika na določenem mestu.
-



SISTEM ELEKTRARNE

Sistem ventilov sekundarnega kroga

- Parni varnostni ventili zagotavljajo zaščito pred previsokim tlakom za sekundarni sistem in za primarni sistem, tako da je omogočen ponor toplote in s tem odvajanje energije iz reaktorja v primeru ne delovanja kondenzatorja.
 - Operabilnost osamitvenih ventilov na parovodu v primeru zloma parovoda omeji izpust mase in energije v zadrževalni hram.
 - Operabilnost osamitvenih in regulacijskih ventilov na sistemu glavne napajalne vode zagotavlja zadostno izolacijo napajalne vode v primeru zloma parovoda ali cevi napajalne vode.
 - Operabilnost ventilov za izpust v ozračje zagotavlja zmožnost odvajanja zaostale toplote v primeru nedelovanja kondenzatorja. Z ventili upravlja operater v primeru nesreč, ki jih spremlja izguba zunanjega električnega napajanja.
-



Pomožna napajalna voda

- Sistem pomožne napajalne vode zagotavlja zadostno zalogo vode uparjalnikom v primeru projektnih nezgod, ki jih spremlja izguba zunanjega električnega napajanja.
- Minimalni volumen shranjevalnika kondenzata je določen z varnostnimi analizami.

Sistem vode za hlajenje

- Voda za hlajenje komponent in sistem oskrbovalne vode odvaja toploto iz varnostnih komponent med normalnim delovanjem in nezgodami.
 - Končni ponor toplote je projektiran, tako da zagotovi 30 dnevno zalogo vode za hlajenje za zagotovitev varne zaustavitve.
 - Sistem vode za hlajenje v NEK zagotavlja reka Sava.
 - V primeru blokade oskrbovalne vode predstavljajo končni ponor toplote hladilni stolpi, ki zagotovijo vodo za hlajenje približno 100 ur. V tem času lahko popravijo sistem oskrbovalne vode.
-



Ventilacijski sistemi

- Zasilni ventilacijski sistem kontrolne sobe zaščiti operaterje pred razpršenimi radioaktivnimi snovmi. 30 dni po projektni nezgodi operaterji ne dobijo dozo večjo od 50 mSv.
- Izpušni sistem bazena za izrabljeno gorivo spušča zrak skozi filtre in adsorberje, da zmanjša koncentracijo razpršenih radioaktivnih snovi, ki jih spusti v ozračje.

Bazen za izrabljeno gorivo

- Pomnoževalni faktor mora biti manjši od 0,95, ko je bazen poplavljen z vodo brez dodanega bora.
 - Nivo vode nad izgorelim gorivom mora biti 7 metrov, kar omogoča ščitenje in zmanjša dozo v okolici.
-



• **SISTEM ELEKTRIČNEGA NAPAЈANJA**

Električno napajanje med delovanjem

- Sistemi električnega napajanja zagotavljajo napetost in zanesljivost, ki je potrebna za delovanje varnostnih sistemov.
- Operabilnost obeh mehanizmov sistema električnega napajanja zagotavljajo potrebno napajanje za ugasnitev reaktorja in za tem ohranjanje v varnem ugasnjenem načinu po nesreči
- Za varnostne veje je zahtevano, da vsaka varnostna veja sestoji iz dveh fizično ločenih električnih povezav med zunanjim napajanjem in električno mrežo na lokaciji in dveh ločenih dizelskih generatorjev.

Dizelski sistemi

- Za operabilnost dizelskih generatorjev skrbi zaloga dizelskega goriva, olja in stisnjenega zraka za start generatorjev. Količina goriva in olja zagotavlja sedemdnevno delovanje dizelskega generatorja pod polno obremenitvijo. Količina stisnjenega zraka zagotavlja 5 zaporednih poskusov zagona generatorja.
-



MENJAVA GORIVA

Koncentracija bora in osamitveni ventili ne borirane vode.

- Omejitve koncentracije bora za reaktorski hladilni sistem, kanal za menjavo goriva in menjalni bazen preprečuje nenamerno kritičnost in zagotavlja, da je reaktivnost sredice manjša ali enaka 0,95 med menjavo goriva.

Jedrska instrumentacija

- Zahtevana je operabilnost dveh senzorjev nevtronskega fluksa s katerim spremljamo spremembe reaktivnosti sredice.

Odvajanje zaostale toplote in kroženje hladila

- Zanka odvajanja zaostale toplote mora biti operabilna, da omogoči ustrezno odvajanje zaostale toplote.
 - Ko je nivo vode nad robom reaktorske posode 7 metrov, mora biti operabilna ena zanka odvajanja zaostale toplote, če je nivo nižji pa obe.
 - 7 metrov vode nad robom reaktorske posode zagotavlja zadostno količino vode, da bistveno zadrži jod v primeru nezgode pri ravnanju z gorivom.
-

MEJNI POGOJI PORAZDELITVE MOČI

Mejni pogoji toplote sredice

- Moč v sredici in odvajanje toplote je regulirano tako, da prepreči poškodbe goriva in srajčk. Pregrevanje goriva je preprečeno z vzdrževanjem lokalnega maksimuma temperature pod vrednostjo pri kateri se začne taljenje goriva (2804 °C).
 - Obratovanje nad točko DNB bi povzročilo presežene temperature srajčk. Visoka temperatura srajčke povzroči oksidacijo in poškodbo srajčk.
 - Zaščita pred DNB ja zagotovljena z obratovanjem sredice znotraj razmerja do krize vrenja (DNBR). DNBR je razmerje med toplotnim tokom, ki povzroči DNB in dejanskim toplotnim tokom v vročem kanalu. Meja za DNBR je statistično določena, da 95% mejnih gorivnih palic ne doseže DNB, ko je dosežena meja DNBR, pri stopni zaupanja 95% (kriterij 95/95). Navadno je meja za DNBR je 1,3. Pri novejših tudi 1,13 ali 1,17.
 - Znižanje tlaka, povečanje temperature, lokalno povečanje toplotne moči v sredici, zmanjšanje pretoka hladila lahko povzroči nižanje DNBR (približevanje DNB).
-

Konični faktorji

- Za zagotavljanje informacij o lokalni gostoti moči je uporabljena instrumentacija znotraj sredice, da ustvari profil toka, iz katerih je omogočeno računanje koničnih faktorjev.
 - Potrebno je periodično merjenje dveh koničnih faktorjev v vročem kanalu F_Q in $F_{\Delta H}$.
 - Mejni pogoji za F_Q in $F_{\Delta H}$ izključujejo porazdelitve moči v sredici, ki bi presegle meje zasnove goriva: kriterij 95/95, med LOCA je najvišja dovoljena temperatura goriva 1204°C , kontrolne palice morajo omogočiti zaustavitev reaktorja z minimalno rezervo zaustavitve, ko so kontrolne palice z najvišjo vrednostjo izvlečene.
-

Konični faktor toplotnega toka vročega kanala

- F_Q je definiran kot razmerje med maksimalno lokalno gostoto moči in povprečno gostoto moči. Mejne vrednosti F_Q so izražene z:

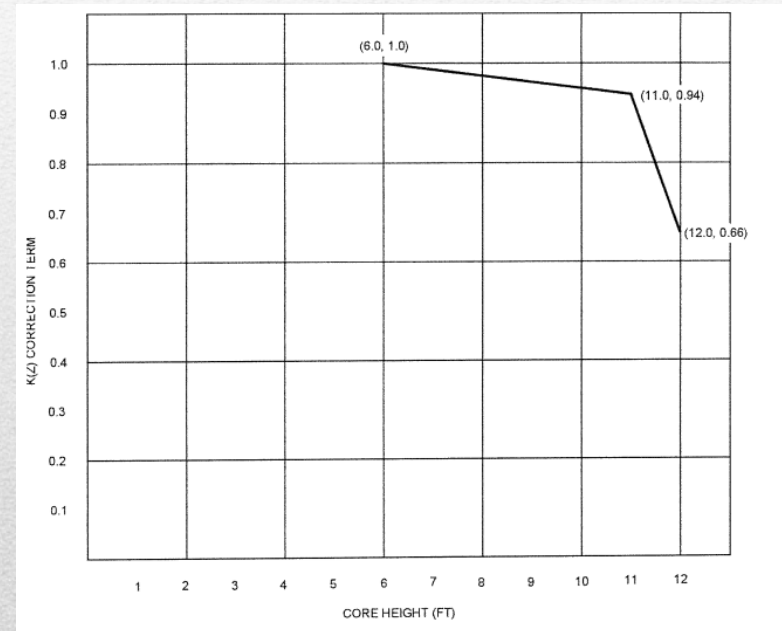
- $F_Q(Z) \leq \frac{CFQ}{P} K(Z) \quad \text{za } P > 0.5$


- $F_Q(Z) \leq \frac{CFQ}{0.5} K(Z) \quad \text{za } P < 0.5$

- kjer je :

- $CFQ = 2.5$

- $P = \frac{\text{toplotna moč}}{\text{nazivna toplotna moč}}$

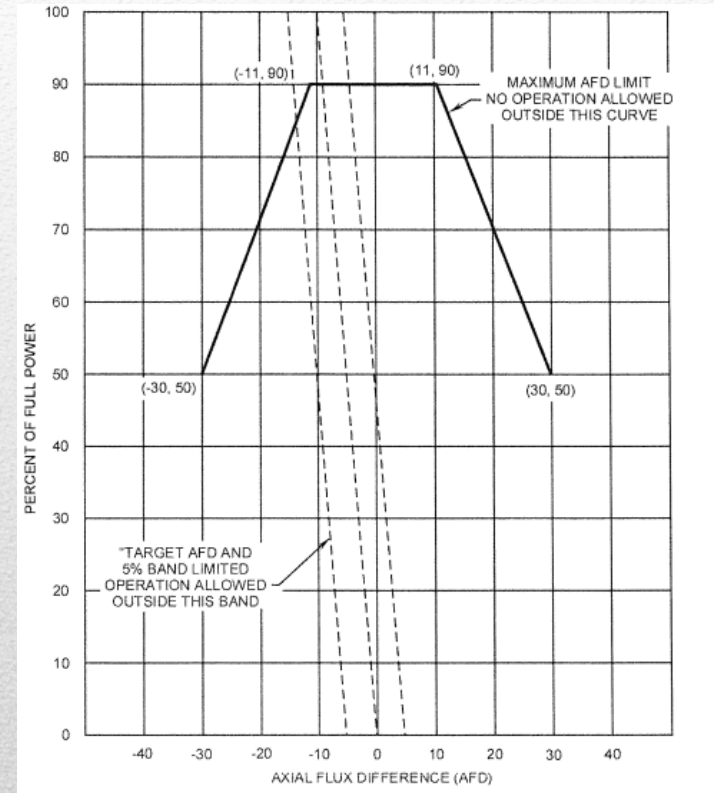


- 
- F_{xy} metodologija: pri prvem opazovanju so $F_Q(Z)$ vrednosti določene iz profila toka v stacionarnem stanju in povečan za 3 % zaradi tolerance, ki jo določi proizvajalec goriva, in za 5 % zaradi nedoločenosti meritev profila toka (1,0815). Drugo opazovanje določa, da radialni del $F_Q(Z)$ ne preseže določene meje. $F_Q(Z)$ je izražen z radialnim in aksialnim delom:
 - $$F_Q(Z) = \frac{\text{max. gostota moči pri } Z}{\text{pov. moč pri } Z} * \frac{\text{pov. gostota moči pri } Z}{\text{pov. gostota moči sredice}}$$
 - F_Q metodologija: prvi del opazovanj je enak metodologiji F_{xy} . Variacije profila moči, ki so posledica operativnih posegov, so določene s faktorjem $W(Z)$, ki je tabeliran in ga pomnožimo z izmerjenim F_Q . Maksimalna pričakovana vrednost faktorja med normalnim obratovanjem je F_Q^W in mora biti manjši od določenih mejnih vrednosti.
-

Konični faktor prirastka entalpije vročega kanala

- $F_{\Delta H}^N$ je definiran kot razmerje med maksimalno linearno gostoto moči gorivne palice in povprečno linearno gostoto moči gorivne palice, zato je $F_{\Delta H}^N$ merilo za skupno moč, ki jo proizvede gorivna palica. $F_{\Delta H}^N$ mejna vrednost določa kanal z najvišjim prirastkom entalpije, znotraj katerega je najvišja verjetnost za dosego DNB. Mejna vrednost je določena:
 - $F_{\Delta H}^N \leq 1.65[1.0 + 0.3(1.0 - P)]$
 - Vrednost 1,65 določa maksimalno vrednost pri delovanju reaktorja na 100% moči. Mejna vrednost faktorja narašča za 0,3 % pri znižanju moči za 1%.
-

- **Aksialna razlika nevtronskega fluksa (AFD)**
- Aksialna razlika nevtronskega fluksa (AFD) je definirana kot razlika med nevtronskim fluksom v zgornji in spodnji polovici reaktorja.
- $AFD = \Phi_{top} - \Phi_{bottom}$
- Mejne vrednosti za ADF zagotavljajo, da ne pride do prekoračitev mejnih vrednosti F_0 med normalnim obratovanjem in med ksenonskimi oscilacijami.
- Konstantni nadzor aksialnega odmika vključuje vzdrževanje AFD znotraj mej okrog območja, kjer se spreminja izgorelost goriva.





- **Nagib moči v kvadrantu (QPTR)**
 - Nagib moči v kvadrantu je definiran kot razmerje med maksimalnim odzivom na umerjenem izhodu zgornjega (spodnjega) izvensrediščnega detektorja in povprečnim odzivom na umerjenih izhodih zgornjih detektorjev. Izhod je umerjen na središčne vrednosti in pri popolnoma umerjenem detektorju mora biti vrednost QPTR enaka 1.
 - Vrednost $QPTR > 1,02$ nakazuje na spremembo profila moči znotraj sredice od zadnje meritve profila moči. Pri prekoračeni meji (1,02) mora biti v roku dveh ur vrednost QPTR znotraj meja ali pa je potrebno zmanjšati moč za najmanj 3% za vsak 1% odstopanja od vrednosti 1,00. V tem primeru se izvede ponovna meritev profila moči sredice. Če nova meritev profila moči pokaže, da so vse vrednosti znotraj svojih meja potem se izvede umeritev izvensrediščnih detektorjev.
 - Ko je vrednost $QPTR=1$ ne pomeni, da je radialna porazdelitev moči znotraj sredice ravna, temveč, da ni večjih sprememb od zadnje umeritve.
-

LITERATURA

- Westinghouse Technology Systems Manual.
 - Jenčič I., Pojmovnik jedrske tehnike in varstva pred sevanji. Ljubljana, 2012.
 - Knief R. A., Nuclear Engineering. USA, 2008.
 - Lamarsh J. R., Baratta A.J., Introduction to Nuclear Engineering
-