

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



# **VARNOSTNO POROČILO - 15.poglavje**

Avtor: Gabrijele Ikovic

Mentor: prof.dr. Iztok Tiselj

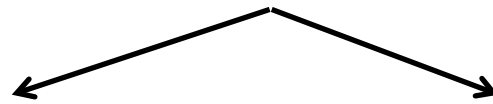
Ljubljana, januar 2014

# 15. POGLAVJE: ANALIZA NESREČ

- ⊙ določanje obratovalnih omejitev
- ⊙ načrtovanje varnostnih sistemov
- ⊙ zagotavljanje varnosti v primeru nesreč
- ⊙ NUREG-0800 : navodilo za pregledovanje in vrednotenje varnostnih poročil LWR

# RAZVRŠČANJE PREHODNIH POJAVOV IN NEZGOD

## A) GLEDE NA POGOSTOST



### **Predvideni pojavi (AOO)**

- ⊙ manjša puščanja na primarni ali sekundarni strani
- ⊙ izguba zunanjega vira elektrike
- ⊙ okvara posamezne komponente elektronike
- ⊙ nenačrtovan padec kontrolnih palic
- ⊙ posamezna napaka operaterja...

### **Projektne nezgode (PA)**

- ⊙ zlom glavnega parovoda
- ⊙ zlom cevi glavne napajalne vode
- ⊙ blokiranje ali zlom osi reaktorske črpalke
- ⊙ izlivne nezgode
- ⊙ radiološke posledice nezgode ravnanja z gorivom
- ⊙ zlom cevi uparjalnika...

## B) GLEDE NA TIP

1. Povečano odvajanje toplote s sekundarnim sistemom
2. Zmanjšano odvajanje toplote s sekundarnim sistemom
3. Zmanjšanje pretoka v reaktorskem hladilnem sistemu
4. Nenormalne spremembe reaktivnosti in porazdelitve moči
5. Povečanje količine hladila v reaktorskem hladilnem krogu
6. Zmanjšanje količine hladila v reaktorskem hladilnem krogu
7. Sproščanje radioaktivnih snovi

## 1. Increase in Heat Removal by the Secondary System

- 1.1 Feedwater system malfunctions that results in a decrease in feedwater temperature.
- 1.2 Feedwater system malfunctions that result in an increase in feedwater flow.
- 1.3 Steam pressure regulator malfunction or failure that results in increasing steam flow.
- 1.4 Inadvertent opening of a steam generator relief or safety valve.
- 1.5 Spectrum of steam system piping failures inside and outside of containment in a PWR.

## 2. Decrease in Heat Removal by the Secondary System

- 2.1 Steam pressures regulator malfunction or failure that results in decreasing steam flow.
- 2.2 Loss of external electric load.
- 2.3 Turbine trip (stop valve closure).
- 2.4 Inadvertent closure of main steam isolation valves.
- 2.5 Loss of condenser vacuum.
- 2.6 Coincident loss of onsite and external (offsite) a.c. power to the station.
- 2.7 Loss of normal feedwater flow.
- 2.8 Feedwater piping break.

## 3. Decrease in Reactor Coolant System Flow Rate

- 3.1 Single and multiple reactor coolant pump t rips.
- 3.2 BWR recirculation loop controller malfunctions that result in decreasing flow rate.
- 3.3 Reactor coolant pump shaft seizure.
- 3.4 Reactor coolant pump shaft break.

## 4. Reactivity and Power Distribution Anomalies

- 4.1 Uncontrolled control rod assembly withdraws from a subcritical or low power startup condition (assuming the most unfavorable reactivity conditions of the core and reactor coolant system), including control rod or temporary control device removal error during refueling.
- 4.2 Uncontrolled control rod assembly withdraws at the particular power level (assuming the most unfavorable reactivity conditions of the core and reactor coolant system) that yields the most severe results (low power to full power).
- 4.3 Control rod maloperation (system malfunction or operator error), including maloperation of part length control rods.
- 4.4 A malfunction or failure of the flow controller in BWR loop that results in an incorrect temperature.
- 4.5 A malfunction or failure of the flow controller in BWR loop that results in an increased reactor coolant flow rate.
- 4.6 Chemical and volume control system malfunction that results in a decrease in the boron concentration in the reactor coolant of a PWR.
- 4.7 Inadvertent loading and operation of a fuel assembly in an improper position.
- 4.8 Spectrum of rod ejection accidents in a PWR.
- 4.9 Spectrum of rod drop accidents in a BWR.

## 5. Increase in Reactor Coolant Inventory

- 5.1 Inadvertent operation of ECCS during power operations.
- 5.2 Chemical and volume control system malfunction (or operator error) that increases reactor coolant inventory
- 5.3 A number of BWR transients, including items 2.1 through 2.6 and item 1.2.

## 6. Decrease in Reactor Coolant Inventory

- 6.1 Inadvertent opening of a pressurizer safety or relief valve in a PWR or a safety or relief valve in a BWR.
- 6.2 Break in instrument line or other lines from reactor coolant pressure boundary that penetrate containment.
- 6.3 Steam generator tube failure.
- 6.4 Spectrum of BWR steam system piping failures outside of containment.
- 6.5 Loss-of-coolant accidents resulting from the spectrum of postulated piping breaks within the reactor coolant pressure boundary, including steam line breaks inside of containment in a BWR.
- 6.6 A number of BWR transients, including items 2.7, 2.8, and 1.3.

## 7. Radioactive Release from a Subsystem or Component

- 7.1 Radioactive gas waste system leak or failure.
- 7.2 Radioactive liquid waste system leak or failure.
- 7.3 Postulated radioactive releases due to liquid tank failures.
- 7.4 Design basis fuel handling accidents in the containment and spent fuel storage buildings.
- 7.5 Spent fuel cask drop accidents.

# MERILA SPREJEMLJIVOSTI

tveganje = verjetnost za dogodek + posledice

## MERILA ZA PREDVIDENE POJAVE

1. tlak primarnega hladilnega sistema in sekundarnega kroga ne sme preseči 110 % vrednosti projektnega tlaka
2. celovitost goriva mora biti zagotovljena z izpolnjevanjem meril za razmerje krize vrenja (DNBR)
3. predvideni pojavi ne smejo povzročiti projektnih nezgod oziroma izgube funkcije tlačne pregrade za primarni krog in zadrževalni hram



## MERILA ZA PROJEKTNE NEZGODE

1. tlak primarnega in sekundarnega kroga mora biti pod mejnimi vrednostmi
2. celovitost goriva bo zagotovljena z izpolnjevanjem merila za razmerje krize vrenja, sicer se predpostavi poškodbe goriva
3. izpust radioaktivnih snovi ne sme preseči predpisanih doz
4. projektna nezgoda ne sme povzročiti izgube funkcij sistemov, ki blažijo posledice, vključno s funkcijo tlačne pregrade za primarni sistem in zadrževalni hram

# RADIOLOŠKE POSLEDICE

- ⦿ posameznik, ki se nahaja ob meji zaprtega območja (exclusion area boundary EAB) v dveh urah ne sme prejeti več kot 25 rem ekvivalentne doze (1 rem = 10 mSv)
- ⦿ posameznik na zunanji meji območja omejene poselitve (low population zone LPZ), ki je izpostavljen radioaktivnemu oblaku fisijskih produktov ne sme prejeti skupno več kot 25 rem ekvivalentne doze
- ⦿ v kontrolni sobi osebje v času nesreče ne sme prejeti več kot 5 rem ekvivalentne doze

**Table 1  
Accident Dose Criteria**

| <u>Accident or Case</u>             | <u>EAB and LPZ<br/>Dose Criteria</u> | <u>Analysis Release Duration</u>  |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---|
| LOCA                                | 25 rem TEDE                          | 30 days for all leakage pathways  |
| BWR Main Steam Line Break           |                                      | Instantaneous puff, until MSIV isolation  |
| Fuel Damage or Pre-incident Spike   | 25 rem TEDE                          |   |
| Equilibrium Iodine Activity         | 2.5 rem TEDE                         |   |
| BWR Rod Drop Accident               | 6.3 rem TEDE                         | 24 hours  |
| Small Line Break Accident           | 2.5 rem TEDE                         | Until isolation, if capable, or until cold shutdown is established                                |
| PWR Steam Generator Tube Rupture    |                                      | Affected SG: time to isolate;<br>Unaffected SG(s): until cold shutdown is established             |
| Fuel Damage or Pre-incident Spike   | 25 rem TEDE                          |   |
| Coincident Iodine Spike             | 2.5 rem TEDE                         |   |
| PWR Main Steam Line Break           |                                      | Until cold shutdown is established  |
| Fuel Damage or Pre-incident Spike   | 25 rem TEDE                          |   |
| Coincident Iodine Spike             | 2.5 rem TEDE                         |   |
| PWR Locked Rotor Accident           | 2.5 rem TEDE                         | Until cold shutdown is established  |
| PWR Rod Ejection Accident           | 6.3 rem TEDE                         | 30 days for containment leakage pathway; Until cold shutdown is established for secondary pathway |
| Fuel Handling Accident or Cask Drop | 6.3 rem TEDE                         | 2 hours   |

TEDE - total effective dose equivalent

# OPIS NESREČE

- ⊙ določitev vzrokov za nesrečo in kategorizacija nesreče
- ⊙ opis predvidenega zaporedja dogodkov od nesreče do stabilnega stanja
- ⊙ navodila za operaterja
- ⊙ določitev ustreznih varnostnih sistemov
- ⊙ upoštevanje možnosti odpovedi komponent varnostnih sistemov in napake operaterja
- ⊙ opis računalniških modelov uporabljenih pri analizi nesreč
- ⊙ rezultati analize morajo vsebovati časovne odvisnosti ključnih parametrov (moč, temperatura hladila, tlak primarnega sistema...)

## 15.6.5 LOSS OF COOLANT ACCIDENTS

- ⊙ izguba primarnega hladila oz. izlivna nezgoda
- ⊙ zlomi različnih velikost in na različnih lokacijah, običajno simulacije zlomov na hladni veji
- ⊙ za omilitev posledic se uporabljajo sistemi za zasilno hlajenje sredice:
  1. visokotlačno varnostno vbrizgavanje
  2. nizkotlačno varnostno vbrizgavanje
  3. zbiralnik hladila
- ⊙ ustreznost sistemov za zasilno hlajenje (ECCS) opiše varnostno poročilo v poglavju 6.3

# VELIKA IZLIVNA NEZGODA

## **IZLIVNA FAZA**

- zlom cevi primarnega sistema, izguba hladila
- nevarnost odkritja sredice in taljenja goriva

## **PONOVNO POLNJENJE**

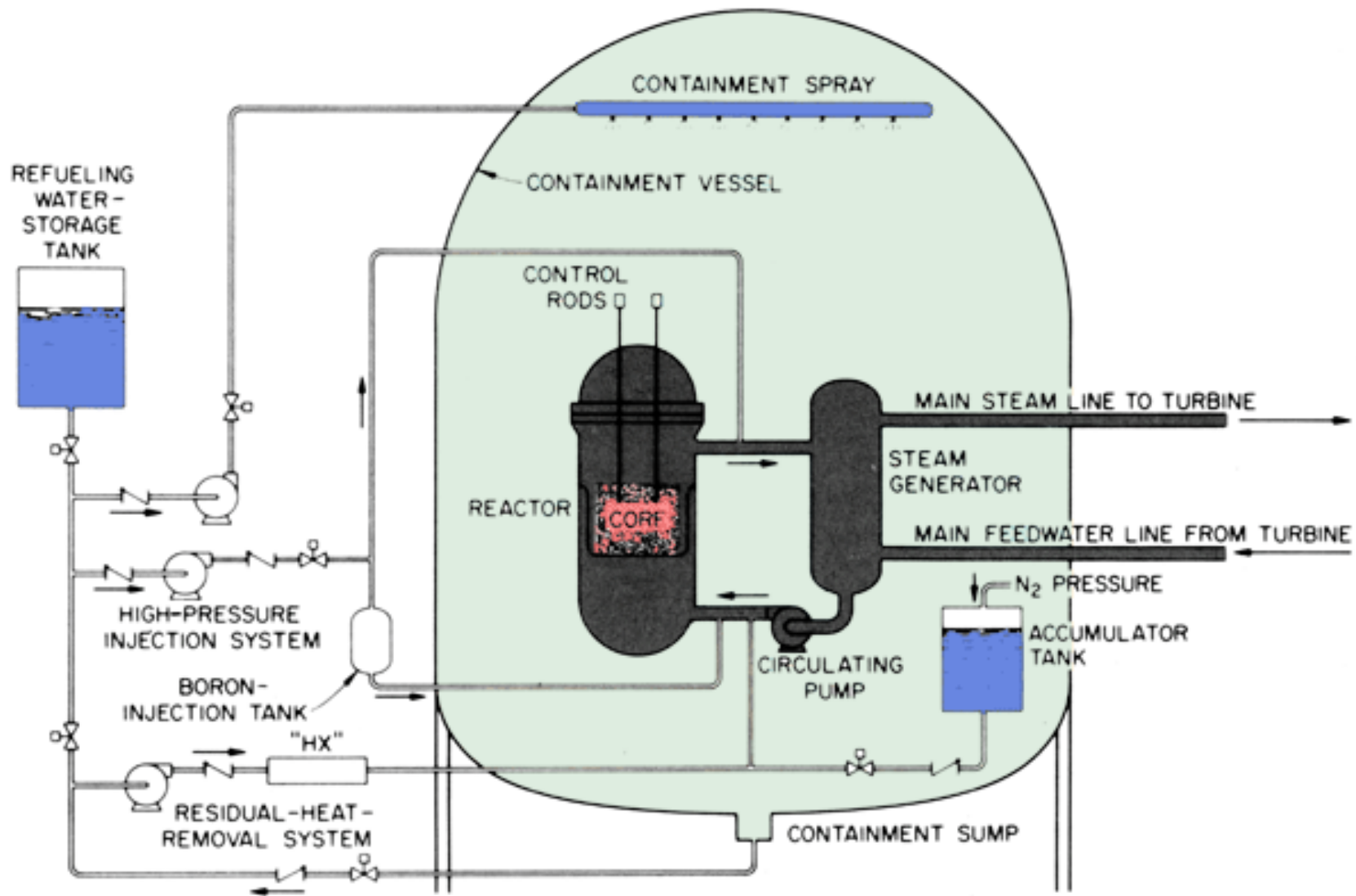
- tlak v primarnem sistemu pade, vključijo se sistemi za zasilno hlajenje sredice
- 30 – 40 sekund po zlomu cevi

## **POPLAVLJANJE**

- ker hladilo izteka v zadrževalni hram, se ta začne polniti
- 40 – 200 sekund po zlomu cevi

## **POPOPLAVNA FAZA**

- vzdrževanje reaktorja v stanju hladne ustavitve



# MALA IZLIVNA NEZGODA

- ◉ dovolj velik zlom, da tlak primarnega sistema pade in se aktivira visokotlačno varnostno vbrizgavanje
- ◉ mejna izlivna nezgoda: visokotlačno varnostno vbrizgavanje ne more nadomestiti izgubljenega hladila, vendar ne pride do hitrega padca tlaka, ko bi se aktiviral nizkotlačni sistem vbrizgavanja hladila

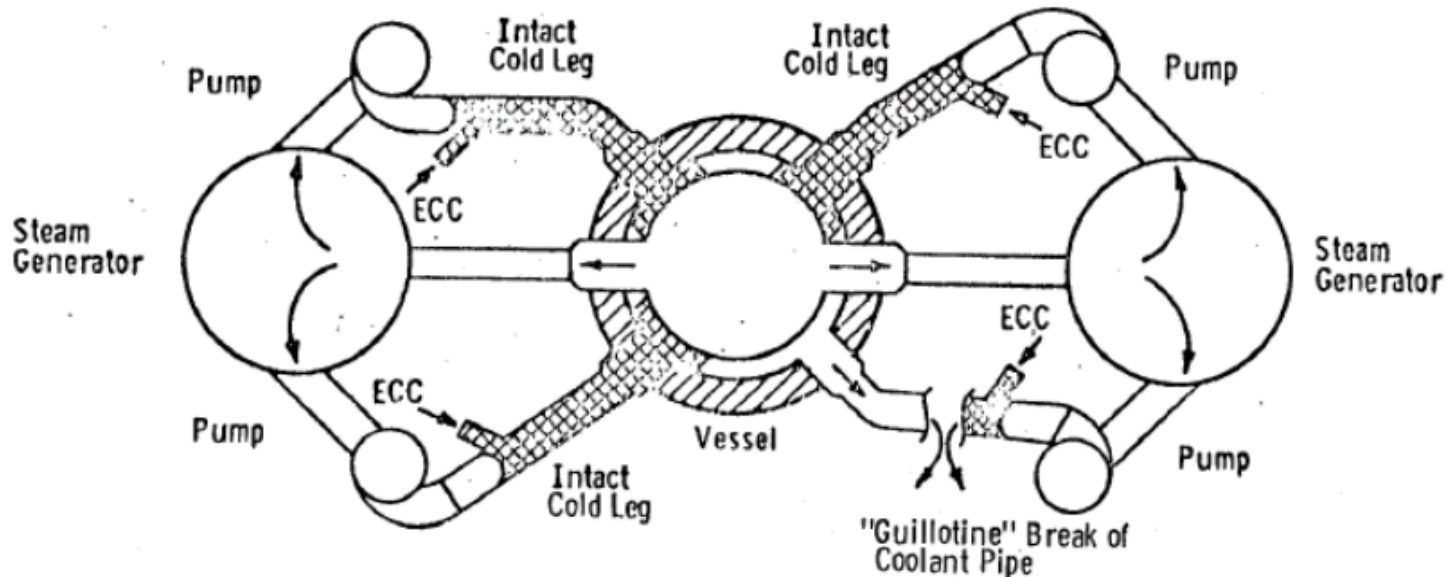


# DODATNA MERILA SPREJEMLJIVOSTI V PRIMERU IZLIVNE NEZGODE

1. izračunana maksimalna temperatura srajčke ne sme preseči 2200°F (1478 K)
2. zaradi oksidacije se debelina srajčk ne sme zmanjšati za več kot 17%
3. vodik, ki se sprošča pri reakciji srajčk z vodo ali paro, ne sme preseči 1 % koncentracije vodika, ki bi se sprostil če bi zreagiralo ves material srajčk
4. spremembe geometrije goriva ne smejo onemogočiti hlajenja
5. možnost dolgoročnega hlajenja sredice

# ANALIZE

- analizirati je potrebno več izlivnih nezgod različnih velikosti in lokacij
- mejna nezgoda je dvojni zlom največje cevi s hladilom, izguba zunanega vira elektrike in odpoved ene komponente zasilnega hlajenja



# OPIS IZLIVNE NEZGODE

- ⊙ določitev posledic različnih izlivnih nezgod
- ⊙ določitev pričakovanih začetnih pogojev, časovnega zaporedja dogodkov
- ⊙ izračun moči, tlaka, pretoka in temperature hladila
- ⊙ učinek varnostnih sistemov in zasilnega hlajenja
- ⊙ opis nalog operaterja po izlivni nezgodi
- ⊙ določitev limitnega primera posebej za malo in veliko izlivno nezgodo
- ⊙ opis dolgoročnega hlajenja
- ⊙ ocena izpustov fizijskih produktov ter radioloških posledic

# ZAKLJUČEK

- ⊙ analize projektnih nezgod so osnova za oceno sprejemljivosti reaktorja
- ⊙ pokazati morajo, da v primeru nesreč v okolici reaktorja nebo večjih radioloških posledic
- ⊙ ena hujših projektnih nezgod je velika izlivna nezgoda

# VIRI

- ◉ <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0800/ch15/>
- ◉ [http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/45533/22-39Fall-2005/NR/rdonlyres/Nuclear-Engineering/22-39Fall-2005/9ABDFB04-CDB9-402B-B5BB-4E9263DF1C7E/0/lec9\\_nt.pdf](http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/45533/22-39Fall-2005/NR/rdonlyres/Nuclear-Engineering/22-39Fall-2005/9ABDFB04-CDB9-402B-B5BB-4E9263DF1C7E/0/lec9_nt.pdf)
- ◉ <http://predmeti.fmf.uni-lj.si/JTE?action=AttachFile&do=get&target=JT5-jedrska-varnost.pdf>
- ◉ <http://ocw.mit.edu/courses/nuclear-engineering/22-091-nuclear-reactor-safety-spring-2008/video-lectures/lecture-10-safety-analysis-report-and-locas/>
- ◉ [http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/Zakondaja/SlovenskiPredpisi/prakticne\\_smernice/PS\\_1.04\\_podpisana.pdf](http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/Zakondaja/SlovenskiPredpisi/prakticne_smernice/PS_1.04_podpisana.pdf)
- ◉ <http://www.aec.gov.tw/english/nuclear/article3.php?n=01>