

**Безопасност на Ядрената Енергетика в  
България. Слабости и перспективи.**

**ДОКЛАД**

**на**

**Костадин Зашев**

**София  
2014**

## Съдържание

Съдържание .....	2
ТАБЛИЦА С ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ.....	3
<b>1. Безопасност на Ядрената Енергетика.</b> .....	4
1.1. <i>Двете страни на уравнението?</i> .....	4
1.2. <i>Изхвърлена радиоактивност?</i> .....	5
1.3. <i>Източници на радиация?</i> .....	6
1.4. <i>Сигурност?</i> .....	7
1.5. <i>Необходимост от Ядрената Енергетика.</i> .....	8
<b>2. Ядрената Енергетика в България</b> .....	10
2.1. <i>АЕЦ „Козлодуй“</i> .....	10
2.2. <i>АЕЦ „Белене“</i> .....	10
<b>3. Безопасна ли е Ядрената енергетика в България?</b> .....	12
3.1. <i>Европейски Стрес-тестове</i> .....	12
3.2. <i>Стрес-тестове - Козлодуй</i> .....	13
1) <i>Оценка на Централите по отношение на земетресение и екстремни метеорологични условия</i> .....	13
2) <i>Оценка на Централата свързана със загуба на електрозахранване и загуба на краен поглътител</i> .....	13
3) <i>Оценка на Централата по отношение на управление на тежки аварии</i> .....	14
3.3. <i>Стрес-тестове - Белене</i> .....	15
1) <i>ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ</i> .....	15
2) <i>НАВОДНЕНИЯ</i> .....	16
3) <i>ЗАГУБА НА ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНЕ И ЗАГУБА НА КРАЕН ПОГЛЪТИТЕЛ НА ТОПЛИНА</i> .....	17
4) <i>УПРАВЛЕНИЕ ТЕЖКИ АВАРИИ</i> .....	19
<b>4. Изводи и заключения</b> .....	20
<i>Необходимост от подобрения?</i> .....	20
<i>Кога ще бъдат завършени подобренията?</i> .....	20
<i>Перспективи?</i> .....	21
<b>Литература:</b> .....	21

## ТАБЛИЦА С ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

<b>Съкращение</b>	<b>Описание</b>
АЕЦ	Атомна Електроцентрала
АЯР	Агенция за ядрено регулиране
БОК	Басейни за отлежаване на касетите
ВВЕР	Водоводен енергиен реактор
ГЦП	Главен циркуляционен тръбопровод
ДГ	Дизелгенератори
ЕС	Европейски съюз
ЕРФ	Естествен радиационен фон
КСК	Конструкции, системи и компоненти
МААЕ	Международна агенция по атомна енергия
МДГ	Мобилен дизел генератор
РУТА	Ръководство за управление на тежки аварии
РЩУ	Резервен блочен щит за управление
СХОГ	Сухо хранилище за съхранение на отработено ядрено гориво
СОАИ	Симптомно ориентирани аварийни инструкции
ХОГ	Хранилище за съхранение на отработеното ядрено гориво
ЯЕ	Ядрена енергетика
SSE	Безопасно спиране след земетресение
UNSCEAR	Научният комитет на обединените нации за ефектите от атомната радиация
WENRA	Асоциация на западноевропейските ядрени регулатори

## 1. Безопасност на Ядрената Енергетика.

### 1.1. Двете страни на уравнението?

Търсенето на енергия в световен мащаб се повишава постоянно и ще става все по-голямо в бъдеще. А естествените енергийни ресурси като въглища, вода и петрол биват бързо изчерпвани и в един момент ще престанат да удовлетворяват нуждите за енергия, принуждавайки по този начин нациите да търсят алтернативни енергийни ресурси.

Ядрената енергетика е клон на енергетиката, обхващащ генерирането на електрическа и топлинна енергия от ядрени реактори. През 2012г 11% от електричеството в света е произведено в атомни електроцентрали.

Първите ядрени реактори са построени през 1940-те години. В началото на 1950-те този вид енергетика навлиза в разцвет заради икономическия и военно-технологичен подем след края на Втората световна война. До средата на 1980-те са построени стотици ядрени реактори в десетки държави по света, а към 2012 година десетки са в процес на изграждане. Най-големите производители на енергия от АЕЦ в световен мащаб са САЩ, Франция, Южна Корея, Великобритания, Русия, Канада и Китай. Някои държави планират изграждането на нови мощности, докато други големи производители планират закриване на мощности, а някои смятат да закрият всичките си АЕЦ като Германия (до 2022 г.), Белгия (до 2025г), Швейцария (до 2034г). Други, по-малки производители също изграждат нови реактори - Финландия изгражда OLKILUOTO-3 от 2005г, а Аржентина изгражда АТУСНА-2 от 1981 г.

Ядрената енергия дава надежда за бъдещо производство на електроенергия, но някои инциденти ни принуждават да преосмислим изцяло идеята за нейното използване.

Споровете около развитието на ядрената енергетика възникват след създаденото негативно отношение към нея, най-вече поради нарастващия страх от възможен ядрен инцидент и от страха от радиоактивността, а също и създаването, транспорта и съхранението на атомни отпадъци. Дебатите за безопасността възникват след три значими аварии в атомни електрически централи (АЕЦ) — в Трий Маял Айлънд (САЩ) през 1979, в Чернобил (СССР) през 1986 и във Фукушима I (Япония) през 2011. Значителното радиоактивно замърсяване, съпътствало тези аварии, довежда до евакуации, повишаване заболяемостта от рак и икономически проблеми заради изплащането на обезщетения и разчистване на замърсените райони.

В дългосрочен план най-опасните ефектите (стохастични ефекти) вследствие на изпуснатата радиация от такива катастрофи са рак и малформации причинени от генетични увреждания. Тези стохастични ефекти все още влияят и ще продължават да влияят на бъдещите поколения.

Катастрофата във Фукушима демонстрира още веднъж печалните последствия от ядрени катастрофи. Около 30 страни в световен мащаб използват ядрена енергия, но след този инцидент Япония заявява плановете си да преустанови експлоатиранието на ядрени съоръжения до 2030 година. Германия и Швейцария също спират ядрената си мощност.

От друга страна, страни като Китай, Индия и Южна Корея гонят амбициозен прираст на производството на енергия от ядрени мощности. Тези страни строят все повече ядрени централи, за да удовлетворят енергийните си нужди.

Светът е разделен на две групи с оглед използването на ядрена енергия. Тези които експлоатират ядрени съоръжения казват, че ядрена енергия е чиста и постоянна, намалява въглеродните емисии, така че бъдещето е в нея.

В контраст, нациите обединени срещу ядрената енергия казват, че тя представлява заплаха за човечеството и околната среда. Най-голямата заплаха представлява радиацията, която е причина за мутации в живите организми, които могат да доведат

до много различни форми на инвалидност. Те вярват, че ядрената енергетика носи множество заплахи и, че недостатъците ѝ превъзхождат предимствата. Основната им опорна точка е сигурността.

Радиоактивните отпадъци от Ядрената енергетика представляват също така заплаха за човека. Те съдържат огромно количество от радиоактивни елементи, и трябва да бъдат подложени на радиохимична преработка, за да бъдат извлечени и конвертирани в по-малко опасни елементи, но за тези процеси са необходими и много пари.

Не трябва да се пренебрегва и вероятността някои нации експлоатиращи ядрени съоръжения да използват ядрените отпадъци получени в резултат на работата на централите в направата на ядрени оръжия, което пък поставя заплаха за бъдещия мир. Ядрените централи също така сами по себе си могат да бъдат уязвими цели на военни и терористични атаки.

Обществения гняв е още един проблем спъващ развитието на ядрената енергетика. Общият страх на обществото е усилен от спомени и в някои случаи от случващи се събития в ядрени централи и други ядрени съоръжения и от общата тенденция да свързваме всяка форма на радиация със всички неща включващи думата „ядрен“ в себе си, включително ядрените оръжия. Друга допринасяща причина за всеобщото подсилено чувство на безпокойство относно радиацията е липсата на надеждна, също така и достъпна информация и погрешното ѝ разбиране, което произлиза в следствие.

Производството на ядрена енергия е супер капитало-интензивно, изискващо милиони. Също така е и много проточителен процес изискващ много време и скъпи технологии.

Нациите подкрепящи ядрената енергетика вярват, че тя е най-сигурната и жизнеспособна алтернатива за безопасно производство на електроенергия. Те твърдят, че едни от най-важните предимства са намаляването на нуждата от фосили горива, изпускането на значително по-малки количества радиоактивност в сравнение с термичните централи, неповлияването от цените на петрола и газта както и високата производителност на процеса. Развиващите се държави се борят, за да удовлетворят все по-големите си и нарастващи енергийни нужди и много от тях не се справят. Тази пропаст между доставка и търсене кара някои от тях да поемат необходимите рискове и да използват ядрената енергия с цел да удовлетворят прекомерните си нужди.

## **1.2. Изхвърлена радиоактивност?**

Популярното схващане, че Ядрената индустрия е източник на голямо радиационно замърсяване на околната среда е вече лишено от фактологична обосновка. Досега се вярваше, че хората живеещи около ЯЕЦ страдат от редица заболявания свързани с радиоактивността изпусната от нея.

Въглицата междувременно се вярва, че са отговорни за множество други проблеми като инциденти в мините, киселинен дъжд и повишени въглеродни емисии, но не и за малформации свързани с радиация.

През последните няколко десетилетия, са направени серия от изследвания, за да се потвърдят тези стереотипи. Едни от изненадващите заключения са: отпадъкът произвеждан от термичните централи всъщност е по-радиоактивен от този генериран от техните ядрени събрата. Всъщност летящия прах изпуснат в околната среда от термична централа – отпаден продукт от изгарянето на въглицата носи на обкръжаващата среда близо 100 пъти по-голяма радиация от ядрена централа произвеждаща същото количество енергия.

Причината за това е съдържанието на уран и торий във въглицата, и двата от които са радиоактивни елементи. Те се срещат в много нищожно количество в

природата и във въглищата, което не представлява проблем. Но когато въглищата са изгорени и превърнати в летяща пепел, концентрацията на урана и тория се повишава близо 10 пъти над изходните им нива. Летящата уранова пепел понякога се просмуква в почвата и водата около централата и по този начин повлиява на отглежданите култури и на свой ред храната. Хората живеещи на около 0.8 – 1.6 километра радиус от централата могат да погълнат малки количества радиация. Летящата пепел също се отлага гробища и изоставени мини и кариери, бивайки потенциален риск за хората живеещи около тези места.

През 1978 Дж.П.Макбрайд в националната лаборатория в Оук Ридж (ORNL) и негови колеги изследват урановото и ториевото съдържание на летящата пепел от термични централи в Тенеси и Алабама. Те сравняват радиационния фон около централите с този около ядрени централи с кипящи реактори и реактори с вода под налягане.

Резултатът е: оценената радиация погълната от хората живеещи около тези централи е била равна и по-голяма на дозите на хората живеещи около ядрени съоръжения. Те установили, че хората живеещи около въглищни централи взимат по около 0.2 mSv радиация годишно. Това сравнено със средногодишната ефективна доза за човек от 2.8 mSv е нищожно, което довело до заключението, че здравния риск от термична централа е много минимален. Другите продукти на термичните централи като киселинния дъжд, серния диоксид и азотния оксид формиращ мъглата представляват по-големи рискове за здравето отколкото радиацията.

Тоест неприятните здравни ефекти от радиацията са минимални както от ядрени така и от термични централи, като тези от термичните имат тенденцията да са малко по-високи. Говорим за вероятност от 1 на милиард за ядрени централи и 1 на 10 милиона за въглищни централи.

С изключение на някои военни съоръжения и подобни споменати по-горе, никои други съоръжения, които изхвърлят изкуствени радионуклиди в природата не причиняват дози по-големи от 0.02 mSv на година на най-облъчените хора, нито пък спомагат за значително увеличаване на колективната доза. Средно, максималната ефективна доза от радиоактивни изхвърляния на изкуствени радионуклиди, изпуснати от източници различни от военни съоръжения, е около 0.14 mSv на година, а колективната ефективна доза е около 5000 man Sv на година или 0.001 mSv когато се осредни за цялото глобално население.

### **1.3. Източници на радиация?**

Резултатите от едно от последните резюмета на Научният комитет на обединените нации за ефектите от атомната радиация (UNSCEAR) е, че годишната средна ефективна доза на човек е от порядъка на 2.8 mSv общо. Над 85 % от тази стойност се дължи на естествени източници с около половината идващи от продуктите на радона в домовете ни. Медицинската диагностика възлиза на 14% от общата стойност, а всички изкуствени източници включително – замърсяването от тестовите с ядрено оръжие, потребителски продукти, излагане по време на работа и изхвърляния на РАО от ядрената индустрия – възлизат на по-малко от 1% от общата стойност.



Фигура 1. Дялово разпределени на средно-годишната ефективна доза

Колективната ефективна доза от излагане на йонизиращо лъчение по време на работа е около 14 000 MA Xv годишно за целия свят. Някои работници от определена индустрия могат да получат няколко mSv годишно. Около повече от 80% от тази колективна доза е от завишена естествена радиация и по-малко от 20% е от направени от човека източници. Средната за света доза от изкуствена радиация на работници е около 0.6 mSv, а за работници изложени на естествена радиация е 1.8 mSv. Комбинирайки тези цифри, общата глобална доза на средностатистически работник ще бъде 1.3 mSv годишно. Ако го разпределим на цялото население, това означава годишна доза от около 0.002 mSv, относително нищожно допринасяне към общата стойност от 2.8 mSv всички източници.

Таблица 1. Годишни дози дължащи се на изхвърляния от различни етапи на ядрено-горивния цикъл

Етап от ЯГЦ	Тип на изтичане	Най-изложени хора (mSv)	Колективна доза (man Sv)
Производство на гориво	По въздуха	0.01	350
	Течно	0.01	
Работа на реактора	По въздуха	0.001	380
	Течно	0.004	
Преработка на горивото	По въздуха	0.05	4500
	Течно	0.14	

#### 1.4. Сигурност?

Ядрената енергетика е предизвикала значително по-малко смъртни случаи при аварии от всички останали мащабни източници на електроенергия. Производството от въглища, природен газ и водноелектрически централи са причинили много повече смъртни случаи. Ядрената енергетика обаче е на първо място по предизвикани финансови щети — около 41% от стойността на всички нанесени материални щети е от ядрени аварии.

## Атомът: Най-безопасният Енергиен Източник



Фигура 2. Смъртност при различни енергийни източници

### 1.5. **Необходимост от Ядрената Енергетика.**

Катастрофата във Фукушима ускори извеждането от експлоатация на оставащите непокътнати от земетресението ядрени мощности с цел провеждане на стрес тестове и вземане на допълнителни предпазни мерки. Най-видимият резултат от това бе драматичното увеличение на консумацията на фосилни горива.

Института в Брекфру съобщава: „През януари 2012 вноса на нафта за Япония се увеличава със 165%, на суров петрол със 174%, на втечен природен газ с 39% и на въглища с 12%.“

Този факт прави изпуснатите за страната емисии с около 100 милиона тона по-високи на година. Политическите последствия от катастрофата във Фукушима са отлагане на планираните за строеж 18 ГВ нови ядрени мощности. С повече от 90% от емисиите в Япония идващи от енергийния сектор, разширяващата се ядрена енергия заздравява своя глобален ангажимент още от самото си начало.

Как отговаря международното общество на това? Предоставя ли помощ на Япония за рестартиране на ядрената енергия и подновяване на планираните инвестиции?

Единственото, което получава Япония е огромна колективна доза от радиоактивност. В отговор Германия затваря осем от своите ядрени централи и възнамерява да затвори и останалите до края на 2022 година. До март 2011 делът на Германия от ядрена енергия е около ¼ експлоатирайки 17 реактора. Сега тази цифра е 18%. Цената на замяна на ядрените мощности със възобновяеми е оценена от правителството им на около 1000 милиарда евро. Социалистите на Франция обещават да намалят дяла на ядрената енергетика от 80 % на 50%. САЩ реагират чрез 'изключване' на 2.2 GW от Калифорнийски ядрени блокове, увеличавайки по този начин емисиите с 35 %. Организации за опазването на околната среда усилват истории от типа 'Края на Япония'. Австралийските 'зелени' рядко формират изречение, което включва думата 'ядрен' без да включват думата 'рак'.

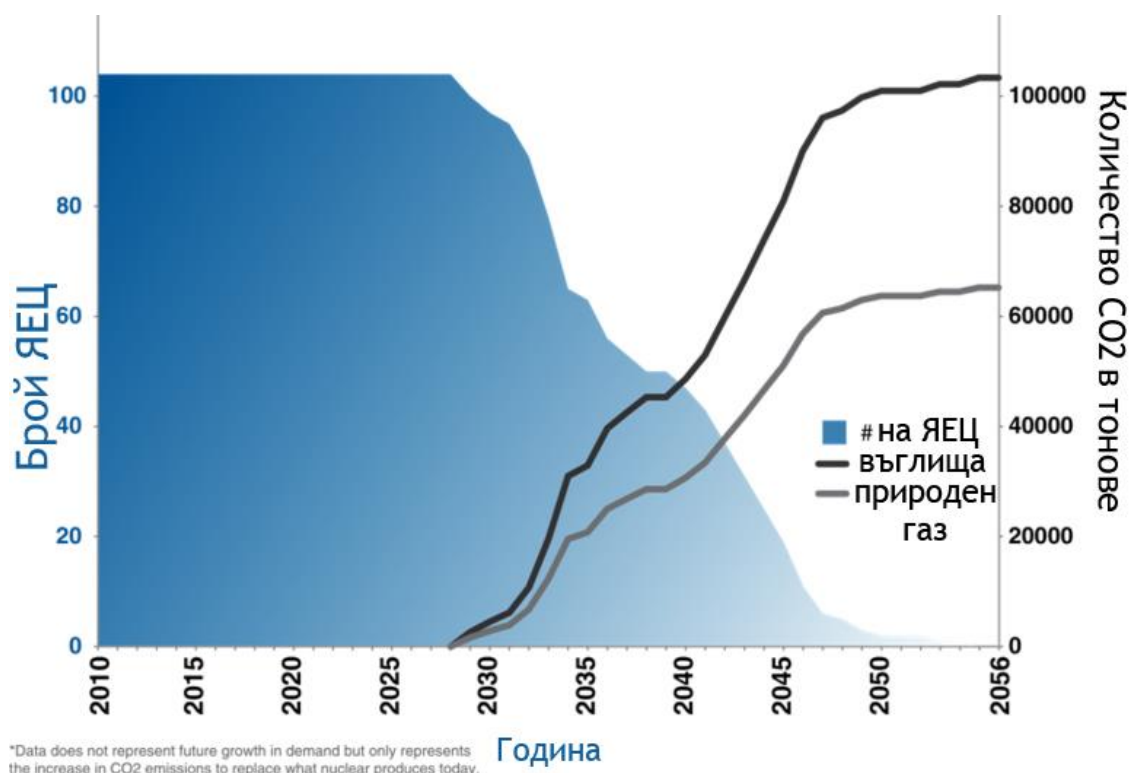


В Австралия през 1960, 19% от електричеството идвало от възобновяеми източници, сравнено със 7% днес. Растежа във възобновяемите източници е бил изпреварен от растежа на централите използващи фосилни горива. Забраната на ядрена енергетика през 1999 оставя без достоен съперник въглищата и газта.

В Съединените щати делът на ядрената енергетика е около 20 %. Ако се намали, то ще бъде заместени от фосилни горива. Замърсяването от термични централи е причина за смъртта на 30 000 американци годишно. Ще бъдат нужни десетки години за технологиите на възобновяемите източници да достигнат до нивото необходимо, за да заместят енергията идваща от деленето на ядрата.

Декарбонизацията (обезвъглеродяване) на Австралийското електричество например до 2050 ще изисква добавка от 10ТВ-часа нова чиста енергия, всеки ден, от 2015. Опитвайки това със всичко друго освен с ядрена енергия, ще бъде невъзможно.

Без значение коя нация, когато ядреното производство се свие, въглищното се увеличава, а въглеродните емисии скачат. Където ядрената енергетика се разширява, фосилното изгаряне бива заменяно. Просто е. Докато не построим огромни количества от чиста енергия, които да заменят огромни количества от мръсна енергия, нашите емисии ще растат. И никакво количество от преминаващи пари под формата на емисии не може да промени това.



Фигура 3. Въздействие на спирането на ЯЕЦ върху въглеродните емисии

## **2. Ядрената Енергетика в България**

### **2.1. АЕЦ „Козлодуй“**

АЕЦ „Козлодуй“ е единствената действаща ядрена електроцентрала в България. Разположена е на брега на река Дунав, на 5 км източно от град Козлодуй и на 200 км северно от София. Това е единствената българска атомна електроцентрала и най-голямата в региона. Строежът ѝ започва на 6 април 1970 г., а официалното откриване е на 4 септември 1974 г. Към момента в АЕЦ „Козлодуй“ работят само 5-ти и 6-ти реактори с общ капацитет 2 000 MW. Те са изградени съответно през 1987 и 1991 г. и са от типа ВВЕР-1000/В-320. Централата е собственост на Българския енергиен холдинг.

През 2003 г. след натиск от Европейския съюз (ЕС) е стартирана процедура за спиране на четирите реактора с мощност 440 MW, тъй като не отговарят на европейските стандарти за сигурност. През 2004 г. са затворени 1-ви и 2-ри блок на АЕЦ „Козлодуй“, а в началото на 2007 г. са затворени и 3-ти и 4-ти блок. Пети и шести блок на АЕЦ „Козлодуй“ все още работят. Мощностите затворени досега са 1760 MW, а работещите и в момента са 2000 MW.

Реакторите в Козлодуй са от тип ВВЕР – 1000/В320 и са второ поколение реактори с вода под налягане. Това е двуконтурен реактор, работещ с топлинни (бавни) неутрони. За гориво се използва слабо обогатен уран. Топлоносителят е лека вода под налягане, която изпълнява и функцията на забавител на неутроните. Почти всички световни производители имат свои разработки в мощностния диапазон от 440 до 1300 MW. Общоприето е, че това е най-безопасния и надежден реактор за енергийни цели и затова с него са оборудвани повечето ядрени централи по света. От този тип са и реакторите в АЕЦ „Козлодуй“ (ВВЕР-440 и ВВЕР-1000).

Характерните особености на този тип реактори са:

- Усъвършенствана локализираща система
- Система за понижаване на налягането в контейнента (барботажно-вакуумна система)
- Максимално проектна авария – скъсване на тръбопровод с максимален размер (ГЦП)
- 3x100% резервираност на системите за безопасност
- Подобрена противопожарна система
- Много от недостатъците на ВВЕР-440/230 са отстранени
- Усъвършенствана локализираща система
- Пасивна система за охлаждане на активната зона
- Усъвършенствана система за управление и защита
- РЦУ
- Повишена сеизмична устойчивост
- Повишена устойчивост на външни въздействия

### **2.2. АЕЦ „Белене“**

АЕЦ „Белене“ е атомна електрическа централа (АЕЦ) в строеж на 3 км от град Белене и на 11 км от град Свищов. Замислена е още през 80-те години, но реализирането ѝ е замразено през 1990 г, а опитите за продължаване на проекта са неуспешни и през 2012 г. проектът е спрял с решение на парламента. През 2013 г.

дори е проведен национален референдум относно развитието на ядрената енергетика в България.

Изграждането на АЕЦ „Белене” включва два блока с мощност 1000 MW по проект А92 от трето поколение и са от тип ВВЕР-1000/В466. Разработен от водещи проектантски и инженерни организации въз основа на натрупаните знания и опит в проектирането, изграждането и експлоатацията на АЕЦ с реактори ВВЕР, проектът А-92 е лицензиран от регулиращите органи в страната-производител и отговаря на съвременните национални изисквания по безопасност, както и на препоръките на МААЕ, изискванията на международната консултативна група INSAG и др.

Това е двуконтурен реактор, работещ с топлинни (бавни) неутрони. За гориво се използва слабо обогатен уран. Топлоносителят е лека вода под налягане, която изпълнява и функцията на забавител на неутроните. Третото поколение ядрени реактори са в основата си реактори – поколение II с еволюционни подобрения в дизайна. Тези подобрения са в областта на горивната технология, топлинната ефективност, модулния тип конструкция, системите за безопасност (особено използването на пасивни за сметка на активни системи) и стандартния дизайн. Подобренията в това поколение реактори се целят в по-дълъг срок на експлоатация, обикновено е 60 години, с потенциал да се надвишат тези 60 години. Друга характерна особеност на тези поколения реактори е увеличеното КПД (36%), увеличени пасивни функции, подобрена система за аварийно охлаждане на зоната, добавена е система за охлаждане на контейнента, подобрена защита срещу външни въздействия, 4-канални системи за безопасност, Понижени разходи за изграждане.

Това е еволюционен проект, който използва най-доброто от натрупания десетилетен опит в проектирането и експлоатацията на леководни реактори и го съчетава с най-съвременни технически решения и уникални нововъведения. В реакторната инсталация на проекта за АЕЦ „Белене” се използва реактор с вода под налягане с четири циркулационни кръга. Номиналната топлинна мощност е 3010 MW, а нетната полезна мощност - 1011 MW. Процесът на презареждане на горивото трае 14 дена, а плановият годишен ремонт е редуциран и трае между 20 и 50 дена в зависимост от обема на текущите ремонтни дейности.

Световният опит при експлоатацията на ядрени централа показва, че най-ефективните съвременни системи за безопасност се основават на максимално намаляване на зависимостта от човешка намеса, като възможността за противодействие на грешките на оператора се залага още в конструкцията на реактора. Основните преимущества на проекта А 92 спрямо съществуващите проекти на АЕЦ с реактори ВВЕР от предходното поколение (У-87) се състоят в това, че основните функции на безопасността се изпълняват независимо една от друга от две различни по принцип на работа системи. Пасивните системи за безопасност практически работят без външно захранване и не изискват намеса на оператора. Активните системи за безопасност са двойно резервирани, което значително намалява вероятността за неоткрити откази.

Като специфична черта на реактор от трето поколение, А 92 предвижда и специален уловител за разтопената активна зона за случаи на тежки аварии. По този начин се предотвратява възможността за нарушаване целостта на херметичната обвивка и попадане на силно радиоактивна маса в околната среда. Разтопената активна зона ще бъде задържана и охладена от вливащата се на гравитационен принцип в уловителя вода, като водιοзточниците за целта се намират в самата сграда на реактора и са достъпни даже при пълно източване на централата. Тази система е

снабдена с оригинални технически решения без аналог в световната практика и позволява АЕЦ Белене да се справи дори с най-тежката възможна авария, с вероятност за възникване не по-често от един път на сто хиляди години. Благодарение на тази система вероятността от изтичане на радиоактивност извън границите на централата е не по-голяма от веднъж на един милион години.

При избрания проект за АЕЦ Белене ядреното гориво се използва по-ефективно в сравнение с леководните реактори от второ поколение. Това позволява с 25% по-малко количество гориво да се произведе 20% повече електроенергия. В същото време постигнатата голяма дълбочина на изгаряне на горивото води до намаляване с 50% на годишното количество отработило ядрено гориво.

### **3. Безопасна ли е Ядрената енергетика в България?**

#### **3.1. Европейски Стрес-тестове**

След ядрената авария в японската атомна централа Фукушима на 11 март 2011 г. на дневен ред бе поставена необходимостта от спешни мерки за оценка на текущия статус и готовността на ядрената централа в Козлодуй за осигуряване на безопасността при екстремни въздействия. На 24 март 2011 г. Агенцията за ядрено регулиране поиска от оператора да бъдат предприети предварителни краткосрочни действия, които се отнасят до прилагането на извънредни проверки и верификация на работоспособността на КСК свързани с безопасността. Тези действия следваше да се извършат до приемането на единни изисквания за всички ядрени централи в ЕС, станали по-късно известни като "стрес тестове". АЕЦ Козлодуй изпълни предписаните мерки и докладът с резултатите от извършените проверки бе представен в АЯР на 10 юни 2011 г.

В изпълнение на изискванията на АЯР определени с писмото от 31.05.2011 г. до изпълнителния директор на АЕЦ Козлодуй на 01 юни 2011 г. операторът започна провеждане на стрес тестове, като целенасочена преоценка на запасите по безопасност на съоръженията в АЕЦ Козлодуй при бедствени природни събития, които водят до тежки аварии". Преоценката включва всички ядрени съоръжения на площадката – блокове от 3 до 6, включително басейните за отлежаване на касети, хранилище за съхранение на отработеното ядрено гориво (ХОГ) и сухо хранилище за съхранение на отработеното ядрено гориво (СХОГ).

"Стрес тест" се дефинира като целенасочена преоценка на запасите по безопасност на АЕЦ с оглед на събитията, възникнали на АЕЦ Фукушима, в резултат на въздействието на екстремни природни явления, изискващи изпълнението на функциите за безопасност на централата и довели до възникване на тежка авария.

Най-общо "стрес тестът" се състои в определяне на готовността на АЕЦ да реагира на последствията от възникването на екстремни природни явления (като правило, свързани със загуба на значителна част от оборудването и системите на АЕЦ). "Стрес тестът" трябва да обобщи реакцията на централата и ефективността на превантивните мерки, като се установи всяко потенциално слабо място и прагов/граничен ефект (cliff-edge effect), за всяка от разглежданите екстремни ситуации. Това е необходимо, за да се оцени устойчивостта на приложения подход на защита в дълбочина, адекватността на съществуващите мерки за управление на аварии и да се определят потенциалните подобрения в безопасността, както технически, така и организационни (като процедури, човешки ресурси, организация на

аварийното реагиране или използване на външни ресурси). "Стрес тестовете" могат да се обобщят, както следва:

- определяне на мерките, приети в проекта на централата и съответствието на централата на проектните изисквания по отношение на външните въздействия;
- определяне на възможностите на АЕЦ да реагира на надпроектни събития, т.е. оценяване на устойчивостта на АЕЦ и идентифициране на потенциалните слаби места;
- определяне на възможните мерки за увеличаване нивото на устойчивостта на компонентите и КСК, с цел увеличаване на общата устойчивост на централата срещу екстремни природни явления.

### **3.2. Стрес-тестове - Козлодуй**

#### *1) Оценка на Централите по отношение на земетресение и екстремни метеорологични условия*

#### **Основно изискване прилагано в тази специфична област**

Безопасното спиране трябва да бъде гарантирано при условията на SSE (Safe Shutdown Earthquake – Безопасно спиране след земетресение). Това означава, че функциите спиране и охлаждане трябва да бъдат гарантирани по време на и след силно земетресение, и изискват определянето на (SSEL) списък с оборудването за безопасно спиране на реактора.

#### **Изводи и пропоръки от партньорската проверка, специфични за тази област**

Определянето на проектните основи е обяснено и е до голяма степен приемливо, съгласно международните стандарти. Налице е задоволително доказателство, че българският лицензиант спазва изискванията за проектни основи. В процес на завършване са допълнителни стъпки за приключване квалификацията на някои видове оборудване в съответствие с актуализираните изисквания.

Капацитетът на над проектната основа е оценен и количествено остойностен на вероятностна основа. Представено е доказателство, че са взети предвид запасите за прагови ефекти и потенциалните специфични подобрения.

Разгледана е защитата на мобилно оборудване от външни опасности. Що се отнася до условията на съхранение, защитната конструкция на мобилния генератор е лека и няма възможност да причини повреда в случай на земетресение. Планът за действие разглежда доставка на два допълнителни мобилни генератори. Тъй като тези мобилни генератори ще се доставят за надпроектни събития, те трябва да бъдат адекватно защитени срещу такива събития.

#### *2) Оценка на Централата свързана със загуба на електрозахранване и загуба на краен погълтател*

### ***Основно изискване прилагано в тази специфична област***

Изискванията приложими към електрическите системи на централата се съдържат в Наредбата за осигуряване на безопасността на ядрени централи, публикувана в държавен вестник през юли 2004 и изменена през юни 2008 г. Тази наредба определя изискванията към проектиране на системите важни за безопасността, в т.ч. и допълнителните системи за безопасност и системите осигуряващи крайния погълтител на топлина. Нормативните изисквания към проекта на централата и оценката на безопасността са напълно хармонизирани с референтните нива на WENRA за действащи реактори.

### ***Заклучения на партньорската проверка и специфични препоръки за тази област***

Има резервираност и разнообразие във възможностите за електрозахранване и разхлаждане, които осигуряват функциите по безопасност. Тези резервни съоръжения бяха посетени по време на посещението на площадката. Бе установено, че те са добре управлявани.

Освен това, има планове за повишаване устойчивостта на системите, за справяне с пълно обезточване на площадката и загуба на краен погълтител.

Пълно разреждане на акумулаторните батерии, би могло да представлява граничен (прагов) ефект в случай на пълно обезточване. Затова, независимо, че акумулаторните батерии имат 10 часов период на разреждане, бе предложено да се осигури възможност за тяхното повторно зареждане от МДГ.

Както е заявено в Националния доклад на България, Раздел 5.1.2 Мерки за подобряване на устойчивостта при загуба на електрозахранване, „Два нови МДГ ще бъдат доставени, а съществуващият ще остане в резерв за останалите съоръжения на площадката; Осигурено е зареждане на една от акумулаторните батерии на системите за безопасност от МДГ;“. Действително изглежда, че това са правилните коригиращи дейности.

### ***3) Оценка на Централата по отношение на управление на тежки аварии***

#### ***Основни изисквания, приложени в тази конкретна област***

Изискванията, свързани с управлението на тежки аварии, са част от две български наредби: „Наредба за осигуряване на безопасността на атомни електроцентрали“ и „Наредба за аварийно планиране и аварийна готовност, в случай на ядрена и радиационна авария“. Изискванията включват вероятностните критерии (за съществуващи централи: честотата на провеждане на активната зона  $<1E-4$ /година, честота на ранно изхвърляне  $<1E-5$ /година), проектни условия, условия за СОАИ, аварийно планиране и аварийна готовност на и извън площадката. Аварийните инструкции са също споменати в изискванията, цитирани в Националния доклад на България (по отношение на верификация и валидация, и поверка на актуалния статус), и изглежда, че покриват РУТА, въпреки че този термин не се споменава изрично.

Наредбите също гласят, че ако анализите покажат, че вероятностните критерии не са изпълнени, трябва да се предприемат допълнителни технически мерки.

### **Заклучения от партньорската проверка и препоръки в областта**

Националният доклад на България осигурява добър преглед на темата за управление на тежки аварии на площадката на АЕЦ Козлодуй. Нормативната база в България, по отношение управлението на тежки аварии, като цяло, е ефективна и детайлно разработена. Тя е напълно хармонизирана с референтните нива на WENRA за реакторите в експлоатация. Референтните нива са в процес на въвеждане в централата. В някои случаи, информацията представена в Националния доклад на България, не е достатъчно детайлна; това беше установено в съответните раздели на доклада от проверката. Въпреки това, липсващата информация бе предоставена, по време на посещението в страната. Няколко дейности се препоръчват в допълнение към планираното до момента в резултат на стрес-тестовете.

Важен въпрос, във връзка с управлението на тежки аварии, е в какви условия прилагането на различните мерки за управление на тежки аварии е изпълнимо, напр. при евентуална липса на някои хардуерни средства за смекчаване на последствията от тежки аварии. Обхватът на партньорската проверка не позволи систематичен преглед в това отношение. Не стана ясно до каква степен е извършена систематизирана оценка по тези въпроси, до сега в България.

Разработената детайлна програма, съдържаща всички изпълняващи се в момента или планирани подобрения, трябва да бъде контролирана и редовно актуализирана, за да гарантира добро координиране и хармонизиране на всички дейности и тяхното своевременно изпълнение.

Следните препоръчани дейности, също трябва да бъдат включени в тази програма.

- Въпросът за управлението на голям обем течни изхвърляния при тежка авария трябва да бъде допълнително проучен – трябва да се оцени дали наличните мерки са достатъчни.
- Приоритет трябва да се даде на оценките и анализите за смекчаване на риска свързан с водорода, и предотвратяване стопяването на фундамента.
- Последствията върху управлението на тежки аварии, от евентуални поражения за националната инфраструктура, в резултат на земетресения, трябва да бъдат допълнително проучени.
- Едновременните аварии със стопяване на АЗ/повреда на горивото в различни блокове/реактори на площадката трябва да бъдат допълнително проучени и оценени по отношение на взаимодействията и произтичащите изисквания към управлението на тежки аварии.
- Трябва да бъдат разработени РУТА, напълно покриващи състоянията на спряна реактор, включително тези с разуплътнен реактор.
- Аварии в БОК трябва да бъдат подробно анализирани (напр. като част от планираната дейност по разработване на РУТА за БОК).

### **3.3. Стрес-тестове - Белене**

#### **Окончателен доклад за допълнителна оценка на безопасността „Стрес Тестове“ за АЕЦ „Белене“**

##### **1) ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ**

Оценка на адекватността на проектните основи на базата на резултатите от проведените анализи (в периода от 1970 до 1995 г.) за изясняване на

сеизмотектонската обстановка и за оценка на максималното ускорение и в съответствие с препоръките в IAEA, Safety Guide 1991, Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting, Safety Series No 50-SG-S1 (Rev.1), Vienna за площадката на АЕЦ „Белене“ са предложени максимални хоризонтални ускорения от 0.24 g за SL-2 (период на повторяемост 10000 г.). Одобрената проектна база включва максимални ускорения на свободно поле и проектен спектър на реагиране и е направена препоръка за допълване на проектната база със спектри на реагиране с еднакъв хазарт, които са необходими за провеждане на ВАБ, който е неотменна част от проектите на всяка съвременна атомна централа.

В периода след 1995 г., не са регистрирани промени в сеизмотектонската обстановка, формираща сеизмичния хазарт за площадката на АЕЦ Белене. Оценката на адекватността на съществуващите анализи основно трябва да бъде свързана с резултатите от новите, допълнителни геоложки и неотектонски изследвания на регионалната зона на площадката на АЕЦ, проведени през 1998-1999 г., обогатената база данни за сеизмичните събития в региона, препоръките на МААЕ, направени по време на мисията през 1997 г., промените в нормативната база.

### *Заключение относно адекватността на сеизмичните проектни основи на АЕЦ „Белене“*

Сеизмичните проектни основи на АЕЦ „Белене“, като методика на определянето им и периоди на повторяемост за различните сеизмични нива, отговарят на изискванията на българските и международните нормативни документи. В сеизмичните основи липсват спектрите на реагиране с еднакъв хазарт, необходими за провеждането на Вероятностен анализ на безопасността.

Проведените допълнителни изследвания за актуализация на сеизмичния хазарт и генериране на равнохазартни спектри на реагиране потвърждават оценките на сеизмичния хазарт на площадката, направени до сега и послужили за нейното лицензиране. Актуализираните максимално сеизмично ускорение на свободно поле и максималните спектрални ускорения се различават незначително от проектните и показват запас по отношение на изискването от Техническото задание да бъде доказана сигурността на централата за сеизмично ускорение с 40 % по-високо от проектното.

Генерираните спектри на реагиране с еднакъв хазарт дават възможност за провеждане на сеизмичен ВАБ по методика, съобразена с изискванията на актуалните нормативни документи.

## **2) НАВОДНЕНИЯ**

Проектът за АЕЦ в района на Белене е съобразен с особеностите на терена, като е изградена стратегия за позиционирането на съоръженията на централата върху него. Релефът в границите на площадката на АЕЦ е практически равнинен, абсолютните коти на естествения релеф са 20,0 – 22,0 m.(по БВС) Планировъчната кота на основната площадка е 28,50 m и 26,50 m в района на строително-монтажната база. Издигането на площадката е извършено чрез намяване на материал, взет от руслото на река Дунав. В схемата на генералния план се предвижда изграждане на АЕЦ, състояща се от два енергоблока с отчитане на възможно изграждане на допълнителни блокове в бъдеще.



За защита от наводнения заливната тераса е обкръжена с дига. Проектната планировъчна кота на площадката на АЕЦ „Белене“ е 28,50 m, а котата на защитната дига е от 25,40 до 26,00 m.

#### *Оценка на запасите по безопасност срещу наводнение*

Проектната кота на площадката на централата осигурява незаливането ѝ при най-неблагоприятни условия от наводнение, предизвикани от събития по течението на река Дунав. Доказаната максимална кота на водно ниво при АЕЦ „Белене“, в следствие на големи водни количества по течението на реката, се достига със значително закъснение във времето (десетки часове). Във всички случаи това време е използваемо за организационни и физически мерки за подsigуряване на условията за защита на централата.

### **3) ЗАГУБА НА ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНЕ И ЗАГУБА НА КРАЕН ПОГЛЪТИТЕЛ НА ТОПЛИНА**

#### **- Ядрени реактори**

Автономност на аварийното електрозахранване се постига чрез работата на блока при захранване от ДГ е гарантирана в продължение на 72 часа поради следните особености:

- всеки ДГ има собствени автономни спомагателни системи;
- за всеки ДГ са предвидени два междинни резервоара за запас на дизелово гориво с вместимост от по 75 m<sup>3</sup>, осигуряващи работата на ДГ в продължение на не по-малко от 72 h при номинална мощност.
- маслената система е разчетена да работи в автономен режим най-малко 72 часа.
- На площадката е предвидено съхраняване на допълнително количество дизелово гориво в централния склад за дизелово гориво (000UEJ) с обем 6000 m<sup>3</sup>, (3500 m<sup>3</sup> за пускова котелна и 2500 m<sup>3</sup> за ДГ), което осигурява допълнително запас за 16,9 денонощия на всички 10 броя ДГ (този разчет е направен при разход 35,46 m<sup>3</sup>/ден за един ДГ. При работа само на ДГ от системите за безопасност (8 броя) допълнителния запас е 21 денонощия.

Предвижда се допълване на резервоарите за запас на гориво от автоцистерни и по тръбопроводи от склада за запас на дизелово гориво с осигуряване на количествено и качествено приемане на горивото. Възможно е и доставяне на гориво от складове, разположени извън АЕЦ.

#### **- Басейни за съхраняване на отработило гориво**

##### Загуба на електрозахранване

В проекта на АЕЦ „Белене“ са предвидени няколко системи за отвеждане на остатъчното енергоотделяне от БОК във всички режими на работа на блока.

В аварийни режими с пълна загуба на електрозахранване се предвижда охлаждането на отработилото ядрено гориво да става чрез подгръване и изкипяване на запасното количество топлоносител в БОК (над нивото на горивните касети).

Процеса на изпаряване на резервите количества топлоносител протичат в условията на атмосферата под херметичната обвивка.

Извършен е допълнителен анализ от Архитект-инженера на проекта на условията в басейна за отлежаване на отработило гориво в случай на дълговременна, пълна загуба на променливотоково захранване на централата (повече от 24 часа).

Анализът на басейна за отлежаване на отработило гориво (БОК) е проведен за следните случаи:

- случай 1 – със следните консервативни допускания: 163 горивни касети преместени от реактора в БОК след 3 дни (аварийно изваждане) и 51 горивни касети, преместени от реактора в БОК след 30 дни (планово презареждане). Общата мощност на остатъчното енергоотделяне е 18.289 MW към начално ниво на водата в БОК 18.355 m, температура на водата в БОК 60 °C и налягане 0.1MPa.
- случай 2 – допълнителни пресмятания със следните допускания по подхода на „най-добра оценка“: реакторната инсталация е в условия на нормална експлоатация преди започване на презареждане, в малкия отсек има разположени 214 горивни касети със срок на съхранение от 1 до 4 години. Общата мощност на остатъчното енергоотделяне в малкия басейн е 0.700 MW, температура на водата в БОК е 60 °C и налягане 0.1MPa.

Резултатите от анализите показват, че:

- Времето за достигане до оголване на горивните касети в БОК – запас от 28 часа при условие, че всичкото отработило (с време на съхранение от 1 до 3 години) и всичкото гориво от активната зона на реактора е преместено в БОК (мощност на остатъчното енергоотделяне 18.289 MW). Преместването на касетите от реактора в БОК е станало 3 дни след аварийното спиране на реактора. Реактора е работил 30 дни на пълна мощност след планово, годишно презареждане на активната зона;
  - Времето за достигане до оголване на горивните касети в малкия отсек в БОК (мощност на остатъчното енергоотделяне е 0.7 MW) е 626 h, когато началното ниво в БОК е 18.355 m (по Технологичен регламент блока не може да работи при по-ниско ниво, тъй като БОК съдържа допълнителните 750 m<sup>3</sup> запас от вода за активните системи за безопасност).
  - Времето за достигане до оголване на горивните касети е 174 h, когато началното ниво в БОК е 11.135 m (ниво на водата по време на ремонт на обшивката на БОК, следователно блока е в режим на спряно състояние за презареждане и ремонт).
- **Хранилище за сухо съхраняване на отработило гориво**

Загуба на електрозахранване

Не оказва влияние при съхраняване на горивото в контейнери, охлаждаани с въздух.

#### **4) УПРАВЛЕНИЕ ТЕЖКИ АВАРИИ**

##### ***а. Поддържане на целостта на херметичната конструкция след сериозна повреда на горивото (стопяване на активната зона)***

Проекта на АЕЦ „Белене“, чрез активните и пасивни системи за безопасност, е елиминирал аварийните последователности с плътен първи контур (аварии без изтичане), които да могат да доведат тежки аварии. Поради тази причина достигането до последователности на разтапяне на горивото при високо налягане се счита за хипотетично. Времето за което налягането в първи контур се понижава под  $10\text{kg/cm}^2$ , при пълно обезточване на блока и работа на СПОТ е 2,4 часа.

В проекта на АЕЦ „Белене“ са предвидени различни технически средства, осигуряващи понижаване на налягането в първи контур в процеса на аварията. При наличие на променливотокови източници на захранване функции на такова устройство изпълнява системата за аварийно разхлаждане на парогенераторите. При надпроектни аварии с пълна загуба на променливотоковите източници на захранване системата за пасивно отвеждане на топлината осигурява понижаване на налягането в първи контур.

Съгласно резултатите от ВАБ първо ниво за АЕЦ „Белене“ всички сценарии, които довеждат до тежки аварии, и които имат значителен принос за честотата на повреда на активната зона, протичат при ниско налягане.

При малко вероятни аварии с пълна загуба на средствата за отвеждане на топлината по втори контур, за понижаване на налягането в първи контур може да бъде използвана допълнителната линия за управление на импулсно-предпазните клапани на компенсатора на налягане.

По този начин, понижаването на налягането в първи контур протича или автоматично, чрез работата на системите за безопасност, или може да бъде осигурено чрез средствата за управление на аварията.

Освен това, в случай на пробив (разтопяване) на корпуса на реактора, стопилката попада не в подреакторната шахта, а постъпва в специално проектирана за тази цел система за задържане и охлаждане на стопената активна зона – Устройство за задържане и охлаждане на стопилката. По този начин, прякото нагриване на атмосферата в херметичната конструкция за АЕЦ „Белене“ на практика е изключено.

##### ***б. Мерки за намаляване на радиоактивните изхвърляния***

В проекта е представен анализ на радиационните последици от разгледаните варианти на тежка авария. В разчетите консервативно е прието, че възстановяването на електрозахранването се извършва 56 часа след началото на аварията, в продължение на който херметичната конструкция трябва да издържа на условията на тежки аварии без предприемане от оператора на мерки за защита на херметичната конструкция.

Отчита се работата на пасивната система за филтриране на пространството между първичната и вторична херметична конструкция.

Преминаването на аварията в тежка фаза се развива извън границите на посочения времеви интервал в случай на непредприемане на мерки за възстановяване на източниците на електрозахранване за собствени нужди на АЕЦ.

Тежката авария не води до нарушаване на целостта на херметичната конструкция.

Проверено е изпълнението изискванията по отношение на пределните изхвърляния. Резултатите от анализа показват, че се изпълняват изискванията от Техническото задание:

#### **4. Изводи и заключения**

Резултатите от стрес-тестовите и на АЕЦ „Козлодуй“ и проектът „Белене“ потвърждават високото ниво на безопасност на ядрената енергетика в България. Установено е, че те отговарят съвременните национални изисквания по безопасност, както и на препоръките на МААЕ, изискванията на международната консултативна група INSAG и др.

След серия от изчисления, проверки и дори симулация на скъсване на стените на сръбските електроцентрали „Железни врата“-1 и „Железни врата“-2 анализите на експертите показват, че АЕЦ „Козлодуй“ е с високо ниво на издръжливост при земетресения, наводнения и евентуални аварии, причинени от прекъсване на електрозахранването.

#### ***Необходимост от подобрения?***

В съобщението на Европейската комисия относно резултатите от ядрените стрес тестове (4 октомври 2012 г.), въз основа на доклад на ENSREG се казва, че:

- Нивата на безопасността на атомните електроцентрали в Европа като цяло са високи и няма АЕЦ, които да трябва да бъдат затворени от съображения за безопасност.
- Установена е необходимост от съществени и осезаеми подобрения за почти всички атомни електроцентрали.
- Що се касае до нужните подобрения, всички 14 държави-членки с ядрени централи и Швейцария вече са подготвили национални планове за действие, които включват графици за изпълнение. Тези планове ще бъдат рецензирани от националните екипи в края на април 2013 г. Европейската комисия и ENSREG ще прегледат състоянието на изпълнението на препоръките до юни 2014.

В няколко държави-членки процедурите за подобрения вече са започнали. Тези работи дейности включват например:

- Прилагане / подобряване на сеизмичната апаратура
- Оценка на риска от сеизмично индуцирани наводнения и пожари
- Укрепване на структурите срещу екстремни метеорологични явления
- Укрепване защитата от наводнения, укрепване на диги
- Въвеждане на резервно подаването на охлаждаща вода от външно мобилно оборудване
- Въвеждане на мобилни дизелови генератори

#### ***Кога ще бъдат завършени подобренията?***

Крайният срок на 2015 г. следва да се разбира като индикативен срок, даден от Комисията на държавите-членки, за да им напомня за важността на реализацията на препоръките и да ги насърчи да ги осъществят възможно най-бързо. Някои от необходимите инвестиции обаче със сигурност ще отидат отвъд 2015 г.

## ***Перспективи?***

На първо място, това е необходимостта от изработването на нова дългосрочна национална енергийна стратегия например до 2050 г., която да отчете основните световни тенденции в енергетиката, както и възможностите за развитие на енергийния микс у нас. Ядрената ни енергетика трябва и за в бъдеще да присъства в енергийния микс на страната ни, но следва внимателно да преценим, как точно ще развиваме нови ядрени мощности, кога да става това и какви да бъдат те

Основните показатели, определящи по-нататъшното развитие на световната ядрена енергетика и в частност на енергетиката в България са: безопасността на ядрените съоръжения и себестойността на произведената в тях електроенергия. „Независимо колко безопасни са реакторите първо, второ и трето поколение, независимо колко ефективни са в перспективата на тяхната дългосрочна експлоатация, това са много скъпи съоръжения, много трудни за финансиране, както много трудни и за изграждане. Освен това те произвеждат и значителни количества отработено гориво и радиоактивни отпадъци, управлението на които е много скъпо. Ето защо удължаването срока на експлоатация на енергоблокове 5-ти и 6-ти в АЕЦ Козлодуй е без алтернатива.

### **Литература:**

- [1] Clearance Levels for Radionuclides in Solid Materials: Application of Exemption Principles; Interim Report for Comment, IAEA-TECDOC-855, 1996
- [2] Radiation, people and environment, IAEA, 2004.
- [3] Radiation and Health, T.Henriksen, H. Maillie, Taylor & Francis, 2003
- [4] Benjamin K. Sovacool. A preliminary assessment of major energy accidents, 1907–2007
- [5] Декларация на ENSREG от 13 май 2011
- [6] „Stress tests” specifications, Proposal by the WENRA Task Force, 21 April 2011
- [5] <http://www.mi.government.bg/bg/themes/yadrena-energetika-351-288.html>
- [6] <http://www.theaustralian.com.au/national-affairs/opinion/lets-get-real-nuclear-is-the-only-option/story-e6frgd0x-1226767324136#>
- [7] <http://psucollegio.com/2012/09/is-nuclear-energy-safe-enough/>
- [8] <http://uk.reuters.com/article/2011/05/30/us-germany-nuclear-idUKTRE74Q2P120110530>
- [9] <http://www.scientificamerican.com/article/coming-clean-about-nuclear-power/>
- [10] [http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c24/page\\_168.shtml](http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c24/page_168.shtml)
- [11] [http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/strona\\_konferencja\\_EAE-2001/15%20-%20Polenp~1.pdf](http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/strona_konferencja_EAE-2001/15%20-%20Polenp~1.pdf)
- [12] <http://www-958.ibm.com/software/data/cognos/manyeyes/visualizations/deaths-per-twh-by-energy-sources>
- [13] <http://www.greentech.bg/archives/38938>

### **Автор:**

Маг.инж. Костадин Иванов Зашев, Технически Университет – София, катедра Топло и ядрена енергетика, k\_zashev@mail.bg