

Анализ на поведението на хермозоната при неконтролируемо извличане на група ОР на СУЗ по време на работа на мощност с отказ на аварийната защита (АТWS)

Ваня Саръева, Ася Иванова, Ал. Йорданов
ENPRO Consult

Българско Ядрено Дружество

Конференция с международно участие „Ядрената енергия за хората“

10 - 13 Септември, 2018, комплекс Райска градина

Свети Влас, България

- Въведение. Цел на анализа
- Анализ на процесите в хермозоната и определяне на източника на радиоактивно изхвърляне в околната среда с програмата COCOSYS
 - Начални и гранични условия. Допускания
 - Резултати
- Заключение

Въведение. Цел на анализа

Анализът на поведението на хермозоната при неконтролируемо извличане на група органи за регулиране на системата за управление и защита по време на работа на мощност с отказ на аварийната защита (ATWS)

- разработен в изпълнение на Обособена Позиция 2 „*Анализи на надпроектни аварийни последователности, съответстващи на описаните в НОБЯЦ, чл. 14, ал. 2 и 3 при експлоатация на РУ с топлинна мощност 3120 MW*“ на проект „**Специфични анализи на бариерите пред разпространението на радиоактивни продукти при работа на РУ на мощност 3120 MW**“.
 - Повишаване на мощността на реакторната инсталация до 104 % от номиналната
- Събитието „*Неконтролируемо извличане на група регулиращи органи по време на работа на мощност*“ е идентифицирано като обхващащо на базата на резултатите от анализите на събитията от групата на събития с отказ на аварийната защита (ATWS).

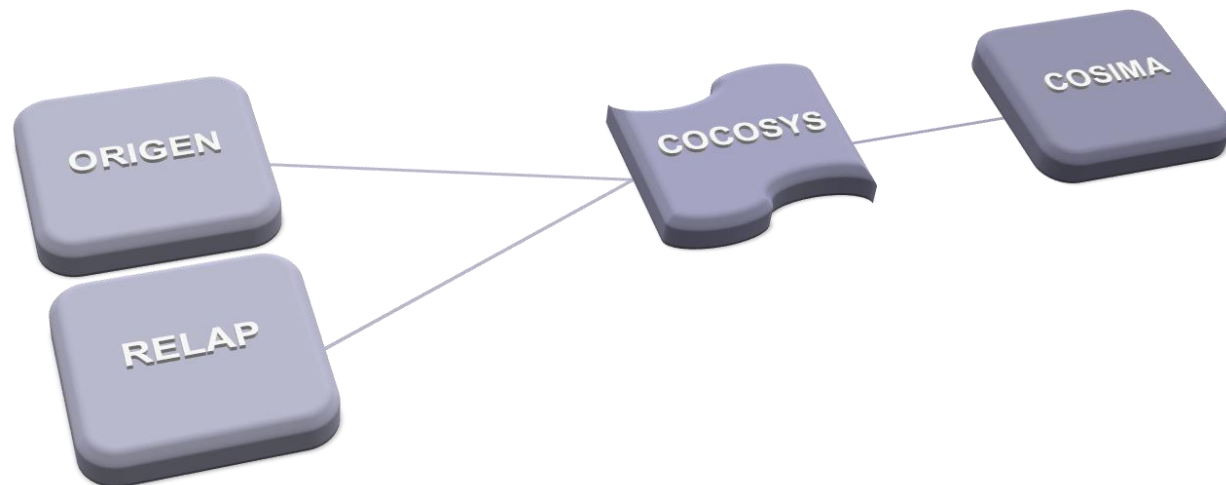
Въведение. Цел на анализа (продължение)

- Целта на анализа „*Неконтролируемо извличане на група регулиращи органи по време на работа на мощност с отказ на аварийната защита*“, извършен с програмата RELAP, е да се определи:
 - Минималното време за намеса;
 - Операторските действия, необходими за предотвратяване на неблагоприятното развитие на аварията;
 - Спазване на приложимите за надпроектни аварии критерии за приемливост на резултатите.
- В резултат от извършените анализи с програмата RELAP, се отчита, че при варианта с отложено операторско действие (включване на помпите на система TQ4 3 минути след сигнала за A3) се наблюдава криза на топлообмена на повърхността на горещите ТОЕ ($kr \cdot k_{eng} = 1.54 \cdot 1.153 = 1.7756$) в интервала от 450-тата до 640-тата секунда.
- За оценката на радиологичните последствия, следвайки препоръките на МААЕ, се приема, че се разхерметизират всички ТОЕ, претърпели криза на топлообмена.

Въведение. Цел на анализа (продължение)

Разхерметизацията на ТОЕ налага извършването на анализ на радиологичните последствия в следните три стъпки:

- Пресмятане с програмата RELAP: Анализ на процесите в първи и втори контур с цел определяне на разхода на маса и енергия през ИПУ на КН и по линията за аварийно отделяне на парогазовата смес и броя на разхерметизираните ТОЕ
- Пресмятане с програмата COCOSYS: Анализ на процесите в хермозоната с цел определяне на източника на радиоактивно изхвърляне в околната среда
- Пресмятане с програмата COSYMA: Анализ на радиологичните последствия



Анализ на процесите в хермозона и определяне на източника на радиоактивно изхвърляне в околната среда с програмата COCOSYS

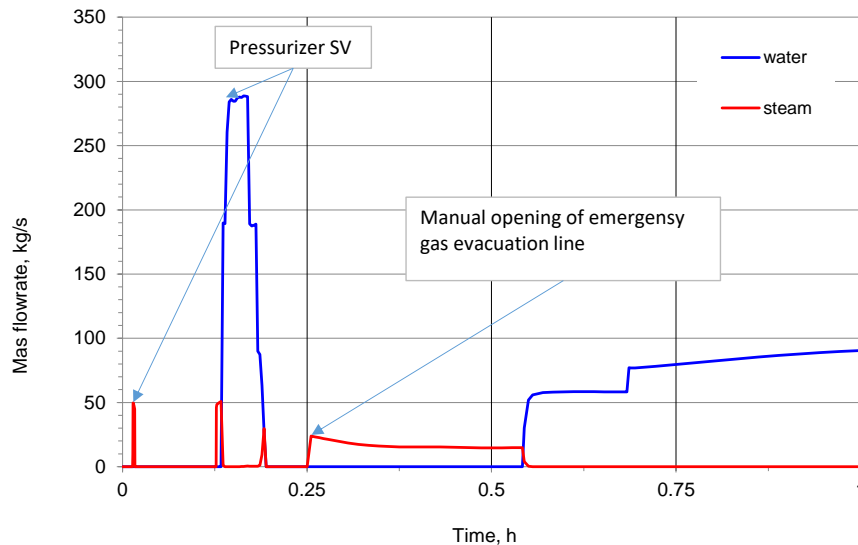
Анализ на процесите в хермозона и определяне на източника на радиоактивно изхвърляне в околната среда:

- Програмата COCOSYS е разработена от Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH и е предназначена за симулиране на всички процеси и състояния в защитни обвивки на АЕЦ с леко-водни реактори в условията както на проектни, така и на надпроектни, включително тежки аварии.
- Пълният пакет на програмата COCOSYS се състои от три модула:
 - Основен термохидравличен модул (THY)
 - Основен аерозолен модул (AFP)
 - Основен модул (CCI) за взаимодействие на стопената активна зона с бетона

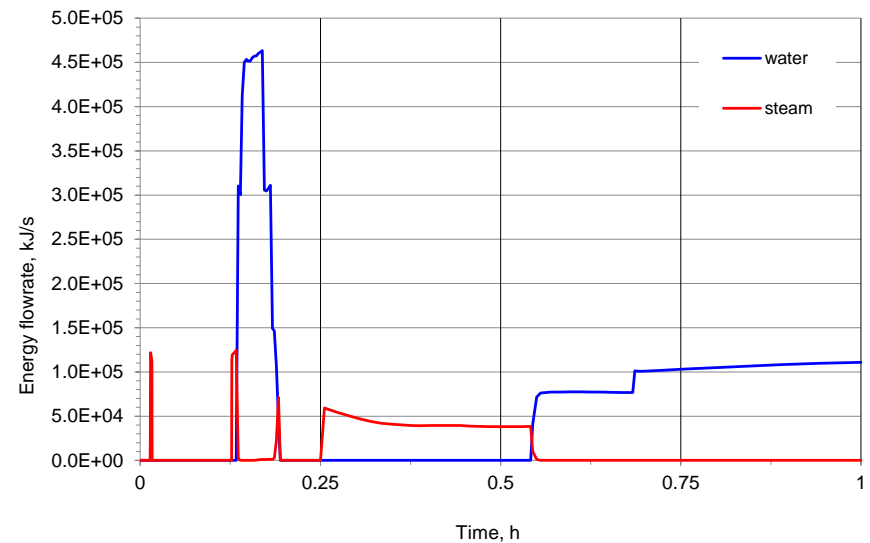
Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

Начални и гранични условия, допускания:

1. Начални условия: $t=40^{\circ}\text{C}$ и $p=0.0998\text{ MPa}$
2. Гранични условия:
 - Разход на маса и енергия през ИПУ на КН и по линията за аварийно отделяне на парогазовата смес (програмата RELAP)



Масов разход на вода и пара към ХЗ



Разход на енергия на вода и пара към ХЗ

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

Начални и гранични условия, допускания (продължение):

3. Допускания, свързани с термохидравличния анализ

- Неплътност на херметичната конструкция: приета е проектна неплътност (0.3 % от свободния обем на хермозоната за 24 часа при налягане 0.5 МПа)
- Електрозахранване: не се приема загуба на електрозахранване
- Работоспособност на спринклерната система: отказ на един канал на СС

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

Начални и гранични условия, допускания (продължение):

4. Допускания, свързани с освобождаването и разпространението на продуктите на делене:

4.1 Изотопен състав на активната зона (програмата ORIGEN)

	Element	Isotope		Element	Isotope
1	Cs	Cs134	12	Kr	Kr85
2		Cs135	13		Kr85m
3		Cs136	14		Kr87
4		Cs137	15		Kr88
5		Cs138	16	Rb	Rb88
6	I	I129	17		Rb89
7		I131	18	Xe	Xe133
8		I132	19		Xe135
9		I133	20		Xe135m
10		I134	21		Xe138
11		I135			

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

4. Допускания, свързани с освобождаването и разпространението на продуктите на делене (продължение):

4.2 Брой на разхерметизираните ТОЕ (програмата RELAP): 42 ТОК

4.3 Изхвърляне на продуктите на делене от разхерметизираните ТОЕ (съгласно документ на регулиращия орган на САЩ)

	Част от състава на активната зона в газовата хлабина
I 131	0.08
Kr 85	0.10
Други благородни газове	0.05
Други халогени (I) (I ₂ → 4.85%, CH ₃ I → 0.15% , CsI → 95%)	0.05
Алкални метали Cs, Rb	0.12

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

Инициращото събитие е неконтролирано извличане на ОР на СУЗ с отложени действия на оператора:

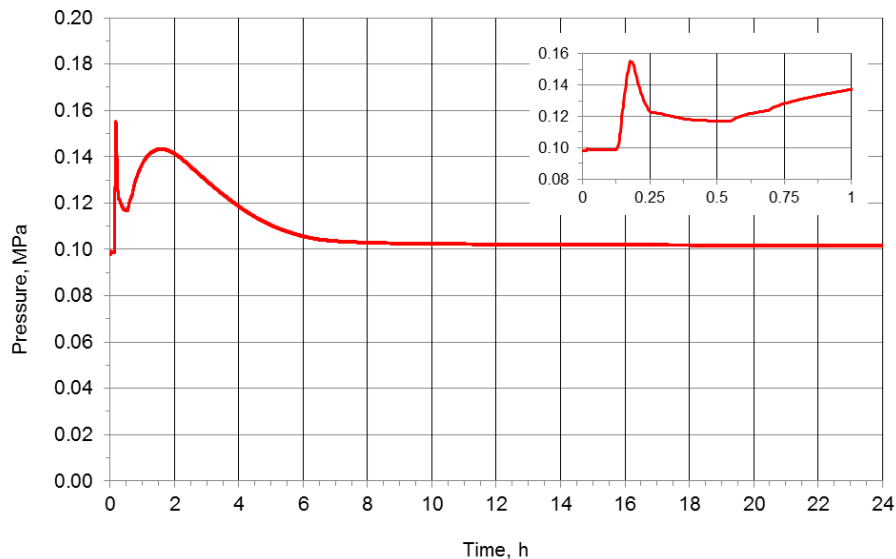
- 3 минути след сигнала за АЗ се включват помпи TQ14,24,34D01
- 15 минути след сигнала за АЗ – се отваря YR (консервативен вариант)

В резултат на инициращото събитие отваря контролното ИПУ на КН и настъпва изтичане на топлоносител от първи контур към хермозоната, което предизвиква повишаване на налягането в херметичната обвивка

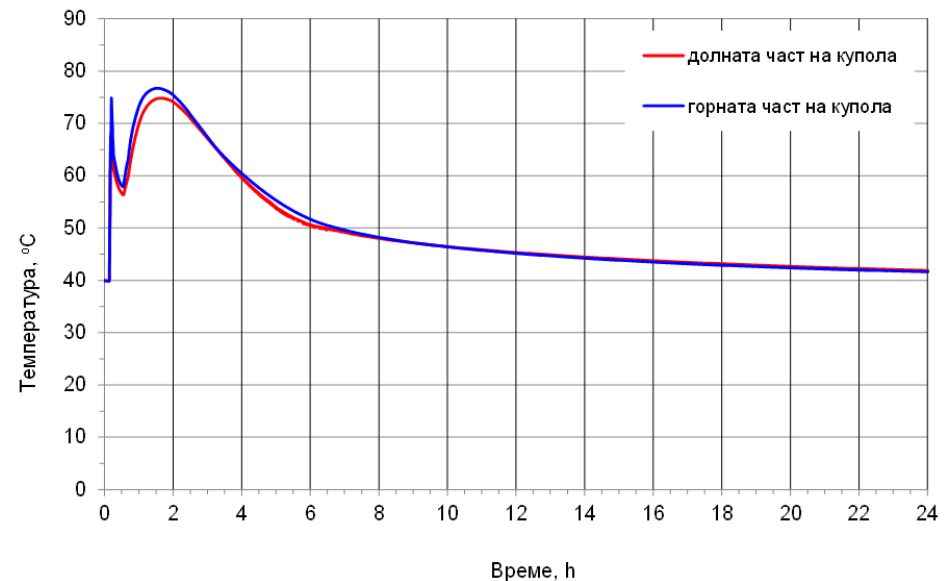
	Събитие	Време, s
1	Начало на аварията	0
2	Разхерметизация на 42 ТОЕ	449
3	Освобождаване/изхвърляне на продукти на делене към ХЗ	449 - 636
4	Достигане на първи пик на налягането в ХЗ	640
5	Начало на работа на СС	644
6	Край на пресмятането	86 400 (24 часа)

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

- Максималното налягане в ХЗ е равно на 0.155 МРа и се достига 640 секунди след настъпване на аварията.
 - всички продукти на делене са освободени от газовата хлабина на ТОЕ



Налягане в ХЗ



Температура на стената на купола на ХЗ

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

- Критерият за приемливост по налягане в помещенията на хермозоната и критерият за приемливост по температура на стената на херметичната обвивка са изпълнени.
 - Непревишаване на проектната неплътност на херметичната обвивка.

- *Максимална стойност на налягането: 0.155 МПа
(Максимално допустима стойност 0.5 МПа)*

- *Максимална стойност на температурата на стените: 70 °С
(Максимално допустима стойност 150 °С)*

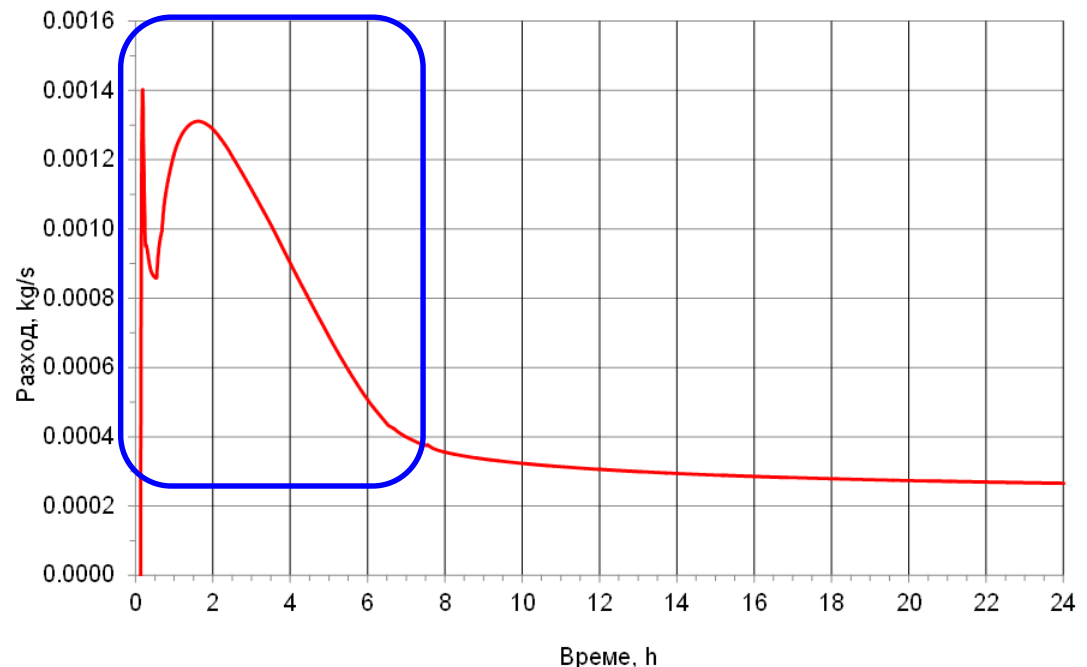
Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

Всички продукти от газовата хлабина се изхвърлят директно в ХЗ съгласно допускането, че не се отчита задържане на аерозолите в реактора и в първи контур.

- Първи пик на разхода през неплътностите: 640-тата секунда
- Втори пик на разхода: 4 600-ната секунда (1.3 часа след началото на аварията)

Благородните газове (Хе, Kr) не се отлагат по стените, не се отмиват и не се свързват химически.

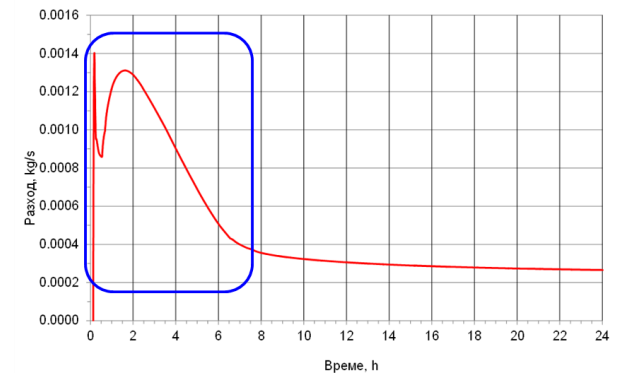
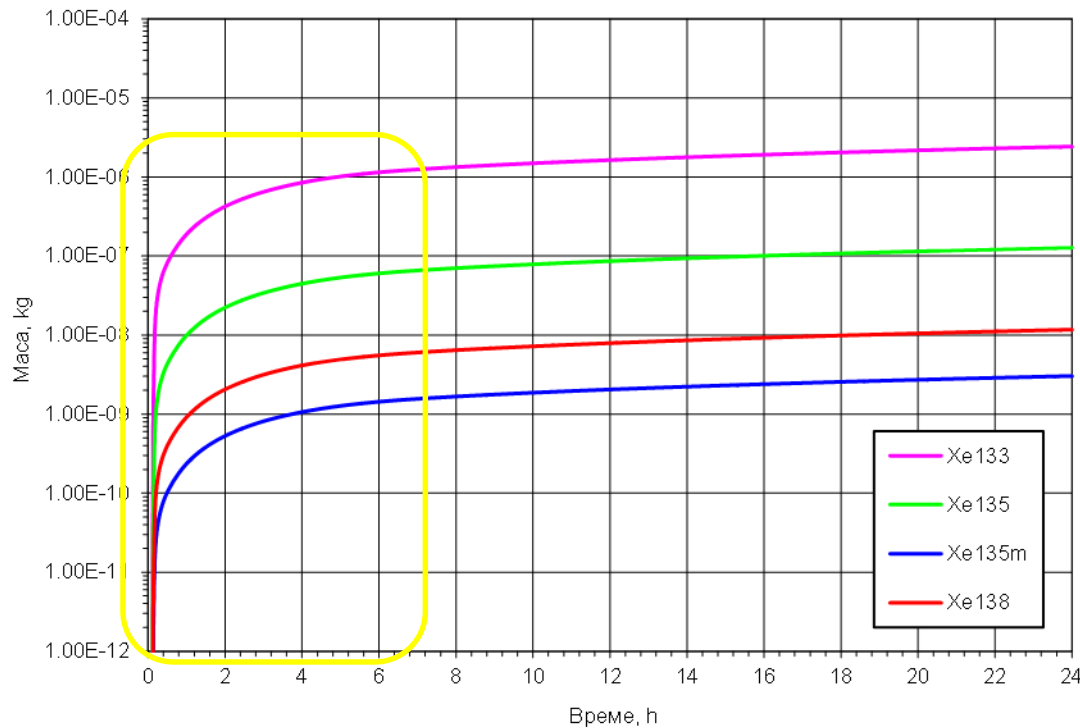
- Поради това изхвърлянето им към околната среда се определя от налягането в хермозоната (значителна част се освобождава в първите 7 часа след аварията).



Масов разход на паровъздушна смес през неплътностите на ХЗ

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

- Значителна част от изотопите на Хе се освобождават в първите 7 часа след аварията

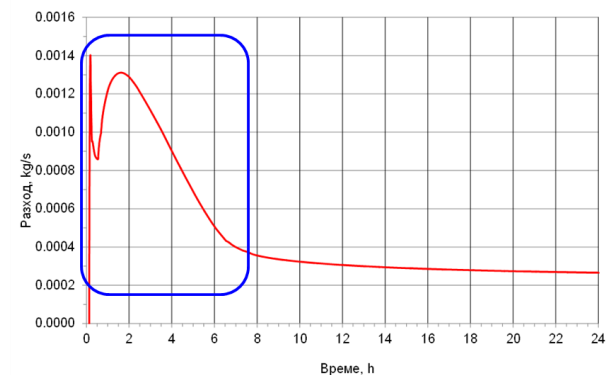
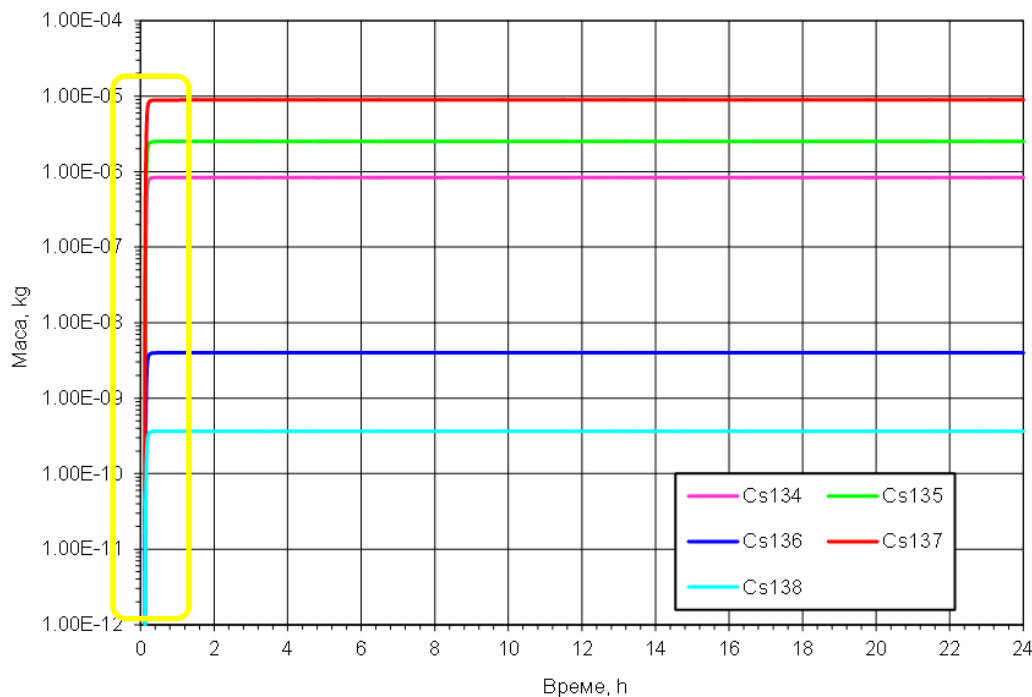


Масов разход на паровъздушна смес през неплътностите на X3

Маса на изотопите на Хе, изхвърлена към околната среда

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

- С течение на времето, в резултат на кондензацията на парата по стените, по-голямата част от аерозолите преминават във водната фаза и не могат да имат принос към радиационното изхвърляне в околната среда.

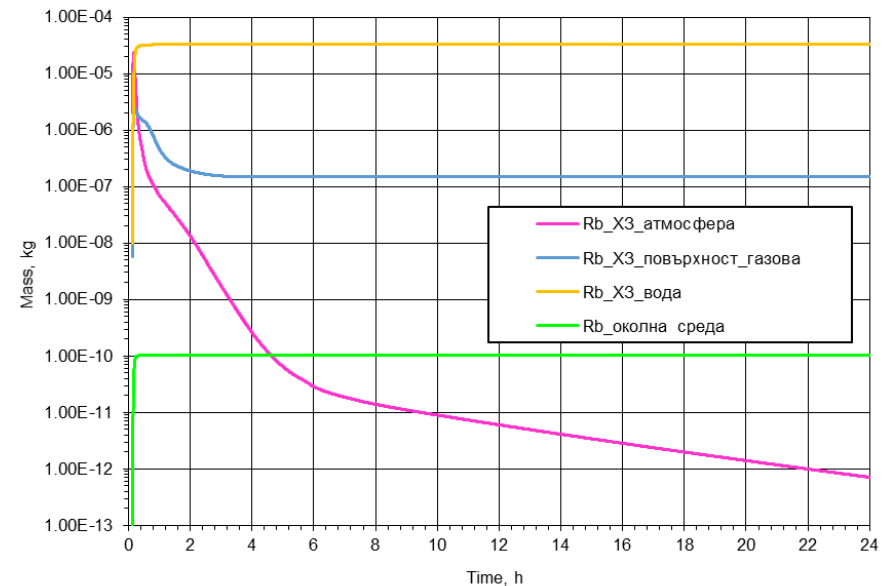
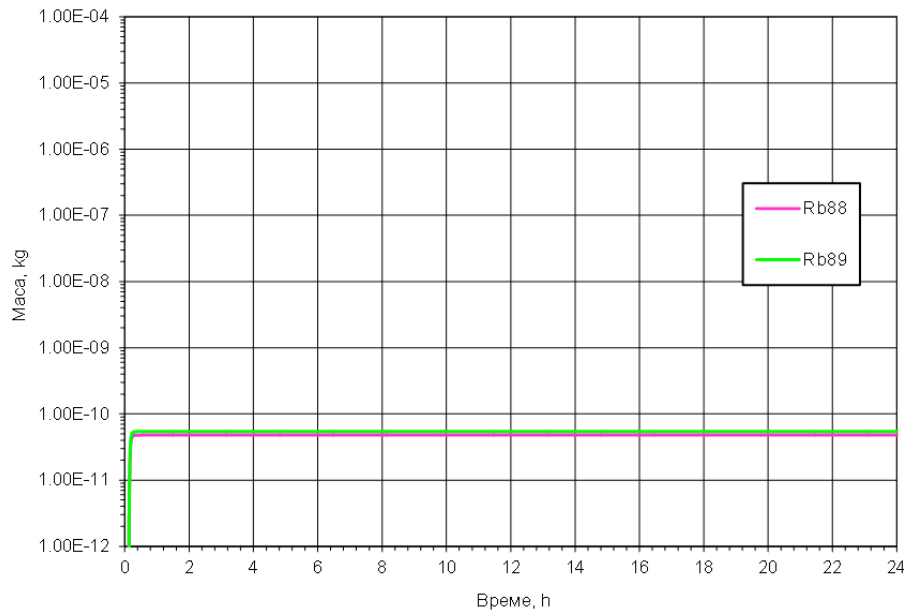


Масов разход на паровъздушна смес през неплътностите на ХЗ

Маса на изотопите на Cs, изхвърлена към околната среда

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

- Маса на Rb, изхвърлен в околната среда за 24 часа, е 5 пъти по-малка от масата на Rb, задържан във водната фаза в ХЗ

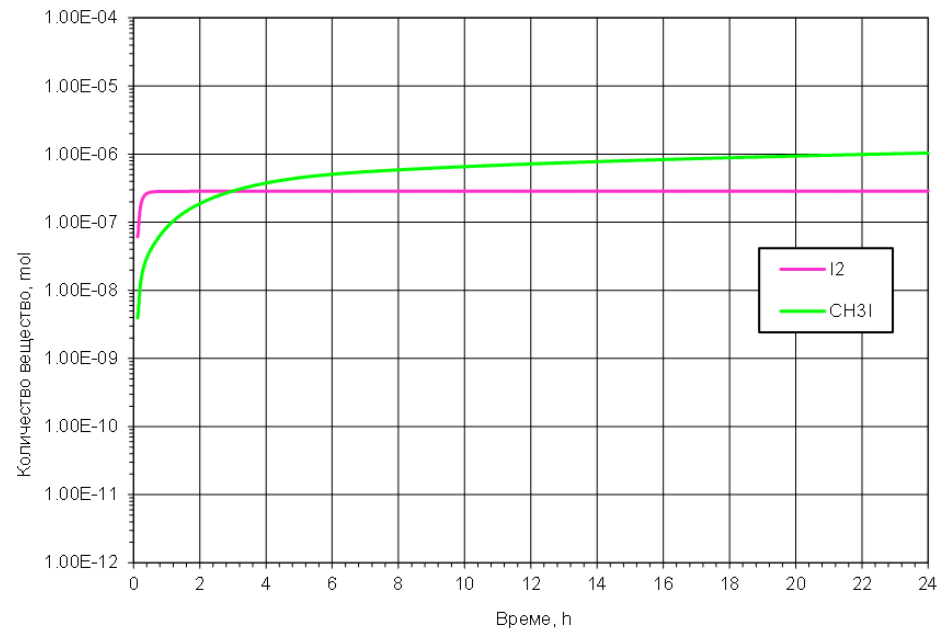


Маса на изотопите на Rb, изхвърлена към околната среда

Разпределение на Rb в ХЗ и в околната среда

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

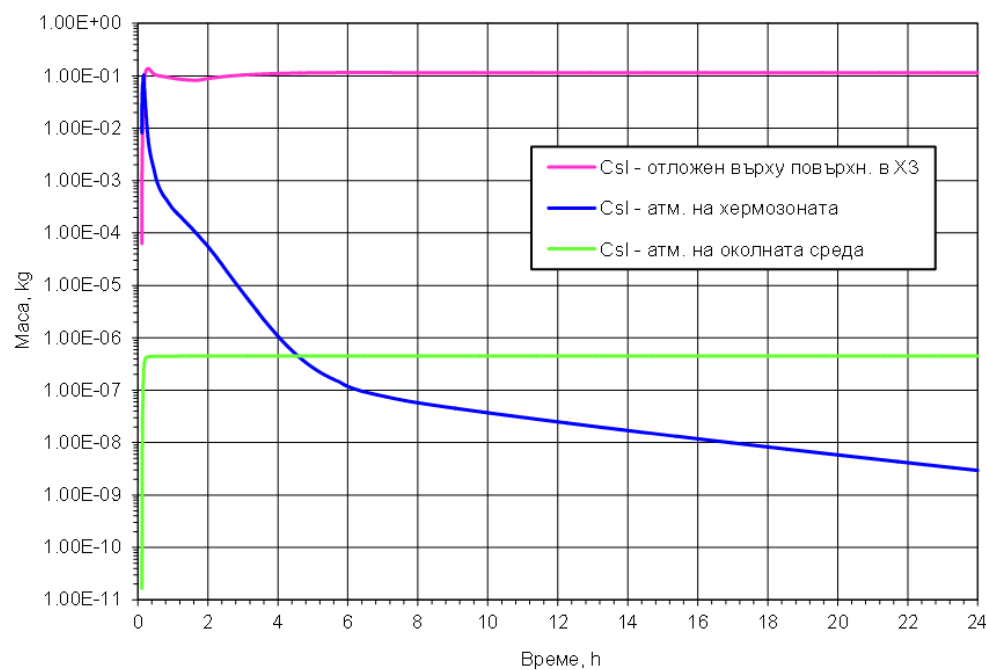
- Различните форми на йода, изхвърлен в ХО, търпят промени в резултат на различни химични реакции.
- Летливите форми на йода (I_2 и CH_3I) и CsI постъпват само към атмосферната част на хермозоната.



*Количество вещество на I в
съединенията, изхвърлени към
околната среда*

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

- Аналогично на другите аерозоли CsI ефективно се отлага по стените и впоследствие се отмива от спринклерната система и се задържа във водната среда на ХО.



Маса на CsI, отложен върху повърхностите в хермозоната, маса на CsI в атмосферата на хермозоната и маса на CsI, изхвърлен към околната среда

Анализ на процесите в хермозона с програмата COCOSYS (продължение)

- Определяне на граничното условия за анализа на радиологичните последствия (с програмата COSYMA)
- Гранично условия: източника на радиоактивно изхвърляне в околната среда

Активност, изхвърлена в околната среда в течение на 24 часа след инициращото събитие неконтролирано извличане на група на ОР на СУЗ

Изотоп	Маса, kg	Активност, Вq	Изотоп	Маса, kg	Активност, Вq
Cs134	8.37E-07	4.01E+10	Kr85	3.00E-05	4.35E+14
Cs135	2.50E-06	8.16E+07	Kr85m	2.07E-08	6.30E+12
Cs136	3.98E-09	1.07E+10	Kr87	1.16E-08	1.21E+13
Cs137	8.90E-06	2.86E+10	Kr88	3.03E-08	1.40E+13
Cs138	3.66E-10	5.71E+11	Rb88	4.79E-11	2.13E+11
I129	4.44E-07	2.90E+03	Rb89	5.43E-11	2.79E+11
I131	1.49E-08	6.83E+10	Xe133	2.41E-06	1.67E+13
I132	4.80E-10	1.85E+11	Xe135	1.27E-07	1.20E+13
I133	6.15E-09	2.57E+11	Xe135m	3.02E-09	1.02E+13
I134	2.93E-10	2.89E+11	Xe138	1.17E-08	4.20E+13
I135	1.86E-09	2.43E+11			

- Критериите за приемливост са изпълнени
- Определен е източникът на радиоактивно изхвърляне в околната среда, който се явява гранично условие за анализа на радиологичните последиствия, извършен с програмата COSYMA

Благодаря за вниманието!