



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Διπλωματική Εργασία

Κυριάκος Νικολαΐδης

ΑΕΜ: 1806

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2020



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Διπλωματική Εργασία

Κυριάκος Νικολαΐδης

ΑΕΜ: 1806

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2020



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**STUDY ON THE CONDITIONS FOR DEVELOPING NUCLEAR  
ENERGY AND TECHNOLOGY IN GREECE**

Diploma Thesis

Kyriakos Nikolaidis

AEM: 1806

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

Volos 2020

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική εργασία που ακολουθεί, με τίτλο «Μελέτη για τις προϋποθέσεις ανάπτυξης πυρηνικής ενέργειας και τεχνολογίας στην Ελλάδα» αποτελεί τον επίλογο των σπουδών μου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, το οποίο μου προσέφερε γνώσεις τόσο στον τομέα της ενέργειας όσο και στον τομέα των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το ανθρώπινο δυναμικό της σχολής που προσπάθησε να μεταλαμπαδεύσει τις γνώσεις του σε εμένα αλλά και σε όλους τους φοιτητές της σχολής και να μας παρέχει χρήσιμες συμβουλές κατά τη διάρκεια των σπουδών μας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή, Δημήτριο Μπαργιώτα ο οποίος με εμπιστεύθηκε να αναλάβω ένα τέτοιο θέμα για τη διπλωματική μου εργασία και να πορευθούμε μαζί μέχρι και την ολοκλήρωσή της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αρραβωνιαστικιά μου και την οικογένεια μου, οι οποίοι μου στάθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου πορείας και πάντα με στήριζαν μέχρι να καταφέρω να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ  
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο Δηλών



(Υπογραφή)

Κυριάκος Νικολαΐδης

Ημερομηνία 17/2/2020

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάζονται οι προϋποθέσεις που απαιτούνται για την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας στην Ελλάδα και κατ' επέκταση η χρήση της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εμβαθύνοντας στο γεωφυσικό χώρο της πατρίδας μας και στο οικονομικά πλαίσιο το οποίο την περικλείει.

Αρχικά γίνεται μια αναφορά στην πυρηνική ενέργεια, με στόχο να αναλυθεί με όσο το δυνατόν πιο απλούς όρους, πραγματοποιώντας παράλληλα μια ιστορική αναδρομή αναζητώντας τις βάσεις της πυρηνικής ενέργειας. Το δεύτερο κομμάτι παρουσιάζει τον ενεργειακό χάρτη της Ελλάδας, παραθέτοντας τους τρόπους με τους οποίους παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια, κάνοντας αναφορά και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή παραγωγή.

Συνεχίζοντας, αναφέρονται οι προϋποθέσεις οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη πυρηνικής ενέργειας, δίνοντας έμφαση στους γεωφυσικούς και τους γεωλογικούς παράγοντες που επιτρέπουν ή αποτρέπουν την ανάπλαση ενός πυρηνικού σταθμού. Γίνεται αναφορά στις πυρηνικές τεχνολογίες και στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ένας πυρηνικός αντιδραστήρας και στην ασφάλεια του σταθμού. Μεγάλη έμφαση δίνεται στο κατά πόσο αυτοί οι παράγοντες μπορούν να ικανοποιηθούν στον ελλαδικό χώρο και υπάρχουν διαθέσιμα εδάφη στην Ελλάδα για το κτίσιμο ενός τέτοιου σταθμού, ενώ αναλύεται το επίπεδο της πυρηνικής τεχνολογίας στη χώρα μας και αν αυτό είναι επαρκές για την ανέγερση ενός πυρηνικού σταθμού.

Τέλος, παρουσιάζεται μια οικονομική μελέτη η οποία συγκρίνει τα οικονομικά αποτελέσματα ενός πυρηνικού σταθμού και ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού σε βάθος χρόνου. Επίσης, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την παρακάτω διπλωματική εργασία με την προοπτική υλοποίησης και προώθησης της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο ηλεκτροπαραγωγής στον ελλαδικό χώρο.

## **ABSTRACT**

This thesis examines the conditions required for the development of nuclear power in Greece and, consequently, the use of nuclear energy as a means of generating electricity, deepening the geophysical space of our country and the economic environment surrounding it.

At first a reference is made to nuclear energy, with the aim of analyzing it in the simplest possible terms, while making a historical look at the bases of nuclear energy. The second part presents the energy map of Greece, outlining the ways in which electricity is produced, referring to the renewable energy sources used for energy production.

Continuing, the conditions necessary for the development of nuclear energy are mentioned, emphasizing the geophysical and geological factors that allow or prevent the regeneration of a nuclear power plant. Reference is made to nuclear technologies and the way a nuclear reactor operates and to the safety of the plant. Much emphasis is placed on whether these factors can be met in Greece and there is land available in Greece for the construction of such a station, while analyzing the level of nuclear technology in our country and whether this is sufficient to build a nuclear power plant

Finally, an economic study is presented that compares the economic results of a nuclear power plant and a thermal power plant over time. Also presented are the conclusions that follow from the following thesis with the prospect of implementing and promoting nuclear energy as a means of power generation in Greece.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	vi
ABSTRACT .....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	viii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	4
ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Ιστορική Αναδρομή.....	4
2.3 Λειτουργία Πυρηνικών Αντιδραστήρων .....	6
2.4 Πυρηνικά Ατυχήματα.....	6
2.5 Στρατιωτική Χρήση - Πυρηνικά Όπλα.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	10
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΤΟΠΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	10
3.1 Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί.....	10
3.2 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο το πετρέλαιο.....	12
3.3 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο το φυσικό αέριο.....	12
3.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	13
3.4.1 Αιολική Ενέργεια .....	13
3.4.2 Ηλιακή Ενέργεια .....	15
3.4.3 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί .....	17
3.4.4 Άλλες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	18
ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	18
4.1 Γεωγραφικοί – Τοπολογικοί παράγοντες.....	18
4.2 Σεισμικοί παράγοντες.....	21
4.3 Διαχείριση πυρηνικών αποβλήτων.....	23



<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>27</b>
<b>ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>27</b>
5.1 Αλυσιδωτή αντίδραση.....	27
5.2 Διάταξη και λειτουργία πυρηνικού αντιδραστήρα.....	28
5.3 Εξέλιξη πυρηνικών αντιδραστήρων.....	31
5.4 Πυρηνική ενέργεια και ασφάλεια.....	33
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>37</b>
<b>ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....</b>	<b>37</b>
6.1 Μελέτη εδάφους - Γεωλογικοί παράγοντες.....	37
6.2 Πυρηνική τεχνολογία στην Ελλάδα.....	44
6.2.1 Ερευνητικό κέντρο "Δημόκριτος".....	44
6.2.2 ΕΕΑΕ και ανάπτυξη πυρηνικής τεχνολογίας στην Ελλάδα.....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>	<b>49</b>
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ.....</b>	<b>49</b>
7.1 Κόστος κατασκευής πυρηνικού σταθμού.....	50
7.2 Κόστος λειτουργίας πυρηνικού σταθμού.....	52
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....</b>	<b>57</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>57</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>59</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καθημερινή ζωή των ανθρώπων απαιτεί ολοένα και περισσότερη κατανάλωση ενέργειας, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ορυκτού πλούτου. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η ανάγκη εξεύρεσης νέων πηγών για την παραγωγή ενέργειας, άποψη η οποία ενισχύεται ακόμα περισσότερο από έρευνες επιστημόνων. Μια πρώτη προσπάθεια λύσης του συγκεκριμένου ζητήματος έχει πραγματοποιηθεί με τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες εντούτοις δεν είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικές και δε δίνουν τα επιθυμητά αποτελέσματα για την παραγωγή ολόκληρης της ενέργειας που απαιτείται καθημερινά από τους ανθρώπους. Έτσι, η επιλογή της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται ότι αποτελεί μονόδρομο ώστε η ανθρωπότητα να μπορέσει να ανταπεξέλθει στο ενεργειακό τέλμα στο οποίο έχει βρεθεί.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναζήτηση και η ανάλυση των προϋποθέσεων ώστε να αναπτυχθεί η πυρηνική ενέργεια στον Ελλαδικό χώρο. Όπως είναι εύκολα κατανοητό στην πλειοψηφία του απλού κόσμου, η ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας και η επιλογή της ως βασικό μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μια απλή υπόθεση. Βασικός λόγος για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο είναι να ικανοποιούνται ορισμένες προϋποθέσεις οι οποίες εκτείνονται από το οικονομικό πλαίσιο, στο ευρύτερο κοινωνικό και θεσμικό. Κατά τη διάρκεια της εργασίας θα δοθεί έμφαση στις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, στα ορυκτά καύσιμα και στην κατανάλωση τους. Στις προϋποθέσεις που απαιτούνται για την ανάπτυξη πυρηνικής ενέργειας και ιδιαίτερα στον ελλαδικό χώρο και στις οικονομικές ανάγκες ενός τέτοιου σταθμού.

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εκτείνεται σε έξι κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων αναλύεται συνοπτικά παρακάτω:

- Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Στην εισαγωγή παρουσιάζεται ο σκοπός εκπόνησης της εργασίας καθώς και το περιεχόμενο του κάθε κεφαλαίου.

- Κεφάλαιο 2: Πυρηνική ενέργεια

Στο κεφάλαιο αυτό θα δοθεί μια απλή εξήγηση της πυρηνικής ενέργειας, πραγματοποιώντας μια αναδρομή στον τρόπο με τον οποίο οι επιστήμονες έφτασαν σε αυτή την ανακάλυψη και στην εξέλιξή της. Επίσης, θα γίνει μια αναφορά στη βασική λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων, καθώς επίσης και σε ατυχήματα που έχουν προκληθεί κατά καιρούς στους αντιδραστήρες. Το κεφάλαιο θα κλείσει με την αρνητική χρήση της πυρηνικής ενέργειας, δηλαδή με τη χρήση σε στρατιωτικές επιχειρήσεις και στα πυρηνικά όπλα.

- Κεφάλαιο 3: Ενεργειακό τοπίο στην Ελλάδα

Στο τρίτο κατά σειρά κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στον ενεργειακό χάρτη της Ελλάδας, όπως αυτός διαμορφώνεται στις μέρες μας. Δίνεται έμφαση στους τρόπους με τους οποίους πραγματοποιείται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αξιοποιούνται.

- Κεφάλαιο 4: Προϋποθέσεις ανάπτυξης πυρηνικής ενέργειας

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί το κύριο μέρος της παρούσας εργασίας. Γίνεται αναφορά στις προϋποθέσεις που είναι απαραίτητη ανάγκη να ικανοποιούνται προκειμένου να αναπτυχθεί ένας πυρηνικός σταθμός σε ένα μέρος. Έμφαση δίνεται τόσο στην επιφάνεια της γης και στον τρόπο με τον οποίο αυτή θα πρέπει να διαμορφώνεται, όσο και στο υπέδαφος, με τον πολύ σημαντικό παράγοντα της σεισμικότητας της εκάστοτε περιοχής. Αναφέρεται, επίσης, και ο ρόλος των πυρηνικών αποβλήτων, για τα οποία πρέπει να γίνεται ιδιαίτερη μέριμνα.

- Κεφάλαιο 5: Πυρηνική τεχνολογία

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στην τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην πυρηνική ενέργεια. Αναλύεται η αλυσιδωτή αντίδραση στην οποία βασίζεται η πυρηνική ενέργεια και γίνεται αναφορά στη λειτουργία ενός πυρηνικού αντιδραστήρα και στα μέρη από τα οποία αυτός αποτελείται. Παρουσιάζεται η εξέλιξη των πυρηνικών αντιδραστήρων στο χρόνο και τέλος αναλύεται ο τομέας της ασφάλειας, ο σημαντικότερος τομέας σε ένα πυρηνικό σταθμό.

- Κεφάλαιο 6: Προϋποθέσεις ανάπτυξης πυρηνικής ενέργειας στην Ελλάδα

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια έρευνα για τους παράγοντες που αναφέρονται στο προηγούμενο κεφάλαιο και κατά πόσο είναι δυνατόν να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις στον ελλαδικό χώρο. Προκρίνονται ορισμένες τοποθεσίες της Ελλάδας οι οποίες πληρούν όλες τις ανάγκες για την ανέγερση ενός πυρηνικού σταθμού. Επίσης, γίνεται αναφορά στην κατάσταση η οποία επικρατεί στην Ελλάδα όσον αφορά την πυρηνική τεχνολογία και στις συνθήκες ανάπτυξής της.

- Κεφάλαιο 7: Οικονομική ανάλυση ενός πυρηνικού σταθμού

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύεται το κόστος ανέγερσης και συντήρησης ενός πυρηνικού σταθμού καθώς και τις εισροές του σταθμού κατά τη διάρκεια των χρόνων της λειτουργίας του. Ταυτόχρονα, πραγματοποιείται μια σύγκριση των οικονομικών αποτελεσμάτων από τη χρήση θερμοηλεκτρικού σταθμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο κομμάτι της πίτας του ενεργειακού τοπίου στην Ελλάδα.

- Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα

Αντί επιλόγου, παραθέτονται κάποια συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την διπλωματική εργασία. Τέλος, αναφέρονται οι προοπτικές υλοποίησης και προώθησης της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο ηλεκτροπαραγωγής στον ελλαδικό χώρο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

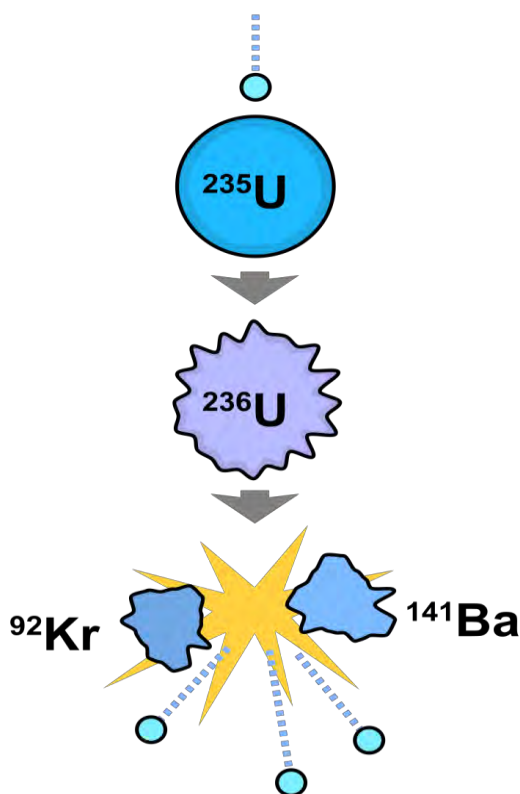
### ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 2.1 Ορισμός

Πυρηνική ενέργεια ή ατομική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματίζονται ατομικοί πυρήνες. Η πυρηνική ενέργεια, δηλαδή, αποτελεί ένα είδος δυναμικής ενέργειας, η οποία είναι εγκλωβισμένη στους πυρήνες των ατόμων, η οποία οφείλεται στην αλληλεπίδραση των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται. Η διαδικασία με την οποία απελευθερώνεται η πυρηνική ενέργεια ονομάζεται σχάση ή σύντηξη των πυρήνων. Στην περίπτωση κατά την οποία η διαδικασία αυτή είναι ελεγχόμενη, η πυρηνική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει ενεργειακές ανάγκες.

#### 2.2 Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη εργαστηριακή σχάση πραγματοποιήθηκε το 1938 στο Βερολίνο από τους φυσικούς Ότο Χαν και Λίζε Μάιτνερ. Οι δυο αυτοί φυσικοί βομβάρδισαν το ουράνιο με νετρόνια έχοντας ως στόχο να το μετατρέψουν στο άγνωστο μέχρι τότε στοιχείο με ατομικό αριθμό 93. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους, όμως, οδήγησαν στη παραγωγή ενός στοιχείου με ιδιότητες μη αναμενόμενες για ένα στοιχείο με τόσο μεγάλο ατομικό αριθμό. Σύντομα οι Χαν και Μάιτνερ μαζί με τον γερμανό φυσικό Φριτς Στράσμαν κατέληξαν σε ένα συμπέρασμα. Το στοιχείο που παραγόταν ήταν βάριο (με ατομικό αριθμό 56) πράγμα που σήμαινε ότι η προσθήκη νετρονίου στον πυρήνα του ουρανίου προκαλούσε τη σχάση του, όπως ονόμασε τη διαδικασία η Μάιτνερ, σε δύο στοιχεία. Το ένα ήταν το ήδη γνωστό βάριο, ενώ το άλλο ήταν ένα στοιχείο με ατομικό αριθμό 43, το οποίο ονομάστηκε Τεχνητίο. Εντύπωση τους προκάλεσε το γεγονός ότι κατά τη διαδικασία της σχάσης απελευθερώθηκαν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας. Το πιο ενδιαφέρον κομμάτι της έρευνας αυτής ήταν η απελευθέρωση, μέσω της σχάσης, δύο νετρονίων παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα για αλυσιδωτή αντίδραση. Τα δύο νετρόνια που απελευθερώνονται κατά τη σχάση του πυρήνα Ουρανίου, προκαλούν τη σχάση δυο πρόσθετων πυρήνων Ουρανίου, απελευθερώνοντας 4 νετρόνια, που με τη σειρά τους προκαλούν τη σχάση τεσσάρων πυρήνων κ.ο.κ (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Σχάση του πυρήνα του ουρανίου

Με τον τρόπο αυτό, μια ελάχιστη ποσότητα Ουρανίου μπορεί, μέσω της αλυσιδωτής σχάσης, να απελευθερώσει ένα γιγαντιαίο ποσό ενέργειας που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί είτε για ειρηνικούς σκοπούς είτε για την κατασκευή όπλων.

Από τη δεκαετία του '40, ήδη πολλές χώρες είχαν αναπτύξει πυρηνικά προγράμματα, έχοντας ως στόχο την κατασκευή πυρηνικών όπλων. Ο πρώτος πυρηνικός αντιδραστήρας που χρησιμοποιήθηκε για ειρηνικούς σκοπούς βρίσκεται στο Αϊντάχο των ΗΠΑ. Συγκεκριμένα το 1951 χρησιμοποιήθηκε ο συγκεκριμένος αντιδραστήρας για την παραγωγή μια μικρής ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη φορά που πυρηνικός αντιδραστήρας συνδέθηκε με εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας χρονολογείται στο 1954, στο Ομπνίσκ της ΕΣΣΔ.

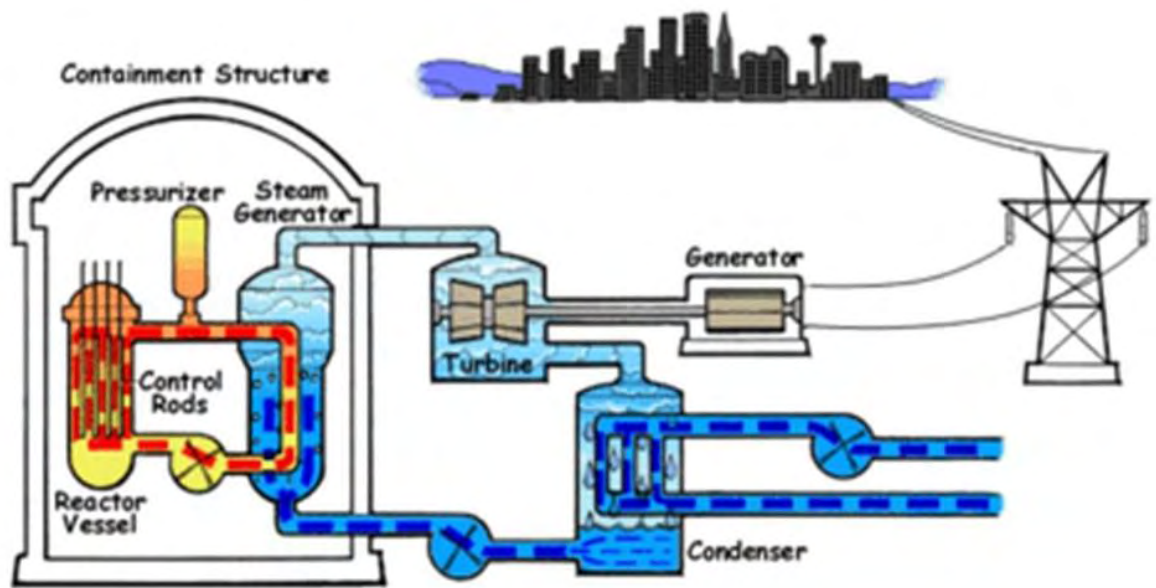
Στη δεκαετία του '50 είχε δημιουργηθεί η αίσθηση ότι η πυρηνική ενέργεια θα μπορούσε να καλυψει τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες και μάλιστα με κόστος χαμηλό. Μάλιστα, ο πρόεδρος της επιτροπής ατομικής ενέργειας των ΗΠΑ, Λιούις Στράους, έχει μείνει στην ιστορία για τη λανθασμένη του πρόβλεψη ότι «στο μέλλον η πυρηνική ενέργεια θα είναι τόσο φθηνή, που δε θα κάνουμε τον κόπο να την κοστολογούμε». Ο Λιούις έπεσε έξω και στην πρόβλεψη για τον αριθμό των πυρηνικών αντιδραστήρων, καθώς η άποψή του ήταν

ότι μέχρι το 2000 θα βρίσκονται σε λειτουργία 1000 πυρηνικοί σταθμοί στις ΗΠΑ. Ο αριθμός αυτός απέχει αισθητά από την πραγματικότητα, αφού λειτουργούν 104 σταθμοί, και ο λόγος βρίσκεται στα ατυχήματα που έχουν συμβεί σε πυρηνικούς αντιδραστήρες αλλά και λόγω ότι το φυσικό αέριο προσφέρει φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια. Ένας επιπλέον λόγος που η δημοφιλία της πυρηνικής ενέργειας δεν είναι σε τόσο μεγάλο βαθμό, όπως είχε προβλέψει ο Στράους, αποτελεί το υψηλό κόστος της επεξεργασίας και της αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων.

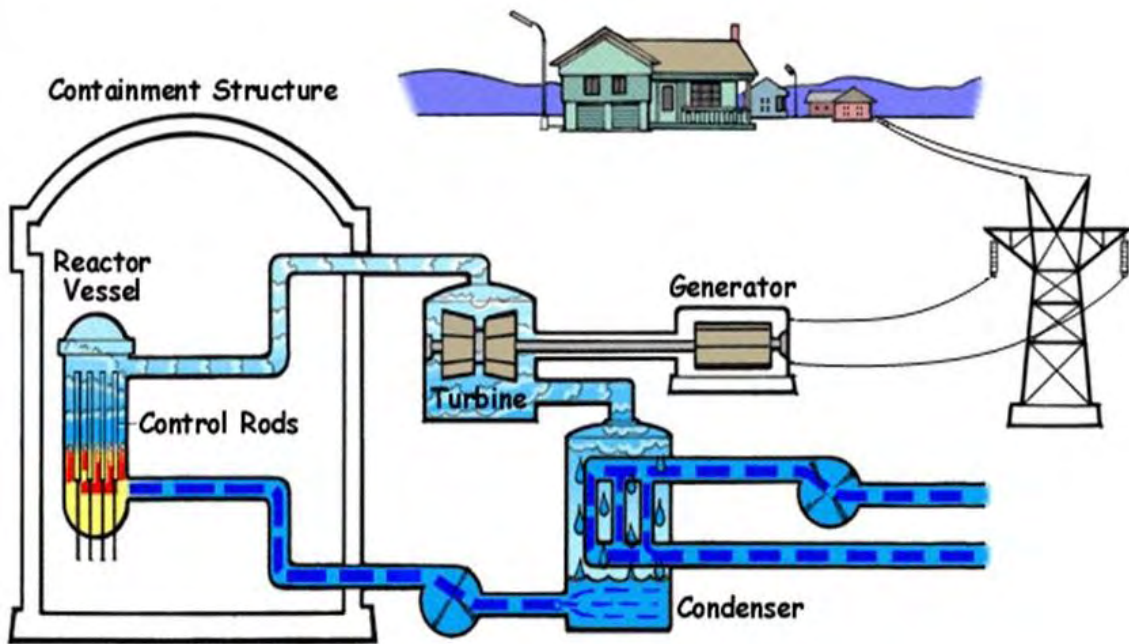
Σήμερα, ο χάρτης της πυρηνικής ενέργειας περιλαμβάνει 439 πυρηνικούς αντιδραστήρες, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή του 14% της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Η πρωτιά ανήκει στη Γαλλία, η οποία διαθέτει 58 αντιδραστήρες, με ποσοστό ενεργειακής κάλυψης 78%, ενώ για την κίνησή τους καταναλώνονται 10.000 τόνους ουρανίου καυσίμου το χρόνο. Στον υπόλοιπο κόσμο, κατασκευάζονται γύρω στους 64 αντιδραστήρες, οι 26 εκ των οποίων στην Κίνα, με δεύτερη τη Ρωσία με 10 και τρίτη την Ινδία με 6. Υπάρχουν πυρηνικοί αντιδραστήρες και σε πολλές ακόμα χώρες, η χρήση των οποίων, όμως, περιορίζεται σε ερευνητικούς σκοπούς. Ανάμεσα σε αυτές τις χώρες περιλαμβάνεται και η Ελλάδα, με τον αντιδραστήρα ισχύος 5MW στο Κέντρο Έρευνας «Δημόκριτος».

### **2.3 Λειτουργία πυρηνικών αντιδραστήρων**

Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελείται από τον πυρήνα του, ο οποίος απαιτεί για τη λειτουργία του 80 με 100 τόνους ουρανίου σε παραπάνω από 30000 ράβδους καυσίμου. Η θερμότητα που παράγεται από τις ράβδους καυσίμου, αποδίδεται στο νερό, σε μια σειρά ατμοπαραγωγών (μπόιλερ, PWR, Εικόνα 2) ή άμεσα (το δοχείο του αντιδραστήρα είναι και δοχείο ατμοπαραγωγής, BWR, Εικόνα 3). Ο ατμός που παράγεται, στη συνέχεια, είναι υπεύθυνος για την κίνηση ατμοστροβίλων, οι οποίοι συνδέονται με μια ηλεκτρική γεννήτρια. Ακολουθεί ψύξη του κορεσμένου ατμού που εξέρχεται από τους ατμοστροβίλους, ο οποίος συμπυκνώνεται και διοχετεύεται και πάλι στο σύστημα. Ο διαχωρισμός του νερού ψύξης σε δακτυλίους συμβάλει στην ελαχιστοποίηση του ρίσκου να φτάσει το μολυσμένο νερό στο περιβάλλον. Ο ατμός που φαίνεται να εξέρχεται από τους πύργους ψύξης προέρχεται από την ψύξη του νερού και όχι από το σύστημα ατμοπαραγωγής.



Εικόνα 2: PWR ατμοπαταγωγή



Εικόνα 3: BWR ατμοπαταγωγή



## 2.4 Πυρηνικά ατυχήματα

Το πρώτο ατύχημα από το οποίο προκλήθηκε διαρροή ραδιενέργειας, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν θύματα ή κάποια αξιόλογη ρύπανση, συνέβη στον Καναδά, το 1952. Στη διάρκεια των χρόνων έχουν καταγραφεί αρκετά ατυχήματα μικρής ή μεσαίας σημασίας, ενώ ο αριθμός των σοβαρών ατυχημάτων ανέρχεται στα τρία, στο Three Mile Island το 1979, στο Τσερνόμπιλ το 1986 και στη Φουκουσίμα το 2011.



*Εικόνα 4: Πυρηνικό ατύχημα στο Τσερνόμπιλ της Ουκρανίας*

Το 1964 ένας αμερικανικός δορυφόρος εφοδιασμένος με Πλουτώνιο-238 για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν κατόρθωσε να μπει στην προγραμματισμένη τροχιά και κατά την επάνοδό του στη Γη καταστράφηκε, απελευθερώνοντας στην ατμόσφαιρα αρκετή ραδιενέργεια ώστε να μετρηθεί με τα μέσα της εποχής. Το Φεβρουάριο του 2011 σημειώθηκε μάλλον το σημαντικότερο και πιο σοβαρό πυρηνικό ατύχημα μετά από σεισμό στα ανοιχτά της Ιαπωνίας. Το τσουνάμι που προκλήθηκε από το σεισμό, προκάλεσε ατύχημα στους τρεις πυρηνικούς αντιδαστήρες του πυρηνικού εργοστασίου της Φουκουσίμα, με τις επιπτώσεις του ατυχήματος να παίρνουν παγκόσμιες διαστάσεις, λόγω της τεράστιας ποσότητας ραδιενέργειας που εκλύθηκε στο περιβάλλον. [1]

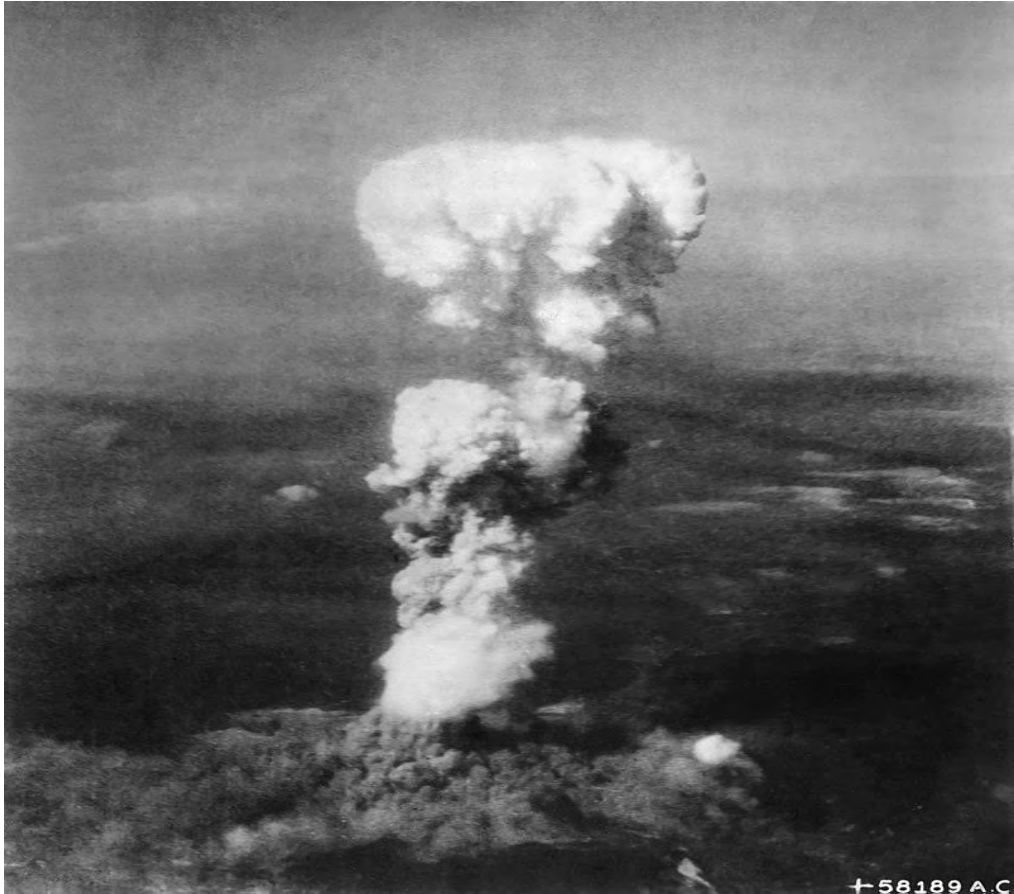


*Εικόνα 5: Το πυρηνικό ατύχημα στη Φουκουσίμα της Ιαπωνίας*

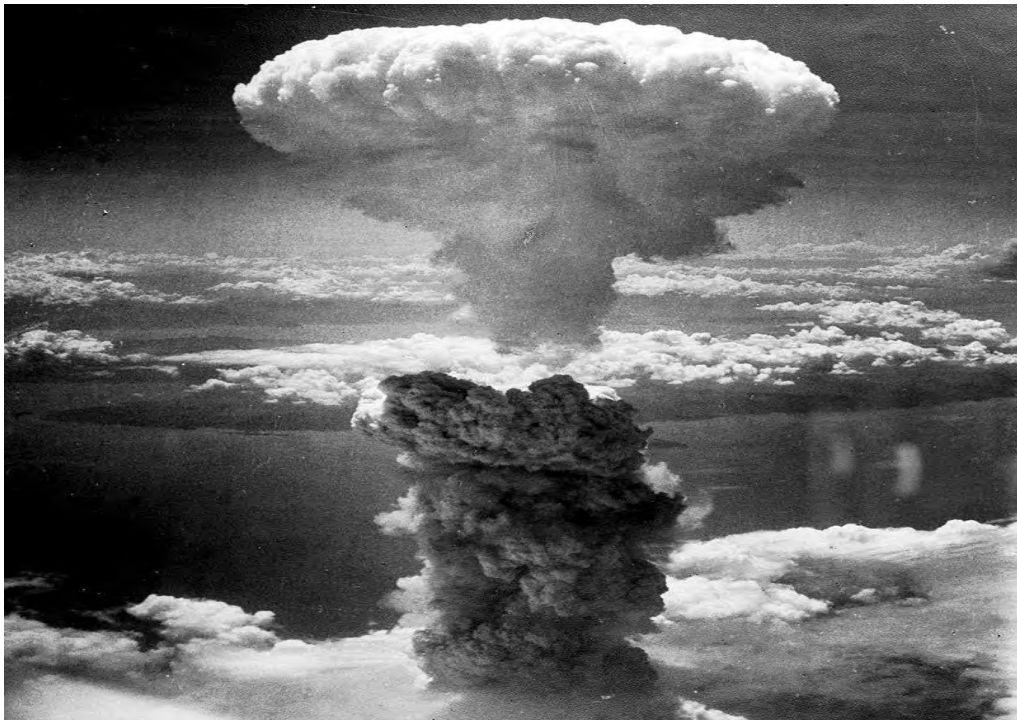
## 2.5 Στρατιωτική Χρήση – Πυρηνικά όπλα

Τα πυρηνικά όπλα αποτελούν τα υπέρτατα «Όπλα Μαζικής Καταστροφής». Ο όρος «Όπλα Μαζικής Καταστροφής» κατά την Επιτροπή του ΟΗΕ για τα Συμβατικά Όπλα, η οποία περιέγραψε τα όπλα μαζικής καταστροφής ως «εκρηκτικά ατομικά όπλα, όπλα ραδιενεργού υλικού, θανατηφόρα χημικά και βιολογικά όπλα, καθώς και κάθε είδους όπλου που θα σχεδιαστεί στο μέλλον και θα έχει χαρακτηριστικά συγκρίσιμα με τα καταστρεπτικά αποτελέσματα που προκαλεί η ατομική βόμβα ή τα όπλα που αναφέρθηκαν προηγουμένως». Τα πυρηνικά όπλα, εντούτοις, είναι καινοφανούς τύπου όπλα με ολωσδιόλου διαφορετικό τρόπο λειτουργίας από τα Συμβατικά Όπλα ή και τα υπόλοιπα Όπλα Μαζικής Καταστροφής. Ένα πυρηνικό όπλο στηρίζει τη λειτουργία του στην τεράστια ποσότητα ενέργειας που εκλύεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Οι ατομικές κεφαλές είναι βόμβες που λειτουργούν με πυρηνικά υλικά, συνηθέστερα Ουράνιο-235 ή Πλουτώνιο-239, και ειδικότερα με αλυσιδωτές αντιδράσεις. Κατά την έκρηξη μιας ατομικής βόμβας πραγματοποιείται μια ανεξέλεγκτη πυρηνική σχάση, κατά τη διάρκεια της οποίας ένας πυρήνας βομβαρδίζεται με νετρόνια με συνέπεια να εκλύεται μεγάλο ποσό ενέργειας και άλλοι ελαφρύτεροι πυρήνες πυρήνες και νετρόνια. Στη συνέχεια τα παραγόμενα νετρόνια βομβαρδίζουν τους νέους πυρήνες με αποτέλεσμα να επαναλαμβάνεται συνεχώς η ίδια διαδικασία. Συνεπώς, αρχίζει μια αυτοσυντηρούμενη αλυσιδωτή αντίδραση που οδηγεί σε ισχυρότατη έκρηξη. Στις βόμβες πυρηνικής σύντηξης λαμβάνει χώρα η σχάση κάποιου υλικού ώστε να υπερθερμανθούν και να συντήξουν 2 ελαφρότερους πυρήνες (Βάριου Υδρογόνου) σε ένα βαρύτερο πυρήνα (Ηλίου). Τα επιβλαβή και θανατηφόρα αποτελέσματά της συνίστανται στο Ωστικό ή Κρουστικό κύμα (Shockwave), το θερμικό κύμα και τα εκτοξευόμενα στην ατμόσφαιρα ραδιενεργά κατάλοιπα, που ενδέχεται να προξενήσουν καρκίνους, γενετικές ανωμαλίες και οργανικές δυσλειτουργίες, όταν απορροφηθούν. [2]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ατομικές βόμβες με τις οποίες οι ΗΠΑ ισοπέδωσαν τη Χιροσίμα και το Ναγκασάκι στις 6 και 9, αντίστοιχα, Αυγούστου 1945 (Εικόνα 6 & Εικόνα 7). Ο αρχικός αριθμός των θυμάτων υπολογίζεται σε περίπου 70.000 στη Χιροσίμα και 40.000 στο Ναγκασάκι, ένας αριθμός ο οποίος ξεπέρασε τις 200.000 θυμάτων μέχρι το 1950, λόγω της πυρηνικής ακτινοβολίας και της ραδιενέργειας η οποία εξαπλώθηκε στην ατμόσφαιρα.



*Εικόνα 6: Η ατομική βόμβα στη Χιροσίμα.*



*Εικόνα 7: Η ατομική βόμβα στο Ναγκασάκι*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΤΟΠΟΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

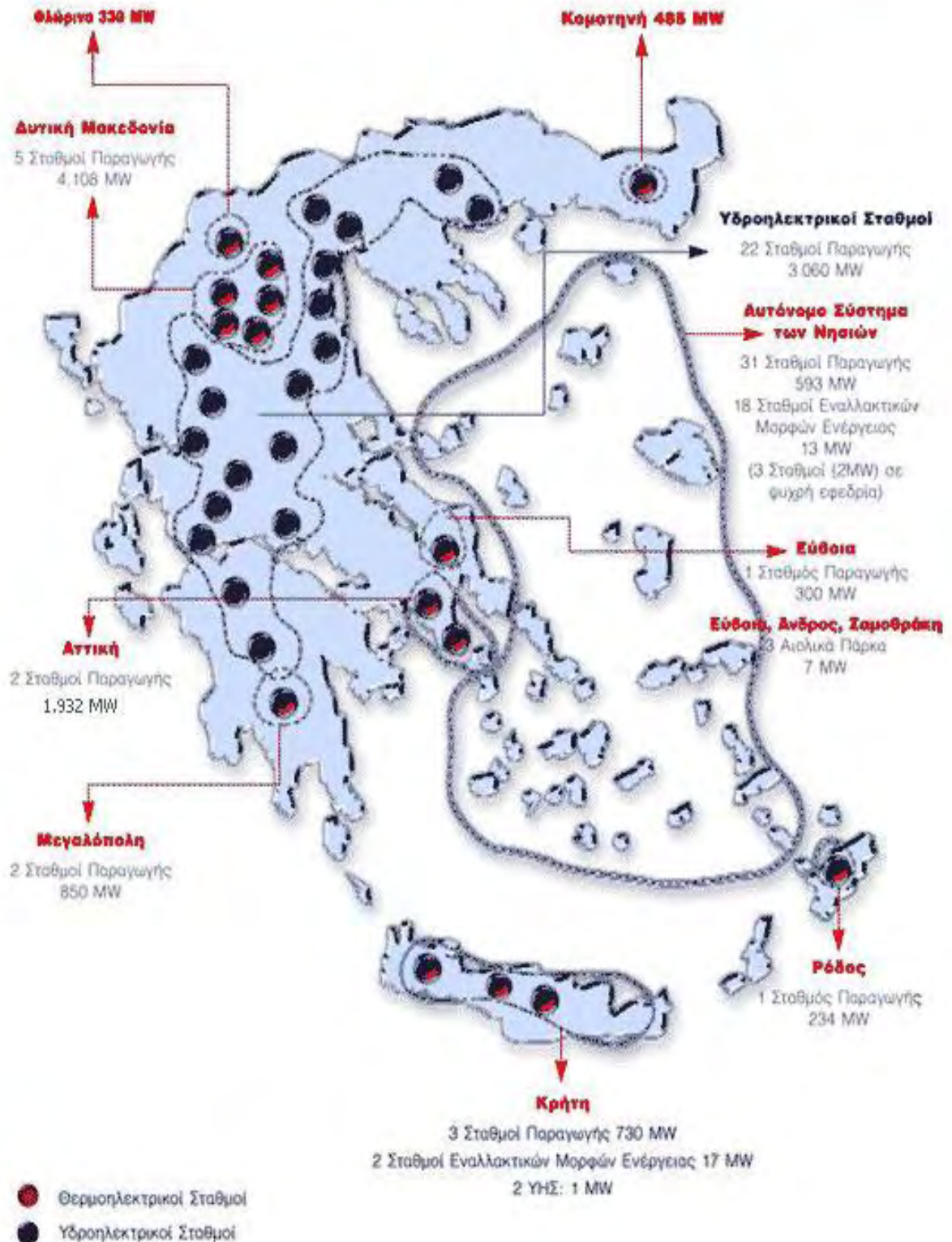
Αυτή τη στιγμή το μεγαλύτερο κομμάτι της πίτας από την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα κατέχουν οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί, βασικό καύσιμο των οποίων αποτελεί ο λιγνίτης. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα στοιχεία του 2013, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παράγουν το 66,5% της ηλεκτρικής ενέργειας, το 19,6% παράγεται από μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, ενώ το υπόλοιπο 13,9% προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όσον αφορά τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, την πρώτη θέση καταλαμβάνει, αναπόφευκτα, ο λιγνίτης με ποσοστό 54,73%. Από εκεί και πέρα, το φυσικό αέριο με ποσοστό 25,39%, με αυξητικές ωστόσο τάσεις, έρχεται δεύτερο, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό της πίτας προέρχεται από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και το Νερό (Στοιχεία 2013). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση, όλες οι χώρες – μέλη της θα πρέπει μέχρι το 2020 να καλύπτουν το 20% των ενεργειακών αναγκών τους αποκλειστικά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

[3]

#### 3.1 Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί κατέχουν τη μερίδα του λέοντος όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Οι περισσότεροι από αυτούς τους σταθμούς έχουν ως βάση τους τη βόρεια Ελλάδα και συγκεκριμένα την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, όπως φαίνεται και στο χάρτη (Εικόνα 8). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η περιοχή αυτή είναι πλούσια σε κοιτάσματα λιγνίτη. Συγκεκριμένα, από τους  $6,8 \times 10^9$  τόνους λιγνίτη οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι  $3,26 \times 10^9$  τόνοι βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Πτολεμαΐδας. Σε παγκόσμια κλίμακα, η Ελλάδα βρίσκεται στην πέμπτη θέση με τις χώρες που πραγματοποιούν εξόρυξη λιγνίτη, κάτι που εξασφαλίζει την παραγωγή ενέργειας για τα επόμενα 45 χρόνια.

## ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



Εικόνα 8: Θερμοηλεκτρικοί και Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί στην Ελλάδα

Εκτός από το λιγνίτη, βασικό καύσιμο των θερμοηλεκτρικών σταθμών αποτελεί και η τύρφη, η οποία αποτελεί ένα ορυκτό καύσιμο που σχηματίζεται στο υπέδαφος, με περιεκτικότητα σε άνθρακα έως και 50%. Στην Ελλάδα, ένα κοιτάσμα τεσσάρων δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων τύρφης συναντάμε στην Ανατολική Μακεδονία και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή των Φιλίππων, πράγμα που δικαιολογεί και την ύπαρξη θερμοηλεκτρικού εργοστασίου στην περιοχή αυτή.

### **3.2 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο το πετρέλαιο**

Η χρήση του πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ιδιαίτερα υψηλή στην Ελλάδα μέχρι πριν από 50 περίπου χρόνια. Τότε, επικρατούσε η αντίληψη ότι ο ελλαδικός χώρος ήταν φτωχός σε κοιτάσματα τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τις ενεργειακές ανάγκες, με αποτέλεσμα το 48,3% της παραγωγής να προέρχεται από τη χρήση του πετρελαίου. Στις μέρες μας και μετά την αξιοποίηση των κοιτασμάτων λιγνίτη, το μερίδιο του πετρελαίου ως καύσιμο στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε 6,8%. Από το ποσοστό αυτό, το μεγαλύτερο κομμάτι προέρχεται από περιοχές αποκομμένες από το κεντρικό δίκτυο μεταφοράς ενέργειας, όπως τα νησιά, στα οποία δεν είναι εύκολη η σύνδεση με τις γραμμές που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στην ηπειρωτική Ελλάδα.

### **3.3 Ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο το φυσικό αέριο**

Στην Ελλάδα, όλο το φυσικό αέριο το οποίο χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προέρχεται από ένα σύστημα εισαγωγής, διανομής και κατανάλωσης κάτω από την επίβλεψη της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου. Οι χώρες οι οποίες προμηθεύουν την Ελλάδα με φυσικό αέριο είναι η Ρωσία, μέσω της Gazprom, η Τουρκία, μέσω της Botas και η Αλγερία, μέσω της Sonatrach. Σύμφωνα με τη ΔΕΗ, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυσασμένου κύκλου φυσικού αερίου και τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας αποτελούν τη καλύτερη δυνατή επιλογή τόσο όσον αφορά την εξοικονόμηση της ενέργειας, όσο και από την πλευρά των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Πλέον στην Ελλάδα το φυσικό αέριο είναι υπεύθυνο για την παραγωγή του 25,39% της ετήσιας ενέργειας. Αυτό πραγματοποιείται, εκτός από τους σταθμούς της ΔΕΗ, και από σταθμούς που ανήκουν σε ιδιωτικές εταιρίες όπως η «ΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ Α.Ε.», Η «ELPEDISON ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.», η «ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ Α.Ε.», η «PROTERGIA», η

«ΚΟΡΙΝΘΟΣ POWER Α.Ε.», σταθμοί οι οποίοι εκτείνονται σε όλη την έκταση της ελληνικής επικράτειας και τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια όλη τη χώρα.

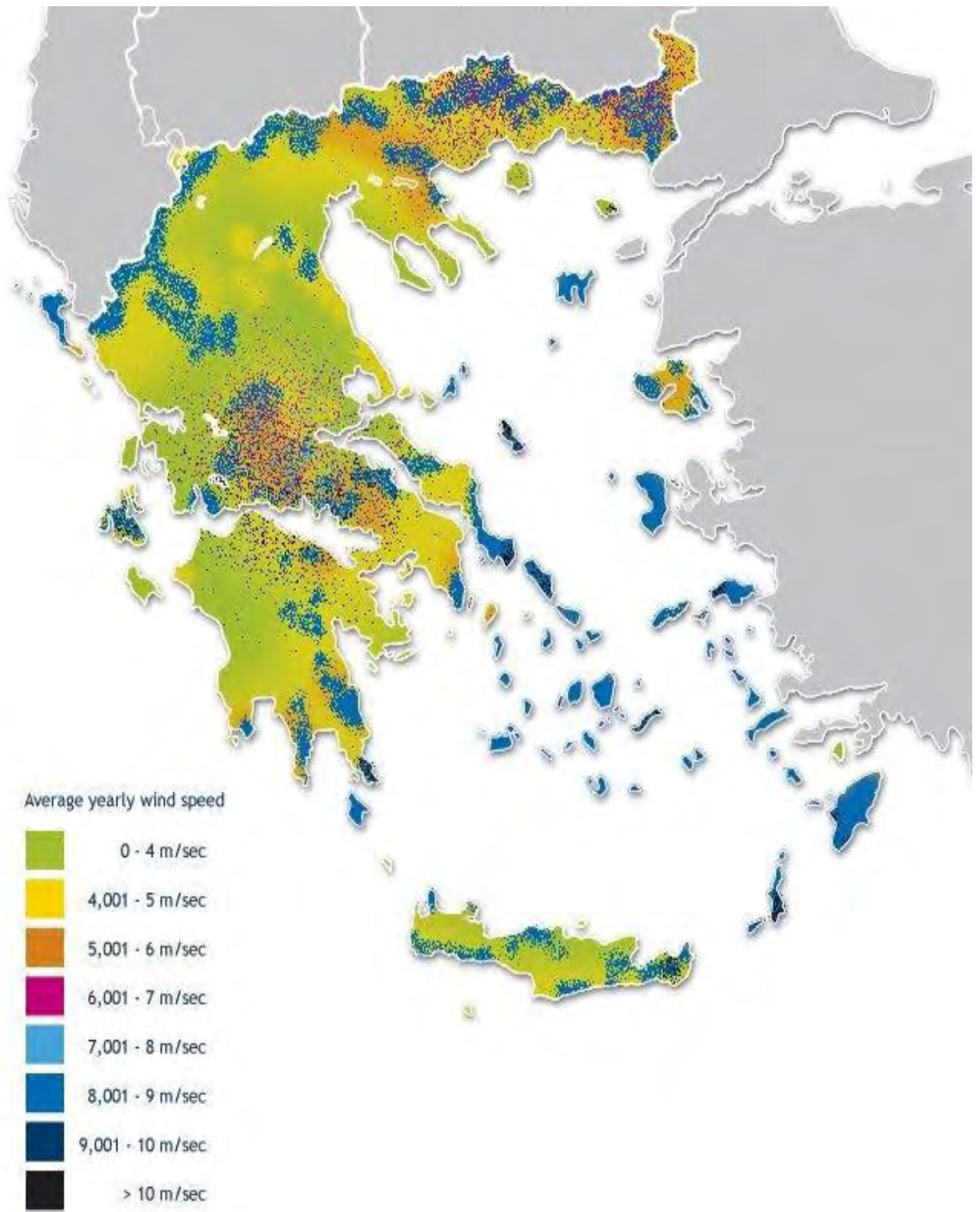
### **3.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

#### **3.4.1 Αιολική Ενέργεια**

Η γεωλογία της Ελλάδας προσφέρει τη δυνατότητα για άμεση εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το αιολικό δυναμικό της χώρας, το οποίο μπορεί να προσφέρει ένα σημαντικό κομμάτι στην πίτα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, οι παραθαλάσσιες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας, καθώς και τα νησιά του Αιγαίου αποτελούν ιδιαίτερα πρόσφορες περιοχές για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Στις περιοχές αυτές συχνά πνέουν ισχυροί άνεμοι, πολλές φορές εντάσεως 9 και 10 μποφόρ. Μάλιστα, στην Ελλάδα καταγράφεται σημαντική ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας από χρονιά σε χρονιά με αποτέλεσμα, πλέον, η χώρα μας να κατατάσσεται στην πρώτη δεκάδα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης με κριτήριο την αναλογία της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος αιολικών προς την κατανάλωση ενέργειας. [5]

Όπως φαίνεται και στο χάρτη κατανομής του αιολικού δυναμικού (Εικόνα 9), η μεγαλύτερη δύναμη του ανέμου καταγράφεται, κυρίως, στα νησιά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, δύο από τα πιο σημαντικά αιολικά πάρκα της χώρας μας να είναι εγκατεστημένα σε νησιά, και συγκεκριμένα σε Κεφαλονιά και Κύθνο. Στην Κεφαλονιά υπάρχουν τρία οργανωμένα πάρκα με ανεμογεννήτριες, τα οποία τροφοδοτούν το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με σύνολο 75,6MW ηλεκτρικής ισχύος. Φτάνει, δηλαδή, σε σημείο να καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες ολόκληρου του νησιού, ακόμα και σε περίοδο αιχμής, όταν αυτές ανέρχονται σε 50MW. Όσον αφορά το αιολικό πάρκο της Κύθνου, αναφέρεται ως το πρώτο αιολικό πάρκο της Ευρώπης, κατασκευασμένο το 1982, ενώ το δυναμικό του αποτελείται από 5 ανεμογεννήτριες των 20kW η κάθε μία.



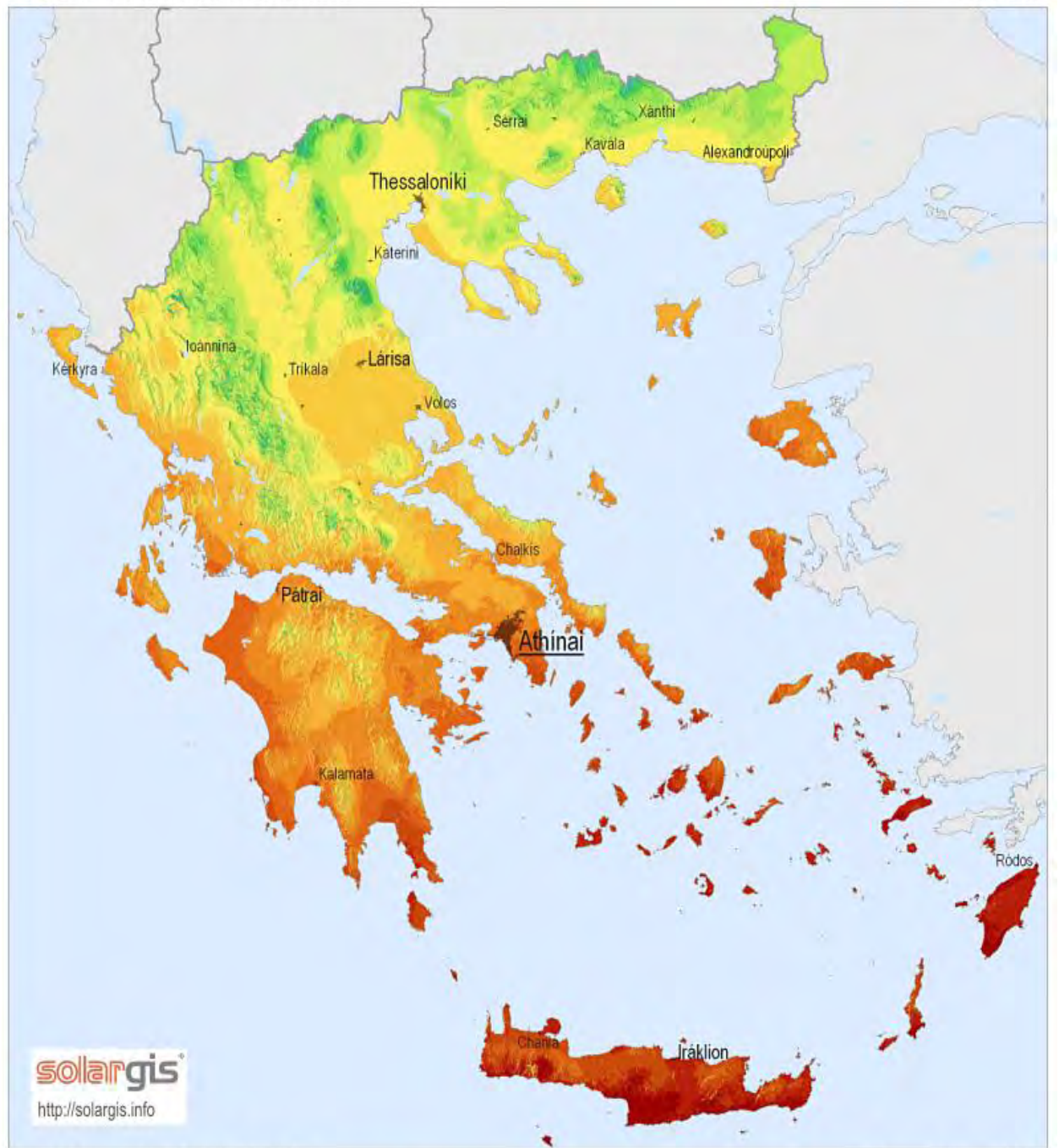


Εικόνα 9: Αιολικό Δυναμικό

### 3.4.2 Ηλιακή Ενέργεια

Η Ελλάδα θεωρείται από τους επιστήμονες, και όχι άδικα, μια χώρα πλούσια σε ηλιακή ενέργεια, αφού τις περισσότερες ημέρες του χρόνου επικρατεί ηλιοφάνεια. Με βάση τις μετρήσεις της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, οι ώρες ηλιοφάνειας στην Αττική για το 2018 πλησίασαν τις 2.500. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολλά από τα νησιά, αλλά και περιοχές της ηπειρωτικής χώρας να στρέφονται στην ηλιακή ενέργεια για την εξυπηρέτηση των ενεργειακών τους αναγκών. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ηλιακών θερμοσιφώνων, παρατηρείται αύξηση τα τελευταία δέκα χρόνια στην χρήση τους, καθώς πλέον η απόδοση των συστημάτων αυτών είναι πιο υψηλή σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια και τα αποτελέσματα από τη χρήση τους καλύτερα. Τα τελευταία, μάλιστα, χρόνια αρχίζει να χρησιμοποιείται η ηλιακή ενέργεια ακόμα και στην ψύξη, με το φαινόμενο του ηλιακού κλιματισμού. Μέσω αυτού η ηλιακή ενέργεια θα αντικαταστήσει τη χρήση των κλιματιστικών και θα χρησιμοποιείται στην ψύξη του χώρου.

Στο χάρτη της Εικόνας 10, φαίνονται τα ετήσια ποσά ηλιακής ακτινοβολίας που καταγράφονται στην Ελλάδα. Προκύπτει, έτσι, ότι η πλειοψηφία των φωτοβολταϊκών συστημάτων της χώρας είναι στα νησιά. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, η ΔΕΗ έχει εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά σε νησιά όπως η Κύθνος, οι Αρκοί, τα Αντικύθηρα, η Γαύδος κ.α.



Εικόνα 10: Ηλιακή Ακτινοβολία

### **3.4.3 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί**

Αν και δεν έχουν αναπτυχθεί στο βαθμό που θα μπορούσαν στη χώρα μας, με βάση την γεωλογία του εδάφους της Ελλάδας και της ύπαρξης πολλών βουνών και οροσειρών (80% της χώρας είναι ορεινή), οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί προσφέρονται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, παράλληλα με τις άλλες χρήσεις τις οποίες προσφέρουν (π.χ. αντιπλημμυρική προστασία). Ο μεγαλύτερος υδροηλεκτρικός σταθμός της Ελλάδας εντοπίζεται στο συγκρότημα του Αχελώου, με συνολική παραγώμενη ενέργειας 925,6MW, ενώ συνολικά, λαμβάνοντας υπόψιν και τους υπόλοιπους μικρότερους σταθμούς, η παραγώμενη ενέργεια ανέρχεται σε 3.060MW. [6]

### **3.4.4 Άλλες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

Όσον αφορά άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, για τον ελλαδικό χώρο, έχει παρατηρηθεί μια πολύ μικρή χρήση του βιοαερίου. Πρόκειται για παραγωγή αερίου από ακατέργαστες πρώτες ύλες, όπως τα αγροτικά απόβλητα, τα αστικά απόβλητα, τα πράσινα απόβλητα καθώς και τα απορρίματα τροφών.

Μια μορφή ενέργειας η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην Ελλάδα, είναι αυτή που προέρχεται από τη γεωθερμία. Είναι αποδεδειγμένο ότι η χώρα μας διαθέτει υπέδαφος πλούσιο σε ιαματικές πηγές, οι οποίες, όμως, χρησιμοποιούνται για θερμικές εφαρμογές και μόνο. Περιοχές όπως η βόρεια Εύβοια, και νησιά όπως η Σαντορίνη και η Κως, είναι ικανές να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω της γεωθερμίας. Ας σημειωθεί ότι η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, αλλά και το 20% του ηλεκτρισμού με γεωθερμική ενέργεια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η κατασκευή ενός νέου πυρηνικού εργοστασίου προϋποθέτει την αναγνώριση και την κατανόηση όλων των κινδύνων που είναι πιθανόν να προκύψουν από ένα τέτοιο έργο.

#### 4.1 Γεωγραφικοί – Τοπολογικοί παράγοντες

Το πρώτο και πιο σημαντικό βήμα ώστε να επιλεγθεί ο τόπος στον οποίο θα εγκατασταθεί ένα πυρηνικό εργοστάσιο είναι να βρεθεί μια περιοχή στην οποία δεν έχει απαγορευθεί η ανέγερση μιας τέτοιας εγκατάστασης.

Οι πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας απαιτούν τεράστιες ποσότητες νερού, που χρησιμοποιείται κυρίως ως ψυκτικό μέσον. Για τον λόγο αυτό είναι κυρίως εγκατεστημένοι στις όχθες υδάτινων ρευμάτων επαρκούς παροχής νερού (Λίγηρας, Ροδανός, Ρήνος, Βόλγας, Οχάιο) είτε κατά προτίμηση κοντά στις ακτές της θάλασσας (όπως π.χ. στις ανατολικές ΗΠΑ, στη δυτική Ευρώπη και στην Ιαπωνία). Οι ανάγκες σε ουράνιο είναι μικρές, αλλά το κόστος του υλικού αυτού είναι μάλλον υψηλό εξαιτίας της σχετικά περιορισμένης διάθεσής του στη φύση (υφίστανται ακόμη μέτριας έκτασης αποθέματα), των αυξημένων δαπανών αναζήτησης αποθεμάτων του και της μικρής περιεκτικότητας των μεταλλευμάτων τους, που επιβάλλει τον εμπλουτισμό τους στον τόπο της εξόρυξης. Παρόλο που οι απαραίτητες επενδύσεις για την ανάπτυξη τέτοιων εγκαταστάσεων είναι για τους παραπάνω λόγους υψηλές, η αύξηση των τιμών των υγρών καυσίμων και η βελτίωση των αποδόσεων κατά την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας τις έχει καταστήσει ανταγωνιστικές.

Οι πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής εγκαθίστανται συνήθως κοντά σε περιοχές, στις οποίες υπάρχει μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ οι περισσότεροι πυρηνικοί σταθμοί είναι εγκατεστημένοι στις ανατολικές πολιτείες, όπως στις όχθες της λίμνης Μίσιγκαν και στις ανατολικές ακτές, στον κόλπο Τσεζαπική του Μέιν και στη μεσημβρινή ακτή της Φλόριντα. Στη δυτική Ευρώπη πυρηνικοί σταθμοί λειτουργούν κατά μήκος του ποταμού Πάδου στην Ιταλία, του Ροδανού και του Λίγηρα στη Γαλλία, του Μεύση και του Ρήνου. Άλλες εγκαταστάσεις υπάρχουν στα παράλια της Μεγάλης Βρετανίας, της Γαλλίας και της Ισπανίας, στις νότιες ακτές της Σουηδίας και της

Φινλανδίας, καθώς επίσης και στις εκβολές των ποταμών Έλβα και Βέζερ της Γερμανίας. Στην Ιαπωνία, όλοι οι πυρηνικοί σταθμοί είναι εγκατεστημένοι στις ακτές, ενώ στην πρώην Σοβιετική Ένωση οι κυριότεροι από αυτούς βρίσκονται κοντά στην Αγία Πετρούπολη, στις στέπες της Ουκρανίας και στα νότια όρια της Ρωσίας. [4]

Όσον αφορά τους πυρηνικούς αντιδραστήρες, παρά τους διάφορους τύπους που έχουν επινοηθεί κατά καιρούς μόνο μερικοί από αυτούς κατάφεραν να ξεπεράσουν το πειραματικό στάδιο. Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας οφείλει να ικανοποιεί ορισμένο αριθμό προϋποθέσεων ώστε να λειτουργεί ορθά. Αρχικά, ο πυρηνικός αντιδραστήρας πρέπει να καλύπτει ένα συγκεκριμένο τεχνικό στόχο. Χρειάζεται διαφορετική λειτουργία για την κίνηση ενός υποβρυχίου και διαφορετική για την κίνηση μιας ηλεκτρογεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πρώτη περίπτωση η θερμική ισχύς τους κυμαίνεται μεταξύ 30 και 300 μεγαβάτ (MW), ενώ στη δεύτερη είναι δυνατόν να ανέλθει σε μερικές χιλιάδες MW. Ακόμη μπορεί να καλύψει και τις ανάγκες σε θερμική ενέργεια για τη λειτουργία διαφόρων βιομηχανικών εγκαταστάσεων (όπως είναι π.χ. οι χαρτοβιομηχανίες, οι γεωργικές βιομηχανίες και οι μονάδες αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού) ή ακόμα και για τη θέρμανση χώρων. Υπάρχει ακόμη η δυνατότητα ένταξης των πυρηνικών αντιδραστήρων σε εγκαταστάσεις διπλής ή πολλαπλής σκοπιμότητας (ηλεκτροπαραγωγής και κάποιων άλλων βιομηχανικών διεργασιών). Π.χ. στη Γαλλία έχει σχεδιαστεί μια εγκατάσταση ισχύος 100 MW για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης μιας πόλης. Όμως, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες παρέχουν ακόμη ποικιλία άλλων εφαρμογών, όπως είναι η βασική ή η εφαρμοσμένη έρευνα, η παραγωγή ραδιενεργών νουκλιδίων ή υλικών χρήσιμων για την πυρηνική τεχνολογία, όπως είναι το πλουτώνιο και το τρίτιο. Στις παραπάνω περιπτώσεις η ισχύς των αντιδραστήρων είναι εν γένει χαμηλή, ενώ, αντίθετα, επιδιώκεται η ανάπτυξη κατά το δυνατόν μεγαλύτερων ροών νετρονίων, οι οποίες είναι δυνατόν να υπερβαίνουν τα  $10^{15}$  νετρόνια ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο και δευτερόλεπτο. Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας, εξάλλου, πρέπει να πληρεί τα απαραίτητα μέτρα, ώστε να μην είναι δυνατή η διαφυγή των ραδιενεργών προϊόντων της σχάσης προς το περιβάλλον.

Οι ανωτέρω απαιτήσεις επιβάλλουν τη μεσολάβηση τριών τουλάχιστον συστημάτων θωράκισης ανάμεσα στο πυρηνικό καύσιμο και στο περιβάλλον, που είναι κατά σειρά η

επένδυση του πυρηνικού καυσίμου, το περίβλημα της καρδιάς του αντιδραστήρα (βιολογική θωράκιση) και το κτίριο - περίβλημα της όλης εγκατάστασης. Η καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα, μαζί με τα αναγκαία όργανα ελέγχου κ.λ.π. είναι κλεισμένη αεροστεγώς μέσα σε μια κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα ή προεντεταμένο σκυρόδεμα, το δοχείο πίεσης, ώστε να αντέχει στις υψηλές πιέσεις, που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της. Ακόμη, είναι αναγκαίος ο εφοδιασμός της μονάδας με ένα σύστημα προστασίας υψηλού βαθμού εξέλιξης και αυτοματισμού, το οποίο θα έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει τα τυχόν σφάλματα κατά τη λειτουργία του αντιδραστήρα και να επιφέρει τις απαραίτητες διορθώσεις, αποτρέποντας τον κίνδυνο να συμβούν πυρηνικά ατυχήματα.

Κατά τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων και των μονάδων παραγωγής των πυρηνικών καυσίμων και κυρίως των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και ανάκτησης των χρησιμοποιημένων πυρηνικών καυσίμων, παράγονται σημαντικές ποσότητες εν πολλοίς άχρηστων και εξαιρετικά επικίνδυνων, λόγω των υψηλών σχετικά επιπέδων ραδιενέργειάς τους, υλικών, που ονομάζονται πυρηνικά απόβλητα. Η επεξεργασία και διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων, που αποτελούνται κυρίως από τα προϊόντα της σχάσης, συνιστά μεγαλύτερο ακόμη πρόβλημα και από αυτό της προστασίας του περιβάλλοντος από τις ακτινοβολίες της ίδιας της καρδιάς του αντιδραστήρα. Πολλά από τα συστατικά των πυρηνικών αποβλήτων διατηρούν τη ραδιενέργειά τους σε επικίνδυνο βαθμό για εκατοντάδες ή και χιλιάδες έτη, γι' αυτό και πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα κατά τη διάθεσή τους.

Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας, πρέπει να έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί με το μικρότερο κόστος, γεγονός που επιβάλλει την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση του εισαγόμενου σε αυτόν πυρηνικού καυσίμου. Στις περιπτώσεις, κατά τις οποίες η παραγόμενη θερμότητα στην καρδιά του αντιδραστήρα μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας (μηχανική ή κυρίως ηλεκτρική ενέργεια), επιδιώκεται η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση κατά την μετατροπή της. Οι ανωτέρω απαιτήσεις είναι καθοριστικής σημασίας κατά την επιλογή του είδους του πυρηνικού καυσίμου και του ψυκτικού μέσου, όπως επίσης και των άλλων υλικών, που εισάγονται στην καρδιά του αντιδραστήρα, τα οποία πρέπει να αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, που επικρατούν εκεί. Έτσι, στην πολύ μεγάλη πλειοψηφία των θερμικών αντιδραστήρων μεγάλης ισχύος χρησιμοποιείται ως καύσιμο διοξείδιο του ουρανίου, επενδυμένο από ένα κράμα του

ζirkονίου γνωστό με την εμπορική ονομασία Zircaloy. Επίσης, στους υδρόψυκτους πυρηνικούς αντιδραστήρες επικρατούν πιέσεις αρκετά υψηλές, έτσι ώστε το ψυκτικό μέσον (κοινό ή βαρύ νερό) να εξέρχεται από τον αντιδραστήρα, έχοντας μια θερμοκρασία, που να πλησιάζει τους 300 βαθμούς κελσίου. Στους αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων χρησιμοποιείται ως πυρηνικό καύσιμο μίγμα οξειδίων του ουρανίου και του πλουτωνίου, επενδυμένο με ανοξειδωτο χάλυβα και ως ψυκτικό μέσον τήγμα μεταλλικού νατρίου. Το νάτριο που ζέει υπό ατμοσφαιρική πίεση στους 880 βαθμούς κελσίου, εξέρχεται από την καρδιά του αντιδραστήρα με μια θερμοκρασία 550 βαθμών κελσίου περίπου. Σε έναν πολύ ειδικό τύπο πυρηνικού αντιδραστήρα βραδέων νετρονίων, του οποίου το πυρηνικό καύσιμο συνίσταται από μικρά σφαιρίδια σχάσιμων και επωάσιμων υλικών επενδυμένων με κατάλληλο πυρίμαχο υλικό, το ψυκτικό μέσον -αέριο ήλιο υπό πίεση- εξέρχεται με θερμοκρασία που προσεγγίζει τους 1000 βαθμούς κελσίου. Χαρακτηρίζεται αντιδραστήρας υψηλών θερμοκρασιών.

#### **4.2 Σεισμικοί παράγοντες**

Στη διάρκεια των χρόνων, ο σεισμικός σχεδιασμός των πυρηνικών σταθμών βασίστηκε στην ανάλυση των μηχανικών και ηλεκτρικών συστημάτων και του μηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και στη δοκιμή του ηλεκτρικού εξοπλισμού σε προσομοίωση ενός σεισμού.

Μετά από έρευνα που έγινε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1978 από την NRC (Nuclear Regulatory Commission) αποδείχθηκε ότι πολλά από τα ήδη υπάρχοντα εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας δεν πληρούσαν τις κατάλληλες προδιαγραφές της σεισμικής σχεδίασης και έπρεπε να ανακατασκευαστούν. Μια έρευνα πολυδάπανη, η οποία στοίχιζε σε κάθε πυρηνικό σταθμό από 10 έως 20 εκατομμύρια δολάρια, και αναγκαία για την ασφάλεια του σταθμού. Ως συνέπεια των παραπάνω, δημιουργήθηκε από τους ιδιοκτήτες των πυρηνικών εργοστασίων η SQUG (Seismic Qualification Utility Group), η οποία στόχευε στη χρηματοδότηση των κατάλληλων ερευνών, ώστε να δοκιμαστούν οι εργοστασιακές εγκαταστάσεις και τα συστήματα σε συνθήκες ισχυρής σεισμικής δόνησης. Μετά από δοκιμές που έγιναν σε είκοσι κατηγορίες εξοπλισμού, προκλήθηκαν επιφυλάξεις ως προς τις επιδόσεις του εξοπλισμού και της αλληλεπίδρασης των εξοπλισμών με άλλους εξοπλισμούς και δομές, πάντα ως συνάρτηση του επιπέδου της σεισμικής διέγερσης. Προκύπτει έτσι το συμπέρασμα ότι ο σεισμικός παράγοντας στην κατασκευή ενός



πυρηνικού σταθμού παίζει καθοριστικό ρόλο, ήδη, εδώ και περισσότερα από 40 χρόνια, παρότι δεν έχει αποδειχθεί το κατά πόσο είναι οικονομικά αποδοτική για την ασφάλεια του εργοστασίου μια σεισμική κατασκευή. [7]

Γίνεται κατανοητό ότι, κυρίως οι σεισμοί, αλλά και οι άλλες φυσικές καταστροφές λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν στη σχεδίαση ενός πυρηνικού σταθμού και τα κριτήρια με τα οποία σχεδιάζονται είναι εξαιρετικά πιο αυστηρά από αυτά των υπόλοιπων εγκαταστάσεων. Η σεισμικότητα της εκάστοτε περιοχής παίζει πρωτεύοντα ρόλο στο προσδιορισμό της θέσης της εγκατάστασης, το σχεδιασμό και την κατασκευή των αντιδραστήρων. Πολλές χώρες δημιουργούν τα πυρηνικά εργοστάσια ώστε να αντέχουν σεισμό διπλάσιας έντασης από ότι υπολογίζεται να συμβεί στην κάθε περιοχή τα επόμενα χρόνια, όσο μπορεί να προβλεφθεί ένας τέτοιος παράγοντας.

Ένα μέτρο το οποίο λαμβάνεται σε πυρηνικούς σταθμούς για την αντιμετώπιση ενός σεισμού είναι ένα αυτόματο σύστημα ασφαλείας το οποίο αποτελείται από αισθητήρες σεισμικής δραστηριότητας. Αν κάποιος από αυτούς τους αισθητήρες καταγράψει μια οποιαδήποτε σεισμική ένταση, τότε ενεργοποιείται αυτόματα το σύστημα ασφαλείας και απενεργοποιείται η λειτουργία του αντιδραστήρα. Βεβαίως ο αντιδραστήρας μπορεί να επαναλειτουργήσει ανά πάσα στιγμή χωρίς να έχει προκληθεί κάποια βλάβη σε αυτόν.

Γενικά, ένας πυρηνικός σταθμός μπορεί να κατασκευαστεί ώστε να αντέχει σε οποιαδήποτε πιθανή σεισμική δόνηση. Το μοναδικό πρόβλημα σε αυτό, είναι το κόστος, το οποίο αυξάνεται όσο αυξάνεται και η αντοχή του εργοστασίου στους σταθμούς. Έχουν βρεθεί πολλοί αντιδραστήρες οι οποίοι έχουν αντεπεξέλθει σε σεισμούς, όπως για παράδειγμα στην Ιαπωνία, όπου η σεισμικότητα του εδάφους είναι αυξημένη, δίχως το παραμικρό πρόβλημα στη λειτουργία τους και, σαφώς, δίχως να προκληθεί κάποιο ατύχημα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει φτάσει σε τέτοιο επίπεδο, ώστε η πιθανότητα σοβαρού πυρηνικού ατυχήματος με σημαντική έκλυση ραδιενέργειας στο περιβάλλον να είναι πλέον απειροελάχιστη.

#### **4.3 Διαχείριση πυρηνικών αποβλήτων**

Σύμφωνα με την Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), ραδιενεργά απόβλητα είναι τα εναπομείναντα, «άχρηστα» προϊόντα που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες με ραδιενεργά υλικά. Ραδιενεργά υλικά χρησιμοποιούνται καθημερινά:

στην ιατρική, για διαγνωστικές εξετάσεις και θεραπείες στην πυρηνική ιατρική (π.χ. χρήση ραδιοφαρμάκων), ή στην ακτινοθεραπεία (π.χ. ακτινοβολήσεις καρκινικών όγκων), ενδοϊστικά, στη βιομηχανία, για ραδιογραφήσεις, ακτινοβολήσεις υλικών για αποστείρωση, έλεγχο ποιοτικών και λειτουργικών παραμέτρων (π.χ. μέτρηση στάθμης ή πάχους υλικών), στην έρευνα και εκπαίδευση, π.χ. για πειράματα βιολογίας, χημείας, επιστήμης υλικών, σε εξειδικευμένες εφαρμογές, π.χ. εντοπισμός κοιτασμάτων.

Τα πυρηνικά απόβλητα (αναλωθέντα καύσιμα) είναι μια ειδική κατηγορία ραδιενεργών αποβλήτων και πρόκειται για το εναπομένον πυρηνικό καύσιμο (συνήθως ουράνιο και τα προϊόντα αυτού), το οποίο καθίσταται άχρηστο για τη λειτουργία ενός αντιδραστήρα. Τα πυρηνικά απόβλητα, λόγω της επικινδυνότητάς τους και της ανάγκης για ειδική μεταχείριση, αναφέρονται και αντιμετωπίζονται ξεχωριστά. Η διεθνώς αποδεκτή μέθοδος για την τελική διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων είναι η εναπόθεση σε μεγάλα γεωλογικά βάθη (deep geological disposal). Κανόνας των χωρών που διαθέτουν πυρηνικούς σταθμούς είναι η εναπόθεση των αποβλήτων τους σε βάθος από 500 έως και 1000 μέτρα στη γη.

Τα απόβλητα που παράγονται από την καύση του ουρανίου χαρακτηρίζονται ως υψηλού επιπέδου απόβλητα τα οποία χρειάζονται θωράκιση και ψύξη πριν από την τακτοποίησή τους. Αυτά περιλαμβάνουν τα προϊόντα σχάσης και τα υπερανθρακικά στοιχεία που παράγονται στον πυρήνα του αντιδραστήρα. Υπάρχουν δυο είδη υψηλού επιπέδου αποβλήτων:

- διαχωρισμένα απόβλητα από επανεξεργασία μεταχειρισμένου καυσίμου
- μεταχειρισμένα καύσιμα που έχουν χαρακτηριστεί ως απόβλητα

Τα πυρηνικά απόβλητα υψηλού επιπέδου έχουν τόσο μακρόβια όσο και βραχύβια συστατικά, ανάλογα με το χρονικά διάστημα που απαιτείται για τη μείωση της ραδιενέργειας των ραδιονουκλεϊδίων σε επίπεδα που θεωρούνται μη επικίνδυνα για τους ανθρώπους και το περιβάλλον. Αν μπορέσει να πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός των μακρόβιων από των βραχύβιων συστατικών τότε η διαχείριση και η καταστροφή των αποβλήτων μετατρέπεται σε μια πιο εύκολη διαδικασία. Γενικά τα υψηλού επιπέδου απόβλητα συγκεντρώνουν την περισσότερη από την προσοχή όσον αφορά την πυρηνική ενέργεια, γι αυτό και η διαχείρισή τους είναι ιδιαίτερη σημαντική.

Η αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε στάδιο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διαχείρισης. Η αποθήκευση συνεπάγεται τη διατήρηση των αποβλήτων με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η ανάκτησή τους, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι είναι απομονωμένα από το εξωτερικό περιβάλλον. Τα απόβλητα μπορούν να αποθηκευτούν για να διευκολύνουν το επόμενο στάδιο της διαχείρισης (για παράδειγμα, επιτρέποντας τη φυσική ραδιενέργεια να αποσυντεθεί). Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης βρίσκονται συνήθως στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά μπορεί επίσης να είναι χωριστές από την εγκατάσταση παραγωγής. Η απόρριψη των αποβλήτων πραγματοποιείται όταν δεν υπάρχει περαιτέρω προβλεπόμενη χρήση και όταν η ραδιενέργεια έχει υποστεί φθορές σε σχετικά χαμηλά επίπεδα μετά από περίπου 40 με 50 χρόνια.[8]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

#### 5.1 Αλυσιδωτή αντίδραση

Το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται η λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων είναι η σχάση. Ως σχάση, ορίζεται η σύγκρουση ενός νετρονίου με ένα πυρήνα U-235, η οποία τις περισσότερες φορές έχει σαν αποτέλεσμα να ενσωματωθεί σε αυτόν και να προκύψει ένας νέος πολυσύνθετος πυρήνας σε κατάσταση διέγερσης. Ο πυρήνας που προκύπτει, χωρίζεται σε δυο κομμάτια απελευθερώνοντας μεγάλα ποσά ενέργειας καθώς επίσης και δυο ή τρία νετρόνια αφού πρώτα προηγηθεί η σχάση. Η διαφορά στους πυρηνικούς αντιδραστήρες είναι ότι η ποσότητα που U-235 που απαιτείται είναι αρκετά περισσότερη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, από μία σχάση να προκύπτουν νετρόνια τα οποία στη συνέχεια να απορροφούνται από άλλους πυρήνες U-235 με αποτέλεσμα την εκπομπή νέων νετρονίων που και αυτά με τη σειρά τους θα επαναλάβουν τη ίδια διεργασία. Ως αποτέλεσμα, με τη διαδικασία της σχάσης, εκτός από την ενέργεια που εκλύεται, παράγονται και τα νετρόνια τα οποία είναι και το μέσο της αναπαραγωγής της. Το φαινόμενο αυτό των αλυσιδωτών αντιδράσεων που λαμβάνει χώρα στους πυρηνικούς αντιδραστήρες έχει σαν αποτέλεσμα την αυτοσυντήρηση.

Για τη χρησιμοποίηση της ενέργειας που εκλύεται από τη σχάση, είναι αναγκαία η χρήση ενός ψυκτικού μέσου για να απάγει τη θερμότητα από το καύσιμο, ώστε να τη μεταφέρει έξω από τον πυρήνα του αντιδραστήρα για τη διαδικασία της ηλεκτροπαραγωγής. Παράλληλα με το ψυκτικό υλικό, απαραίτητο είναι να υπάρχει και κάποιου είδους έλεγχος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Το πλήθος των νετρονίων στην καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα είναι ανάλογο του ρυθμού των σχάσεων, οπότε και της θερμικής ισχύος του αντιδραστήρα. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η συνεχής επίβλεψη του συνολικού αριθμού των νετρονίων της παραγόμενης ισχύος και, επομένως, του ισοζυγίου μεταξύ του ρυθμού παραγωγής και απώλειάς τους. Για την υλοποίηση αυτού του ελέγχου χρησιμοποιείται ο συντελεστής πολλαπλασιασμού  $k$ , ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$k = \text{αριθμός σχάσεων σε μία γενιά} \div \text{αριθμός σχάσεων προηγούμενης γενιάς}$$

Με βάση το αποτέλεσμα του λόγου αυτού διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις. Αυτές είναι οι εξής:

1.  $k > 1$ : Υπερκρίσιμο σύστημα. Η ενέργεια που εκλύεται μέσα στον αντιδραστήρα αυξάνεται βαθμιαία με την πάροδο του χρόνου καθώς ο αριθμός των σχάσεων αυξάνεται από γενιά σε γενιά.
2.  $k < 1$ : Υποκρίσιμο σύστημα. Ο αριθμός των σχάσεων φθίνει με την πάροδο του χρόνου.
3.  $k = 1$ : Κρίσιμο σύστημα. Η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι σταθερή, διότι από γενιά σε γενιά ο αριθμός των σχάσεων παραμένει αναλλοίωτος.

Όταν απαιτείται αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από τον αντιδραστήρα πρέπει να μεταβληθεί η τιμή του  $k$  ώστε να ισχύει  $k > 1$  και το σύστημα να γίνει υπερκρίσιμο. Όταν η παραγόμενη ενέργεια φτάσει στην επιθυμητή τιμή το σύστημα πρέπει να γίνει κρίσιμο και η τιμή του  $k$  να μεταβληθεί ώστε  $k = 1$ . Τέλος, όταν απαιτείται μείωση της ενέργειας που παράγεται από τον αντιδραστήρα ή την απενεργοποίηση αυτού τότε η τιμή του  $k$  πρέπει να μειωθεί και να γίνει ελαφρώς μικρότερη της μονάδος ( $k < 1$ ).

## **5.2 Διάταξη και λειτουργία πυρηνικού αντιδραστήρα**

Πυρηνικός αντιδραστήρας είναι μια διάταξη κατάλληλη σχεδιασμένη για να πραγματοποιεί ελεγχόμενη αυτοσυντήρητη, αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης. Το μέρος στο οποίο πραγματοποιούνται οι σχάσεις αποτελεί την καρδιά ή αλλιώς τον πυρήνα του αντιδραστήρα. Εκεί περικλείεται ο επιβραδυντής, οι ράβδοι καυσίμου και οι ράβδοι ελέγχου. Στους αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων δεν υπάρχει επιβραδυντής. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία κάθε αντιδραστήρα είναι η ύπαρξη κάποιου πυρηνικού καυσίμου, το οποίο περιέχει τους σχάσιμους πυρήνες. Το πυρηνικό καύσιμο είναι, επίσης, υπεύθυνο για τη διατήρηση της κρισιμότητας του συστήματος. Στην πλειοψηφία τους, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες στις μέρες μας, χρησιμοποιούν για καύσιμο το εμπλουτισμένο ουράνιο, το οποίο βρίσκεται μέσα σε δισκία που συγκρατούν τα στερεά προϊόντα της σχάσης τοποθετημένα σε μεταλλικό κυλινδρικό περίβλημα. Με αυτό τον τρόπο, διασφαλίζεται ο περιορισμός των ραδιενεργών προϊόντων της σχάσης στο εσωτερικό του αντιδραστήρα και η ελαχιστοποίηση των διαρροών των ραδιενεργών υλικών που μαζί με το καύσιμο αποτελούν τη ράβδο καυσίμου. Οι ράβδοι καυσίμου στο εσωτερικό του αντιδραστήρα είναι τοποθετημένες σε συστάδες και περιέχουν το σύνολο του σχάσιμου

υλικού από το οποίο πραγματοποιούνται οι σχάσεις. Με τον όρο συστάδα καυσίμου εννοούμετο σύνολο των ράβδων καυσίμου που είναι τοποθετημένες σε ένα ενιαίο συγκρότημα με την απαιτούμενη δομή.

Ο επιβραδυντής χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στους θερμικούς αντιδραστήρες για την επιβράδυνση των ταχέων νετρονίων. Αποτελείται από ράβδους γραφίτη που εσωκλείουν τις ράβδους καυσίμου. Η διάταξη αυτή έχει σκοπό την εξουδετέρωση των νετρονίων που κυκλοφορούν μέσα στον αντιδραστήρα προκειμένου είτε να σταματήσει, είτε να πραγματοποιείται η σχάση στον επιθυμητό ρυθμό. Σκοπός αυτής της διεργασίας είναι ο έλεγχος της αλυσιδωτής αντίδρασης σχάσης, καθώς θα υπήρχε ο κίνδυνος το πυρηνικό υλικό που περιέχεται στον αντιδραστήρα να συνέχιζε να αντιδρά ταχύτητα εκλύοντας τεράστια ποσά ενέργειας.

Οι ράβδοι ελέγχου είναι κινούμενα μέρη από υλικό κατάλληλο για την απορρόφηση των νετρονίων. Χρησιμοποιούνται για να ρυθμίζουν την παροχή των νετρονίων για διάσπαση, δηλαδή με κάθε κίνησή τους μεταβάλλουν το  $k$  του αντιδραστήρα. Όταν οι ράβδοι ελέγχου προωθούνται αρκετά, ο συντελεστής  $k$  μειώνεται και ο αριθμός των σχάσεων περιορίζεται καθώς απορροφούν τα περισσότερα από τα νετρόνια διάσπασης. Αντιθέτως, όταν οι ράβδοι ελέγχου αποσύρονται, όλο και περισσότερα νετρόνια διάσπασης είναι διαθέσιμα, ο συντελεστής  $k$  και η ένταση της αλυσιδωτής αντίδρασης αυξάνεται. Γίνεται κατανοητό ότι η εισαγωγή και η εξαγωγή των ράβδων ελέγχου καθορίζει την έναρξη και τη διακοπή της λειτουργίας του αντιδραστήρα και προσαρμόζει την παραγόμενη ισχύ στα επιθυμητά επίπεδα. Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζεται από τις ράβδους ελέγχου είναι η κρισιμότητα του συστήματος, η οποία παραμένει σε σταθερό επίπεδο καθώς καταναλώνεται το καύσιμο και τα προϊόντα σχάσης αυξάνονται στην καρδιά του αντιδραστήρα.

Περιμετρικά από κάθε ράβδο καυσίμου κυκλοφορεί κάποιο ψυκτικό με σκοπό την απελευθέρωση τεράστιων ποσών θερμότητας που απελευθερώνονται από κάθε σχάση. Το ψυκτικό αυτό μπορεί να είναι είτε κάποιο υγρό, όπως νερό ή βαρύ ύδωρ, είτε αέριο, όπως διοξείδιο του άνθρακα. Η θερμότητα που παράγεται, οδηγείται με αυτό τον τρόπο έξω από την καρδιά του αντιδραστήρα, στον εναλλάκτη θερμότητας και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ψυκτικό το οποίο χρησιμοποιείται εξαρτάται από τον τύπο του αντιδραστήρα, αφού για παράδειγμα τα ψυκτικά που βρίσκονται σε

υγρή μορφή δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων, γιατί επιβραδύνουν τα νετρόνια σχάσης, τα οποία πρέπει να διατηρούν υψηλά επίπεδα ενέργειας.

Σε κάποιους τύπους αντιδραστήρων η διάταξη που χρησιμοποιείται είναι διαφορετική. Για παράδειγμα, στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες, γύρω από την καρδιά του αντιδραστήρα υπάρχει μια περιοχή που καλείται μανδύας επώασης και είναι ειδικά σχεδιασμένος για μετατροπή ή αναπαραγωγή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα νετρόνια που διαφεύγουν από τον πυρήνα του αντιδραστήρα να εισέρχονται σε αυτόν τον μανδύα και να συμβάλλουν και αυτά στις αντιδράσεις μετατροπής. Το ψυκτικό μέσο υπάρχει και σε αυτό το χώρο, αφού είναι πιθανό ταχεία νετρόνια να απομακρυνθούν από την καρδιά και να εισέλθουν στον μανδύα επώασης προκαλώντας σχάσεις και μεγάλα ποσά ενέργειας. Ο μανδύας επώασης περικλείεται από τον ανακλαστή, ώστε να μειώνονται οι απώλειες από την ανάκλαση των νετρονίων που απομακρύνονται από τον πυρήνα του αντιδραστήρα προκειμένου να επιστρέψουν σε αυτόν. Το υλικό του ανακλαστή πρέπει να αποτελείται από μικρή διατομή απορρόφησης και μεγάλη διατομή σκέδασης των νετρονίων. Για το λόγο αυτό, τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι σχεδόν τα ίδια.

Γύρω από την καρδιά του αντιδραστήρα και στα υλικά που υπάρχουν στο χώρο αυτό, αναπτύσσονται μεγάλες πηγές θερμότητας, με αποτέλεσμα τα υλικά να καταπονούνται. Για την αποφυγή της καταπόνησης αυτής, μεταξύ της καρδιάς του αντιδραστήρα και των εξαρτημάτων αυτού, παρεμβάλλεται μια θερμική θωράκιση. Πρόκειται για σιδερένιο ή χαλύβδινο έλασμα το οποίο απορροφά τις ακτινοβολίες και μειώνει την έντασή τους.

Όλα τα παραπάνω περιέχονται στο δοχείο πίεσης. Πρόκειται για ένα δοχείο, υπό πίεση, το οποίο περιβάλλεται από ένα είδος βιολογικής θωράκισης ώστε να επιτυγχάνεται η προστασία των εργαζομένων από τη ραδιενέργεια. Τα υπόλοιπα εξαρτήματα που περιέχουν πηγές ραδιενέργειας περιβάλλονται από το δοχείο εγκλωβισμού. Το δοχείο αυτό είναι κατασκευασμένο από οπλοσμένο σκυρόδεμα πάχους μεγαλύτερου του ενός μέτρου και εσωτερική επένδυση που αποτελείται από στεγανό χαλύβδινο έλασμα. Έτσι, αυξάνεται η προστασία από τη διαρροή επικίνδυνων υλικών στο περιβάλλον σε περίπτωση ατυχήματος ακόμα και κάτω από ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Η πίεση εντός του δοχείου συνήθως είναι λίγο υψηλότερη από την ατμοσφαιρική προκειμένου να αποφευχθούν διαρροές αέρα προς το περιβάλλον. Ο χώρος αυτός

ελέγχεται συστηματικά από ανιχνευτές ώστε να διασφαλίζεται πως δεν υπάρχουν αιωρούμενα ραδιενεργά σωματίδια, αφού προσωπικό έρχεται συνεχώς σε επαφή με αυτόν.

### 5.3 Εξέλιξη πυρηνικών αντιδραστήρων

Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες κατηγοριοποιούνται σε γενιές, ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Οι κατηγορίες των πυρηνικών αντιδραστήρων έχουν ως εξής:

- Γενιά I: Αποτελείται από τους πρώτους αντιδραστήρες που αναπτύχθηκαν κυρίως τη δεκαετία του '50 και του '60. Ως επί το πλείστον αναφέρονται σε αεριοψυκτους αντιδραστήρες τύπου Magnox. Αντιδραστήρες όπως ο Shippingport στην Πενσυλβάνια, ο Dresden – I στο Illinois και ο Calder Hall στο Ηνωμένο Βασίλειο ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Ο τελευταίος πυρηνικός αντιδραστήρας τέτοιας γενιάς τέθηκε εκτός λειτουργίας το Δεκέμβριο του 2012 στην Ουαλία (πυρηνικός σταθμός Wylfa).
- Γενιά II: Η επόμενη γενιά αναπτύχθηκε λόγω της ανάγκης για αξιοπιστία και οικονομική λειτουργία στο τέλος της δεκαετίας του '60. Ο προσδόκιμος χρόνος λειτουργίας της 2<sup>ης</sup> γενιάς αντιδραστήρων έφτανε τα 40 έτη και περιελάμβαναν τους αντιδραστήρες βαρέως ύδατος, ελαφρού ύδατος και τους αντιδραστήρες AGR (Advanced Cooled Reactors). Η πλειοψηφία των αντιδραστήρων που βρίσκονται εν ενεργεία ανήκουν σε αυτή τη γενιά αντιδραστήρων. Τα συστήματα ασφαλείας που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους αντιδραστήρες περιλαμβάνουν ηλεκτρικές και μηχανικές λειτουργίες που εκκινούν αυτόματα αλλά μπορούν να τεθούν σε λειτουργία και από τους χειριστές. Κάποια από τα συστήματα ενεργούν παθητικά και λειτουργούν χωρίς την ανάγκη χειρισμού ή απώλειας ισχύος.
- Γενιά III: Η συνεχόμενη ανάγκη για βελτίωση, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων και λόγω οικονομίας έφεραν την 3<sup>η</sup> γενιά αντιδραστήρων, οι οποίοι είναι παρόμοιοι με αυτούς της 2<sup>ης</sup>. Υπάρχουν αλλαγές προς το καλύτερο στην τεχνολογία καυσίμου, στη θερμική απόδοση, στη διαμόρφωση των κατασκευών, στα συστήματα ασφαλείας και στην τυποποίηση του σχεδιασμού. Ο στόχος αυτών των συστημάτων είναι να χρησιμοποιήσουν προηγμένα συστήματα ασφαλείας, με απλές διατάξεις όμως, ώστε να διατηρηθεί χαμηλό το κόστος κατασκευής. Ο χρόνος ωφέλιμης λειτουργίας των αντιδραστήρων αυτής της γενιάς είναι 60 χρόνια



με τη δυνατότητα επέκτασής του. Για να επιτευχθεί η παράταση στη λειτουργία του αντιδραστήρα για μεγαλύτερο διάστημα, όμως, χρήζει μια σειρά από έρευνες που εξασφαλίζουν την αξιοπιστία της. Αντιδραστήρες αυτής της γενιάς είναι οι προηγμένοι PWR και οι προηγμένοι αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος (ABWR). Οι πρώτοι αντιδραστήρες της 3<sup>ης</sup> γενιάς που τέθηκαν σε λειτουργία βρίσκονται στην Ιαπωνία. Ο αριθμός των αντιδραστήρων 3<sup>ης</sup> γενιάς που βρίσκονται σε λειτουργία είναι 4 και είναι όλοι ABWR.

- Γενιά III+: Η συγκεκριμένη γενιά άρχισε να αναπτύσσεται στις αρχές της δεκαετίας του '90 και χαρακτηρίζεται από σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με την προηγούμενη. Αποτελείται από AP1000, European Pressurized Reactor (EPR), Economic Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR), APR-1400, APWR, VVER-1200/329M Reactor, Advanced CANDU Reactor, EU-ABWR. Σε αυτή τη γενιά αντιδραστήρων επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξάντληση καυσίμου και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα λιγότερα απόβλητα. Η σημαντικότερη, όμως, βελτίωση βρίσκεται στην ενσωμάτωση παθητικών συστημάτων που δεν απαιτούν παρέμβαση από χειριστή ή ενεργό έλεγχο, αλλά στηρίζονται στη βαρύτητα ή τη φυσική διάδοση θερμότητας για την εξάλειψη βλάβης ή ατυχήματος.
- Γενιά IV: Στη γενιά αυτή συγκαταλέγονται οι αντιδραστήρες του μέλλοντος. Οι αντιδραστήρες της 4<sup>ης</sup> γενιάς εκτός από όλα τα χαρακτηριστικά της γενιάς III+, είναι σχεδιασμένοι για την καλύτερη δυνατή διαχείριση καυσίμου με υψηλότερο βαθμό εξάντλησης και αναπαραγωγή του εξαντλημένου ουρανίου. Επίσης, μπορούν να λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες από το σύνολο των σύγχρονων συστημάτων, καθώς και να χρησιμοποιούν και συστήματα πλήρους ανακύκλωσης των ακτινίων τα οποία είναι και τα πιο επικίνδυνα ραδιενεργά απόβλητα. Ταυτόχρονα, η γενιά αυτή υπόσχεται αυξημένη λειτουργική ασφάλεια, αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των πυρηνικών αποβλήτων για ηλεκτροπαραγωγή, παραγωγή πολλαπλάσιας ποσότητας ενέργειας (έως και 300 φορές περισσότερη) και μείωση του διαστήματος κατά το οποίο τα πυρηνικά απόβλητα παραμένουν ενεργά. Τέλος, να αναφερθεί ότι στην 4<sup>η</sup> γενιά περιλαμβάνονται και οι καινοτόμοι σχεδιασμοί, όπως αντιδραστήρες μετάδοσης κύματος, οι οποίοι μέσω της πυρηνικής μεταστοιχείωσης μετατρέπουν το γόνιμο σε σχάσιμο υλικό. [9]

#### 5.4 Πυρηνική ενέργεια και ασφάλεια

Αυξημένη βαρύτητα για την ανάπτυξη πυρηνικής τεχνολογίας δίνεται στην ασφάλεια. Με την πυρηνική ενέργεια, η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα καθιστά προφανή τον δυνητικό κίνδυνο και αυτό πάντα λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Τα λίγα ατυχήματα ήταν θεαματικά και άξια αναφοράς, αλλά σε πάνω από 17.000 αθροιστικά έτη αντιδραστικής εμπορικής λειτουργίας σε 33 χώρες, σημειώθηκαν μόνο τρία μεγάλα ατυχήματα σε πυρηνικούς σταθμούς, κάτι που δείχνει πως η βιομηχανία ήταν επιτυχημένη στην αποφυγή ατυχημάτων.

Έχει από καιρό τεκμηριωθεί ότι τα ατυχήματα πυρηνικών αντιδραστήρων είναι η επιτομή των κινδύνων χαμηλής πιθανότητας αλλά υψηλού κινδύνου. Είναι κατανοητό ότι, με αυτό το σκεπτικό, κάποιοι άνθρωποι δεν επιθυμούσαν να δεχτούν τον κίνδυνο, όσο χαμηλή είναι η πιθανότητα. Ωστόσο, η φυσική και η χημεία ενός πυρήνα του αντιδραστήρα, σε συνδυασμό με, αλλά όχι εξ ολοκλήρου από τη μηχανική, συνεπάγονται ότι οι συνέπειες ενός ατυχήματος είναι στην πραγματικότητα πολύ λιγότερο σοβαρές από αυτές που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές και ενεργειακές πηγές.

Στην πυρηνική ενέργεια, η ασφάλεια εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες όπως και σε οποιαδήποτε συγκρίσιμη βιομηχανία: έξυπνος σχεδιασμός, σωστός σχεδιασμός με συντηρητικά περιθώρια και συστήματα υποστήριξης, συστατικά υψηλής ποιότητας και καλά αναπτυγμένη κουλτούρα ασφάλειας στις επιχειρήσεις. Το κύριο μέλημα για την ασφάλεια ήταν πάντοτε η πιθανότητα ανεξέλεγκτης απελευθέρωσης ραδιενεργού υλικού, με αποτέλεσμα τη μόλυνση και την επακόλουθη έκθεση σε ακτινοβολία εκτός του χώρου. Προγενέστερες υποθέσεις έδειχναν ότι αυτό θα ήταν πιθανό σε περίπτωση μείζονος απώλειας ψυκτικού ατυχήματος (LOCA) που θα οδηγούσε στην τήξη του πυρήνα. Η εμπειρία του Three Mile Island πρότεινε κάτι διαφορετικό, αλλά στη Fukushima αυτό ακριβώς συνέβη.

Μια θεμελιώδης αρχή της λειτουργίας του πυρηνικού σταθμού σε όλο τον κόσμο είναι ότι ο φορέας εκμετάλλευσης είναι υπεύθυνος για την ασφάλεια. Η εθνική ρυθμιστική αρχή είναι υπεύθυνη για την ασφαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων από τον δικαιούχο και ότι το σχέδιο έχει εγκριθεί. Μια δεύτερη σημαντική ιδέα είναι ότι η αποστολή ρυθμιστικής αρχής είναι η προστασία των ανθρώπων και του περιβάλλοντος. Η πιστοποίηση σχεδιασμού των αντιδραστήρων αποτελεί επίσης ευθύνη των εθνικών ρυθμιστικών

αρχών. Υπάρχει διεθνής συνεργασία μεταξύ τους σε διάφορους βαθμούς, και υπάρχουν ορισμένα σύνολα μηχανικών κωδίκων και προτύπων που σχετίζονται με την ποιότητα και την ασφάλεια. Με τη δημιουργία νέων σχεδίων αντιδραστήρων σε διεθνή βάση από τη δεκαετία του 1990, τόσο η βιομηχανία όσο και οι ρυθμιστικές αρχές επιδιώκουν μεγαλύτερη τυποποίηση σχεδιασμού και επίσης εναρμόνιση κανονιστικών ρυθμίσεων.

Για να επιτευχθεί η βέλτιστη ασφάλεια, οι πυρηνικές εγκαταστάσεις στο δυτικό κόσμο λειτουργούν χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση «αμυντικής βάσης», με πολλαπλά συστήματα ασφαλείας που συμπληρώνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά του πυρήνα του αντιδραστήρα. Βασικές πτυχές της προσέγγισης είναι:

- υψηλής ποιότητας σχεδιασμός και κατασκευή,
- εξοπλισμό που εμποδίζει τις λειτουργικές διαταραχές ή τις ανθρώπινες αποτυχίες και τα λάθη που εξελίσσονται σε προβλήματα,
- ολοκληρωμένη παρακολούθηση και τακτικές δοκιμές για τον εντοπισμό αστοχιών εξοπλισμού ή χειριστή,
- περιττά και ποικίλα συστήματα για τον έλεγχο ζημιών στο καύσιμο και την πρόληψη σημαντικών ραδιενεργών εκλύσεων,
- πρόβλεψη περιορισμού των επιπτώσεων της σοβαρής ζημίας από καύσιμα (ή οποιοδήποτε άλλο πρόβλημα) στο ίδιο το εργοστάσιο.

Τα παραπάνω μπορούν να συνοψιστούν ως: Πρόληψη, Παρακολούθηση και Δράση.

Οι διατάξεις για την ασφάλεια περιλαμβάνουν μια σειρά φυσικών φραγμών μεταξύ του πυρήνα του ραδιενεργού αντιδραστήρα και του περιβάλλοντος, την παροχή πολλαπλών συστημάτων ασφαλείας, το καθένα εφεδρικό και σχεδιασμένο για να δέχεται ανθρώπινο λάθος. Τα συστήματα ασφαλείας αντιπροσωπεύουν περίπου το ένα τέταρτο του κόστους κεφαλαίου τέτοιων αντιδραστήρων.

Τα εμπόδια σε ένα τυπικό εργοστάσιο είναι: το καύσιμο έχει μορφή σφαιριδίων από στερεό κεραμικό (UO<sub>2</sub>) και τα ραδιενεργά προϊόντα σχάσης παραμένουν σε μεγάλο βαθμό δεσμευμένα μέσα σε αυτά τα σφαιρίδια καθώς καίγεται το καύσιμο. Τα σφαιρίδια συσκευάζονται μέσα σε σφραγισμένους σωλήνες από κράμα ζirkονίου για να σχηματίσουν ράβδους καυσίμων. Αυτά περιορίζονται μέσα σε ένα μεγάλο δοχείο πίεσης χάλυβα με τοίχους πάχους έως 30 cm - οι σχετικές πρωτογενείς σωλήνες ψύξης νερού

είναι επίσης σημαντικές. Όλα αυτά, με τη σειρά τους, περικλείονται μέσα σε μια ανθεκτική δομή συγκράτησης σπλισμένου σκυροδέματος με τοίχους πάχους τουλάχιστον ενός μέτρου. Αυτό αντιπροσωπεύει τρία σημαντικά εμπόδια γύρω από το καύσιμο, το οποίο είναι σταθερό από μόνο του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Τα εμπόδια αυτά παρακολουθούνται συνεχώς. Η επένδυση καυσίμου παρακολουθείται με μέτρηση της ποσότητας ραδιενέργειας στο νερό ψύξης. Το σύστημα ψύξης υψηλής πίεσης παρακολουθείται από το ρυθμό διαρροής νερού και τη δομή συγκράτησης με περιοδική μέτρηση του ρυθμού διαρροής αέρα σε περίπου πέντε φορές την ατμοσφαιρική πίεση.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ασφαλείας των περισσότερων αντιδραστήρων είναι εγγενή - αρνητικός συντελεστής θερμοκρασίας και αρνητικός συντελεστής κενών. Το πρώτο σημαίνει ότι πέρα από ένα βέλτιστο επίπεδο, καθώς η θερμοκρασία αυξάνει την αποδοτικότητα της αντίδρασης μειώνεται. Το δεύτερο σημαίνει ότι εάν έχει σχηματιστεί ατμός στο νερό ψύξης, υπάρχει μείωση της μέτρησης, έτσι ώστε λιγότερα νετρόνια να είναι ικανά να προκαλέσουν σχάση και η αντίδραση επιβραδύνεται αυτόματα.

Τα παραδοσιακά συστήματα ασφαλείας των αντιδραστήρων είναι «ενεργά» υπό την έννοια ότι περιλαμβάνουν ηλεκτρική ή μηχανική λειτουργία υπό εντολή. Ορισμένα μηχανικά συστήματα λειτουργούν παθητικά, π.χ. βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης. Και οι δύο απαιτούν παράλληλα πλεονάζοντα συστήματα. Ο εγγενής ή ο πλήρης σχεδιασμός παθητικής ασφάλειας εξαρτάται μόνο από φυσικά φαινόμενα όπως η μεταφορά, η βαρύτητα ή η αντίσταση σε υψηλές θερμοκρασίες, και όχι η λειτουργία κατασκευασμένων εξαρτημάτων. Όλοι οι αντιδραστήρες έχουν ορισμένα στοιχεία εγγενούς ασφάλειας όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά σε μερικά πρόσφατα σχέδια τα παθητικά ή εγγενή χαρακτηριστικά υποκαθιστούν τα ενεργά συστήματα στην ψύξη κλπ. Ένα τέτοιο σχέδιο θα απέτρεπε το ατύχημα της Φουκουσίμα, όπου η απώλεια ηλεκτρικής ισχύος είχε ως αποτέλεσμα απώλεια ψύξης στη λειτουργία.

Εκτός από τα θέματα ασφαλείας στη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων, η διεθνή ένωση πυρηνικών, λαμβάνει μέτρα και για διάφορες φυσικές καταστροφές οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στη λειτουργία του σταθμού. Υπάρχει συγκεκριμένος οδηγός ασφαλείας, ο οποίος πρέπει να ακολουθείται πιστά σε περίπτωση σεισμού, αρκετά ισχυρού ώστε να δημιουργήσει κίνδυνο. Επίσης, συγκεκριμένος οδηγός ασφαλείας υπάρχει για κινδύνους προερχόμενους από ηφαιστεια, ακόμα και αν τα

πυρηνικά εργοστάσια που κινδυνεύουν από ηφαίστειο παγκοσμίως είναι ελάχιστα. Τα πυρηνικά εργοστάσια κατασκευάζονται συνήθως κοντά σε υδάτινα σώματα, για λόγους ψύξης. Η άδεια εκμετάλλευσης τοποθεσιών λαμβάνει υπόψη τα χειρότερα σενάρια πλημμύρας καθώς και άλλες πιθανές φυσικές καταστροφές και, πιο πρόσφατα, τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Ως αποτέλεσμα, όλα τα κτίρια με εξοπλισμό σχετικό με την ασφάλεια βρίσκονται σε αρκετά μεγάλες πλατφόρμες, έτσι ώστε να βρίσκονται πάνω από τις βυθισμένες περιοχές σε περίπτωση συμβάντων πλημμύρας. [10]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

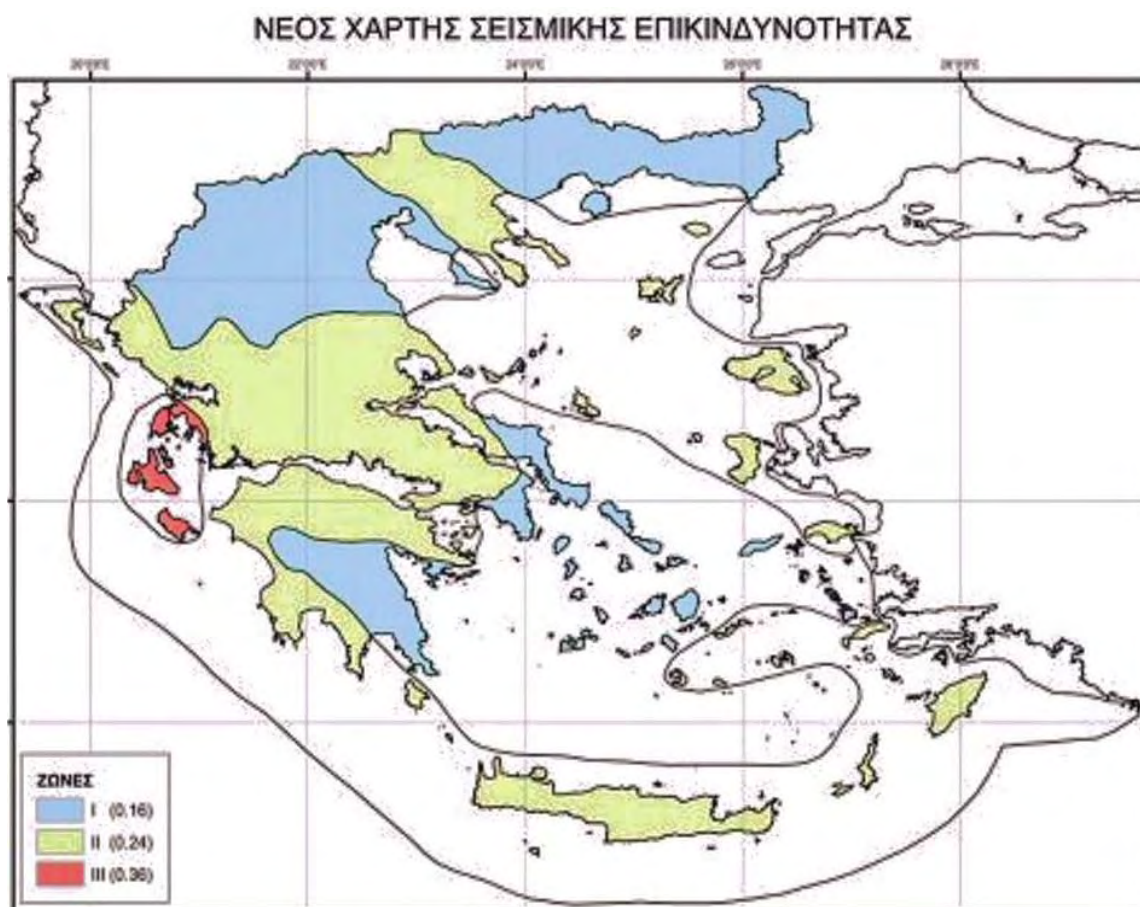
### ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

#### 6.1 Μελέτη εδάφους – Γεωλογικοί παράγοντες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, προϋπόθεση για την εγκατάσταση ενός πυρηνικού σταθμού σε ένα μέρος είναι η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας νερού στην ευρύτερη περιοχή. Από εκεί και πέρα σημαντικό ρόλο, χωρίς ωστόσο να αποτελεί σημαντική και απαραίτητη προϋπόθεση, παίζει και η σεισμικότητα της περιοχής. Στην Εικόνα 11 φαίνεται ο γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας και στην Εικόνα 12 ο χάρτης με τη σεισμική επικινδυνότητα για κάθε περιοχή της χώρας μας.



Εικόνα 11: Γεωφυσικός Χάρτης Ελλάδος



*Εικόνα 12: Η Σεισμική Επικινδυνότητα στην Ελλάδα*

Στο χάρτη της Εικόνας 12 οι ζώνες χαρακτηρίζονται με 0.16g η μπλε, 0.24g η πράσινη και 0.36g η κόκκινη και αναφέρονται στο ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Στη συνέχεια θα μελετηθεί η Ελλάδα κατά τόπους, με στόχο να φανεί κατά πόσο τηρούνται οι προϋποθέσεις για την ανάπτυξη ενός πυρηνικού σταθμού.

Ξεκινώντας από τη βόρεια Ελλάδα και συγκεκριμένα από το νομό Έβρου (Εικόνα 13) παρατηρούμε ότι το υπέδαφος βοηθάει αρκετά στην κατασκευή ενός τέτοιου εργοστασίου. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι κατά μήκος του νομού, από τα βόρεια σύνορα μέχρι να εκβάλει στο Αιγαίο πέλαγος, ρέει ο Έβρος ποταμός. Ο Έβρος είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός της νοτιοανατολικής Ευρώπης, μετά το Δούναβη, ενώ αποτελεί τον κυριότερο ποταμό της Βαλκανικής χερσονήσου με συνολικό μήκος που ξεπερνάει τα 500 χιλιόμετρα. Όπως συμβαίνει με τους περισσότερους ποταμούς με το συγκεκριμένο μέγεθος και με τη συγκεκριμένη ποσότητα νερού, έτσι και με το Έβρο, οι

εκβολές του στη θάλασσα καταλαμβάνουν μια πολύ μεγάλη έκταση, κάτι που βοηθάει στην ανέγερση ενός σταθμού. Λαμβάνοντας σοβαρά υπόψιν, τόσο τη χαμηλή σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής, όσο και την ιδανική απόσταση της περιοχής από το μεγάλο αστικό κέντρο της Αλεξανδρούπολης, ισχυροποιείται η θέση μας για την καταλληλότητα της περιοχής αυτής για την ανέγερση ενός πυρηνικού σταθμού. Σημαντικός παράγοντας μπορεί να αποτελέσει και η πολύ κοντινή απόσταση με την Τουρκία, σε ένα πιθανό ενδεχόμενο συνεργασίας των δυο χωρών για την από κοινού παραγωγή ενέργειας.

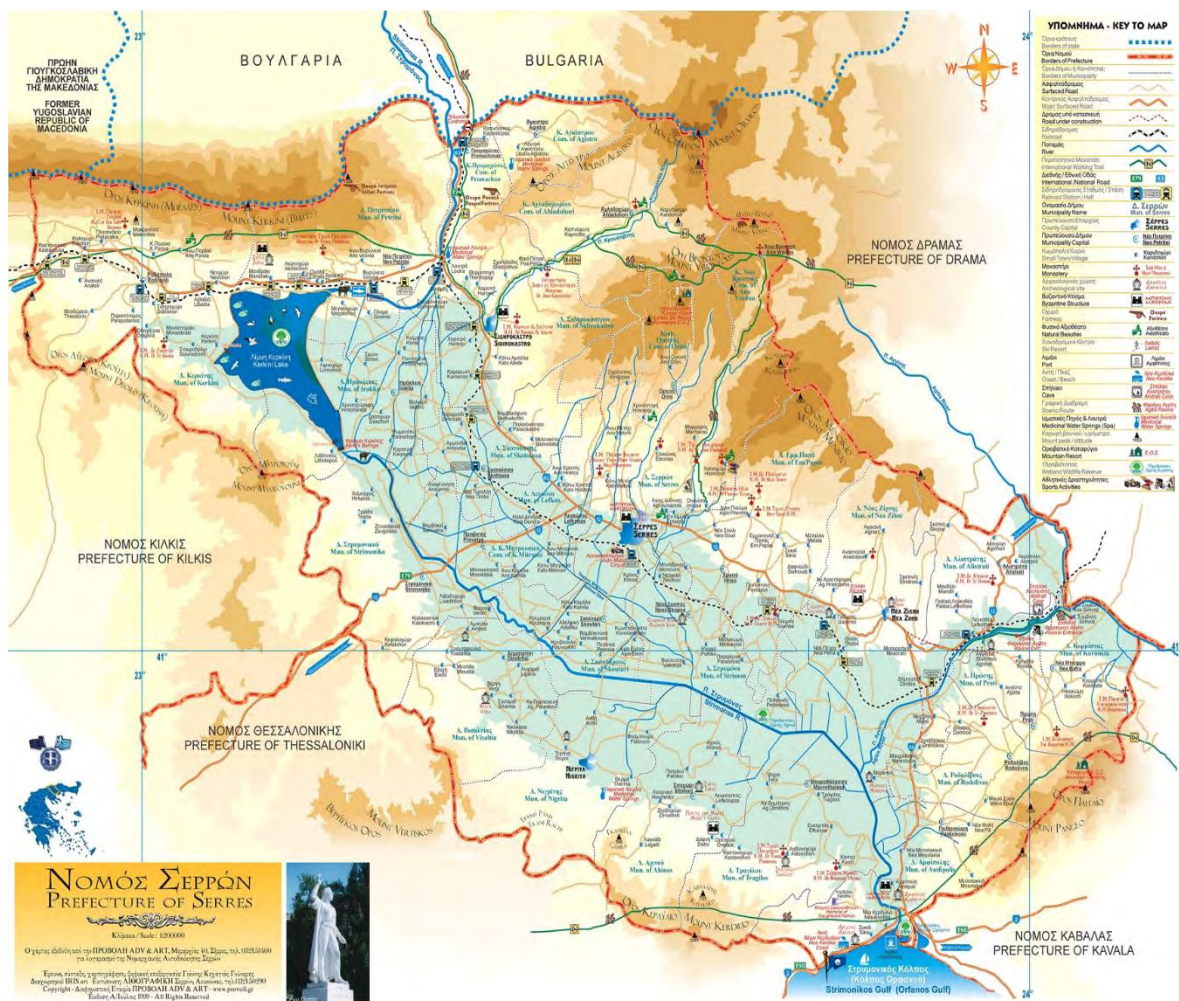


Εικόνα 13: Χάρτης Νομού Έβρου

Συνεχίζοντας τη διαδρομή κατά μήκος της Ελλάδας, και παρακάμπτοντας την οροσειρά της Ροδόπης της οποίας το έδαφος δεν ενθαρρύνει το σκοπό μας, η επόμενη περιοχή που θα σταθούμε είναι στο νομό Σερρών (Εικόνα 14), και συγκεκριμένα στην περιοχή που εκτείνεται κοντά στη λίμνη της Κερκίνης. Σε συνδυασμό με τις πηγές του ποταμού



Στρυμόνα και την πεδιάδα που σχηματίζεται εκεί, η θέση αποτελεί σημείο στο οποίο θα μπορούσε να δημιουργηθεί πυρηνικός αντιδραστήρας. Η πόλη των Σερρών είναι σε θέση να αποτελέσει τη στέγη των εργατών του σταθμού, προμηθεύοντάς τους παράλληλα με τα απαραίτητα εφόδια για την εργασία τους. Ας μην ξεχνάμε ότι και η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από χαμηλή σεισμικότητα, όπως διακρίνεται στο χάρτη της Εικόνας 12 και από το γεγονός πως στο παρελθόν ήταν ελάχιστοι οι ισχυροί σεισμοί που έπληξαν της περιοχή. Η γεωγραφική θέση της περιοχής, η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στα σύνορα με τη Βουλγαρία αλλά και στα σύνορα με τα Σκόπια, ενδείκνυται ακόμα και για εύκολη εξαγωγή της ενέργειας στις υπόλοιπες Βαλκανικές χώρες.



Εικόνα 14: Χάρτης Νομού Σερρών

Το επόμενο μέρος της Ελλάδας στο οποίο θα εστιάσουμε την προσοχή μας βρίσκεται στη δυτική Μακεδονία, και συγκεκριμένα στο νομό Κοζάνης (Εικόνα 15). Στην περιοχή, δηλαδή, στην οποία έχουν την έδρα τους κάποιοι από τους μεγαλύτερους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της χώρας μας, οι οποίοι και ευθύνονται για την παραγωγή του σημαντικότερου ποσοστού ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών των πολιτών. Η περιοχή αυτή, βρέχεται από πολλούς από τους παραποτάμους του μεγαλύτερου ποταμού σε παροχή στην Ελλάδα, του Αλιάκμονα, όπως επίσης και από την τεχνητή λίμνη του Πολυφύτου, νότια της Κοζάνης. Η χαμηλή σεισμικότητα της περιοχής καθώς επίσης και η μεγάλη έκταση του λεκανοπεδίου κάνουν το έδαφος ιδιαίτερα κατάλληλο για την κατασκευή ενός πυρηνικού εργοστασίου, ενώ η κοντινή απόσταση τόσο από την πόλη της Κοζάνης, όσο και από αυτή της Πτολεμαΐδας προϋποθέτει την εγκατάσταση των εργατών σε πόλεις που θα τους παρέχουν όλες τις ανέσεις.



Εικόνα 15: Χάρτης Νομού Κοζάνης

Κατεβαίνοντας νοτιότερα στην Ελλάδα, δε θα μπορούσαμε να μην εστιάσουμε την προσοχή μας στο θεσσαλικό κάμπο (Εικόνα 16). Στην περιοχή αυτή, μπορεί η σεισμική επικινδυνότητα να είναι λίγο πιο ανεπτυγμένη σε σχέση με τις περιοχές που αναφέραμε παραπάνω, παρ'όλα αυτά η μορφή του εδάφους δεν μας επιτρέπει να την παρακάμψουμε. Εξάλλου, είδαμε ότι με την κατάλληλη χρήση της τεχνολογίας και με λίγο υψηλότερο κόστος στα χρησιμοποιηθέντα υλικά, ο κίνδυνος να προκληθεί ατύχημα από κάποιο σεισμό μπορεί να εξαλειφθεί. Η θεσσαλική πεδιάδα, την οποία ποτίζει με άφθονο νερό ο Πηνειός ποταμός με τους αμέτρητους παραποτάμους, μπορεί να αποδειχθεί ένας από τους καταλληλότερους προορισμούς για την ανέγερση πυρηνικού σταθμού. Η θέση της στο κέντρο σχεδόν της ηπειρωτικής Ελλάδας, θα κάνει πιο εύκολο το έργο της διάδοσης της παραγόμενης ενέργειας, ενώ υπάρχουν ουκ ολίγες πόλεις ώστε να προμηθεύσουν το σταθμό με ανθρώπινο δυναμικό, αφού οι πόλεις της Καρδίτσας, της Λάρισας και των Τρικάλων, βρίσκονται όλες σε σχετικά κοντινές μεταξύ τους αποστάσεις.



Εικόνα 16: Χάρτης Θεσσαλικού Κάμπου

Το μεγαλύτερο μέρος της υπόλοιπης ηπειρωτικής Ελλάδας θα το απορρίψουμε ως προς την πιθανότητα κατασκευής πυρηνικού εργοστασίου. Σε άλλες περιοχές το δύσβατο έδαφος της οροσειράς της Πίνδου, η οποία αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της χώρας με έκταση από τα ελληνοαλβανικά σύνορα μέχρι την Πελοπόννησο, και σε κάποιες άλλες η υψηλή σεισμική επικινδυνότητα, κυρίως στη δυτική Ελλάδα, καθιστούν δύσκολη την ανέγερση τέτοιου εργοστασίου.

Η τελευταία περιοχή στην οποία θα επικεντρωθούμε βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Πελοποννήσου και συγκεκριμένα στο νομό Λακωνίας (Εικόνα 17). Όπως φαίνεται και στο χάρτη της Εικόνας 17, η περιοχή αυτή καλύπτεται από μια εκτεταμένη πεδιάδα από το νότιο τμήμα της Σπάρτης μέχρι τη θάλασσα. Ταυτόχρονα ο ποταμός Ευρώτας, με τις πηγές του στο όρος Ταΰγετο ο οποίος καλύπτει όλη αυτή την περιοχή, είναι ικανός να προμηθεύσει τη μονάδα με όλο το απαιτούμενο νερό. Τα αστικά κέντρα της περιοχής, άλλα μεγαλύτερα όπως η πρωτεύουσα του νομού Σπάρτη, και άλλα μικρότερα όπως το Γύθειο στα νότια του νομού, έχουν όλες τις προϋποθέσεις για να αποτελέσουν έδρα της κατοικίας των εργαζομένων.



Εικόνα 17: Χάρτης Νομού Λακωνίας

## 6.2 Πυρηνική τεχνολογία στην Ελλάδα

### 6.2.1 Ερευνητικό κέντρο «Δημόκριτος»

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με πολύ μικρό πυρηνικό υπόβαθρο. Το σημαντικότερο διεπιστημονικό Ερευνητικό κέντρο της χώρας αποτελεί το Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος», το οποίο ιδρύθηκε το 1961 ως Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών «Δημόκριτος», με έδρα την Αγία Παρασκευή στην Αττική. Στις μέρες μας απασχολεί σχεδόν 1.000 άτομα προσωπικό, από τα οποία σχεδόν 200 αποτελούν ερευνητές και ειδικούς λειτουργικούς επιστήμονες ενώ τα υπόλοιπα άτομα αφορούν ερευνητικό προσωπικό. Το έργο του κέντρου επικεντρώνεται σε έργα τα οποία χρηματοδοτούνται από κρατικά κονδύλια, την Ευρωπαϊκή Ένωση, Διαθνείς Οργανισμούς και τη Βιομηχανία. [11]

Ο πυρηνικός αντιδραστήρας που είναι εγκατεστημένος στο κέντρο «Δημόκριτος», μέχρι το 2004 λειτουργούσε, έχοντας αποστολή την παραγωγή δεσμών νετρονίων και ισοτόπων που σπάνιζαν στην παγκόσμια αγορά ραδιοφαρμάκων. Πλέον, ο πυρηνικός αντιδραστήρας του «Δημόκριτου», παραμένει ανενεργός, ενώ διάφορες αποφάσεις και δράσεις που έχουν να κάνουν με την αντικατάσταση του σχάσιμου υλικού στην καρδιά του, έχουν σταματήσει μέσα στο κυκλώνα του συστήματος των δημόσιων προμηθειών.

Σήμερα, η λειτουργία του αφορά μόνο ερευνητικά προγράμματα και πειράματα πυρηνικής φυσικής και αστροφυσικής, έχοντας καθαρά ερευνητικό έργο. Το Ινστιτούτο Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής του Κέντρου «Δημόκριτος» έχει ως αποστολή την πειραματική και θεωρητική έρευνα, επιστημονική αριστεία και καινοτομία στη Φυσική Υψηλών Ενεργειών, στην Πυρηνική Φυσική, στην Αστροσωματιδιακή Φυσική και τις εφαρμογές τους, στους κλάδους της Εθνικής Στρατηγικής Έρευνας και Καινοτομίας για την Έξυπνη Εξειδίκευση. Στο πυρηνικό ινστιτούτο του «Δημόκριτου», λειτουργεί ο επιταχυντής ιόντων Tandem 5.5MV, η μόνη ερευνητική υποδομή επιταχυντών στην Ελλάδα. [12]

Πρόκειται για επιταχυντή Tandem, ο οποίος χρησιμοποιεί ηλεκτροστατικά πεδία για να επιταχύνει σωματίδια, ελέγχοντας την πορεία τους και οδηγώντας τα στους στόχους. Η σύγκρουση πυρήνων μπορεί να αλλάξει το διάνυσμα της κατεύθυνσης των κινούμενων σωματιδίων, να εκπέμψει ενέργεια σε μορφή φωτός και θερμότητας αλλά και να γεννήσει καινούρια σωματίδια.

Το ταξίδι των σωματιδίων ξεκινάει στην πηγή ιόντων. Εκεί, φορτίζεται ηλεκτρικά υδρογόνο, δημιουργώντας μία δέσμη αρνητικών ιόντων. Η δέσμη περνάει στο σωλήνα επιτάχυνσης, ο οποίος περιέχει απολύτως τίποτα. Το κενό αέρος εμποδίζει την αλλαγή του φορτίου της δέσμης. Αν τα σωματίδια έρθουν σε επαφή με κάποιο υλικό θα χάσουν κάποια από τα ηλεκτρόνια τους.

Η πρώτη τους στάση είναι η Γεννήτρια Υψηλής Ταχύτητας, η οποία αντιστρέφει το ηλεκτρικό φορτίο της δέσμης και την ωθεί στους σωλήνες μέσω μίας έξυπνης εφαρμογής του νόμου του Κουλόμπ. Στο κέντρο της, βρίσκεται ένα θετικά φορτισμένο υλικό που χωρίζει το σωλήνα επιτάχυνσης σε δύο μέρη, ενώ η υπόλοιπη κάμαρα περιέχει εξαφθοριούχο θείο για εκκένωση. Όταν τα ανιόντα εισέρχονται στο χώρο της Γεννήτριας, έλκονται από το θετικό πεδίο του υλικού αυτού. Μέσα στο υλικό, η δέσμη οδηγείται σε ένα λεπτό φύλλο άνθρακα. Το φύλλο αυτό αποσπά κάποια από τα ηλεκτρόνια των ανιόντων. Έτσι, αντιστρέφεται το φορτίο των μορίων υδρογόνου. Όντας κατιόντα πλέον, το υλικό τα απωθεί, αυξάνοντας περαιτέρω την ταχύτητα τους κι οδηγώντας τα έξω από τη Γεννήτρια. Η διαδικασία αυτή εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ραδιενέργεια, οπότε το δωμάτιο της Γεννήτριας είναι περικυκλωμένο από παχείς τοίχους. Η πόρτα παραμένει ερμητικά κλειστή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Η αναγκαστική στεγανοποίηση, όμως, έδωσε μία δεύτερη πρόκληση στους μηχανικούς του Tandem: οι ανιχνευτές κι οι στόχοι πρέπει να τοποθετηθούν σε διαφορετικό θάλαμο και η δέσμη πρέπει να κατευθυνθεί προς τα εκεί. Για να ρυθμίσουν την πορεία των κατιόντων υψηλής ενέργειας, εγκατέστησαν μαγνήτες γύρω από το σωλήνα επιτάχυνσης σε κρίσιμα σημεία. Τα σωματίδια καθοδηγούνται προς και συγκρούονται με τους στόχους κι οι ανιχνευτές είναι εκεί για να καταγράψουν το συμβάν. Υπάρχουν πολλοί τρόποι ανάλυσης των δεδομένων, καθώς και πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις στην επιλογή μετρήσεων.[13]

### **6.2.2 ΕΕΑΕ και ανάπτυξη πυρηνικής τεχνολογίας στην Ελλάδα**

Από τη στιγμή που η Ελλάδα είναι μια χώρα στην οποία δεν έχει αναπτυχθεί ποτέ η πυρηνική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή, γίνεται κατανοητή η δυσκολία να αναπτυχθεί τέτοιας μορφής ενέργειας καθαρά από ελληνικά μέσα. Η ανάγκη για συνεργασία με εταιρεία η οποία έχει εμπειρία στο συγκεκριμένο κλάδο και είναι εξειδικευμένη στην ανέγερση πυρηνικών σταθμών κρίνεται επιτακτική.

Το σίγουρο είναι ότι η Ελλάδα δεν αποτελεί μια χώρα χωρίς καθόλου γνώση στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας. Το πρώτο στοιχείο για να οδηγηθούμε σε αυτό το συμπέρασμα είναι η ύπαρξη του κέντρου «Δημόκριτος», που αναφέρθηκε παραπάνω, με όλη την ιστορία από την οποία αυτό συνοδεύεται. Σημαντικό κομμάτι αποτελεί και η ύπαρξη της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ). Πρόκειται για τον φορέα ο οποίος είναι αρμόδιος για τον έλεγχο, τη ρύθμιση και την εποπτεία του τομέα της πυρηνικής ενέργειας, πυρηνικής τεχνολογίας, ραδιολογικής, πυρηνικής ασφάλειας και ακτινοπροστασίας. Στις μέρες μας, η ΕΕΑΕ θέτει τους κανόνες ασφαλείας και διασφαλίζει τη συμμόρφωση με το θεσμικό πλαίσιο, έχοντας ως κύριο μέλημά της και βασική προτεραιότητα την ασφάλεια όλως όσοι βρίσκονται κοντά σε ραδιενέργια στην Ελλάδα.

Από τη στιγμή που η ΕΕΑΕ είναι υπεύθυνη για την εξασφάλιση της προστασίας σε άτομα που έρχονται σε έπαφη με τόσο επιβλαβείς ακτινοβολίες για τον ανθρώπινο οργανισμό, είναι προφανής η κατάρτιση του προσωπικού από την οποία αποτελείται. Το προσωπικό από το οποίο καταρτίζεται η οργάνωση και η διοίκηση του φορέα αυτού, είναι ένα πρώτο δείγμα της γνώσης των Ελλήνων επιστημόνων στο κλάδο της πυρηνικής ενέργειας. Η ΕΕΑΕ απασχολεί περίπου 100 άτομα, η πλειονότητα των οποίων διαθέτει τίτλους ανώτερης, ανώτατης και μεταπτυχιακής εκπαίδευσης, ενώ αξίζει να αναφερθεί και η συνεχής συμμετοχή τους σε διεθνή δίκτυα μέσα από τα οποία αποκτούν νέες γνώσεις και παρακολουθούν τις εξελίξεις σε παγκόσμιο επίπεδο. Εξίσου, ενεργός είναι ο ρόλος της ΕΕΑΕ σε διεθνές και ευρωπαϊκό επίπεδο, καθώς τα στελέχη της εκπροσωπούν τη χώρα σε κέντρο λήψης αποφάσεων και εισήγησης πολιτικών στον τομέα της ακτινοπροστασίας και της πυρηνικής ασφάλειας.

Είναι λογικό και απολύτως κατανοητό, ότι τα άτομα τα οποία αποτελούν τη διοίκηση και το προσωπικό της ΕΕΑΕ δεν επαρκούν για την ανέγερση και τη λειτουργία ενός πυρηνικού σταθμού. Για την ομαλή λειτουργία ενός τέτοιου σταθμού χρειάζεται προσωπικό δυναμικό το οποίο υπερβαίνει σε αριθμό τα 1000 άτομα, τα οποία θα πρέπει να είναι καταρτισμένα στον συγκεκριμένο κλάδο. Όπως έχει συμβεί σε πολλές χώρες, χρειάζεται μακροπρόθεσμη εθνική στρατηγική στον κλάδο της εκπαίδευσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, όπου την περίοδο 2000-2007 τετραπλασιάστηκαν οι φοιτητές στους σχετικούς κλάδους σπουδών, ενώ η αυξανόμενη ζήτηση για επιστήμονες εξειδικευμένους σε θέματα πυρηνικής τεχνολογίας και ακτινοπροστασίας, οδήγησε σε χρηματοδότηση των πυρηνικών επιστημών. Επιβάλλεται η δημιουργία συγκεκριμένων μεταπτυχιακών σπουδών, ώστε να προκύπτουν Έλληνες επιστήμονες που θα μπορούν να εργαστούν σε αντίστοιχες θέσεις σε ένα πυρηνικό σταθμό, είτε αυτός θα βρίσκεται στην Ελλάδα είτε στο εξωτερικό.

Απαραίτητη θα πρέπει να θεωρείται η συνεργασία της χώρας, με άλλες χώρες οι οποίες ήδη διαθέτουν πυρηνικό εργοστάσιο και εξειδίκευση στην πυρηνική τεχνολογία, με σκοπό την εκπαίδευση νέων φοιτητών στον κλάδο της πυρηνικής ενέργειας. Λαμβάνοντας ως παράδειγμα την Τουρκία, η οποία κάθε χρόνο στέλνει αριστούχους φοιτητές μεγάλων πανεπιστημίων της χώρας στη Ρωσία, με υποτροφίες, ώστε να εξειδικευτούν στην πυρηνική ενέργεια. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι τούρκοι φοιτητές, μετά το πέρας των σπουδών, πραγματοποιούν πρακτική άσκηση σε πυρηνικό εργοστάσιο της Ρωσίας, και στη συνέχεια επιστρέφουν για να εργαστούν σε πυρηνικό σταθμό της χώρας τους. Έτσι, σε περίπτωση που ληφθεί η οριστική απόφαση για ανέγερση πυρηνικού σταθμού στην Ελλάδα, θα πρέπει το κράτος μαζί με την ΕΕΑΕ, να συνεργαστεί με μια πυρηνικά ενεργή χώρα, ώστε να εκπαιδεύσει τους νέους Έλληνες επιστήμονες. Ας μην ξεχνάμε πως η ανέγερση ενός τέτοιου σταθμού εντάσσεται σε πλάνο πολλών χρόνων, όπως έχουμε δει και σε άλλες περιπτώσεις, οπότε υπάρχει χρόνος για περαιτέρω εκπαίδευση και εξειδίκευση στον πυρηνικό τομέα. Στην Ελλάδα, τέτοιου είδους μεταπτυχιακά μαθήματα, πραγματοποιούνται από τον «Δημόκριτο», κάθε καλοκαίρι, για σύντομο, όμως χρονικό διάστημα.

Σημαντικός παράγοντας στην προσπάθεια ανέγερσης πυρηνικού σταθμού, όταν ληφθεί η απόφαση να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο, πρέπει να αποτελέσουν οι Έλληνες



επιστήμονες που διαπρέπουν στο εξωτερικό. Υπάρχουν Έλληνες επιστήμονες, οι οποίοι κατέχουν υψηλόβαθμες θέσεις τόσο σε πανεπιστήμια όσο και σε ερευνητικά κέντρα του εξωτερικού. Σίγουρα, οι γνώσεις που έχουν αποκτήσει και η εμπειρία που διαθέτουν σε προηγμένα θέματα ενέργειας θα είναι ένα καλό εφόδιο για την ομαλή λειτουργία ενός πυρηνικού σταθμού. Ίσως αυτό να αποτελέσει και το έναυσμα για επαναπατρισμό για πολλούς από τους επιστήμονες αυτούς.

Αναφέρθηκε προηγουμένως, ότι η κύρια αρμοδιότητα της ΕΕΑΕ αποτελεί η ασφάλεια όλων όσοι έρχονται σε επαφή με ραδιενέργια. Αυτό σημαίνει ότι η ύπαρξη ενός φορέα ο οποίος παρακολουθεί στενά τις εξελίξεις γύρω από την ασφάλεια η οποία θα πρέπει να συνοδεύει την πυρηνική ενέργεια, θα βοηθήσει ώστε τα μέτρα ασφαλείας να μπορούν να εφαρμοσθούν και στην Ελλάδα. Από τη στιγμή που η ασφάλεια αποτελεί το σημαντικότερο κομμάτι σε ένα πυρηνικό σταθμό, λόγω των αρνητικών επιπτώσεων της εξάπλωσης της ραδιενέργειας στο περιβάλλον, η ύπαρξη της ΕΕΑΕ και η ενασχόλησή της με θέματα που αφορούν την προστασία εργαζομένων αποτελεί το πρώτο βήμα για την ανέγερση ενός πυρηνικού σταθμού. Η μεγαλύτερη εξειδίκευση στην τεχνολογία της πυρηνικής ασφάλειας, είναι ικανή να μειώσει το χρόνο που θα χρειαστεί για να ολοκληρωθεί η κατασκευή και να τεθεί σε λειτουργία ο αντιδραστήρας, όπως, επίσης, και να μειώσει το συνολικό κόστος του σταθμού, αφού είδαμε ότι το πιο δαπανηρό κομμάτι του σταθμού αφορά την ασφάλειά του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Σύμφωνα με την ΙΑΕΑ (International Atomic Energy Agency), οι οικονομικές πτυχές της ενέργειας είναι πολύπλοκες, ιδιαίτερα για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Δεν είναι προφανές πώς οι επενδύσεις στον τομέα της ενέργειας θα διευκολύνουν την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης όπως η υγειονομική περίθαλψη, η εκπαίδευση, η αύξηση της απασχόλησης και η συμμετοχή στις διεθνείς αγορές. Σε πολλές περιπτώσεις, η πρώτη πρόκληση είναι να προσελκύσει και να οργανώσει επενδύσεις για έργα ενεργειακής υποδομής. Λίγες αναπτυσσόμενες χώρες διαθέτουν τους απαιτούμενους πόρους για τη χρηματοδότηση της αναγκαίας ανάπτυξης. Τις τελευταίες δεκαετίες κατέστη σαφές ότι η μετατροπή κεντρικά ελεγχόμενων ενεργειακών συστημάτων σε ελευθερωμένες αγορές μπορεί να δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες για την άμεση επένδυση και τη διευκόλυνση του ανταγωνισμού.

Για να εξασφαλιστεί η οικονομική προσιτότητα των υπηρεσιών, η ενέργεια πρέπει επίσης να τιμολογείται κατάλληλα για να καλύψει το πλήρες κόστος της προσφοράς, ωστόσο η πρόσβαση σε αυτήν δεν πρέπει να περιορίζεται. Οι προσαρμογές των τιμών ενδέχεται να είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί ότι όλοι οι καταναλωτές μπορούν να αντέξουν οικονομικά να επωφεληθούν από τα οφέλη της ενέργειας. Στους εμπορικούς τομείς, η τιμολόγηση της ενέργειας επηρεάζει άμεσα την ανταγωνιστικότητα των αγαθών και των υπηρεσιών, τόσο σε τοπικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

Η οικονομική ανάλυση είναι μια προσέγγιση συστηματικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό της βέλτιστης κατανομής των πόρων. Περιλαμβάνει τη σύγκριση δύο ή περισσότερων εναλλακτικών λύσεων για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου βάσει ενός δεδομένου συνόλου υποθέσεων και περιορισμών. Η ανάλυση κόστους-οφέλους συγκρίνει το οικονομικό κόστος του έργου με τα οικονομικά οφέλη του έργου. Θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη το κόστος ευκαιριών των χρησιμοποιούμενων πόρων και να προσπαθεί να μετρήσει, σε νομισματικούς όρους, το ιδιωτικό και κοινωνικό κόστος και τα οφέλη ενός έργου για μια κοινωνία ή μια οικονομία. Η ανάλυση θα πρέπει να αξιολογεί την οικονομική σκοπιμότητα ενός έργου πυρηνικής ενέργειας και να συγκρίνει την οικονομία του με άλλες (αμοιβαία αποκλειόμενες) εναλλακτικές λύσεις.

## 7.1 Κόστος κατασκευής πυρηνικού σταθμού

Το κόστος ενός πυρηνικού σταθμού μπορεί να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι μπορεί να είναι από τοπικοί παράγοντες μέχρι παράγοντες που αφορούν τα υλικά και την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του εργοστασίου. Το κόστος κτήσης και εγκατάστασης του βασικού εξοπλισμού, και κάποιες φορές και το κόστος κτήσης και διαμόρφωσης της γης και των κτιριακών υποδομών, ορίζεται ως «overnight cost» (κόστος εν μια νυκτί). Το κόστος αυτό δίνεται με εύρος από 1.000 – 2.500 \$/kW από την Παγκόσμια Ένωση Πυρηνικών, όταν οι σταθμοί που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το λιγνίτη και κατασκεύασε η ΔΕΗ, κόστισαν 2.800 \$/kW. Υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν αύξηση του κόστους αυτού. Τέτοιοι παράγοντες αποτελούν μεταξύ άλλων η καθυστέρηση παράδοσης του έργου σε λειτουργία, η ασφάλιση σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος, το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων, ιδιαίτερα στην περίπτωση που αυτά αφορούν υψηλής ραδιενέργειας απόβλητα και το κόστος αποσυναρμολόγησης του αντιδραστήρα μετά το πέρας του ωφέλιμου χρόνου ζωής του. [14]

Ενδεικτικά παραδείγματα πυρηνικών σταθμών στην Ευρώπη, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα μέτρο συγκρίσεως του κόστους ενός τέτοιου σταθμού στην Ευρώπη, αποτελούν οι προσπάθειες ανέγερσης στην Γαλλία και στη Φινλανδία, δυο εργοστάσια τα οποία ακόμα δεν έχουν αρχίσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ξεκινώντας από τον πυρηνικό σταθμό στη Γαλλία (Εικόνα 18), βλέπουμε ότι η αρχική πρόβλεψη για το κόστος του ανερχόταν στα 3,3 δισεκατομμύρια ευρώ. Η πρόβλεψη αυτή πραγματοποιήθηκε το 2007, με το πρόγραμμα να είχε θέσει ως στόχο για την έναρξη της λειτουργικότητας του σταθμού το 2012. Μέχρι το 2012, την αρχική δηλαδή πρόβλεψη των επιστημόνων, το κόστος είχε ήδη φτάσει στα 8,5 δισεκατομμύρια ευρώ, ενώ το 2019, επτά χρόνια μετά την προκαθορισμένη ημερομηνία έναρξης, το συνολικό κόστος υπολογιζόταν στα 12,4 δισεκατομμύρια ευρώ. Ο επόμενος στόχος των κατασκευαστών για την έναρξη της λειτουργικότητας του σταθμού έχει οριστεί για το 2022. Ο κυριότερος λόγος ο οποίος ευθύνεται για την καθυστέρηση αυτή έχει να κάνει με θέματα ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένης της αδυναμίας του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε στον αντιδραστήρα.



*Εικόνα 18: Πυρηνικός Αντιδραστήρας στο Flamanville της Γαλλίας*

Παρόμοια κατάσταση παρατηρείται και στην περίπτωση του εργοστασίου στη Φινλανδία (Εικόνα 19). Ο αρχικός προγραμματισμός, ο οποίος πραγματοποιήθηκε το 2005, έκανε λόγο για ολοκλήρωση του έργου το 2009, με συνολικό κόστος 3,2 δισεκατομμύρια ευρώ. Η πρώτη παράταση που δόθηκε, όρισε ως ημερομηνία έναρξης το 2012, με το κόστος να αυξάνεται σε 4,5 δισεκατομμύρια ευρώ. Παρ' όλα αυτά, ο αντιδραστήρας ακόμα δεν έχει τεθεί σε λειτουργία, με τις εκτιμήσεις των κατασκευαστών να εστιάζουν πως το καύσιμο θα γεμίσει τον αντιδραστήρα τον Ιανουάριο του 2020, η πρώτη σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο θα πραγματοποιηθεί τον Απρίλιο του 2020, ενώ η έναρξη της κανονικής παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος θα πραγματοποιηθεί τον Ιούλιο του 2020. Μέχρι σήμερα, το αρχικό κόστος που είχε προβλεφθεί, έχει σχεδόν τριπλασιαστεί, καθώς φτάνει τα 8,5 δισεκατομμύρια ευρώ. Όπως και στην περίπτωση του εργοστασίου στη Γαλλία και όπως και στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι λόγοι που ευθύνονται για την καθυστέρηση της ολοκλήρωσης του έργου έχουν να κάνουν με την ασφάλεια. [15] [16]



*Εικόνα 19: Πυρηνικός Αντιδραστήρας στο Olkiluoto της Φινλανδίας*

## **7.2 Κόστος λειτουργίας πυρηνικού σταθμού**

Εκτός του κόστους κατασκευής ενός πυρηνικού σταθμού, οικονομική ανάλυση απαιτείται να πραγματοποιηθεί και στη λειτουργία του. Όπως όλες οι επιχειρήσεις, έτσι και ένας πυρηνικός σταθμός έχει κάποια έσοδα, τα οποία αφορούν τις εισροές από την εμπορευόμενη ηλεκτρική ενέργεια, και κάποια έξοδα, τα οποία αφορούν έξοδα συντηρήσεως, προμήθευση καυσίμου και λοιπά έξοδα τα οποία απαιτούνται για τη λειτουργία του. Λαμβάνοντας υπόψη κάποια σταθερά στοιχεία της λειτουργίας ενός πυρηνικού σταθμού, κάποια από τα οποία είναι υποθετικά και συνοδεύονται από ορισμένη αβεβαιότητα, θα γίνει μια εκτίμηση για το κόστος λειτουργίας, υπολογίζοντας τα έσοδα και τα έξοδα του σταθμού. Τα στοιχεία αυτά είναι τα ακόλουθα: [17]

- Η εγκατεστημένη ισχύ είναι 1.000MW ή 1 GW ετησίως
- Οι καθαρές εργατοώρες ετησίως είναι 8.000
- Η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας στην Ελλάδα είναι 0,175 €/kWh για έως 1.600 kWh ανά τέσσερις μήνες (Οκτώβριος 2019)
- Τα χρόνια λειτουργίας του σταθμού είναι  $N = 40$  χρόνια, που αντιστοιχεί στο μέσο όρο ζωής τέτοιων εργοστασίων
- Επιτόκιο  $r = 6\%$
- Αρχική επένδυση 2.500.000.000 €

- Ετήσιο κόστος καυσίμου 23.500.000 €
- Λειτουργικό κόστος 80.000.000 €
- Κόστος αποδόμησης 9.500.000 €

Με απλές μαθηματικές σχέσεις υπολογίζουμε ότι:

- η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός πυρηνικού σταθμού είναι:

$$1 \text{ GW} \times 8.000 \text{ εργατοώρες} = 8.000.000 \text{ MWh}$$

- από την πώληση της ενέργειας που παράγεται στον σταθμό τα έσοδα είναι:

$$8.000.000 \text{ MWh} \times 175\text{€/MWh} = 1.400.000.000 \text{ €}$$

Σε χρονικό ορίζοντα 40 χρόνων και λαμβάνοντας υπόψη το επιτόκιο το οποίο χρησιμοποιείται σε τέτοια έργα, εφαρμόζουμε το κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας (ΠΑ). Έτσι έχουμε (με “x” συμβολίζεται το σύμβολο του πολλαπλασιασμού) :

$$ΠΑ_{\text{Εσόδων}} = \text{Έσοδα} \times \left[ \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N} \right]$$

$$ΠΑ_{\text{Εσόδων}} = 21.064.815.500 \text{ €}$$

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε το κόστος παρούσας αξίας του καυσίμου και της λειτουργικότητας του σταθμού. Έχουμε:

$$ΠΑ_{\text{καυσίμου-λειτουργικότητας}} = (\text{Κόστος Καυσίμου} + \text{Κόστος Λειτουργικότητας}) \times \left[ \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N} \right]$$

$$ΠΑ_{\text{καυσίμου-λειτουργικότητας}} = (23.500.000 + 80.000.000) \times 15 = 1.552.500.000 \text{ €}$$

Το κόστος της αρχικής επένδυσης παραμένει αμετάβλητο κατά τη διάρκεια των χρόνων λειτουργίας του σταθμού. Άρα έχουμε:

$$ΠΑ_{\text{αρχικής επένδυσης}} = 2.500.000.000 \text{ €}$$

Για το κόστος παρούσας αξίας της αποδόμησης του σταθμού μετά το πέρας των σαράντα χρόνων λειτουργίας του, ακολουθώ την παρακάτω σχέση:

$$ΠΑ_{\text{αποδόμησης}} = \text{Κόστος Αποδόμησης} \times \left( \frac{1}{1+r} \right)^N$$

$$ΠΑ_{\text{αποδόμησης}} = 923.610 \text{ €}$$

Με αυτό τον τρόπο έχει υπολογιστεί η παρούσα αξία των συνολικών εξόδων λειτουργίας του πυρηνικού σταθμού. Αυτά είναι:

$$\text{ΠΑ}_{\text{Εξόδων}} = \text{ΠΑ}_{\text{καυσίμου-λειτουργικότητας}} + \text{ΠΑ}_{\text{αρχικής επένδυσης}} + \text{ΠΑ}_{\text{αποδόμησης}} = 4.053.423.610 \text{ €}$$

Εύκολα, πλέον, υπολογίζεται το καθαρό κέρδος ανά μεγαβατώρα (MWh), ως εξής:

$$\begin{aligned} (\text{Έσοδα} - \text{Έξοδα}) / (\text{Σύνολο MWh}) &= (21.064.815.500 - 4.053.423.610) / 8.000.000 = \\ &= 2.126 \text{ €/MWh} \end{aligned}$$

Έχοντας ως στόχο να εξακριβωθεί το μεγάλο κέρδος ανά μεγαβατώρα του πυρηνικού σταθμού, θα ακολουθήσω την ίδια διαδικασία και για ένα θερμοηλεκτρικό σταθμό, ο οποίος χρησιμοποιεί για καύσιμο τον λιγνίτη. Οι εκτιμήσεις πάνω στις οποίες θα βασιστεί ο υπολογισμός του κέρδους, έχουν ως εξής:

- Η εγκατεστημένη ισχύς στο σταθμό είναι 750 MW
- Το κόστος αρχικής επένδυσης είναι 1.500.000.000 €
- Το ετήσιο κόστος καυσίμου είναι 85.000.000 €
- Το λειτουργικό κόστος του σταθμού είναι 80.000.000 €
- Το κόστος αποδόμησης του εργοστασίου είναι 6.000.000 €
- Το επιτόκιο καθώς και τα χρόνια λειτουργίας του σταθμού παραμένουν όπως και στην περίπτωση του πυρηνικού σταθμού, 6% και 40 χρόνια αντίστοιχα

Ξεκινώντας με τον υπολογισμό της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του θερμοηλεκτρικού σταθμού, έχουμε:

$$750 \text{ MW} \times 8.000 \text{ εργατοώρες} = 6.000.000 \text{ MWh}$$

Και επομένως τα έσοδα του εργοστασίου από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το λιγνίτη είναι:

$$6.000.000 \times 175 \text{ €/MWh} = 1.050.000.000 \text{ €}$$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία η παρούσα αξία των εσόδων του θερμοηλεκτρικού σταθμού σε βάθος 40 χρόνων είναι:

$$\text{ΠΑ}_{\text{Εσόδων}} = 15.798.611.700 \text{ €}$$

Η παρούσα αξία του κόστους καυσίμου και του λειτουργικού κόστους είναι:

$$\text{ΠΑ}_{\text{καυσίμου-λειτουργικότητας}} = 2.482.638.990 \text{ €}$$

Η παρούσα αξία του κόστους αποδόμησης υπολογίζεται ως:

$$\text{ΠΑ}_{\text{αποδόμησης}} = 583.333 \text{ €}$$

Και το σταθερό στο πέρασμα των χρόνων κόστος αρχικής επένδυσης είναι:

$$ΠΑ_{\text{αρχικής επένδυσης}} = 1.500.000.000 \text{ €}$$

Συνεπώς, τα συνολικά έξοδα του σταθμού έχουν ως:

$$ΠΑ_{\text{εξόδων}} = 3.983.222.320 \text{ €}$$

Και έτσι, το καθαρό κέρδος ανά μεγαβατώρα είναι:

$$(\text{Έσοδα} - \text{Έξοδα}) / (\text{Σύνολο MWh}) = 1.969 \text{ €/MWh}$$

Για την ευκολότερη σύγκριση των δύο διαφορετικών τρόπων παραγωγής ενέργειας και του κέρδους αυτών, τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους Πίνακες 1, 2 και 3.

*Πίνακας 1: Αρχικές Υποθέσεις*

	Πυρηνικός Σταθμός	Θερμοηλεκτρικός Σταθμός
Αρχική Επένδυση	2.500.000.000 €	1.500.000.000 €
Κόστος Καυσίμου	23.500.000 €	85.000.000 €
Κόστος Λειτουργίας	80.000.000 €	80.000.000 €
Κόστος Αποδόμησης	9.500.000 €	6.000.000 €
Εγκατεστημένη Ισχύς	1.000 MW	750 MW

*Πίνακας 2: Κόστος παρούσας αξίας εσόδων και εξόδων των δύο σταθμών*

	Πυρηνικός Σταθμός	Θερμοηλεκτρικός Σταθμός
ΠΑ <sub>Εσόδων</sub>	21.064.815.500 €	15.798.611.700 €
ΠΑ <sub>καυσίμου-λειτουργικότητας</sub>	1.552.500.000 €	2.482.638.990 €
ΠΑ <sub>αποδόμησης</sub>	923.610 €	583.333 €
ΠΑ <sub>εξόδων</sub>	4.053.423.610 €	3.983.222.320 €
ΠΑ <sub>αρχικής επένδυσης</sub>	2.500.000.000 €	1.500.000.000 €



*Πίνακας 3: Κέρδος ανά μεγαβατώρα των δύο σταθμών*

	Πυρηνικός Σταθμός	Θερμοηλεκτρικός Σταθμός
Κέρδος ανά Μεγαβατώρα	2.126 €/MWh	1.969 €/MWh

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το θέμα της ενεργειακής αυτονομίας στις μέρες μας, είναι μείζονος σημασίας αν ένα κράτος έχει ως στόχο να χαρακτηρίζεται τεχνολογικά ανεπτυγμένο. Ο σχεδιασμός και η ανέγερση ενός πυρηνικού σταθμού στην Ελλάδα, εκτός από οικονομικά οφέλη, σχετίζεται άμεσα και με την ανάπτυξη σε πολλούς διαφορετικούς τομείς. Σχετίζεται με την πολιτική, την ανάπτυξη της κοινωνίας, τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών και τη μείωση της περιβαλλοντικής καταστροφής. Ταυτόχρονα ενισχύεται η θέση της χώρας σε εθνικό επίπεδο, αφού είναι πλέον σε θέση να διαπραγματευθεί την εξαγωγή ενέργειας σε χώρες, αυξάνοντας, παράλληλα, ακόμα περισσότερο τα έσοδα από την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως ενδεικτικά αναφέρθηκαν, η Ελλάδα έχει τουλάχιστον έξι – επτά περιοχές οι οποίες πληρούν τις προϋποθέσεις για την ανέγερση μιας πυρηνικής μονάδας.

Κάποιοι παράγοντες που ενισχύουν την ανάγκη ανάπτυξης πυρηνικού σταθμού παραθέτονται παρακάτω:

- Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών
- Η υψηλή και συνεχώς μεταβαλλόμενη τιμή του πετρελαίου θέρμανσης
- Ο μεγάλος όγκος διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται από την παραγωγή ενέργειας με καύσιμο άνθρακα και η περιβαλλοντική καταστροφή που προκαλείται
- Οι νέες θέσεις εργασίας που θα δημιουργήσει ένας πυρηνικός σταθμός από την έναρξη της κατασκευής του μέχρι και το πέρας των ωφέλιμων χρόνων λειτουργίας του

Εν κατακλείδι, αν παρθεί η απόφαση υλοποίησης ενός τέτοιου σχεδίου στην Ελλάδα είναι αναγκαία η εκτενής μελέτη από ειδικούς και επιστήμονες. Από τη στιγμή που αναφερόμαστε σε μια χώρα με μηδαμινό πυρηνικό παρελθόν, θα πρέπει να αναλυθεί και να αξιολογηθεί κάθε πιθανή επίπτωση στο οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Ο τομέας της πυρηνικής ενέργειας έχει πολλές ιδιαιτερότητες, ειδικότερα όσον

αφορά την κατασκευή πυρηνικού σταθμού όπου υπάρχουν τόσες πολλές δεσμεύσεις για την τεχνογνωσία και τα θέματα ασφαλείας που υφίστανται.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1)
- [2] Καρακάνας Πέτρος, «Το νομικό υπόβαθρο της χρήσης πυρηνικών όπλων», σελ. 101-102
- [3] Νίκος Μαμάσης, «Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018
- [4] Lydia Depillis, “How do energy companies decide where to build new reactors? ”, July 21,2009
- [5] iefimerida «Αυξάνονται τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα», Φεβρουάριος 2017
- [6] Γεώργιος Λέρης, «Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί της ΔΕΗ», 2007
- [7] John D. Stevenson, “Historical Development of the Seismic Requirements for Construction of Nuclear Power Plants in the U.S. and Worldwide and their Current Impact on Cost and Safety”, August 2003, Prague
- [8] World Nuclear Association, “Radioactive Waste Management”, April 2018
- [9] Κώστος Βασίλειος και Λάμπας Γεώργιος, «Η πυρηνική ενέργεια ως μέσο ηλεκτροπαραγωγής στον ελλαδικό χώρο», Ιούλιος 2017
- [10] World Nuclear Association, “Safety of Nuclear Reactors”, Ιούνιος 2019
- [11] Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, «Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών “Δημόκριτος”», Φεβρουάριος 2020
- [12] Μάρκου Χρήστος, «Σχετικά για το ΙΠΣΦ “Δημόκριτος”», Φεβρουάριος 2020
- [13] Μάρκου Χρήστος, «Ο Επιταχυντής Tandem», Φεβρουάριος 2020
- [14] World Nuclear Association, “Economics of Nuclear Power”, September 2019
- [15] Yangbo Du and John E. Parsons, “Center for Energy and Environmental Policy Research”, May 2009
- [16] World Nuclear News, “Olkiluoto EPR start-up delayed by final checks”, November 2019

[17] Αντωνάτου Χαραλαμπία και Παπαφράγκου Σοφία, «Μελέτη για δυνατότητα εγκατάστασης πυρηνικού αντιδραστήρα στην Ελλάδα», Ιούλιος 2016