

ΠΑΝΤΕΙΟΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

PANTEION UNIVERSITY OF SOCIAL AND POLITICAL SCIENCES



ΣΧΟΛΗ ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ, ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ & ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΕΘΝΩΝ, ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΕΘΝΕΣ & ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΔΙΚΑΙΟ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ»
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΔΙΚΑΙΟ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Πυρηνική ενέργεια: Θεσμικό πλαίσιο, αναπτυξιακές προοπτικές και
ηθικά διλήμματα. Ο πιθανός ρόλος της στην ασφάλεια ενεργειακού
εφοδιασμού της ΕΕ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρονίκη Χριστοπούλου

Αθήνα, 2022

Τριμελής Επιτροπή

Μαρία ΜΕΝΓΚ-ΠΑΠΑΝΤΩΝΗ, Καθηγήτρια Παντείου Πανεπιστημίου (Επιβλέπουσα)

Μαρία-Νέδα ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΥ, Καθηγήτρια Παντείου Πανεπιστημίου

Χαράλαμπος ΠΛΑΤΙΑΣ, Επίκουρος Καθηγητής Παντείου Πανεπιστημίου



Copyright © Ανδρονίκη Χριστοπούλου, 2022

All rights reserved. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της διπλωματικής εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Πάντειο Πανεπιστήμιο Κοινωνικών και Πολιτικών Επιστημών δεν δηλώνει αποδοχή των γνώμων της συγγραφέα.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

(άρθρο 8 Ν.1599/1986)

Η ακρίβεια των στοιχείων που υποβάλλονται με αυτή τη δήλωση μπορεί να ελεγχθεί με βάση το αρχείο άλλων υπηρεσιών (άρθρο 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986)

ΠΡΟΣ ⁽¹⁾ :	Το Τμήμα Διεθνών, Ευρωπαϊκών και Περιφερειακών Σπουδών του Παντείου Πανεπιστημίου						
Ο – Η Όνομα:	Ανδρονίκη		Επώνυμο:	Χριστοπούλου			
Όνομα και Επώνυμο Πατέρα:	Γεώργιος Χριστόπουλος						
Όνομα και Επώνυμο Μητέρας:	Αλεξάνδρα Χριστοπούλου						
Ημερομηνία γέννησης ⁽²⁾ :	12 Ιουνίου 1976						
Τόπος Γέννησης:	Αθήνα						
Αριθμός Δελτίου Ταυτότητας:	AZ 551611		Τηλ:	6972660439			
Τόπος Κατοικίας:	Ηλιούπολη Αττικής	Οδός:	Απόλλωνος	Αριθ:	18	ΤΚ:	16343
Αρ. Τηλεομοιοτύπου (Fax):			Δ/ση Ηλεκτρ. Ταχυδρομείου (Email):	anniech96@hotmail.com			

Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις⁽³⁾, που προβλέπονται από τις διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

Η εργασία που παραδίδω είναι αποτέλεσμα πρωτότυπης έρευνας και δεν χρησιμοποιεί πνευματική ιδιοκτησία τρίτων χωρίς αναφορές.

Αναλαμβάνω όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες σε περίπτωση που αποδειχθεί ότι η εργασία μου αποτελεί προϊόν λογοκλοπής ή προϊόν τρίτων.

(4)

Ημερομηνία: 17-12-2022

Ο – Η Δηλούσα

(Υπογραφή)

(1) Αναγράφεται από τον ενδιαφερόμενο πολίτη ή Αρχή ή η Υπηρεσία του δημόσιου τομέα, που απευθύνεται η αίτηση.

(2) Αναγράφεται ολογράφως.

(3) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.

(4) Σε περίπτωση ανεπάρκειας χώρου η δήλωση συνεχίζεται στην πίσω όψη της και υπογράφεται από τον δηλούντα ή την δηλούσα.

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου



Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό στο docs.gov.gr/validate

Κωδικός εγγράφου: WY7WayxXKgZ59PCtWCBiYw

: 1/1

Επιβεβαιώνεται το γνήσιο. Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης / Verified by the Ministry of Digital Governance, Hellenic Republic
20221217120343+02'00'

Υπογραφή:

ΑΝΔΡΟΝΙΚΗ ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ

Πατρώνυμο: ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΦΜ: 064225724

Ημ. Υπογραφής: 17/12/2022 12:01:52

Συντομογραφίες

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΕΚΑΧ: Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα

ΕΟΚ: Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα

ΣΕΕ: Συνθήκη για την Ευρωπαϊκή Ένωση

ΣΛΕΕ: Συνθήκη για τη Λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης

EDF: Électricité de France (Δημόσια Εταιρεία Ηλεκτρισμού Γαλλίας)

ESA: Euratom Supply Agency (Οργανισμός Εφοδιασμού της Ευρατόμ)

ETS: Emissions Trading System (Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών)

IAEA: International Atomic Energy Agency (Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής
Ενέργειας)

IEA: International Energy Agency (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας)

INES: International Nuclear Event Scale (Διεθνής Κλίμακα Πυρηνικών Συμβάντων)

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Διακυβερνητική Επιτροπή για
την Κλιματική Αλλαγή)

JCR: Joint Research Centre (Κοινό Κέντρο Ερευνών)

LCOE: Levelized Cost of Energy (Ισοσταθμισμένο Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας)

NEA: Nuclear Energy Agency (Οργανισμός Πυρηνικής Ενέργειας)

SMRs: Small Modular Reactors (Μικροί Αρθρωτοί Αντιδραστήρες)

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: Ο Ευρωπαϊκός ενεργειακός τομέας.....	13
Εισαγωγή.....	13
Ηλεκτρισμός: Ο πανταχού παρών αόρατος	13
Ενεργειακό προφίλ ΕΕ	14
Παραγωγή ενέργειας..	14
Κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ.	18
Ηλεκτρισμός.....	21
Κόστος ηλεκτρισμού.....	25
Ενεργειακή πολιτική ΕΕ και νομοθεσία- Ο πυλώνας της ενεργειακής ασφάλειας .	27
Συμπεράσματα κεφαλαίου	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: Η πυρηνική ενέργεια στην ΕΕ	33
Εισαγωγή.....	33
Πώς ξεκίνησαν όλα (κβαντική φυσική και άλλα περίεργα).....	34
Πυρηνική διάσπαση και αλυσιδωτή αντίδραση.....	37
Η ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας.....	38
Ευρατόμ.....	40
Απαρχές.....	40
Συνθήκη Ευρατόμ.....	41
Παράγωγο δίκαιο.	44
Παρούσα κατάσταση	45
Πυρηνικά εργοστάσια στην ΕΕ των 27-στατιστικά.....	46
Πυρηνικό προφίλ κ-μ.....	51
Γαλλία	52
Βέλγιο	52
Γερμανία	53
Ουγγαρία	53
Ισπανία	53
Ρουμανία	54
Ιταλία	54
Θεσμική και νομολογιακή στάση απέναντι στο πυρηνικό δίλημμα	54
Ταξινόμια.	54
Κρατικές ενισχύσεις.	56
Συμπεράσματα κεφαλαίου	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: Οι τρεις διαστάσεις της βιωσιμότητας στην ενεργειακή ασφάλεια	59

Εισαγωγή.....	59
Εξέταση περιβαλλοντικής συνιστώσας.....	59
Ανθρακικό αποτύπωμα.....	59
Εδαφικό αποτύπωμα.....	67
Απόβλητα.....	69
Παροπλισμός.....	72
Εξέταση κοινωνικής συνιστώσας.....	75
Τάσεις.....	76
Πυρηνικά ατυχήματα.....	79
Κιστίμ.....	80
Chernobyl.....	81
Εξέταση οικονομικής συνιστώσας.....	83
Κόστος κατασκευής.....	83
Κόστος λειτουργίας αντιδραστήρων και παύσης τους.....	88
Κόστος καυσίμου.....	88
Κόστος παροπλισμού.....	90
Συμπεράσματα κεφαλαίου.....	92
ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	94
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	102
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1: Παραγωγή Πρωτογενούς ενέργειας ανά καύσιμο στην ΕΕ μεταξύ 1990-2020	15
Διάγραμμα 2: Παραγωγή Πρωτογενούς ενέργειας ανά ενεργειακό πόρο σε ποσοστό επί τοις εκατό	16
Διάγραμμα 3: Παραγωγή λιθάνθρακα στην ΕΕ, περίοδος 1990-2021	17
Διάγραμμα 4: Τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ ανά οικογένεια καυσίμου, 2020 (ποσοστό %).....	18
Διάγραμμα 5: Τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ ανά τομέα, 2020 (ποσοστό % επί του τελικού, βασισμένο σε terajoule).....	20
Διάγραμμα 6: Μερίδιο ενεργειακών προϊόντων στην τελική κατανάλωση ενέργειας ΕΕ, 2020 (ποσοστό %,).....	22
Διάγραμμα 7: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια και ΑΠΕ στην ΕΕ27, 2020.....	23
Διάγραμμα 8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια και ΑΠΕ στην ΕΕ27, 2010.....	23
Διάγραμμα 9: Συμμετοχή πυρηνικής ενέργειας και ΑΠΕ στην τελική παραγωγή ηλεκτρισμού της ΕΕ27, 2013.....	24
Διάγραμμα 10: Συμμετοχή πυρηνικής ενέργειας και ΑΠΕ στην τελική παραγωγή ηλεκτρισμού της ΕΕ27, 2021.....	25
Διάγραμμα 11: Αριθμός αντιδραστήρων σε λειτουργία ανά τύπο και καθαρή ηλεκτρική ισχύ (από τις 31.12.2021).....	40
Διάγραμμα 12: Ηλικία πυρηνικών αντιδραστήρων στη Δυτική Ευρώπη (από την 1 ^η Ιουλίου 2021).....	48
Διάγραμμα 13: Αριθμός αντιδραστήρων σε λειτουργία παγκοσμίως (από τις 31.12.2021)	48
Διάγραμμα 14: Αριθμός αντιδραστήρων υπό κατασκευή παγκοσμίως (από τις 31.12.2021)	49
Διάγραμμα 15: Συμμετοχή της πυρηνικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού (από την 31 ^η .12.2021).....	51
Διάγραμμα 16: Κατά κεφαλήν παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ το 2019 (σε τόνους).....	61
Διάγραμμα 16i: Άμεσες και έμμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου)	63
Διάγραμμα 17: Κλιματογενείς δυσλειτουργίες των γαλλικών πυρηνικών εργοστασίων, περίοδος 2015-2020	67
Διάγραμμα 18: Εδαφικό αποτύπωμα διαφόρων τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	68
Διάγραμμα 19: Επισκόπηση των ολοκληρωμένων έργων παροπλισμού	74
Διάγραμμα 20: Έρευνα γνώμης στη Γαλλία σχετικά με την προτίμηση που δείχνουν οι πολίτες στις διάφορες ενεργειακές τεχνολογίες	78
Διάγραμμα 21: Καθυστερήσεις στο χρονοδιάγραμμα πυρηνικών μονάδων που συνδέθηκαν στο δίκτυο μεταξύ των ετών 2018-2020	85

Διάγραμμα 22: Τα φθίνοντα κόστη των ΑΠΕ σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας	92
Διάγραμμα 23: Πρόβλεψη για το 2050 του κόστους της παραγόμενης από πυρηνικά και ΑΠΕ ηλεκτρικής ενέργειας.....	96
Διάγραμμα 24: Ανάπτυξη ΑΠΕ και πυρηνικής ενέργειας: Εγκατεστημένη ισχύς από το 2000 και εξέλιξη ετήσιας παραγωγής με έτος βάσης το 1997	97
Διάγραμμα 25: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ27 μεταξύ των ετών 2011-2020.....	98
Διάγραμμα 26: Ανάπτυξη ΑΠΕ και πυρηνικής ενέργειας στην ΕΕ27: Εγκατεστημένη ισχύς από το 2000 και εξέλιξη ετήσιας παραγωγής με έτος βάσης το 1997	99
Διάγραμμα 27: Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και πυρηνικά στην ΕΕ27 (σε απόλυτους αριθμούς)	99

Σχήματα

Σχήμα 1: Τιμές στα οικιακά τιμολόγια ηλεκτρισμού, ΕΕ, δεύτερο εξάμηνο 2019	26
Σχήμα 2: Το πείραμα των δύο σχισμών.....	35
Σχήμα 3: Πυρηνική ενέργεια στην ΕΕ, 2020.....	47
Σχήμα 4: Κατάσταση πυρηνικής ενέργειας παγκοσμίως, 2021.....	52
Σχήμα 5: Η μαγεία του μάρκετινγκ.....	56
Σχήμα 6: Εκπομπές ρύπων στην ΕΕ το 2019, ανά αέριο θερμοκηπίου.....	62
Σχήμα 7: Δοχεία αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων από χάλυβα και τσιμέντο.....	70
Σχήμα 8: Διάρκεια λειτουργίας, εργασίες παροπλισμού και διάρκεια παροπλισμού του ισπανικού αντιδραστήρα Vandellós.....	75
Σχήμα 9: Κατάταξη πυρηνικών ατυχημάτων στην κλίμακα International Nuclear Event Scale (INES).....	80
Σχήμα 10: Απεικόνιση του ενεργειακού κόστους σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας από ορυκτούς πόρους και σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.....	89

Πίνακες

Πίνακας 1: Αριθμός αντιδραστήρων ανά τύπο: Αρκτικόλεξα και εξήγηση	39
Πίνακας 2: Τύποι και καθαρή ηλεκτρική ισχύς των αντιδραστήρων σε λειτουργία, 31.12.2021	50
Πίνακας 3: Ο ρόλος της πυρηνικής ενέργειας στα σενάρια μείωσης των εκπομπών..	65
Πίνακας 4: Επισκόπηση των κλειστών αντιδραστήρων παγκοσμίως (από τον Ιούλιο του 2021)	73
Πίνακας 5: Μόνιμα κλειστοί αντιδραστήρες	77
Πίνακας 6: Μικροί Αρθρωτοί Αντιδραστήρες (SMRs) υπό κατασκευή	87
Πίνακας 7: Συνολική επίδοση πυρηνικής ενέργειας στις μεταβλητές «Περιβάλλον», «Κοινωνία», «Οικονομία»	93

Εικόνες

Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά της ΕΕ, 2020	21
--	----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Βιομηχανική Επανάσταση, με τις ατμομηχανές της σηματοδότησε την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, αλλά και την ακόρεστη πείνα του συστήματος για ενεργειακούς πόρους. Ο άνθρωπος καταβροχθίζει τις γήινες παροχές σε μια άνευ προηγουμένου κατανάλωση που τον κάνει να αντιλαμβάνεται τη καταστροφή του σαν τη μέγιστη αισθητική απόλαυση (Βάλτερ Μπένγιαμιν). Δύσκολα μπορεί να κάποιος να φανταστεί τη ζωή του χωρίς ηλεκτρισμό, χωρίς αυτή τη μαγική σπίθα που τροφοδοτεί τα πάντα σαν ένας ανθρωπογενής ήλιος.

Σε μία εποχή που αντιλαμβάνεται την ευημερία της με όρους ανάπτυξης του ΑΕΠ, το περιβάλλον εκδικείται, μπαίνει στο επίκεντρο της συζήτησης και διεκδικεί το χαμένο χρόνο. Τα ζητήματα αναδεικνύονται με ένταση και απαιτούν λύσεις εδώ και τώρα. Η σπανιότητα των πόρων που οφείλεται στον αδηφάγο δυτικό τρόπο ζωής, εγείρει ζητήματα ενεργειακής ασφάλειας, άρα εθνικής ασφάλειας και απειλών κάθε είδους. Η Ρωσία, στρατηγικός ενεργειακός προμηθευτής της ΕΕ, κηρύσσει τον πόλεμο στην Ουκρανία και κατά γενική ομολογία στο δυτικό τρόπο ζωής, αφού στα χέρια της κρατάει τους ενεργειακούς πόρους που τροφοδοτούν την ευρωπαϊκή καπιταλιστική γαλήνη, με την ηδονιστική καταναλωτική πρακτική.

Τι θέση έχει η πυρηνική ενέργεια στον ενεργειακό χάρτη, που αλλάζει δια της βίας αυτή τη φορά; Πώς μπορεί να συμβάλλει στη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, που άγγιξε νέα ύψη κατά τη διάρκεια της πανδημίας, όταν βιώσαμε τον αποκλεισμό και το πρόθεμα «τήλε-» μπήκε στον καθημερινό λόγο, σε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς;

Το ερευνητικό ερώτημα που θα επιχειρήσει να απαντήσει η διπλωματική είναι κατά πόσο η πυρηνική ενέργεια αποτελεί μία οικονομικά βιώσιμη, περιβαλλοντικά ανεκτή και κοινωνικά αποδεκτή λύση στο πρόβλημα της ενεργειακής ασφάλειας που αντιμετωπίζει η ΕΕ, ιδιαίτερα στην παρούσα ιστορική συνθήκη κατά την οποία ο στρατηγικός της προμηθευτής φαίνεται να χρησιμοποιεί τους ενεργειακούς του πόρους με τρόπο τέτοιο που κατατείνει στην ενίσχυση της γεωπολιτικής του. Έμφαση δίνεται στη βασική χρήση της πυρηνικής ενέργειας που αποσκοπεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό γιατί ο ηλεκτρισμός προβλέπεται να κατακτήσει την ενεργειακή πρωτοκαθεδρία στο εγγύς μέλλον.

Λέξεις-κλειδιά: Πυρηνική ενέργεια, ενεργειακή ασφάλεια, ηλεκτρισμός, περιβάλλον, κοινωνία, οικονομία, βιωσιμότητα

ABSTRACT

The Industrial Revolution and steam engines marked the rise of living standards and the system's insatiable hunger for energy resources. Man devours earth's treasures slave to an unprecedented consumption that makes him perceive his destruction as the greatest aesthetic pleasure (Walter Benjamin). One can hardly imagine life without electricity, without that magical spark that powers everything, like a man-made sun.

In an era that perceives prosperity in terms of GDP growth, the environment is at the heart of the debate, trying to catch up for the lost time. Important issues emerge with great intensity and solutions are urgently required. The scarcity of resources attributed to the voracious western lifestyle gives rise to problems like energy security, hence national security and threats of all kinds. Russia, EU's strategic energy supplier, declared war on Ukraine and, admittedly, on the western way of life, since it rules the energy resources that feed European consumerism.

One may wonder what role could nuclear power play in an accelerating energy transformation forcibly imposed? How can it contribute to the ever-increasing demand for electricity, which skyrocketed during the pandemic, when we were forced to stay at home and the prefix 'tele-' introduced itself in all possible ways?

At the epicentre of this thesis lies the following research question: Is nuclear energy an economically viable, environmentally tolerable and socially acceptable solution to the energy security problem of the EU, especially now that its strategic supplier seems to be using energy resources as a way of geopolitical blackmail? Emphasis is given on the basic application of nuclear energy as an electricity generator, because electricity seems to be on its way to dominate the energy arena in the near future.

Keywords: Nuclear energy, energy security, electricity, environment, society, economy, sustainability

Κεφάλαιο πρώτο: Ο Ευρωπαϊκός ενεργειακός τομέας

Εισαγωγή

Η οικοδόμηση μορφών συνεργασίας στον τομέα της ενέργειας αποτελεί τη μήτρα που γέννησε το ίδιο το ευρωπαϊκό δημιούργημα. Η ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας Άνθρακα και Χάλυβα (ΕΚΑΧ) το 1951 από τη Γαλλία, τη Δυτική Γερμανία, την Ιταλία και τις χώρες Benelux, υπήρξε προϋπόθεση για τη θεμελίωση της ειρήνης μετά από δύο δολοφονικούς παγκόσμιους πολέμους. Την εποχή εκείνη, ο άνθρακας αντιπροσώπευε σχεδόν το 70% της κατανάλωσης ενέργειας στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης, ενώ ο χάλυβας αποτελούσε την κύρια πρώτη ύλη για τη βιομηχανία και τους εξοπλισμούς (EUROPEANA, 2020). Το εγχείρημα που συνέλαβαν ο Jean Monnet και ο Robert Schuman είχε ως στόχο να εξασφαλίσει τους δύο ενεργειακούς πόρους της εποχής (του χάλυβα και του άνθρακα), προκειμένου να αποφευχθεί μία νέα αιματηρή σύγκρουσή, που θα έβαζε τέλος στην όποια προσπάθεια επιστροφής στην κανονικότητα και ίσως στην ίδια την ανθρωπότητα. Αποτελεί επίσης, ένα πρώτο βήμα προς τη συγκρότηση μιας «ευρωπαϊκής ομοσπονδίας».

Οι καιροί άλλαξαν και κατά ειρωνεία της τύχης ο άνθρακας αποτελεί σήμερα ένα μεγάλο περιβαλλοντικό βαρίδι και η απανθρακοποίηση ένα εξίσου μεγάλο στοίχημα. Η γεννημένη από το κάρβουνο Ευρώπη σπεύδει τώρα να το ξεφορτωθεί.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξηγηθεί ο λόγος για τον οποίο η εργασία δείχνει μία σαφή προτίμηση στην ηλεκτρική ενέργεια, θα γίνει αναφορά στο ενεργειακό προφίλ της ΕΕ και στους τρόπους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της, στην ενεργειακή πολιτική της ΕΕ και στην κυριότερη έκφασή της την ενιαία αγορά ενέργειας, όπως εκφράζεται μέσα από το πρωτογενές και παράγωγο δίκαιο. Εν συνεχεία θα θιγεί η παράμετρος της ενεργειακής ασφάλειας, στην οποία προσδίδεται μία ευρύτερη διάσταση, συμπεριληπτική, που λαμβάνει υπόψη της τις τρεις όψεις της βιωσιμότητας, ισομερώς και χωρίς συντελεστές βαρύτητας.

Ηλεκτρισμός: Ο πανταχού παρών αόρατος

Η καθημερινότητά μας, από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά, μονοπωλείται από μία ποικιλία πηγών ενέργειας: Οι οδικές μεταφορές από τα υγρά καύσιμα, η θέρμανση από το φυσικό αέριο και σχεδόν όλα τα υπόλοιπα από την ηλεκτρική ενέργεια, που καταλαμβάνει το ένα πέμπτο της συνολικής τελικής

κατανάλωσης ενέργειας. Η συμμετοχή της μπορεί να φαντάζει μικρή προς το παρόν, πλην όμως η σταδιακή στροφή στα ηλεκτρικά και τα plug-in υβριδικά αυτοκίνητα καθώς και στις αντλίες θερμότητας, σηματοδοτεί την μελλοντική πρωτοκαθεδρία του ηλεκτρισμού στο ενεργειακό μείγμα (GEERTS, 2017).

Σύμφωνα με το σενάριο Βιώσιμης Ανάπτυξης του IEA¹, ενώ μέχρι ώρας το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας στην παγκόσμια τελική κατανάλωση είναι λιγότερο από το μισό του πετρελαίου, η τάση αυτή θα αντιστραφεί έως το 2040 και ο ηλεκτρισμός θα τεθεί επικεφαλής. Η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια θα αυξηθεί κατά 50% σε 20 χρόνια από τώρα, λόγω της αλλαγής των καταναλωτικών και παραγωγικών προτύπων, που παρατηρείται στις αναδυόμενες κυρίως οικονομίες (IEA, 2020).

Πλην όμως η εξάρτηση της ίδιας μας της ύπαρξης από την ηλεκτρισμό, τίθεται αυτή τη στιγμή υπό διακινδύνευση από τις δίδυμες απειλές της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής και της εξάντλησης των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων². Η ενεργειακή μετάβαση σε ένα σύστημα πιο φιλικό στο περιβάλλον που ελαχιστοποιεί το ανθρακικό του αποτύπωμα, απασχολεί πολίτες, επιστήμονες και πολιτικούς. Η απανθρακοποίηση απαιτεί μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό μείγμα, και γι' αυτό οι αλλαγές που έρχονται στον κλάδο του ηλεκτρισμού, είναι κοσμογονικές.

Ενεργειακό προφίλ ΕΕ

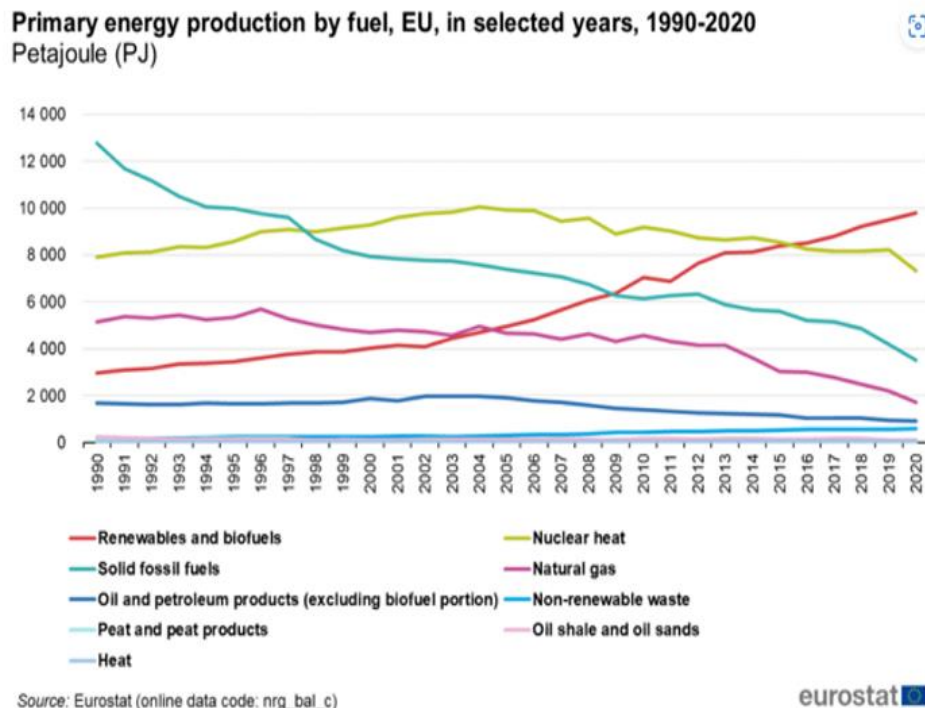
Παραγωγή ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί το μεγαλύτερο εισαγωγέα ενέργειας παγκοσμίως, τόσο λόγω της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης, όσο και λόγω της φθίνουσας πορείας της εγχώριας παραγωγής ενέργειας (Αλιγιζάκη, 2018).

Πράγματι, η πρωτογενής παραγωγή ενέργειας στην ΕΕ το 2020 έφτασε στα 573,870 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (24.026,8 Petajoules) γεγονός που καταδεικνύει μια πτώση της τάξεως του 7.1% σε σχέση με το 2019 και 9,03% σε σχέση με το 2018. Απεναντίας, αύξηση 3,0% σημείωσαν οι ΑΠΕ και 1,6% τα μη ανανεώσιμα απόβλητα (Διάγραμμα 1) (EUROSTAT, 2022c).

¹ IEA Sustainable Development Scenario (SDS)

² Πριν από εκατό χρόνια, αν κάποιος άνοιγε μια τρύπα στο Τέξας, θα έβγαζε πετρέλαιο. Αποδόσεις της τάξεως του 100:1 (παραγωγή ενέργειας : εισροή ενέργειας) ήταν συχνό φαινόμενο. Τώρα πλέον για την παραγωγή αργού πετρελαίου από ασφαλτούχα άμμο στον Καναδά, απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού και φυσικού αερίου και η απόδοση έχει πέσει περίπου στο 9:1 (GEERTS, 2017)

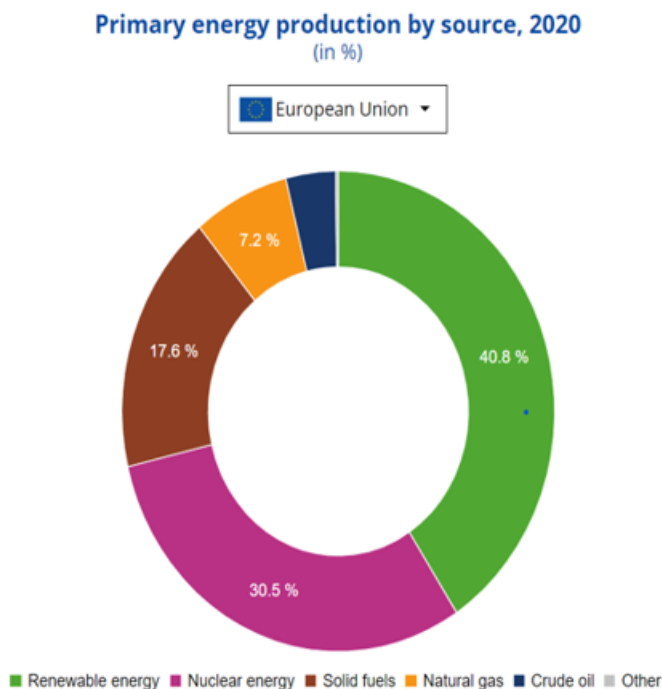
Διάγραμμα 1: Παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας ανά καύσιμο στην ΕΕ μεταξύ 1990-2020



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την [ιστοσελίδα ec.europa.eu](http://ec.europa.eu).

Οι ΑΠΕ είχαν τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας στην ΕΕ το 2020 (40,8%), συνεχίζοντας την ανοδική τους πορεία, ακολουθούμενες από την πυρηνική ενέργεια, (30,5%), τα στερεά ορυκτά καύσιμα (17,6%) και το φυσικό αέριο (7,2%) (Διάγραμμα 2, EUROSTAT, 2020c).

Διάγραμμα 2: Παραγωγή Πρωτογενούς ενέργειας ανά ενεργειακό πόρο σε ποσοστό επί τοις εκατό



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την [ιστοσελίδα ec.europa.eu](http://ιστοσελίδα.ec.europa.eu).

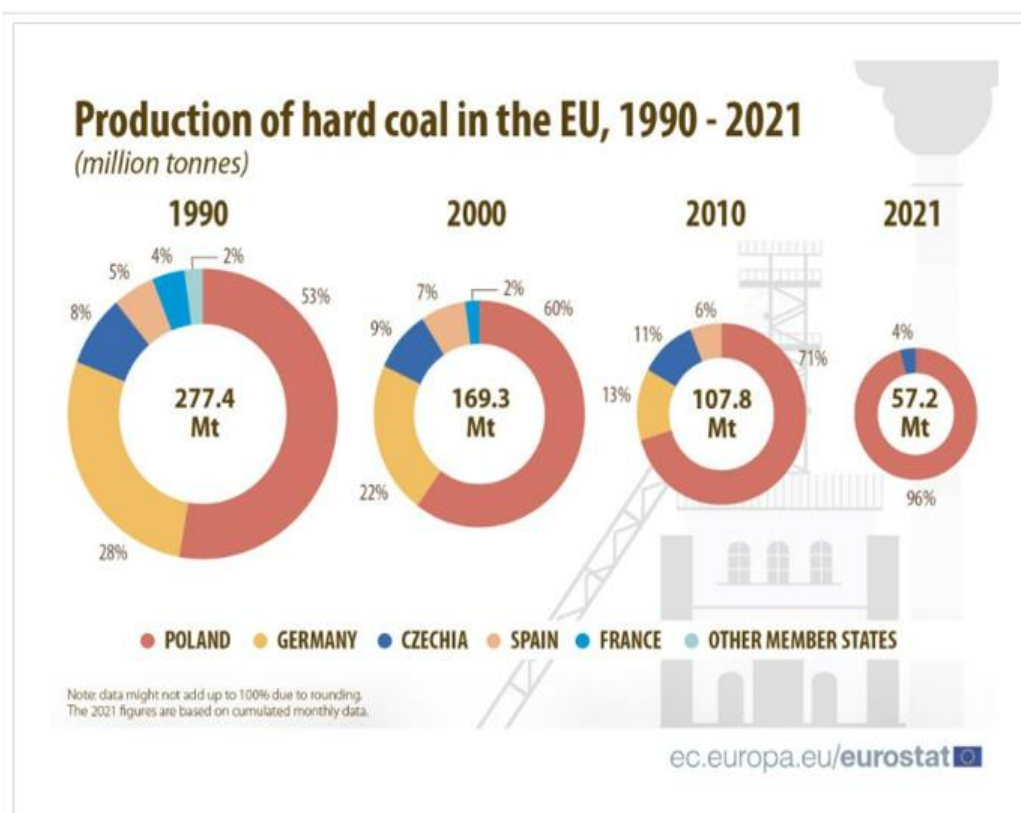
Το ίδιο έτος η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας έπεσε κατά 78 TWh. Το 58% της μείωσης αυτής οφείλεται στη χαμηλή παραγωγή των γαλλικών πυρηνικών εργοστασίων, αποτελεί δε, τη μεγαλύτερη μείωση που σημειώθηκε σε ευρωπαϊκό έδαφος από το 1988 (BP, 2021).

Το 2021 η παραγωγή άνθρακα ανήλθε στους 57 εκατομμύρια τόνους και εμφανίζεται μειωμένη κατά 79% σε σχέση με το 1990 (277.4 εκατομμύρια τόνοι)³ (Διάγραμμα 3, EUROSTAT, 2022e), ενώ όσον αφορά στην παραγωγή πετρελαίου σημειώνεται μία μείωση της τάξεως του 18% το 2021 σε σχέση με το 2010 [4,4 mb/d⁴ από 3.6 mb/d (IEA, 2022-σελ.336)]. Η παραγωγή φυσικού αερίου από την άλλη μειώθηκε κατά 6,85% το 2021 σε σχέση με το 2020 (από τα 42,3 εκατομμύρια κυβικά μέτρα το 2020 στα 39,4 εκατομμύρια κυβικά μέτρα το 2021) (BP, 2022).

³ Η εν λόγω φθίνουσα τάση στην ΕΕ είναι συνεπής με την τάση που παρατηρείται παγκοσμίως, καθώς ο άνθρακας βλέπει το μερίδιό του να μειώνεται κατά 4% το 2021, γεγονός που αποτελεί τη μεγαλύτερη πτώση από το Β' ΠΠ! (IEA, 2021)

⁴ Million barrels per day (εκατομμύρια βαρέλια ανά μέρα)

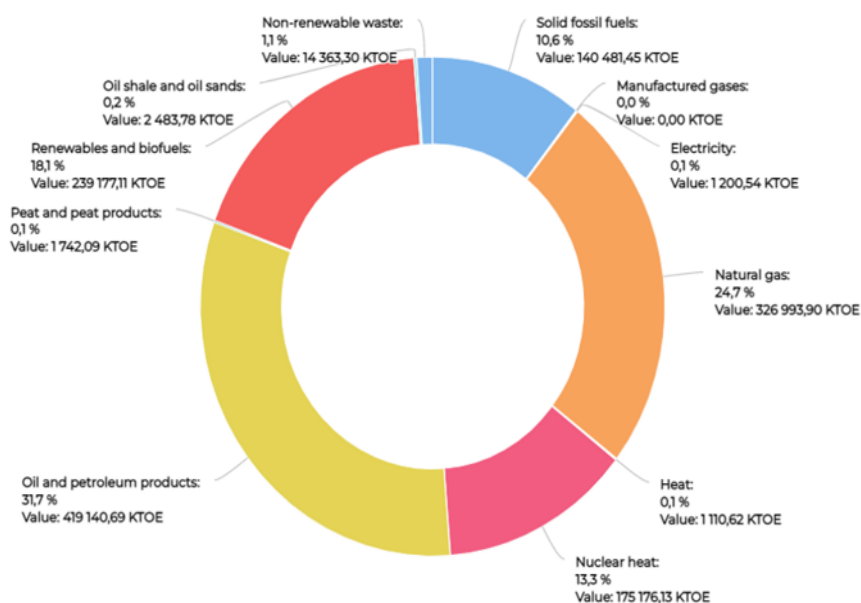
Διάγραμμα 3: Παραγωγή λιθάνθρακα στην ΕΕ, περίοδος 1990-2021



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την [ιστοσελίδα ec.europa.eu](https://ec.europa.eu).

Κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ. Από την άλλη, η τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020 ανήλθε στα 37.086 Petajoules σε σχέση με τα 39.314 το 2018, μια μείωση που οφείλεται στις πολιτικές περιορισμού της πανδημίας και στην εξ αυτού του λόγου οικονομική στασιμότητα. Το μεγαλύτερο μερίδιο στη διάρθρωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 κατέλαβαν το πετρέλαιο και τα πετρελαϊκά προϊόντα (31,7%), με δεύτερο το φυσικό αέριο (24,7%), τρίτες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τελευταία τα βιοκαύσιμα (18,1%) (Διάγραμμα 4, EUROSTAT, 2022c). Το πετρέλαιο συνεχίζει να κρατάει τα σκήπτρα του πιο σημαντικού ενεργειακού πόρου στην ΕΕ.

Διάγραμμα 4: Τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ ανά οικογένεια καυσίμου, 2020 (ποσοστό %)



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την [ιστοσελίδα ec.europa.eu](http://ιστοσελίδα.ec.europa.eu).

Για να καλύψει πλήρως τις ενεργειακές της ανάγκες η ΕΕ αναγκάστηκε να εισαγάγει το 57,5% της καταναλισκόμενης ενέργειας, ποσοστό ελαφρώς μειωμένο από το 60% του 2019, αλλά αυξημένο σε σχέση με το 50% του 2016 (EUROSTAT, 2022c). Η μείωση των εισαγωγών σε σχέση με το 2019 αποδίδεται κι εδώ στα μέτρα περιορισμού του COVID-19.

Έτσι, το 97% του πετρελαίου και των προϊόντων πετρελαίου που καταναλώθηκαν το 2020 ήταν εισαγόμενο. Το αντίστοιχο ποσοστό για το φυσικό αέριο

ανήλθε στο 83,6%, ενώ εισαγόμενο ήταν και το 35,8% των στερεών ορυκτών καυσίμων (EUROSTAT, 2022c). Η μακροχρόνια τάση υποδηλώνει αυξανόμενη εξάρτηση από τις εισαγωγές, καθώς το ποσοστό των εισαγομένων ενεργειακών αγαθών αυξήθηκε κατά 7,5% την περίοδο 1990-2020 (57,5% το 2020 από 50% το 1990). (EUROSTAT, 2022c). Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι τις δεκαετίες του 1960 και του 1970, η Ευρώπη παρήγαγε περίπου όσο φυσικό αέριο κατανάλωνε (Catherine, 2022).

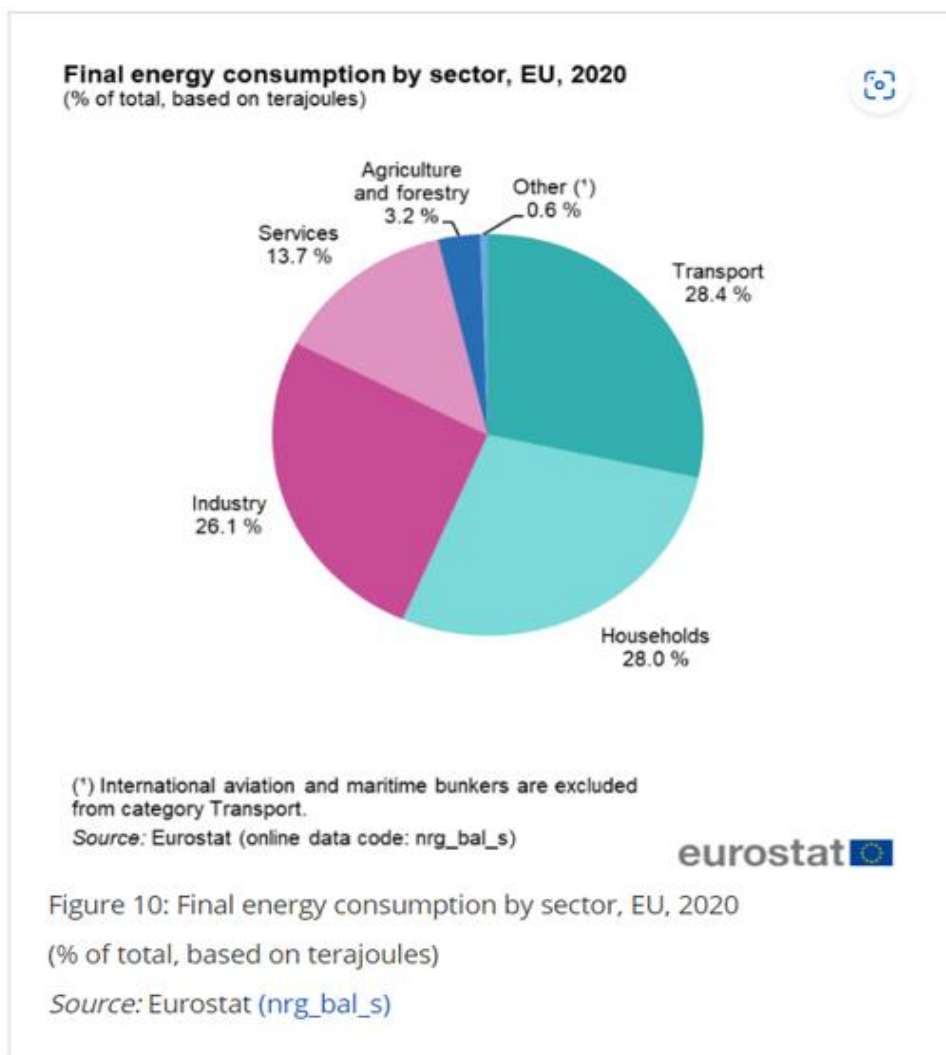
Η σημαντικότερη εξαγωγός χώρα φυσικού αερίου και μακροχρόνιος εμπορικός εταίρος της ΕΕ είναι η Ρωσία, η οποία ικανοποιεί το 40,4% των σχετικών αναγκών της Ευρώπης, με τη Νορβηγία να έρχεται δεύτερη (18.1%) (EUROSTAT, 2020d). Πρέπει να σημειωθεί ότι το 2020, η κατανάλωση στερεών ορυκτών καυσίμων στην ΕΕ μειώθηκε κατά 18,4% σε σύγκριση με το 2019 (EUROSTAT, 2022c)

Αναφορά της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με τις τιμές και τα κόστη της ενέργειας στην Ευρώπη, που καταρτίστηκε το 2020 και περιλάμβανε στοιχεία έως το 2018, ήτοι προ ενεργειακής κρίσης, διαπιστώνει ότι οι δαπάνες εισαγωγής ενεργειακών προϊόντων σημείωσαν αύξηση από το 2016, έχοντας ανέλθει σε περισσότερα από 330 δισ. EUR το έτος 2018⁵ (ENERGY PRICES AND COSTS IN EUROPE, 2020).

Η ανάλυση των δεδομένων, καταδεικνύει ότι η ενέργεια που καταναλώνει η ΕΕ επιμερίζεται σε τρεις κύριες κατηγορίες τελικών χρηστών: Στις μεταφορές (κατανάλωση 28,4%), στα νοικοκυριά (κατανάλωση 28,0%) και στη βιομηχανία (κατανάλωση 26,1%) (Διάγραμμα 5, EUROSTAT, 2022c).

⁵ Μειωμένες όμως σε σχέση με τα περίπου 400 δισ. ευρώ που δαπανήθηκαν το 2013, ποσό που αντιστοιχούσε στο 1 δισ. ευρώ και πλέον **ημερησίως** [COM\(2014\) 330 final untitled \(europa.eu\)](#)

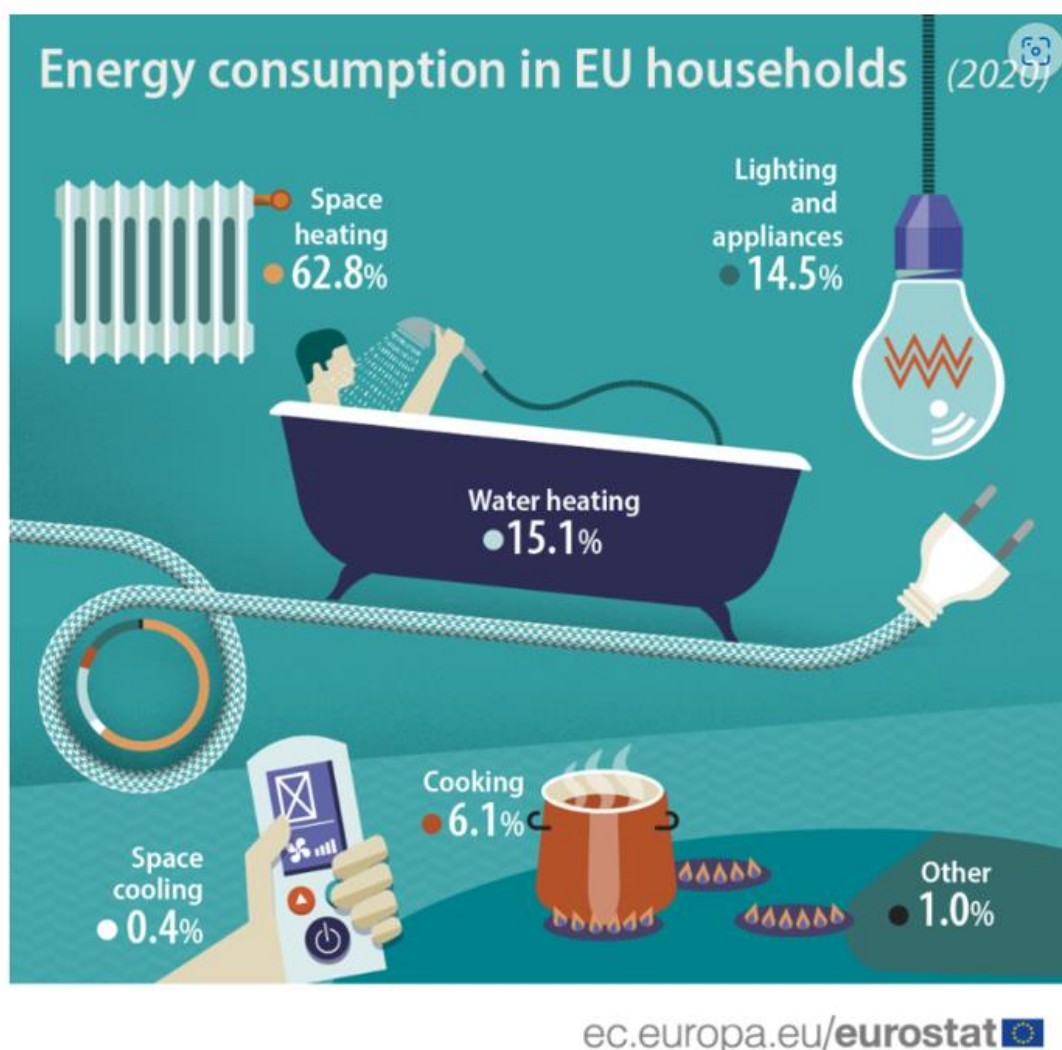
Διάγραμμα 5: Τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ ανά τομέα, 2020 (ποσοστό % επί του τελικού, μέτρηση σε terajoules)



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την [ιστοσελίδα ec.europa.eu](https://ec.europa.eu).

Στο οικιακό τομέα τη μερίδα του λέοντος στην τελική κατανάλωση ενέργειας (62,8%), καταλαμβάνει η θέρμανση, με τις ΑΠΕ να καλύπτουν περισσότερο από το ένα τέταρτο(26,8%) των εν λόγω αναγκών (Εικόνα 1, EUROSTAT, 2022e).

Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά της ΕΕ, 2020



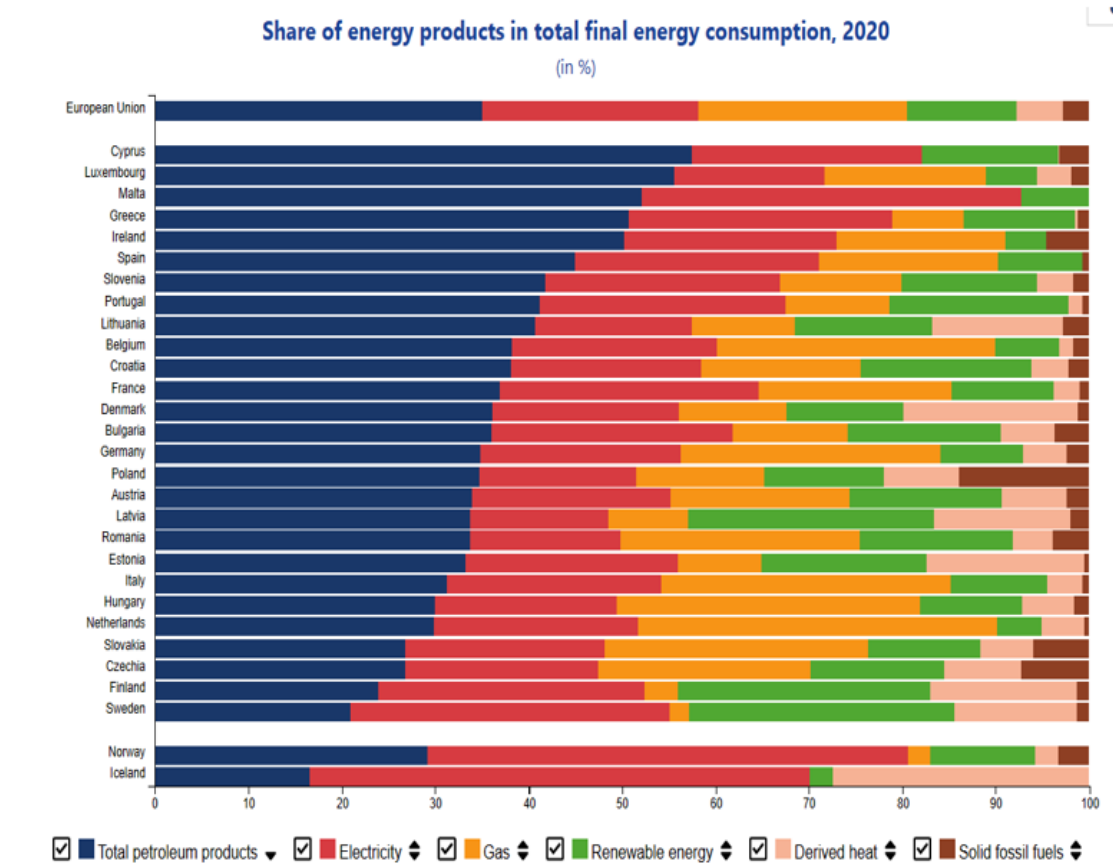
Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα ec.europa.eu.

Ηλεκτρισμός. Περίπου το 23% της τελικής ενέργειας που καταναλώνουμε στην ΕΕ είναι ηλεκτρική ενέργεια⁶ και προέρχεται από διάφορες πηγές (Διάγραμμα 6, EUROSTAT, 2020a). Το 2020, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιστοιχούσαν στο 39% της ηλεκτρικής ενέργειας και ξεπέρασαν για τρίτη φορά, από το 2018, τα ορυκτά καύσιμα (36%) ως κύρια πηγή ενέργειας (μείωση 12% από το 2010) (Διαγράμματα, 7 και 8, Our World In Data, 2020) (EUROSTAT, 2022c). Μεταξύ των ΑΠΕ που συμμετέχουν στην ηλεκτροπαραγωγή, πρώτες έρχονται οι ανεμογεννήτριες (14%) και ακολουθούν τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια (13%), τα βιοκαύσιμα (6%) και η ηλιακή

⁶ Έχει υπολογιστεί ότι η κατά κεφαλήν κατανάλωση ηλεκτρισμού στον οικιακό τομέα έφτασε το 2018 τα 1.6 MWh

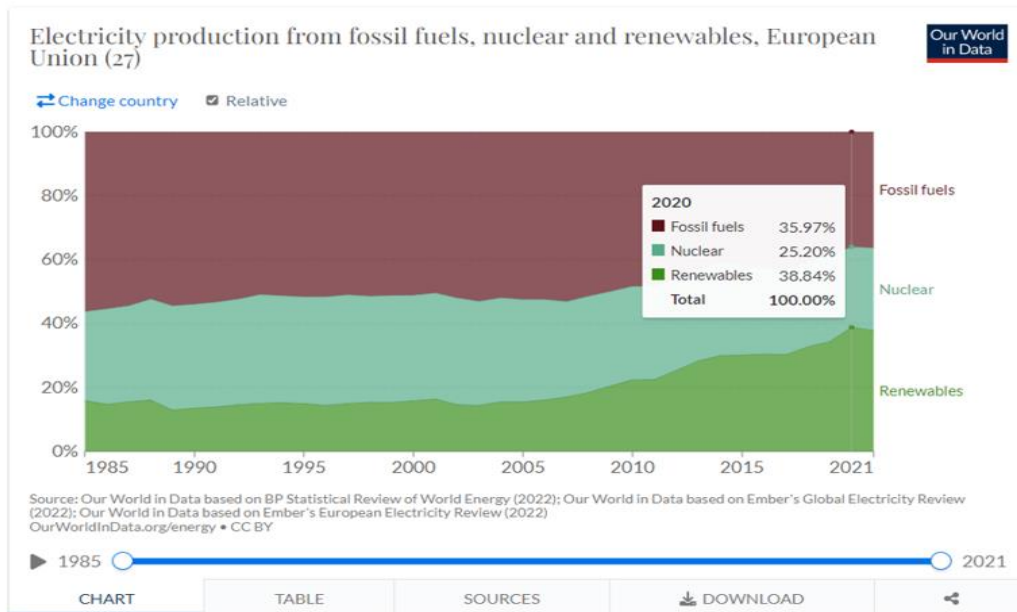
ενέργεια (5%). Επιπλέον, το 25% της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόταν από πυρηνικούς σταθμούς (EUROSTAT, 2020d).

Διάγραμμα 6: Μερίδιο ενεργειακών προϊόντων στην τελική κατανάλωση ενέργειας, ΕΕ 2020 (ποσοστό %)



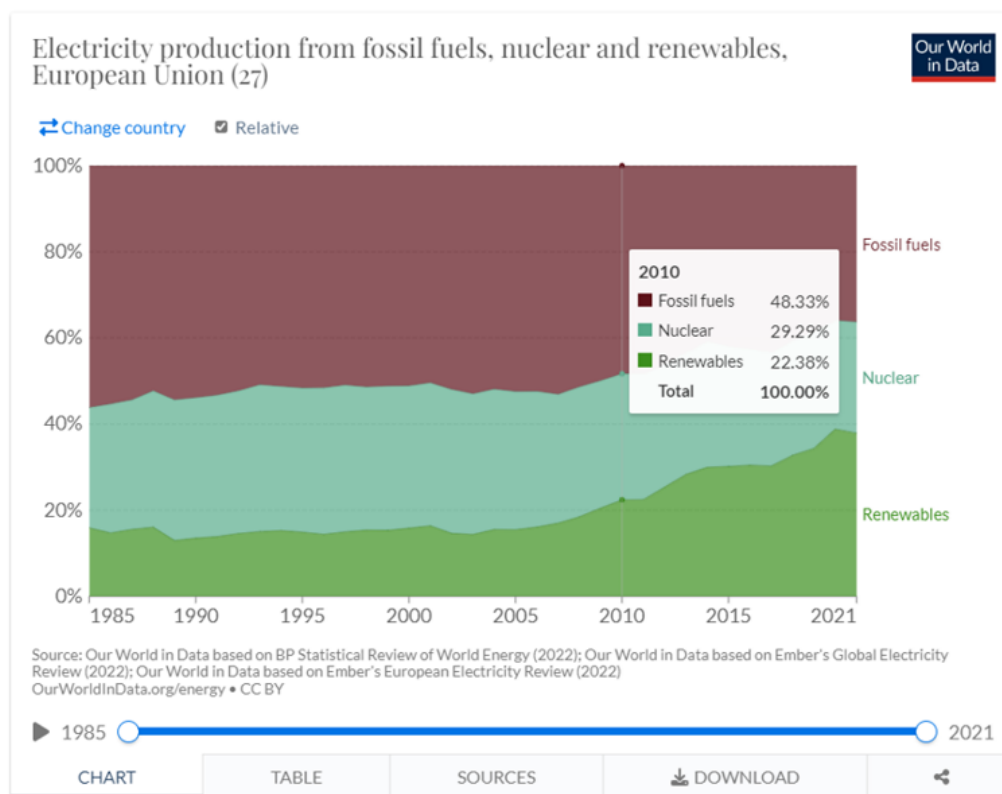
Σημείωση: Αναδημοσίευση από [την ιστοσελίδα ec.europa.eu](http://ec.europa.eu).

Διάγραμμα 7: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια και ΑΠΕ στην ΕΕ27, 2020



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα [Our World In Data](https://ourworldindata.org).

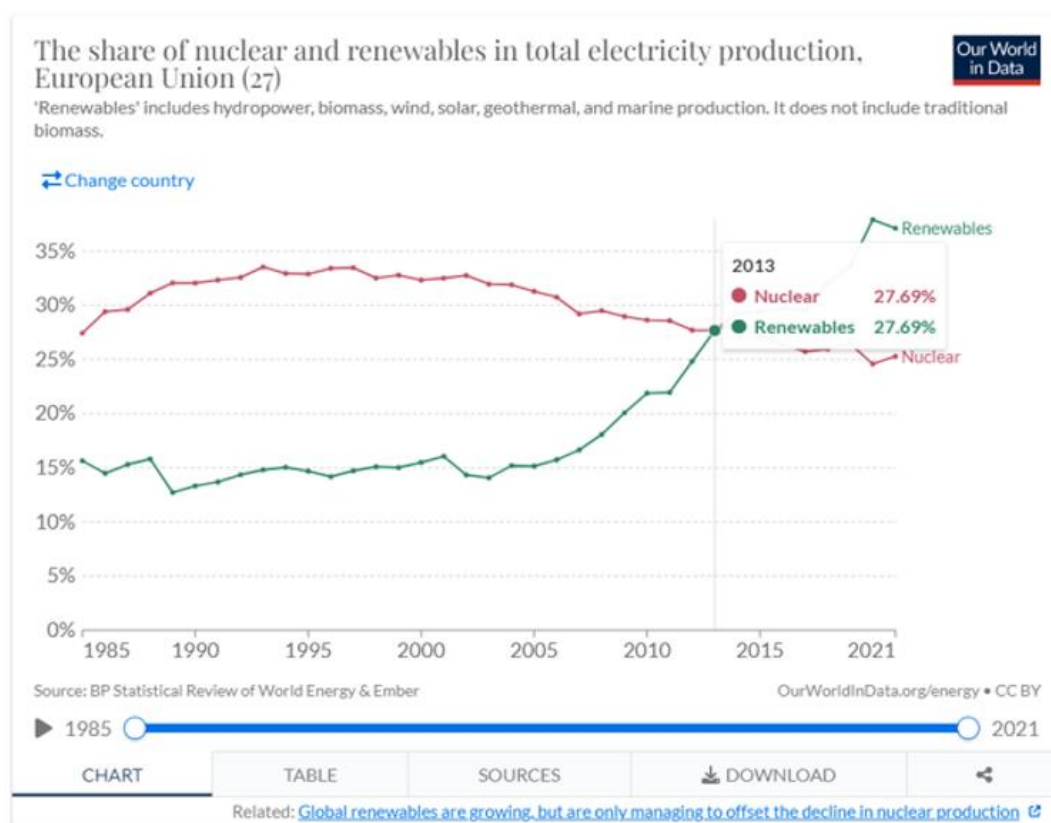
Διάγραμμα 8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια και ΑΠΕ στην ΕΕ27, 2010



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα [Our World In Data](https://ourworldindata.org).

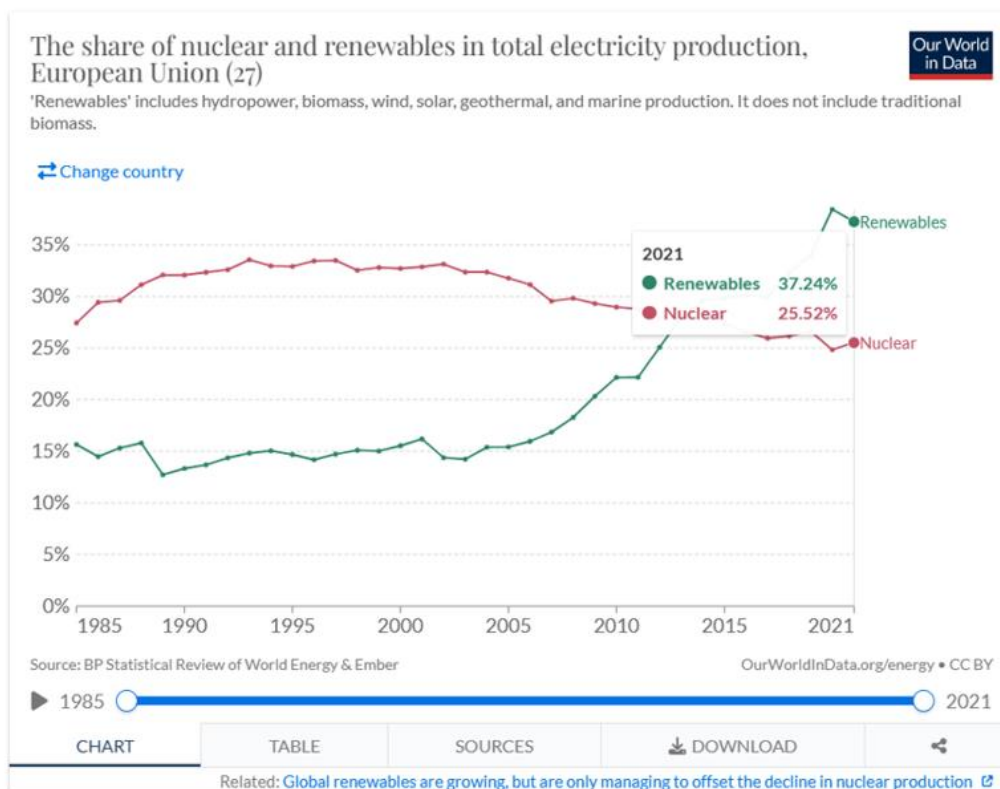
Αυτό που μπορεί να παρατηρήσει κανείς από τα Διαγράμματα 9 και 10 (Ritchie et al., 2022), τα οποία απεικονίζουν τα μερίδια ΑΠΕ και πυρηνικής ενέργειας στο μείγμα του ηλεκτρισμού είναι ότι μετά το 2013, που αποτελεί το έτος της πλήρους σύγκλισης των δύο πηγών ενέργειας, τα πυρηνικά και οι ΑΠΕ ακολουθούν μια εντελώς αντίθετη πορεία, σύμφωνα με την οποία η επιτυχία της μιας (ΑΠΕ) καθρεφτίζει την υστέρηση της άλλης (πυρηνικά). Συγκεκριμένα, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνεται κατά 10%, ενώ το μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας μειώνεται κατά ποσοστό 2%.

Διάγραμμα 9: Συμμετοχή πυρηνικής ενέργειας και ΑΠΕ στην τελική παραγωγή ηλεκτρισμού της ΕΕ27, 2013



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα [Our World In Data](#).

Διάγραμμα 10: Συμμετοχή πυρηνικής ενέργειας και ΑΠΕ στην τελική παραγωγή ηλεκτρισμού της ΕΕ27, 2021



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα [Our World In Data](#).

Κόστος ηλεκτρισμού. Η εκτίναξη των ευρωπαϊκών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μια πτυχή του παγκόσμιου ενεργειακού ελλείμματος, που οφείλεται τόσο σε συγκυριακά αίτια όσο και σε κακό προγραμματισμό, η οποία έχει οδηγήσει σε εκθετική αύξηση των τιμών της ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Η τάση αυτή επιδεινώθηκε περαιτέρω από την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία στις αρχές του 2022, κάνοντας κάποιους να μιλούν για χειρότερη κρίση από τις πετρελαϊκές της δεκαετίας του 1970⁷.

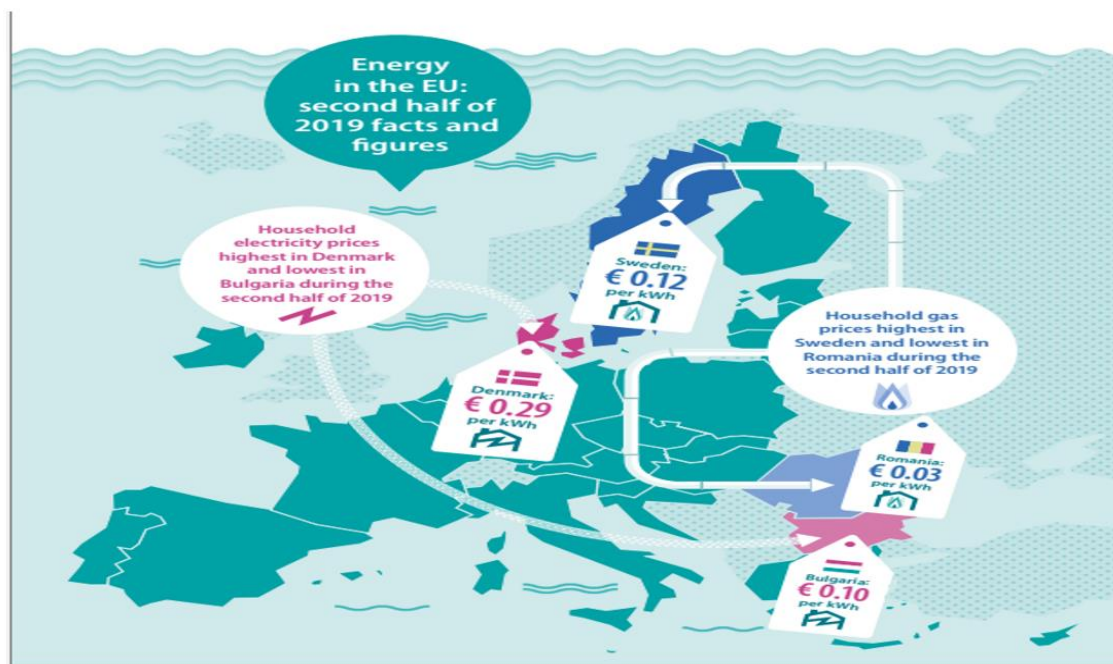
Στο πλαίσιο αυτό μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συγκριτική μελέτη των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας πριν και μετά την ενεργειακή κρίση, μέσα από τα στατιστικά στοιχεία που δημοσιεύει η ΕΕ.

Συγκεκριμένα, στην έκδοση της Eurostat υπό τον τίτλο «Energy, transport and environment statistics 2020 Edition» σημειώνονται τα εξής: «Το δεύτερο εξάμηνο του 2019, οι ακριβότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για τους οικιακούς καταναλωτές, ήτοι τους καταναλωτές με ετήσια κατανάλωση μεταξύ 2500 kWh και 5000 kWh

⁷ Δήλωση του Εκτελεστικού Διευθυντή του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) Fatih Birol στο Ενεργειακό Φόρουμ του Σίδνεϊ (Ιούλιος 2022).

καταγράφονται στη Δανία (0,2924 ευρώ ανά kWh), στη Γερμανία (0,2873 EUR ανά kWh) και στο Βέλγιο (0,2860 EUR ανά kWh). Αντίθετα, τα πιο οικονομικά τιμολόγια στην ΕΕ έχουν η Βουλγαρία (0,0958 ευρώ ανά kWh), όπου η τιμή της κιλοβατώρας διαμορφώνεται στο 1/3 της τιμής που διατίθεται στη Δανία, η Ουγγαρία (0,1097 ευρώ ανά kWh) και η Λιθουανία (0,1254 ευρώ ανά kWh) (Σχήμα 1, EUROSTAT, 2020d)»

Σχήμα 1: Τιμές στα οικιακά τιμολόγια ηλεκτρισμού, ΕΕ, δεύτερο εξάμηνο 2019



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της Eurostat «[Energy, transport and environment statistics 2020 edition](#)» © European Union, 2020, σελίδα 28.

Τα αντίστοιχα στοιχεία της Eurostat για τα οικιακά τιμολόγια το πρώτο μισό του 2022 καταγράφουν τιμές που ανέρχονται στα 0,4559 EUR/kWh για τη Δανία (αύξηση 35,9%), στα 0,3279 EUR/kWh για τη Γερμανία (αύξηση 12,02%), στα 0,3377 EUR/kWh για το Βέλγιο (αύξηση 15,34%), στα 0,1093 EUR/kWh για τη Βουλγαρία (αύξηση 12,35%), στα 0,0948 EUR/kWh για την Ουγγαρία (**μείωση** 13,58%) και στα 0,1497 EUR/kWh για τη Λιθουανία (αύξηση 16,23%). Οι τιμές στη χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας των κ-μ και δη στην αγορά επόμενης μέρας (day-ahead) έφτασαν τον Αύγουστο του 2022 στα 405 ευρώ/MWh κατά μέσο όρο, δηλαδή σε τιμές κατά 532% υψηλότερες από τις αντίστοιχες του Ιανουαρίου του 2021 (EURELECTRIC, 2022).

Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τη Eurostat το πρώτο εξάμηνο του 2022 οι υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στα **μη οικιακά** τιμολόγια, παρατηρούνται

στην Ελλάδα (0,30 ευρώ/kWh) και οι χαμηλότερες στη Φινλανδία (0,08 ευρώ/kWh) (EUROSTAT, 2022a).

Ενεργειακή πολιτική ΕΕ και νομοθεσία- Ο πυλώνας της ενεργειακής ασφάλειας

Με τη Συνθήκη της Λισαβόνας, που υπεγράφη το 2007- 56 χρόνια μετά την ίδρυση της ΕΚΑΧ-η Ευρωπαϊκή Ένωση αναβαθμίζει την πολιτική της στον τομέα της ενέργειας. Με το άρθρο 194 ΣΛΕΕ τονίζεται η προσήλωση της ΕΕ στην υλοποίηση μιας κοινής, συνεκτικής πολιτικής, ενώ θεσπίζεται για πρώτη φορά συγκεκριμένη και αυτοτελής νομική βάση για ανάληψη δράσεων από την ένωση στο πεδίο αυτό (Αλιγιζάκη, 2018).

Η κοινή ενεργειακή πολιτική της ΕΕ έχει ως στόχους:

- Τη διασφάλιση λειτουργίας αγοράς ενέργειας
- Τη διασφάλιση ενεργειακού ανεφοδιασμού
- Την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και της εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και την ανάπτυξη νέων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και
- Την προώθηση διασύνδεσης των ενεργειακών δικτύων (Μενγκ-Παπαντώνη, 2021)

Η κυριότερη έκφανση της ενωσιακής πολιτικής για την ενέργεια είναι η Εσωτερική Αγορά Ενέργειας, ένα *modus operandi* από μέτρα και ρυθμίσεις που αποσκοπούν στην απελευθέρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας της ΕΕ, στην προστασία των καταναλωτών, την υποστήριξη των διασυνδέσεων και τα επαρκή επίπεδα εφοδιασμού. Στο πλαίσιο αυτό και αρχής γενομένης από το 1996 εγκρίθηκαν 5 ενεργειακά πακέτα ή δέσμες μέτρων για την ενέργεια⁸

Ο πυλώνας της ενεργειακής ασφάλειας συνιστά προτεραιότητα ύψιστης σημασίας για την ΕΕ, ιδίως μετά τη στροφή της τελευταίας στην ενεργειακή αγορά της Ρωσίας⁹, η οποία αποτελεί εδώ και χρόνια το στρατηγικό προμηθευτή της.

Είναι χαρακτηριστικό ότι η Ευρωπαϊκή Στρατηγική Ασφάλειας καταγράφει την ενεργειακή ασφάλεια ως μία από τις παγκόσμιες προκλήσεις και βασικές απειλές και τονίζει ότι «Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση των καυσίμων, των πηγών εφοδιασμού και

⁸1996 και 1998: Πρώτη δέσμη Οδηγιών για την ενέργεια. 2003: Δεύτερο Ενεργειακό Πακέτο. 2009: Τρίτη δέσμη μέτρων. 2019: Τέταρτο Ενεργειακό Πακέτο «Clean Energy for all Europeans». 14 Ιουλίου 2021: Πέμπτη δέσμη μέτρων για την ενέργεια («Υλοποίηση της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας»)

⁹ Αυτό συνέβη λόγω του αραβικού εμπάργκο του 1973, που αύξησε δραματικά τις τιμές του πετρελαίου κι ενώ ο Ψυχρός Πόλεμος βρισκόταν σε πλήρη εξέλιξη.

των οδών διαμετακόμισης έχει ουσιαστική σημασία, όπως άλλωστε και η χρηστή διακυβέρνηση, ο σεβασμός του κράτους δικαίου και οι επενδύσεις στις χώρες παραγωγής» (European Council, 2009).

Σύμφωνα με τη γνωστή απόφαση C-72/83, *Campus Oil*, που εισήγαγε το δόγμα του ενεργειακού εφοδιασμού και τον ενέταξε, μάλιστα, στους νόμιμους περιορισμούς της ελεύθερης κυκλοφορίας εμπορευμάτων «ο συνεχής ενεργειακός εφοδιασμός είναι θεμελιώδους σημασίας για την ύπαρξη των Κρατών, δεδομένου ότι από αυτόν εξαρτώνται όχι μόνον η λειτουργία της οικονομίας, αλλά προπαντός οι θεσμοί και οι θεμελιώδεις δημόσιες υπηρεσίες και αυτή ακόμη η επιβίωση του πληθυσμού τους» (Καπανίδης, 2017).

Μετά το σοκ και την οικονομική ζημιά που προκάλεσαν οι δύο ρωσοουκρανικές κρίσεις του 2006 και του 2009, ασκήθηκε πίεση στους ιθύνοντες, που οδήγησε στην υιοθέτηση νομοθετικών αλλά και στρατηγικών κειμένων, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι τα ακόλουθα:

- ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 994/2010 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 20ής Οκτωβρίου 2010, σχετικά με τα μέτρα κατοχύρωσης της ασφάλειας εφοδιασμού με αέριο και την κατάργηση της οδηγίας 2004/67/ΕΚ του Συμβουλίου. Η ισχύς του έληξε στις 31.10.2017
- Οδηγία 2009/119/ΕΚ του Συμβουλίου, της 14ης Σεπτεμβρίου 2009, σχετικά με υποχρέωση διατήρησης ενός ελάχιστου επιπέδου αποθεμάτων αργού πετρελαίου ή/και προϊόντων πετρελαίου από τα κράτη μέλη. Εφαρμόζεται από τις 29.10.2009 και απαιτεί από τα ΚΜ να διατηρούν ένα ελάχιστο επίπεδο αργού πετρελαίου ή/και αποθεμάτων πετρελαίου, ενώ καθορίζει τις διαδικασίες για τη διάθεσή τους σε περίπτωση σοβαρής έλλειψης.
- Ευρωπαϊκή στρατηγική για την ενεργειακή ασφάλεια [COM(2014) 330 final], με βασικό στόχο τον αδιατάρακτο εφοδιασμό με άφθονη ενέργεια, προκειμένου να διασφαλίζεται η ευημερία και η ασφάλεια της ΕΕ.

Η Στρατηγική βασίζεται σε οκτώ βασικούς πυλώνες:

1. Άμεσα μέτρα με στόχο την ενίσχυση της ικανότητας της ΕΕ να ανταπεξέλθει σε σοβαρή διαταραχή του ενεργειακού εφοδιασμού κατά τη διάρκεια του χειμώνα 2014-2015
2. Ενίσχυση των μηχανισμών έκτακτης ανάγκης/αλληλεγγύης,
3. Μετριασμός της ζήτησης ενέργειας
4. Δημιουργία εύρυθμα λειτουργούσας και πλήρως ενοποιημένης εσωτερικής αγοράς

5. Αύξηση της παραγωγής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση
 6. Περαιτέρω ανάπτυξη των ενεργειακών τεχνολογιών
 7. Διαφοροποίηση των εξωτερικών πηγών εφοδιασμού και της συναφούς υποδομής
 8. Βελτίωση του συντονισμού των εθνικών πολιτικών για την ενέργεια και ομοφωνία των κρατών μελών σε θέματα εξωτερικής ενεργειακής πολιτικής.
- ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2017/1938 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 25ης Οκτωβρίου 2017 σχετικά με τα μέτρα κατοχύρωσης της ασφάλειας εφοδιασμού με φυσικό αέριο και με την κατάργηση του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 994/2010. Τα κυριότερα σημεία του Κανονισμού είναι τα εξής:
 - i. Η ασφάλεια του εφοδιασμού με φυσικό αέριο αποτελεί κοινή ευθύνη των εταιρειών φυσικού αερίου, των χωρών της ΕΕ και της Ευρ. Επιτροπής
 - ii. Η σύσταση συντονιστικής ομάδας για το φυσικό αέριο (ΣΟΦΑ) με σκοπό να διευκολυνθεί ο συντονισμός των μέτρων που αφορούν την ασφάλεια εφοδιασμού με φυσικό αέριο
 - iii. Η καθιέρωση του μηχανισμού αλληλεγγύης μέσω του οποίου οι χώρες της ΕΕ πρέπει να αλληλοβοηθούνται ώστε να εγγυώνται πάντοτε την παροχή φυσικού αερίου στους πιο ευάλωτους καταναλωτές — ακόμη και σε σοβαρές διαταραχές της προσφοράς φυσικού αερίου — υπό συνθήκες δίκαιης αποζημίωσης από τη χώρα που λαμβάνει την αλληλεγγύη
 - iv. Το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς (ΕΔΔΣΜ Αερίου-Entsog) θα πραγματοποιήσει-σε επίπεδο ΕΕ- τετραετή προσομοίωση σεναρίων διαταραχής του εφοδιασμού και της υποδομής φυσικού αερίου
 - v. Επιβάλλεται η κατάρτιση από τις χώρες της ΕΕ: α) σχεδίου προληπτικής δράσης, το οποίο περιέχει τα μέτρα που απαιτούνται για την εξάλειψη ή τον μετριασμό των κινδύνων που έχουν εντοπιστεί κατόπιν διενέργειας risk assessment, β) σχεδίου έκτακτης ανάγκης που περιέχει τα ληπτέα μέτρα για την εξάλειψη ή τον μετριασμό των επιπτώσεων ενδεχόμενης διαταραχής του εφοδιασμού με φυσικό αέριο (Βερναρδάκη, 2022).
 - ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2019/941 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 5ης Ιουνίου 2019 σχετικά με την ετοιμότητα αντιμετώπισης κινδύνων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και με την κατάργηση της οδηγίας 2005/89/ΕΚ. Ο κανονισμός διαμορφώνει κοινό πλαίσιο κανόνων για την πρόληψη, την ετοιμότητα αντιμετώπισης και τη διαχείριση καταστάσεων κρίσης ηλεκτρικής ενέργειας, εξασφαλίζοντας περισσότερη

διαφάνεια κατά τη φάση προετοιμασίας και κατά τη διάρκεια κρίσης ηλεκτρικής ενέργειας και διασφαλίζοντας ότι τα μέτρα λαμβάνονται με συντονισμένο και αποτελεσματικό τρόπο. Απαιτεί από τα κράτη μέλη να συνεργάζονται σε περιφερειακό και, κατά περίπτωση, διμερές επίπεδο, σε πνεύμα αλληλεγγύης. Θεσπίζει επίσης πλαίσιο για την αποτελεσματική παρακολούθηση της ασφάλειας του εφοδιασμού με ηλεκτρική ενέργεια στην Ένωση μέσω της ομάδας συντονισμού για την ηλεκτρική ενέργεια (ECG).

Η νέα ρωσική εισβολή στην Ουκρανία τον Φεβρουάριο του 2022, ανάγκασε την Ευρωπαϊκή Ένωση (μαζί με άλλες δημοκρατίες) να υιοθετήσει εκτεταμένες κυρώσεις κατά της ρωσικής οικονομίας (European Commission, 2022) και να ενισχύσει το νομοθετικό της οπλοστάσιο, σε μια προσπάθεια απεμπλοκής από τον ασφυκτικό ενεργειακό εναγκαλισμό του στρατηγικού προμηθευτή της. Στο πλαίσιο αυτό η ΕΕ ενεργοποιεί το REPowerEU, που αποτελεί το σχέδιο απεξάρτησής της από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα πολύ πριν από το 2030, ξεκινώντας από το φυσικό αέριο.

Με βάση τη δέσμη προτάσεων για την «προσαρμογή στον στόχο του 55%» (Fit for 55) και την ολοκλήρωση των δράσεων που αφορούν την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και την αποθήκευση ενέργειας, το σχέδιο REPowerEU προτείνει μια πρόσθετη δέσμη δράσεων με στόχο:

- Την εξοικονόμηση ενέργειας
- Τη διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού
- Την ταχεία υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων με την επιτάχυνση της μετάβασης της Ευρώπης σε καθαρές μορφές ενέργειας και
- Τον έξυπνο συνδυασμό επενδύσεων και μεταρρυθμίσεων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2022).

Υπό το πρίσμα όλων των ανωτέρω μία προσπάθεια εννοιολόγησης της ενεργειακής ασφάλειας, θα κατέληγε στο ότι αποτελεί την εκροή τεσσάρων αλληλένδετων πυλώνων και δη του πυλώνα της διαθεσιμότητας, της προσβασιμότητας, της αποδοχής και της οικονομικής προσιτότητας (Αλιγιζάκη, 2018).

Κατά τον ορισμό του ΙΕΑ, ο οποίος δίνει έμφαση στον ηλεκτρισμό, η ασφάλεια της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ικανότητα του συστήματος να διασφαλίζει αδιάλειπτη διαθεσιμότητα, επιδεικνύοντας αντοχή και ανακάμπτοντας από διαταραχές και απρόβλεπτες καταστάσεις. Η ασφάλεια της ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει όλες τις τεχνικές, οικονομικές και πολιτικές πρωτοβουλίες που αναλαμβάνονται προκειμένου να επιτευχθεί μία ασφαλής ενεργειακή μετάβαση, έτοιμη να

αντιμετωπίσει τις επιθέσεις κυβερνοασφάλειας και τις κλιματικές επιπτώσεις, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα» (IEA, 2020).

Προς συμπλήρωση των προαναφερθέντων, θα πρέπει να ειπωθεί ότι η εφαρμογή του κατάλληλου ορισμού στις διάφορες περιπτώσεις δέον όπως λαμβάνει υπ' όψιν τις ποικίλες ομάδες δρώντων, που δίνουν το δικό τους νόημα στην έννοια, σύμφωνα με τα συμφέροντα που εκπροσωπούν και τις συνθήκες που αντιμετωπίζουν.

Έτσι, επί παραδείγματι ενώ οι τελικοί καταναλωτές ενδιαφέρονται ουσιαστικά για την αδιάλειπτη παροχή ενέργειας, οι διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς επιδιώκουν την αρτιότητα μεθοδολογιών και τεχνικών κριτηρίων και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικών μεριμνούν για την επάρκεια του συστήματος (διαθεσιμότητα καυσίμων και παραγωγική ικανότητα), την ανταπόκρισή του στις αιφνίδιες μεταβολές της ζήτησης (περίοδοι αιχμής) και τη σταθερή οικονομική συμπεριφορά του όταν η προσφορά είναι περιορισμένη (NEA, 2021a).

Θα ήταν παράλειψη να μην θιγεί και ο γεωπολιτικός χαρακτήρας της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού, που αναδεικνύεται έντονα σε περιόδους εντάσεων όπως η παρούσα. Στις 16 Μαρτίου 2022, η Ουκρανία και η Μολδαβία συγχρονίστηκαν με το ηπειρωτικό ευρωπαϊκό δίκτυο, περίπου τρεις εβδομάδες μετά τη ρωσική εισβολή στην Ουκρανία. Πριν την ενοποίηση με την Ευρώπη, τα δίκτυα αυτά αποτελούσαν μέρος του ολοκληρωμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Ρωσίας και των γειτόνων της. Η σύζευξη της Ουκρανίας με την ηπειρωτική Ευρώπη παρέχει σταθερότητα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Ουκρανίας και αποτελεί προφανώς έναν από τους λόγους παράτασης της ουκρανικής αντοχής στη ρωσική εισβολή (European Commission, 2022b· IEA, 2022a).

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας η ασφάλεια του ενεργειακού/ηλεκτρικού εφοδιασμού θα εννοιολογηθεί ευρύτερα, προκειμένου να υιοθετηθεί μία προσέγγιση που θα λάβει υπόψη τις τρεις διαστάσεις της βιώσιμης ανάπτυξης και δη την περιβαλλοντική προστασία, την κοινωνική αποδοχή και την οικονομική προσιτότητα. Σε μία εποχή αλληπάλληλων κρίσεων (χρέους, υγείας, ενέργειας, κλίματος), η ενσωμάτωση αυτών των τριών παραμέτρων στις πολιτικές και τις δράσεις που αναλαμβάνονται στο πεδίο της ενεργειακής ασφάλειας, είναι απαραίτητη προϋπόθεση επιτυχίας τους, ενώ παράλληλα στέλνει ένα ηχηρό μήνυμα και στον ιδιωτικό τομέα προκειμένου να τις εντάξει στον οργανωτικό σχεδιασμό του (IEA, 2020). Τουναντίον, οποιαδήποτε πολιτική πρωτοβουλία αποπειραθεί να

αντιμετωπίσει την ενεργειακή ασφάλεια αποσπασματικά και χωρίς τη «συγκατάθεση» των τριών διαστάσεων σωρευτικά, είναι καταδικασμένη να αποτύχει.

Συμπεράσματα κεφαλαίου

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι ο μεγαλύτερος εισαγωγέας ενέργειας παγκοσμίως, τόσο λόγω της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης, όσο και λόγω της φθίνουσας πορείας της εγχώριας παραγωγής ενέργειας. Αυτή η έλλειψη αυτονομίας είχε ως αποτέλεσμα την εκτίναξη των ευρωπαϊκών τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας σε δυσθεώρητα ύψη, εν μέρει λόγω της τελευταίας ρωσοουκρανικής συμπλοκής.

Ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας στην ΕΕ είναι οι μεταφορές και ακολουθούν τα νοικοκυριά, μια ανάσα πιο πίσω. Περίπου το ένα τέταρτο της ενέργειας που καταναλώνουν οι Ευρωπαίοι είναι ηλεκτρική και προέρχεται κατά πρώτον από ΑΠΕ, κατά δεύτερον από ορυκτά καύσιμα και κατά τρίτον από τα πυρηνικά.

Η ΕΕ διαθέτει ένα συνεκτικό πλαίσιο νομοθεσίας και πολιτικών στον τομέα της ενέργειας που θεμελιώθηκε οριστικά μετά τη Συνθήκη της Λισαβόνας. Η πιο βασική έκφραση της ενεργειακής πολιτικής είναι η ενεργειακή ένωση, η οποία δίνει μεγάλη προτεραιότητα στον πυλώνα της ενεργειακής ασφάλειας, γεγονός που αποδεικνύει ακριβώς τη μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση της Ένωσης. Η έννοια της ενεργειακής ασφάλειας είναι πολυσύνθετη και ερμηνεύεται διαφορετικά κατά περίπτωση. Η παρούσα εργασία υιοθετεί τη δική της προσέγγιση που περιλαμβάνει τις τρεις διαστάσεις της βιωσιμότητας, δίνοντας και στις τρεις την ίδια βαρύτητα, προκειμένου να εξετάσει το ρόλο της πυρηνικής ενέργειας στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ.

Κεφάλαιο δεύτερο: Η πυρηνική ενέργεια στην ΕΕ

Εισαγωγή

Οι επιστημονικές ανακαλύψεις στις αρχές του 20ου αιώνα που έκαναν δυνατή την αποκωδικοποίηση των μυστικών των ατομικών πυρήνων, συνέπεσαν με την άνοδο του Χίτλερ στην εξουσία, το μεγαλοϊδεατισμό του και το ξέσπασμα του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Ο Μεγάλος Πόλεμος λειτούργησε ως καταλύτης στη φρενήρη προσπάθεια φυσικών, χημικών και μηχανικών που οδήγησε στη χαλιναγώγηση της πυρηνικής ενέργειας και στην κατασκευή της πρώτης πυρηνικής βόμβας, η χρήση της οποίας προκάλεσε ανυπολόγιστη ζημιά και τερμάτισε απότομα τον πόλεμο. Έτσι, αυτό που σήμερα χρησιμοποιείται για να βελτιώσει τη ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων, πρωτοσυστήθηκε σπέρνοντας το θάνατο.

Το σκοτεινό παρελθόν της πυρηνικής ενέργειας έχει διαποτίσει το συλλογικό φαντασιακό και μία σειρά από ατυχήματα όπως αυτό του Chernobyl ήρθαν να επιβεβαιώσουν ότι τίποτα δεν έχει τελειώσει. Ο απόηχος της καταστροφής ήταν και είναι τόσο μεγάλος, που επηρέασε μέχρι και την ορθόδοξη εικονογραφία (Σιόβας, 2015).

Οι κοινωνικές ανησυχίες για ένα πιθανό πυρηνικό όλεθρο φαίνεται ότι έχουν διαμορφώσει ως ένα βαθμό μια μαζική κουλτούρα, οι πολιτιστικές εκροές της οποίας επιστρέφουν στην κοινωνία, την επηρεάζουν και μεγεθύνουν τις ανησυχίες της. Αυτό γίνεται τόσο μέσα από τα συμβατικά κανάλια επικοινωνίας, όπως η τηλεόραση, το ραδιόφωνο και ο έντυπος τύπος, όσο και μέσα από τις νέες δυνατότητες που παρέχει το διαδίκτυο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η ιστοσελίδα «[Nukemap](#)», όπου μπορεί κανείς να πληροφορηθεί τις ζημιές που θα προκύψουν από μια πυρηνική έκρηξη σε οποιαδήποτε πόλη επιλέξει.

Ποτέ άλλοτε ένα ανθρώπινο δημιούργημα δεν ήταν τόσο αμφιλεγόμενο: Από τη μία ζωογόνος δύναμη και από την άλλη όπλο ικανό να σπείρει την απόλυτη καταστροφή. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία ιστορική αναδρομή στο προπολεμικό παρελθόν της πυρηνικής ενέργειας, θα περιγραφούν οι μεταπολεμικοί τρόποι ελέγχου της μέσα από της θεσμοποίησή της, για να φτάσουμε στην υφιστάμενη κατάσταση και το μέλλον που επιφυλάσσουν γι' αυτήν το ενωσιακό ρυθμιστικό πλαίσιο της «Ταξινομίας» και η νομολογία του ΔΕΕ περί κρατικών ενισχύσεων, όπου επιχειρείται η προσπάθεια να συμβιβαστούν δύο τάσεις αντιμαχόμενες: Η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος από τη μία και η έννοια της κρατικής κυριαρχίας από την άλλη, που

εκφράζεται μέσα από την ελευθερία των κ-μ να επιλέγουν το βέλτιστο- για τα ίδια- ενεργειακό μείγμα.

Πώς ξεκίνησαν όλα (κβαντική φυσική και άλλα περίεργα)

Εν αρχή ην το φως. Πράγματι όλα όσα οδήγησαν στην αποκρυπτογράφηση των μυστικών που κρύβουν οι πυρήνες των στοιχείων και έκαναν δυνατή τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας ξεκίνησαν από το μεγάλο μυστήριο της φύσης του φωτός που ταλανίζει τον άνθρωπο από το λυκαυγές του χρόνου. Αυτό γιατί, ό,τι ισχύει για το φως και το φαινόμενο που σήμερα αποκαλούμε διπλή φύση του (σωματίδιο και κύμα), ισχύει και για τα μικροσκοπικά σωματίδια της ύλης, όπως τα ηλεκτρόνια.

Οι αρχαίοι Έλληνες, λοιπόν, είχαν καταλήξει στη σωματιδιακή φύση του φωτός, πίστευαν δηλαδή ότι το φως αποτελείται από μικρά σωματίδια τα οποία κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα και διεγείρουν την όραση, όταν φτάνουν στο μάτι.

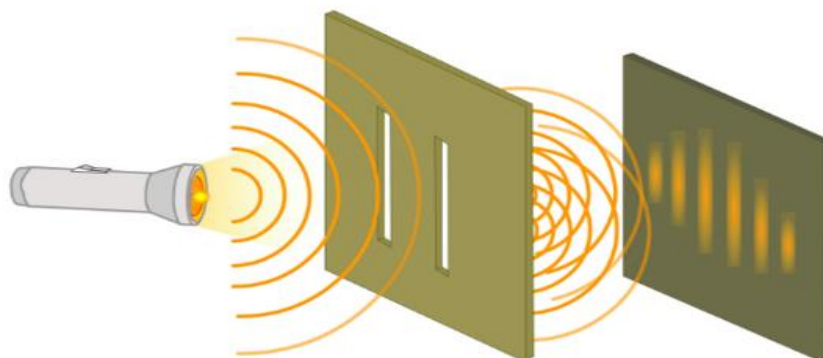
Την άποψη των αρχαίων για τη σωματιδιακή φύση του φωτός συμμαριζόταν και ο μεγάλος Νεύτωνας, ο οποίος το 1675 στο βιβλίο του «OPTICS» κατέληξε ότι τα φωτεινά αντικείμενα εκπέμπουν αόρατα σωματίδια.

Το 1676, όμως, ένα χρόνο μετά-στο Παρίσι αυτή τη φορά- ο Ολλανδός Κρίστιαν Χόυχενς διατύπωσε- στο βιβλίο του «Πραγματεία για το Φως»- μια άλλη θεωρία αυτή της κυματικής φύσης του φωτός. Η θεωρία εξηγούσε επαρκώς την ανάκλαση και τη διάθλαση του φωτός, αλλά και το φαινόμενο της συμβολής, που δεν μπορούσε να ερμηνεύσει η σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα.

Παρά τα έγκυρα ευρήματα του Χόυχενς, η εργασία του για την κυματική συμπεριφορά του φωτός έπεσε στην αφάνεια για 100 σχεδόν χρόνια, καταδικασμένη από το νευτώνειο αλάθητο που είχε επικαθορίσει τα επιστημονικά πεπραγμένα της εποχής.

Ωστόσο, στις αρχές του 19^{ου} αιώνα ο Κρίστιαν Χόυχενς πήρε την εκδίκησή του, αφού η κάποτε καταφρονημένη θεωρία του περί της κυματικής συμπεριφοράς του φωτός επιβεβαιώθηκε με το πείραμα των δύο σχισμών και επικράτησε καθ' όλη σχεδόν τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα (Σχήμα 2).

Σχήμα 2: Το πείραμα των δύο σχισμών



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα [Φιλοσοφική Λίθος](#) (Πίτσικας, n.d.)

Εντούτοις, ένα φαινόμενο που ήταν αδύνατον να ερμηνεύσει η κυματική θεωρία παρατηρήθηκε λίγο πριν τα τέλη του 19ου αιώνα. Ήταν το "φωτοηλεκτρικό", όπως ονομάστηκε, και αφορούσε στην αλληλεπίδραση της φωτεινής ακτινοβολίας με την ύλη. Το αδιέξοδο αυτό ξεπέρασε ένας συντηρητικός σαραντάρης μαθηματικός ο Μαξ Πλανκ, ο οποίος συγκλόνισε τον επιστημονικό κόσμο και ταρακούνησε συθέμελα τις παραδεδεγμένες αρχές της κλασικής Φυσικής, με τη θεωρία των κβάντα. Ο Πλανκ είπε ότι κάθε άτομο της ύλης εκπέμπει ή απορροφά ασυνεχώς στοιχειώδη ποσά φωτεινής ενέργειας, που ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια. Έτσι, το φως που είχε αναγνωριστεί ως κυματικό φαινόμενο από το 1800, αποτελείται από φωτόνια τα οποία κινούνται στο χώρο ως σωματίδια. Στον Πλανκ δόθηκε το προσωνύμιο «πατέρας της κβαντικής φυσικής».

Το 1905 ο Αϊνστάιν εξήγησε την «τρελή» θεωρία του Πλανκ, που παντρεύει τη σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα και της κυματικής του Χούγκενς, αφού το φωτόνιο του Πλανκ μοιράζεται χαρακτηριστικά και των δύο συμπεριφορών. Οι διαπιστώσεις των Πλανκ και Αϊνστάιν αποτελούν τα θεμέλια της θεωρίας για τον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό του φωτός.

Η κβαντική θεωρία του φωτός ξεκλείδωσε και τα μυστικά της ύλης του μικρόκοσμου (σωματίδια που απαντώνται σε μοριακό, ατομικό και υποατομικό επίπεδο), αφού εφαρμόστηκαν κι εκεί οι ίδιες αρχές. Οι θεωρητικές και πρακτικές ανακαλύψεις που ακολούθησαν στο πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα ήταν κατακλυσμιαίες.

Μέχρι το 1897 οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι τα άτομα ήταν αδιαίρετα, αλλά ο νομπελίστας Άγγλος φυσικός Τζόζεφ Τζον Τόμσον απέδειξε ότι έκαναν λάθος, όταν ανακάλυψε ότι τα άτομα περιέχουν σωματίδια που είναι γνωστά ως ηλεκτρόνια.

Το 1911 ο Έρνεστ Ράδερφορντ, μαθητής του Τόμσον και πατέρας της πυρηνικής φυσικής προτείνει το πλανητικό μοντέλο του ατόμου, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από ένα πυρήνα που συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου. Αν υποθέσουμε ότι το άτομο έχει το μέγεθος ενός γηπέδου ποδοσφαίρου, τότε ο πυρήνας του θα είναι ίσος με έναν κόκκο φακής, ασύλληπτης όμως πυκνότητας. Ο Ράδερφορντ ανακάλυψε τα πρωτόνια και διαπίστωσε ότι ο πυρήνας περιέχει ουδέτερα σωματίδια, πλην όμως δεν μπόρεσε να τα αναγνωρίσει.

Το 1913 ο Νιλς Μπορ προσαρμόζοντας την θεωρία του Πλανκ για τα κβάντα φωτός στη δομή του ατόμου, κάνει την πρόταση ότι οι τροχιές των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα είναι συγκεκριμένες και ότι ένα άτομο εκπέμπει ακτινοβολία μόνο όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει από μια τροχιά σε άλλη. Δημιουργείται έτσι το τροχιακό μοντέλο του ατόμου.

Το 1925 ο Λουί ντε Μπρολί αντλώντας την έμπνευσή του από την θεωρία του Πλανκ περί της διπλής φύσης του φωτός, κάνει την τολμηρή σκέψη ότι και τα ηλεκτρόνια, που είχαν αναγνωριστεί ως σωματίδια ενδέχεται να συμπεριφέρονται μερικές φορές σαν κύματα. Έτσι καθιερώνεται στην φυσική ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός, το κυριότερο χαρακτηριστικό της κβαντικής θεωρίας, σύμφωνα με την οποία οι θεμελιώδεις οντότητες της φύσης παρουσιάζουν **και** κυματική **και** σωματιδιακή συμπεριφορά, αν και όχι ταυτόχρονα. Τώρα πλέον το ηλεκτρόνιο φαντάζει σαν νέφος γύρω από τον πυρήνα και όχι σαν ένας μικρός πλανήτης σε τροχιά.

Όλες αυτές οι ιδέες βάζουν σε μεγάλη δοκιμασία την κλασική φυσική του μακρόκοσμου, η οποία αποδεικνύεται ανίκανη να εξηγήσει τα φαινόμενα του μικρόκοσμου, αλλά καταφέρνουν να επιστεγάσουν θεωρητικά τις παρατηρήσεις που είχαν κάνει στα τέλη του 19ου αιώνα ο Ανρί Μπεκερέλ και οι Πιερ Κιουρί και Μαρί Σκουοντόφσκα Κιουρί.

Ο πρώτος παρατήρησε, το 1896, ότι τα άλατα ενός σπάνιου μετάλλου, του ουρανίου, εκπέμπουν ένα είδος ακτινοβολίας η οποία διαπερνά κάθε συνηθισμένο υλικό που εμποδίζει τη διέλευση του φωτός, όπως το μαύρο χαρτί. Το ουράνιο είχε ανακαλύψει στο ορυκτό πηλαιοουράνιο ο Γερμανός χημικός Μάρτιν Χάινριχ Κλάπροντ το 1789 κοντά στη Γαλλική Επανάσταση.

Ένα χρόνο μετά το Μπεκερέλ, το ζεύγος Κιουρί/Σκουοντόφσκα ανακάλυψε ότι την ίδια ακτινοβολία εκπέμπει το θόριο, το πολώνιο και το ράδιο.

Η μυστηριώδης ακτινοβολία ήταν η αυθόρμητη μετατροπή της μάζας σε ενέργεια, σύμφωνα με τη θεωρία του Αϊνστάιν. Οι πυρήνες του ουρανίου, του

πολωνίου, του θορίου και του ραδίου είναι βαρείς και ασταθείς, λόγω των πολλών πρωτονίων και νετρονίων που στριμώνχονται στο εσωτερικό τους και των δυνάμεων άπωσης που αναπτύσσονται μεταξύ των θετικά φορτισμένων πρωτονίων. Οι ιδιότητες αυτές προκαλούν φυσική (όχι τεχνητή) διάσπαση των πυρήνων και ένα μέρος της μάζας τους μετατρέπεται σε ενέργεια με τη μορφή της εκπομπής ακτινοβολίας γάμμα.

Οι παρατηρήσεις αυτές και οι θεωρητικές διατυπώσεις που τις επιβεβαίωσαν αποτέλεσαν την αρχή ενός επιστημονικού οργανισμού που κατέληξε στην αποκωδικοποίηση των βασικών εννοιών, οι οποίες έκαναν δυνατή την τεχνητή πυρηνική σχάση, με τη δημιουργία ασταθών πυρήνων σε συνθήκες εργαστηρίου.

Το 1932 ανακαλύφθηκε το νετρόνιο από τον Άγγλο Φυσικό και μαθητή του Έρνεστ Ράδεφορντ, Τζέιμς Τσάντγουικ, ο οποίος βραβεύτηκε με το Νόμπελ Φυσικής για την ανακάλυψή του αυτή. Τα νετρόνια επειδή ακριβώς δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο, μπορούν εύκολα να αλληλεπιδράσουν με τους πυρήνες των στοιχείων και δεν πέρασε πολύς καιρός μέχρι αυτό να γίνει αντιληπτό. Πράγματι, το 1934 ο Ιταλός φυσικός Ενρίκο Φέρμι¹⁰ ο οποίος κατάλαβε τη σημασία αυτού του καινούργιου δομικού λίθου της ύλης, ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε νετρόνια για να στοχεύσει διάφορα στοιχεία και όχι σωμάτια άλφα (πυρήνες ηλίου), όπως έκαναν οι επιστήμονες έως τότε (Frisch, 1979). Η πλήρης εκμετάλλευση των νετρονίων έγινε δυνατή με το κυκλοτρόνιο, έναν επιταχυντή σωματιδίων, που είχε επινοήσει ο Αμερικάνος φυσικός Έρνεστ Ορλάντο Λώρενς. Χάρη στην εφεύρεση αυτή οι επιστήμονες είχαν στα χέρια τους το μέσο που τους επέτρεπε να εκτοξεύουν νετρόνια με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια στους πυρήνες των στοιχείων, γεγονός που κατέστησε δυνατή την πυρηνική διάσπαση.

Πυρηνική διάσπαση και αλυσιδωτή αντίδραση.

Ο Φέρμι, που πρώτος κατανόησε την αξία των νετρονίων, ξεκίνησε να βομβαρδίζει το ουράνιο με νετρόνια και να εξετάζει τις ουσίες που σχηματίζονταν. Ήταν όμως η Γερμανίδα φυσικός Λίζε Μάιτνερ που μελετώντας τις πυρηνικές αντιδράσεις του ουρανίου με τους χημικούς Ότο Χαν και Φριτς Στράσμαν, κατέληξε στο ότι οι ελαφρύτεροι πυρήνες που εμφανίζονταν μετά το βομβαρδισμό του ουρανίου με νετρόνια, οφείλονται στην διάσπαση του πυρήνα του ουρανίου. Το συμπέρασμα αυτό απέδειξε και πειραματικά ο ανιψιός της και φυσικός Ότο Φρις, στις 13.01.1939,

¹⁰ Νομπελίστας και εφευρέτης του πρώτου πυρηνικού αντιδραστήρα, μαζί με το Λέο Σίλαρντ

ο οποίος βάφτισε το νέο φαινόμενο «πυρηνική σχάση» αντλώντας τη λεκτική έμπνευσή του από τη βιολογία και τη διαδικασία διαχωρισμού των απλών κυττάρων στα δύο. Οι Χαν και Στράσμμαν τιμήθηκαν με το βραβείο Νόμπελ, ενώ η ίδια η Μάιτνερ αγνοήθηκε, για αδιευκρίνιστους λόγους.

Η Μάιτνερ αναγνώρισε, στη συνέχεια, τη δυνατότητα μιας αλυσιδωτής αντίδρασης, δηλαδή της σχάσης γειτονικών πυρήνων από τα νετρόνια που απελευθερώνει η αρχική διάσπαση, διαδικασία που θα μπορούσε να συνεχιστεί ακατάπαυστα.

Στη συνεχιζόμενη αυτή διαδικασία, που απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες ενέργειας βασίζεται τόσο η λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων όσο και της πυρηνικής βόμβας. Η ανακάλυψη της τελευταίας έγινε ο απόλυτος στόχος των φυσικών και των μηχανικών της εποχής, που ανησυχούσαν, δικαίως, μήπως τους προλάβει ο Χίτλερ, ο οποίος κήρυξε τον πόλεμο στον κόσμο- και τη λογική- την 1η Σεπτεμβρίου 1939, εισβάλλοντας στην Πολωνία (Βάρβογλης, 2010· Βερέττας, 2011 · Γεωργακάκος et al., n.d. · Θεοδοσίου, 2019 · Πίτσικας, n.d. · Frisch, 1979).

Η ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας

Η πρώτη χρήση της πυρηνικής ενέργειας και αυτή που έμελλε να την επικαθορίσει στο συλλογικό ασυνείδητο, σκόρπισε το θάνατο και την αρρώστια σε χιλιάδες ανθρώπους. Σύντομα όμως, έγινε αντιληπτό ότι «η ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση είναι μία πλούσια πηγή ενέργειας που προσφέρεται για κάθε είδους ειρηνική χρήση. Εκλύει άφθονη θερμική ακτινοβολία, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να ζεστάνει νερό, να το κάνει ατμό, και με τον ατμό να κινηθούν κάθε λογής μηχανήματα, για παράδειγμα, ηλεκτρογεννήτριες» (Βερέττας, 2011).

Οι πρώτοι μικροί πυρηνικοί αντιδραστήρες χρησιμοποιήθηκαν στα υποβρύχια το 1946, κατ' εντολήν του Αμερικανού ναυάρχου Χάιμαν Ρίκοβερ, ο οποίος επιδόθηκε σε μία μανιασμένη προσπάθεια να σώσει το πολεμικό ναυτικό από την απαξίωση, αφού ο ρόλος του το Β' ΠΠ είχε κατά πολύ υποβαθμιστεί από τα βομβαρδιστικά της πολεμικής αεροπορίας. Συνέλαβε λοιπόν την ιδέα της κατασκευής ενός πυρηνοκίνητου υποβρυχίου, πολύ πιο βελτιωμένου σε σχέση με τα συμβατικά, αφού και περισσότερη ώρα θα μπορούσε να μείνει κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και να μεταφέρει πυρηνικούς πυραύλους στις όχθες του εχθρού (Βερέττας, 2011).

Χάρη στο ναύαρχο Ρίκοβερ και το αμερικανικό πολεμικό ναυτικό, αναπτύχθηκε ένα νέο είδος αντιδραστήρα που χρησιμοποιούσε κοινό νερό σαν ψυκτικό

μέσο και επιβραδυντή νετρονίων και όχι γραφίτη (επιπόνηση Σίλαρντ-Φέρμι) ή βαρύ ύδωρ (σύστημα Ζολιό-Κιουρί), που ήταν πιο ακριβά και δύσκολα εφαρμόσιμα.

Πάνω σε αυτούς τους πρώτους ναυτικούς αντιδραστήρες βασίστηκε η ανάπτυξη των εμπορικών, η οποία έπρεπε να ξεπεράσει αρκετά εμπόδια, αφού οι πυρηνικοί αντιδραστήρες ηλεκτροπαραγωγής ήταν το πιο ακριβό εμπορικό προϊόν που είχε ποτέ κατασκευαστεί. Πλην όμως και αυτό το εμπόδιο υπερπηδήθηκε, καθώς οι εταιρείες κατασκευής έκαναν γενναίες περικοπές στα κέρδη τους, χάνοντας αρχικά πολλά χρήματα. Η παγκόσμια συγκυρία που χαρακτηριζόταν από αύξηση στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, από πολιτική αστάθεια στη Μέση Ανατολή, το βασικό προμηθευτή πετρελαίου και από την ανάδυση του περιβαλλοντικού κινήματος που απαιτούσε μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος, δικαίωσε την απόφασή τους αυτή και πολύ σύντομα οι αντιδραστήρες απλού (ελαφρού ύδατος) κατέκλυσαν την οικουμένη (Rippon, 1984). Πράγματι, οι περισσότεροι αντιδραστήρες δεύτερης Γενιάς (GenII) που λειτουργούν στο Δυτικό κόσμο είναι αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος¹¹ (Πίνακας 1, και Διάγραμμα 11, IAEA, 2022f) και κατασκευάστηκαν από τις εταιρείες Westinghouse και General Electric (Κυριακίδου, 2020).

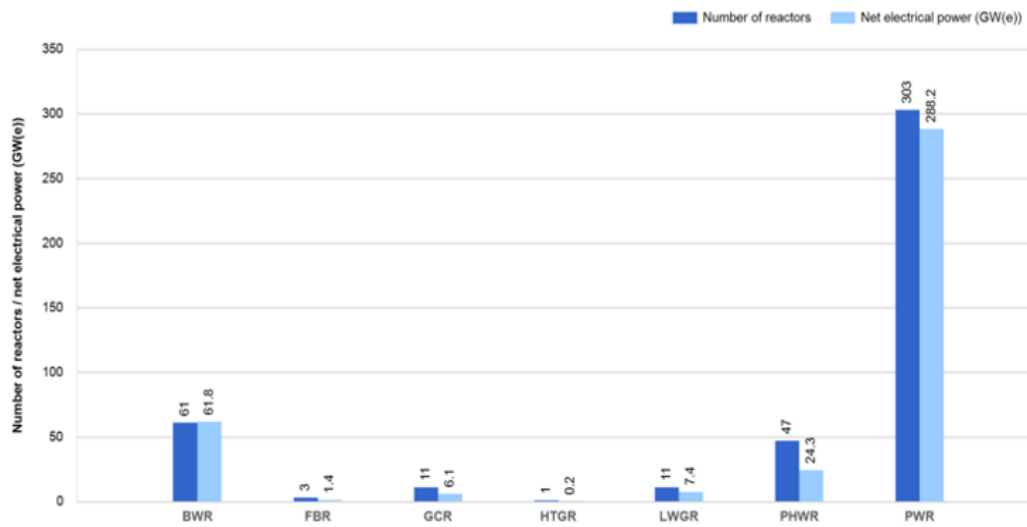
Πίνακας 1: Αριθμός αντιδραστήρων ανά τύπο: Αρκτικόλεξα και εξήγηση

Type Code	Type	Under construction	Operational	Long term shutdown	Shutdown
BWR	Boiling Light-Water Cooled and Moderated Reactor	2	61		52
FBR	Fast Breeder Reactor	3	3		8
GCR	Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor		11		41
HTGR	High Temperature Gas Cooled Reactor		1		4
HWGCR	Heavy-Water Moderated, Gas Cooled Reactor				3
HWLWR	Heavy-Water Moderated, Boiling Light-Water Cooled Reactor				2
LWGR	Light-Water Cooled, Graphite Moderated Reactor		11		13
PHWR	Pressurized Heavy-Water Moderated and Cooled Reactor	3	47	1	10
PWR	Pressurized Light-Water Moderated and Cooled Reactor	48	303		63
SGHWR	Steam Generating Heavy-Water Reactor				1
X	Other				2
TOTAL		56	437	1	199

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της International Atomic Energy Agency [«IAEA NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD 2022 edition»](#), πίνακας 23, σελίδα 72.

¹¹ Pressurised Light-Water Reactors (PWR) και Boiling Light-Water Reactors (BWR)

Διάγραμμα 11: Αριθμός αντιδραστήρων σε λειτουργία ανά τύπο και καθαρή ηλεκτρική ισχύ (από τις 31.12.2021)



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της International Atomic Energy Agency [«IAEA NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD 2022 edition»](#), διάγραμμα 1, σελίδα 84.

Ευρατόμ

Απαρχές. Το συνεχώς αναπτυσσόμενο ενδιαφέρον γύρω από την πυρηνική ενέργεια και τις πολλαπλές χρήσεις της, αλλά και η πολύ μεγάλη ενεργειακή ζήτηση που παρατηρήθηκε στη μεταπολεμική Ευρώπη, έκαναν αντιληπτή την ανάγκη για διεθνή ή έστω περιφερειακό συντονισμό. Λίγα χρόνια μετά την ίδρυση της ΕΚΑΧ το 1951, έγινε φανερό ότι η παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα αυτή που χρησιμοποιούσε ως πρώτη ύλη τον άνθρακα, δεν μπορούσε να καλύψει πια την αυξανόμενη ζήτηση. Η Ευρώπη εξαρτιόταν υπερβολικά από τις εισαγωγές άνθρακα και πετρελαίου της Μέσης Ανατολής, που τη χαρακτήριζε μεγάλη πολιτική αστάθεια, γεγονός που επαληθεύτηκε από την ενεργειακή κρίση του 1956 επακόλουθο της εθνικοποίηση της Διώρυγας του Σουέζ. Οι δυνατότητες της πυρηνικής ενέργειας άρχισαν σιγά σιγά να συζητιούνται, όπως και η απαίτηση για διεθνή συνεργασία λόγω του μεγάλου κόστους χρηματοδότησης των πυρηνικών εγκαταστάσεων. Το δίλημμα μεταξύ της δημιουργίας μιας διακυβερνητικής ευρωπαϊκής συνεργασίας στο πλαίσιο του ΟΟΣΑ από τη μία ή μιας υπερεθνική οργάνωσης, με σκοπό την ολοκλήρωση μέσα από τη διαρκώς στενότερη ένωση των κρατών μελών, από την άλλη λύθηκε υπέρ της υιοθέτησης της δεύτερης εναλλακτικής. Έτσι οι έξι ευρωπαϊκές χώρες που είχαν ιδρύσει την ΕΚΑΧ, υπέγραψαν στις 25.06.1957, πάνω στο λόφο του Καπιτωλίου της Ρώμης, τις Συνθήκες ίδρυσης τόσο της Ευρωπαϊκής Κοινότητας Ατομικής Ενέργειας, γνωστής και ως

Ευρατόμ όσο και της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας. Είναι χαρακτηριστικό ότι την ίδια χρονιά ιδρύθηκε και η Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (International Atomic Energy Agency -IAEA) του ΟΗΕ, αλλά και ο Οργανισμός Πυρηνικής Ενέργειας (Nuclear Energy Agency-NEA) που λειτουργεί στο πλαίσιο του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ). Ο τελευταίος είχε υιοθετήσει αρχικά την ονομασία Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικής Ενέργειας (European Nuclear Energy Agency-ENEA), την οποία άλλαξε το 1972 όταν η Ιαπωνία προσχώρησε σε αυτόν ως ολοκληρωμένο μέλος (Södersten, 2018).

Αντίθετα με την ΕΚΑΧ που είχε διάρκεια 50 ετών, η ΕΟΚ και η Ευρατόμ ιδρύθηκαν για «απεριόριστη διάρκεια» (άρθρα 240 της Συνθήκης ΕΟΚ και 208 της Συνθήκης Ευρατόμ), γεγονός που «τους προσέδωσε οιοινεί συνταγματικό χαρακτήρα» (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2022).

Από τις Ευρωπαϊκές Κοινότητες, η μόνη που επιβιώνει έως σήμερα είναι η Ευρατόμ. Η ΕΟΚ μετονομάστηκε σε Ευρωπαϊκή Κοινότητα με τη Συνθήκη του Μάαστριχτ (υπογραφή 07.02.1992), για να καταργηθεί δια απορροφήσεως από την Ευρωπαϊκή Ένωση με τη Μεταρρυθμιστική Συνθήκη της Λισαβόνας, ενώ η ΕΚΑΧ έληξε στις 23 Ιουλίου 2002, μετά την παρέλευση της πεντηκονταετούς διάρκειάς της.

Η Ευρατόμ δεν συγχωνεύθηκε με την Ευρωπαϊκή Ένωση και, παρά το γεγονός ότι και οι δύο έχουν κοινά θεσμικά όργανα, διατηρεί ξεχωριστή νομική προσωπικότητα. Αυτός είναι και ο λόγος που είναι ορθό εννοιολογικά να μιλάμε ακόμα για κοινοτικό δίκαιο. Η Ευρατόμ δεν έχει αλλάξει ιδιαίτερα μέσα στο χρόνο και η Μεταρρυθμιστική Συνθήκη επέφερε μικρές τροποποιήσεις μέσω του Πρωτοκόλλου Νο. 2 (Κουλούρης, n.d.).

Συνθήκη Ευρατόμ. Η Συνθήκη κατισχύει του εθνικού δικαίου, καθώς μαζί με τη Συνθήκη για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΣΕΕ) και τη Συνθήκη για τη λειτουργία της ΕΕ (ΣΛΕΕ), εντάσσεται στο πρωτογενές δίκαιο της ΕΕ ως μια από τις ενεργές συνθήκες του. Οι διατάξεις της και οι διατάξεις των ΣΕΕ και ΣΛΕΕ τελούν σε σχέση ειδικού προς γενικό που σημαίνει ότι στην περίπτωση σύγκρουσης, υπερισχύον αυτές της Ευρατόμ¹². Εντούτοις, όποιο πεδίο σχετίζεται με την πυρηνική ενέργεια, αλλά δεν ρυθμίζεται ρητά από την Ευρατόμ, καταλαμβάνεται από τις γενικές διατάξεις των ΣΕΕ και ΣΛΕΕ, όπως επί παραδείγματι τα ζητήματα της προστασίας του περιβάλλοντος και των κρατικών ενισχύσεων (NEA, 2022b). Η Συνθήκη περιλαμβάνει 6 Τίτλους, 225

¹² Ρητή πρόβλεψη στην παρ. 3 του άρθρου 106α

άρθρα, κάποια εκ των οποίων κατηγορημένα, έχει 5 Παραρτήματα, 6 Πρωτόκολλα και τέθηκε σε ισχύ την 02^η.01.1958.

Οι τίτλοι I και II ορίζουν και εμπλουτίζουν με συγκεκριμένους κανόνες τις 8 αποστολές που έχουν ανατεθεί στην Ευρατόμ, και σχετίζονται με: i) Την ανάπτυξη της έρευνας, ii) τη θέσπιση κανόνων ασφαλείας για την προστασία της υγείας εργαζομένων και πολιτών, iii) τη διευκόλυνση των απαραίτητων επενδύσεων για την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας, iv) τη μέριμνα για τον τακτικό και δίκαιο εφοδιασμό με μεταλλεύματα και πυρηνικά καύσιμα, v) τον έλεγχο της ειρηνικής χρήσης των πυρηνικών υλικών, vi) τη δημιουργία μιας κοινής αγοράς ατομικής ενέργειας με ελεύθερη κυκλοφορία των κεφαλαίων για πυρηνικές επενδύσεις και με ελεύθερη απασχόληση του εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού vii) τη σύναψη σχέσεων με τις άλλες χώρες και με διεθνείς οργανισμούς με σκοπό την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας και viii) την άσκηση του δικαιώματος κυριότητας επί των ειδικών σχάσιμων υλικών.

Στον τίτλο II προβλέπεται και η ίδρυση δύο οργανισμών και δη του Κοινού Κέντρου Πυρηνικών Ερευνών (άρθρο 8 Συνθήκης ΕΚΑΕ) και του Οργανισμού Εφοδιασμού της Ευρατόμ (άρθρο 52 Συνθήκης ΕΚΑΕ).

Το Κοινό Κέντρο Ερευνών (Joint Research Centre-JRC), γνωστό αρχικά με την ονομασία Κοινό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών (Joint Nuclear Research Centre-JNRC), εδρεύει στις Βρυξέλλες, αλλά διαθέτει και παραρτήματα/επιστημονικά ινστιτούτα στην Ολλανδία, την Ιταλία, την Ισπανία και τη Γερμανία. Ενώ, αρχικά, το πεδίο δράσης του ήταν περιορισμένο στα ζητήματα της πυρηνικής έρευνας, απέκτησε διευρυμένο ρόλο και βασικός στόχος του είναι πλέον να παρέχει επιστημονικές συμβουλές στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, προκειμένου να υποστηρίζονται οι ευρωπαϊκές πολιτικές με επιστημονική τεκμηρίωση (EUROPEAN COMMISSION, 2021· Eur-Lex, 2021·MARIE CURIE ALUMNI Association, 2020).

Ο Οργανισμός Εφοδιασμού της Ευρατόμ (Euratom Supply Agency-ESA), που λειτουργεί από την 01^η.06.1960, έχει νομική προσωπικότητα και οικονομική αυτοτέλεια και βασική αποστολή τη μέριμνα για τακτική και δίκαιη προμήθεια πυρηνικών υλικών (μεταλλεύματα, αρχικό υλικό και ειδικό σχάσιμο υλικό) σε όλους τους χρήστες της ΕΚΑΕ (EUROPEAN COMMISSION, 2022).

Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι οι συμβάσεις για την προμήθεια πυρηνικών υλικών πρέπει να ελέγχονται και να συνυπογράφονται από τον ESA όταν κάποιο από τα εμπλεκόμενα μέρη (παραγωγός ουρανίου ή χρήστης) εδρεύει στο έδαφος της

Ευρατόμ. Κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του ο ESA φροντίζει να επιτυγχάνει μία λελογισμένη διαφοροποίηση των πηγών προμήθειας υλικών, με σκοπό την αποφυγή υπέρμετρης ενεργειακής εξάρτησης (NEA, 2022b).

Στο πλαίσιο του ESA και των μη ενεργειακών εφαρμογών της πυρηνικής ενέργειας, ιδρύθηκε στις 29.06.2012 το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο για την Προμήθεια Ιατρικών Ραδιοϊσοτόπων (European Observatory on the Supply of Medical Radioisotopes). Στόχο έχει την αξιολόγηση και παρακολούθηση του εφοδιασμού της Κοινότητας με τεχνητά, ιατρικά ραδιοϊσότοπα και κυρίως με το ύψιστης σημασίας ισότοπο μολυβδαίνιο/τεχνητίο (molybdenum-99/technetium-99m), που χρησιμοποιείται στο 80% των πυρηνικών διαγνωστικών μεθόδων, αλλά και στη θεραπεία ασθενειών όπως ο καρκίνος, οι καρδιολογικές παθήσεις και οι εγκεφαλικές βλάβες. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η Ευρατόμ είναι παγκόσμια ηγέτιδα στην παραγωγή μολυβδαίνιου/τεχνητίου και το μερίδιό της στην παγκόσμια αγορά ξεπερνά το 60% (European Commission, 2017).

Σύμφωνα με το άρθρο 86 τα ειδικά σχάσιμα υλικά αποτελούν ιδιοκτησία της Κοινότητας. Με τον όρο «ειδικά σχάσιμα υλικά» νοείται «το πλουτόνιο 239, το ουράνιο 233, το εμπλουτισμένο ουράνιο με ουράνιο 235 ή 233, καθώς και κάθε προϊόν που περιέχει ένα ή περισσότερα από τα ανωτέρω ισότοπα και τα λοιπά σχάσιμα υλικά, τα οποία προσδιορίζονται από το Συμβούλιο, με ειδική πλειοψηφία, κατόπιν προτάσεως της Επιτροπής¹³». Το μονοπώλιο της Ευρατόμ στην προμήθεια και στην ιδιοκτησία των ειδικών σχάσιμων υλικών ήταν το αποτέλεσμα σκληρών διαπραγματεύσεων μεταξύ των έξι ιδρυτικών μελών της. Υπέρ αυτής της λύσης που τελικά επικράτησε ήταν η γαλλική αντιπροσωπία η οποία επιθυμούσε διακαώς αφενός μεν να εξασφαλίσει σχάσιμα υλικά για τους καλά αναπτυγμένους πυρηνικούς σταθμούς της σε επαρκείς ποσότητες και με χαμηλό κόστος, αφετέρου δε, να εμποδίσει την ανάπτυξη ανεξάρτητης πυρηνικής βιομηχανίας στη Γερμανία (CVCE, 2016).

Οι τίτλοι III και IV της Συνθήκης αφορούν θεσμικά και δημοσιονομικά ζητήματα και σύμφωνα με τα διαλαμβανόμενα σε αυτούς η Ευρατόμ μοιράζεται τα ίδια όργανα με την ΕΕ και δη το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, το Συμβούλιο, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, την Επιτροπή, το Δικαστήριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, την Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα και το Ελεγκτικό Συνέδριο. Αναφορικά με το οικονομικό σκέλος η Ευρατόμ έχει ενιαίο διοικητικό προϋπολογισμό με τα θεσμικά όργανα της ΕΕ.

¹³ Παρ, 1 του άρθρου 197 τη Συνθήκης ΕΥΡΑΤΟΜ

Εντούτοις, τα έξοδα έρευνας και ανάπτυξης εγγράφονται σε ξεχωριστό προϋπολογισμό (Council of the European Union & General Secretariat of the Council, 2016).

Το Συμβούλιο και συγκεκριμένα ο σχηματισμός Συμβούλιο Μεταφορών, Τηλεπικοινωνιών και Ενέργειας αποτελεί το βασικό όργανο της Κοινότητας, το οποίο διαμορφώνει την πυρηνική ενεργειακή πολιτική και συνεδριάζει σε επίπεδο Υπουργών. Ο ρόλος του Κοινοβουλίου είναι περιορισμένος στη θέσπιση του παραγωγού δικαίου (Κανονισμοί, Οδηγίες, Αποφάσεις) και η βασική του εισφορά είναι η παροχή γνώμης στο Συμβούλιο, το οποίο αποφασίζει εν τέλει μόνο του. Εδώ δηλαδή δεν ακολουθείται η διαδικασία της συναπόφασης, αλλά αυτή της διαβούλευσης (consultation procedure). Η ειδική επιτροπή του Κοινοβουλίου που ασχολείται με τα ζητήματα της Ευρατομ είναι η Επιτροπή Βιομηχανίας, Μεταφορών και Ενέργειας (Industry, Transport and Energy Committee-ITRE) (Södersten, 2018).

Ο πέμπτος και ο έκτος τίτλος της Συνθήκης περιέχουν αντίστοιχα γενικές διατάξεις και τους κανόνες για την αρχική περίοδο ίδρυσης της Ευρατόμ (έδρα των οργάνων, προνόμια και ασυλίες, συνεργασία με το Συμβούλιο της Ευρώπης, τρόπος κύρωση της Συνθήκης, έναρξη ισχύος, γλώσσα κατάρτισης κλπ).

Παράγωγο δίκαιο. Η πιο σημαντική δευτερογενής παραγωγή της Ευρατόμ αντλεί τη νομική της βάση από το Κεφάλαιο 3 του Τίτλου II και ρυθμίζει ζητήματα όπως η πυρηνική ασφάλεια¹⁴, η προστασία της υγείας από ιοντίζουσες ακτινοβολίες¹⁵, η διαχείριση αναλωμένων καυσίμων και ραδιενεργών αποβλήτων¹⁶, η έγκαιρη ανταλλαγή πληροφοριών σε περίπτωση εκτάκτου κινδύνου από ακτινοβολίες¹⁷, η ραδιενέργεια στο πόσιμο νερό¹⁸ και η μεταφορά ραδιενεργών υλικών¹⁹. Τέλος, στο ίδιο κεφάλαιο βασίζονται και τα δύο ειδικά χρηματοδοτικά προγράμματα για τον παροπλισμό πυρηνικών εγκαταστάσεων και τη διαχείριση ραδιενεργών αποβλήτων των πυρηνικών σταθμών Ignalina στη Λιθουανία, Kozloduy στη Βουλγαρία (Μονάδες

¹⁴ Οδηγία 2009/71/Ευρατόμ του Συμβουλίου, της 25ης Ιουνίου 2009, περί θεσπίσεως κοινοτικού πλαισίου για την πυρηνική ασφάλεια πυρηνικών εγκαταστάσεων, όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία 2014/87/Ευρατόμ του Συμβουλίου, της 8ης Ιουλίου 2014.

¹⁵ Οδηγία 2013/59/Ευρατόμ του Συμβουλίου, της 5ης Δεκεμβρίου 2013, για τον καθορισμό βασικών προτύπων ασφαλείας για την προστασία από τους κινδύνους που προκύπτουν από ιοντίζουσες ακτινοβολίες και την κατάργηση των οδηγιών 89/618/Ευρατόμ, 90/641/Ευρατόμ, 96/29/Ευρατόμ, 97/43/Ευρατόμ και 2003/122/Ευρατόμ

¹⁶ Οδηγία 2011/70/Ευρατόμ του Συμβουλίου, της 19ης Ιουλίου 2011, η οποία θεσπίζει κοινοτικό πλαίσιο για την υπεύθυνη και ασφαλή διαχείριση αναλωμένων καυσίμων και ραδιενεργών αποβλήτων

¹⁷ Απόφαση 87/600/Ευρατόμ, στην οποία βασίστηκε η θέσπιση του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης σε περίπτωση έκτακτου πυρηνικού συμβάντος, ECURIE, αλλά και η λειτουργία της Πλατφόρμα Ανταλλαγής Δεδομένων Ακτινοβολίας EURDEP

¹⁸ Οδηγία 2013/51/Ευρατόμ

¹⁹ Οδηγία 2006/117/Ευρατόμ

1 έως 4), Bohunice V1 στη Σλοβακία (Μονάδες 1 και 2)²⁰ αλλά και ο παροπλισμός των πυρηνικών υποδομών που είχε εγκαταστήσει το JCR σε διάφορα σημεία της Ευρώπης²¹, οι οποίες έχουν εγκαταλειφθεί επί μακρόν, κάποιες από αυτές για περισσότερα από 20 χρόνια και έχουν ως επί το πλείστον απαρχαιωθεί²².

Το χρηματοδοτικό κονδύλι για την υλοποίηση των ως άνω προγραμμάτων με περίοδο υλοποίησης το διάστημα από 01.01.2021-31.12.2027, ανέρχεται συνολικά στο ποσό του 1.018.000.000 EUR σε τρέχουσες τιμές και είναι εγγεγραμμένο στο μακροπρόθεσμο προϋπολογισμό της ΕΕ για την περίοδο 2021-2027 και δη στην Επικεφαλίδα υπό τον τίτλο «Security and Defence» (European Commission & Directorate-General for Budget, 2021).

Παρούσα κατάσταση. Η Ευρατόμ ξεκίνησε πολλά υποσχόμενη και αρχικά θεωρήθηκε πιο σημαντικό μέσο ευρωπαϊκής ολοκλήρωσης από τις ΕΚΑΧ και ΕΟΚ, εν μέρει επειδή -όπως πίστευαν τότε- τα οικονομικά συμφέροντα στα πυρηνικά δεν ήταν ακόμα παγιωμένα. Η Γαλλία επί παραδείγματι ενώ δεν έβλεπε με καλό μάτι την κοινή αγορά, επιθυμούσε τη συνεργασία στα πυρηνικά. Οι ΗΠΑ πάλι, που αφενός είχαν αποκτήσει προβάδισμα στην πυρηνική τεχνογνωσία και αφετέρου ήλεγχαν από κοινού με τη Βρετανία την παγκόσμια παραγωγή ουρανίου, έπαιξαν σημαίνοντα ρόλο στην ίδρυση της Ευρατόμ, την οποία εκλάμβαναν ως ένα τεχνολογικό και οικονομικό ανάχωμα στις φιλοδοξίες των Σοβιετικών και ως μέσο απεξάρτησης της Ευρώπης από το πετρέλαιο της Μέσης Ανατολής.

Η πραγματικότητα όμως διέψευσε τα προγνωστικά, αφού μετά την έναρξη ισχύος της Συνθήκης, ο αρχικός ενθουσιασμός εξανεμίστηκε. Ενώ η ΕΟΚ προχώρησε και εξελίχθηκε σε έναν διαχρονικό υπερεθνικό οργανισμό, η Ευρατόμ ατόνησε. Αυτό που τελικά φαίνεται ότι έφταιξε είναι ότι επικράτησε ένας ιδιότυπος πυρηνικός εθνικισμός. Τα κράτη μέλη είδαν την Ευρατόμ ως ανταγωνιστή, καθώς, όπως απεδείχθη η πυρηνική βιομηχανία και τα παρελκόμενα συμφέροντα ήταν επαρκώς εγκαθιδρυμένα, γεγονός που διέψευσε την αρχική, περί του αντιθέτου, αντίληψη. Ακόμα και η Γαλλία που ήταν ο πιο ενθουσιώδης υποστηρικτής του εγχειρήματος την περίοδο των διαπραγματεύσεων, άρχισε πλέον να συνειδητοποιεί ότι το πλεονέκτημα

²⁰ Μέρος της συμφωνίας για την προσχώρηση της Βουλγαρίας, της Λιθουανίας και της Σλοβακίας στην ΕΕ ήταν η παύση λειτουργίας των σοβιετικού σχεδιασμού πυρηνικών αντιδραστήρων τους πρώτης γενιάς, εξ ου και τα εν λόγω χρηματοδοτικά προγράμματα.

²¹ JRC-Geel στο Βέλγιο, το JRC-Karlsruhe στη Γερμανία, το JRC-Ispra στην Ιταλία και το JRC-Petten στις Κάτω Χώρες

²² Κανονισμοί (ΕΥΡΑΤΟΜ) 2021/100 και (ΕΕ) 2021/101 του Συμβουλίου

που εξασφάλιζε η ευρωπαϊκή πυρηνική ανεξαρτησία της κόστιζε ακριβά. Απόδειξη του καταλυτικού ρόλου που μπορεί να παίξουν τα οικονομικά και πολιτικά συμφέροντα στην επιτυχία ή την αποτυχία ενός εγχειρήματος είναι το ότι το πρόγραμμα χρηματοδότησης της πυρηνικής σύντηξης²³, που ξεκίνησε με πρωτοβουλία του Συμβουλίου στις αρχές της δεκαετίας του 1970, δεν συνάντησε κανένα εμπόδιο, λόγω ακριβώς της απουσίας άμεσων βιομηχανικών συμφερόντων στον τομέα αυτό. (Södersten, 2018).

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι μεγάλη σημασία στην παρακμή της Ευρατόμ έπαιξε και παίζει η αρνητική στάση της κοινής γνώμης απέναντι στα πυρηνικά, η οποία εξαιτίας των ατυχημάτων στο Chernobyl και τη Φουκουσίμα, αλλά και λόγω του προβλήματος διαχείρισης των πυρηνικών αποβλήτων, δείχνει μία σαφή προτίμηση στις ΑΠΕ.

Όλων τούτων δοθέντων, είναι φανερό ότι η Ευρατόμ έχει μετατραπεί σε ένα παρακολούθημα της ΕΕ, που έχει χάσει τον αυτοτελή χαρακτήρα του και δεν έχει πλέον, όπως φαίνεται, λόγο ύπαρξης.

Πυρηνικά εργοστάσια στην ΕΕ των 27-στατιστικά

Σήμερα την Ευρώπη υπάρχουν 103 πυρηνικοί αντιδραστήρες²⁴ (Διάγραμμα 13, IAEA, 2022f) διάσπαρτοι σε 13 κράτη μέλη²⁵, (Σχήμα 3, EUROSTAT, 2022b) με συνολική δυναμικότητα 120 GWe και μέσο όρο και ηλικία κοντά στα 37 έτη (Διάγραμμα 12, Schneider et al., 2021). Δέκα κράτη μέλη σχεδιάζουν νέες εγκαταστάσεις και τέσσερις αντιδραστήρες βρίσκονται ήδη υπό κατασκευή στη Φινλανδία, τη Γαλλία και τη Σλοβακία (Διάγραμμα 14, IAEA, 2022f). Άλλα έργα στη Φινλανδία, την Ουγγαρία και το Ηνωμένο Βασίλειο βρίσκονται σε διαδικασία αδειοδότησης, ενώ έργα στη Βουλγαρία, την Τσεχική Δημοκρατία, τη Λιθουανία, την Πολωνία και τη Ρουμανία βρίσκονται σε προπαρασκευαστικό στάδιο. Η πυρηνική

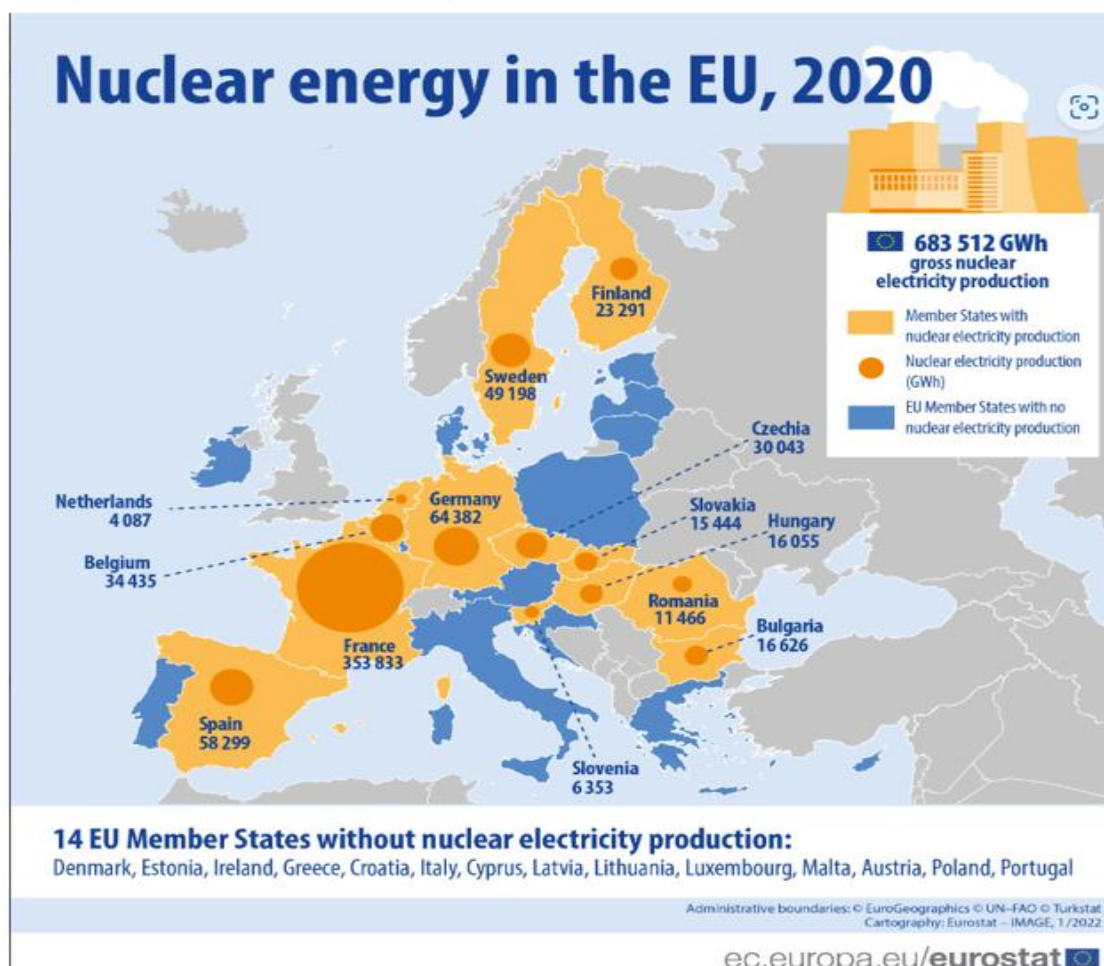
²³ Το Joint European Torus, το οποίο κατέληξε στην κατασκευή ενός σοβιετικής εφεύρεσης αντιδραστήρα Tokamak (**T**oroidal'naya **K**amera s **M**agnitnymi **K**atushkami), με σκοπό την παραγωγή ενέργειας μέσω πυρηνικής σύντηξης. Πρόκειται για το μεγαλύτερο λειτουργούντα πυρηνικό αντιδραστήρα TOKAMAK στον κόσμο και είναι εγκατεστημένος στο Κέντρο Πυρηνικής Culham στο Oxfordshire του Ηνωμένου Βασιλείου.

²⁴ 56 στη Γαλλία, από 7 στην Ισπανία και το Βέλγιο, από 6 στη Σουηδία και τη Δημοκρατία της Τσεχίας, από 4 στη Σλοβακία, τη Φινλανδία και την Ουγγαρία, 3 στη Γερμανία, από 2 στη Ρουμανία και τη Βουλγαρία και από 1 στη Σλοβενία και την Ολλανδία

²⁵ Βέλγιο Βουλγαρία Γαλλία Γερμανία Ισπανία Ολλανδία Ουγγαρία Ρουμανία Σλοβακία Σλοβενία Σουηδία, Δημοκρατία της Τσεχίας και Φινλανδία. Ήταν 14 πριν την αποχώρηση του Ηνωμένου Βασιλείου από την ΕΕ.

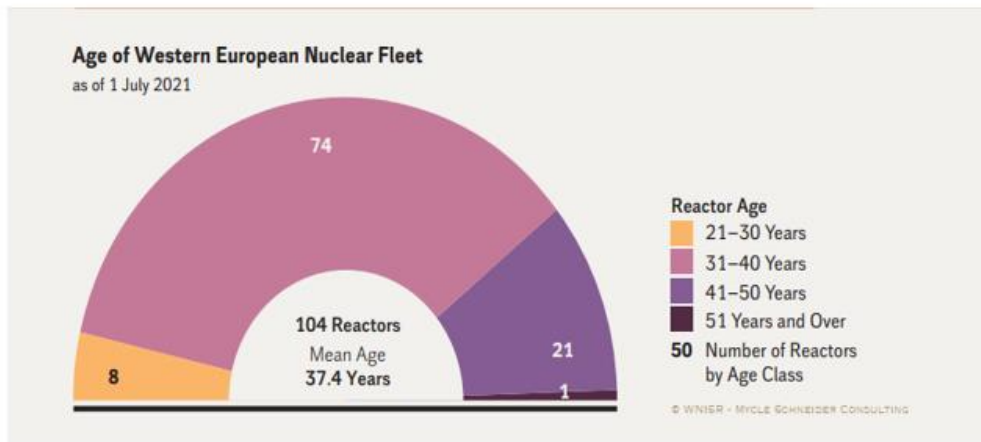
βιομηχανία της ΕΕ έχει εξελιχθεί σε παγκόσμια ηγέτιδα δύναμη από πλευράς τεχνολογίας και απασχολεί άμεσα 400.000 έως 500.000 άτομα, ενώ παράλληλα δημιουργεί περίπου 400.000 πρόσθετες θέσεις εργασίας (European Commission, 2017).

Σχήμα 3: Πυρηνική ενέργεια στην ΕΕ, 2020



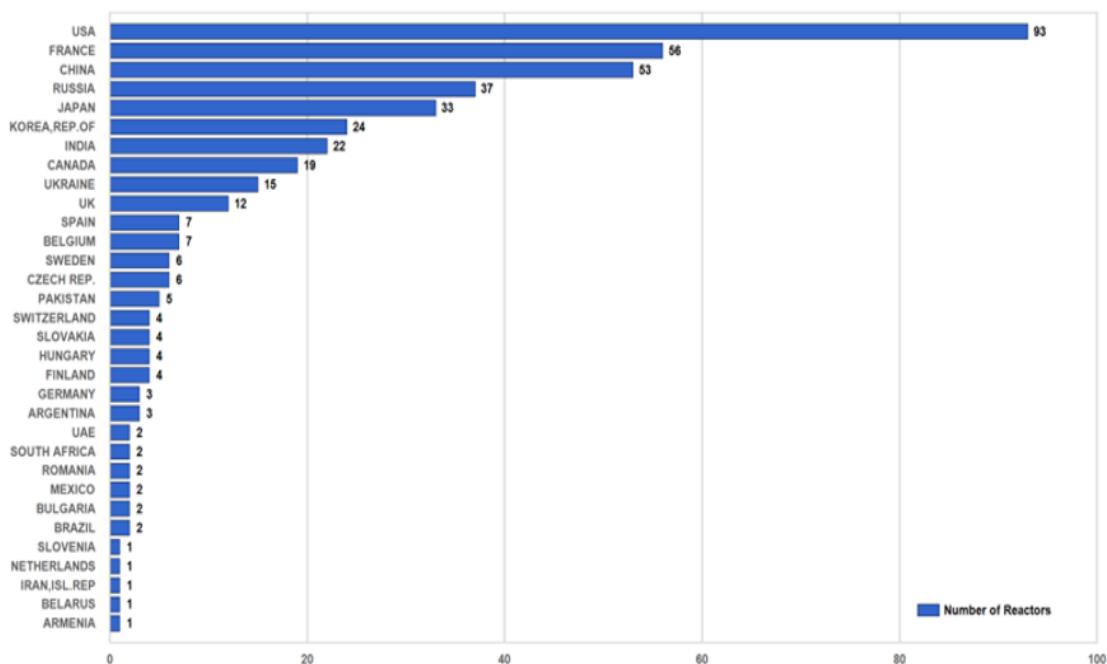
Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα [«ec.europa.eu»](http://ec.europa.eu).

Διάγραμμα 12: Ηλικία πυρηνικών αντιδραστήρων στη Δυτική Ευρώπη (στοιχεία από Ιούλιο 2021)



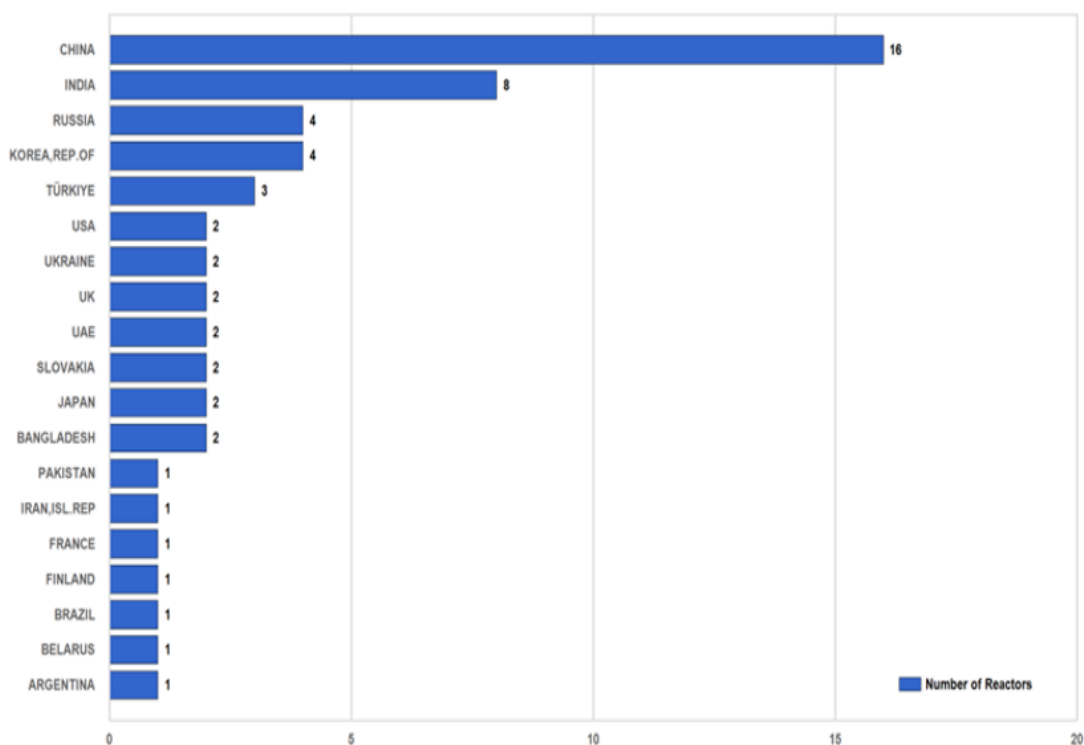
Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 71, σελίδα 356.

Διάγραμμα 13: Αριθμός αντιδραστήρων σε λειτουργία παγκοσμίως (από τις 31.12.2021)



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της International Atomic Energy Agency [«IAEA NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD 2022 edition»](#), διάγραμμα 7, σελίδα 90.

Διάγραμμα 14: Αριθμός αντιδραστήρων υπό κατασκευή παγκοσμίως (από το 31.12.2021)



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της International Atomic Energy Agency [«IAEA NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD 2022 edition»](#), διάγραμμα 8, σελίδα 91.

Από τους 103 λειτουργούντες πυρηνικούς σταθμούς στην Ευρώπη, οι 94 χρησιμοποιούν τον Αντιδραστήρα Πεπιεσμένου Ύδατος (PWR) της Westinghouse (Πίνακας 2, IAEA, 2022f).

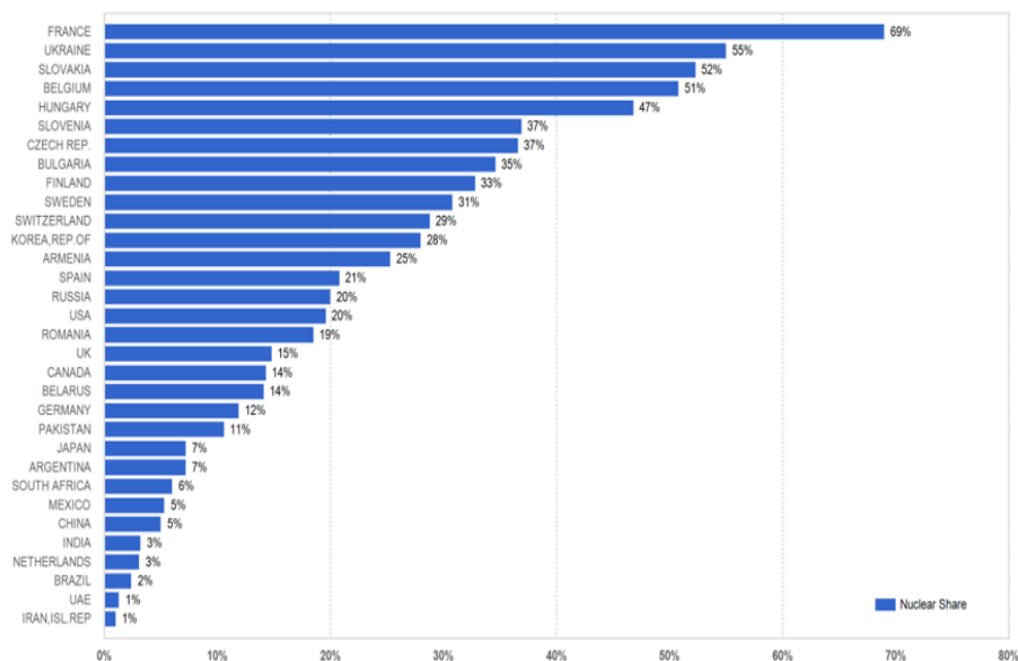
Πίνακας 2: Τύποι και καθαρή ηλεκτρική ισχύς των αντιδραστήρων σε λειτουργία, 31.12.2021

Country	PWR		BWR		GCR		HTGR		PHWR		LWGR		FBR		Totals	
	No.	MW(e)	No.	MW(e)	No.	MW(e)	No.	MW(e)	No.	MW(e)	No.	MW(e)	No.	MW(e)	No.	MW(e)
ARGENTINA									3	1641					3	1641
ARMENIA	1	448													1	448
BELARUS	1	1110													1	1110
BELGIUM	7	5942													7	5942
BRAZIL	2	1884													2	1884
BULGARIA	2	2006													2	2006
CANADA									19	13624					19	13624
CHINA	49	48460					1	200	2	1354			1	20	53	50034
CZECH REP.	6	3934													6	3934
FINLAND	2	1014	2	1780											4	2794
FRANCE	56	61370													56	61370
GERMANY	3	4055													3	4055
HUNGARY	4	1916													4	1916
INDIA	2	1864	2	300					18	4631					22	6795
IRAN,ISL.REP	1	915													1	915
JAPAN	16	14120	17	17559											33	31679
KOREA,REP.OF	21	21327							3	1764					24	23091
MEXICO			2	1552											2	1552
NETHERLANDS	1	482													1	482
PAKISTAN	5	2242													5	2242
ROMANIA									2	1300					2	1300
RUSSIA	24	18914									11	7433	2	1380	37	27727
SLOVAKIA	4	1868													4	1868
SLOVENIA	1	688													1	688
SOUTH AFRICA	2	1854													2	1854
SPAIN	6	6057	1	1064											7	7121
SWEDEN	2	2202	4	4680											6	6882

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της International Atomic Energy Agency [«IAEA NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD 2022 edition»](#), πίνακας 2, σελίδες 9 και 10.

Η Γαλλία διαθέτει τον πιο πυρηνοεξαρτώμενο ηλεκτρικό τομέα, αφού τα πυρηνικά εργοστάσια παρήγαγαν το 69% της συνολικά παραγόμενης-στη χώρα-ηλεκτρικής ενέργειας για το 2021 (Διάγραμμα 15, IAEA, 2022f).

Διάγραμμα 15: Συμμετοχή της πυρηνικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού των χωρών (από την 31^η.12.2021)

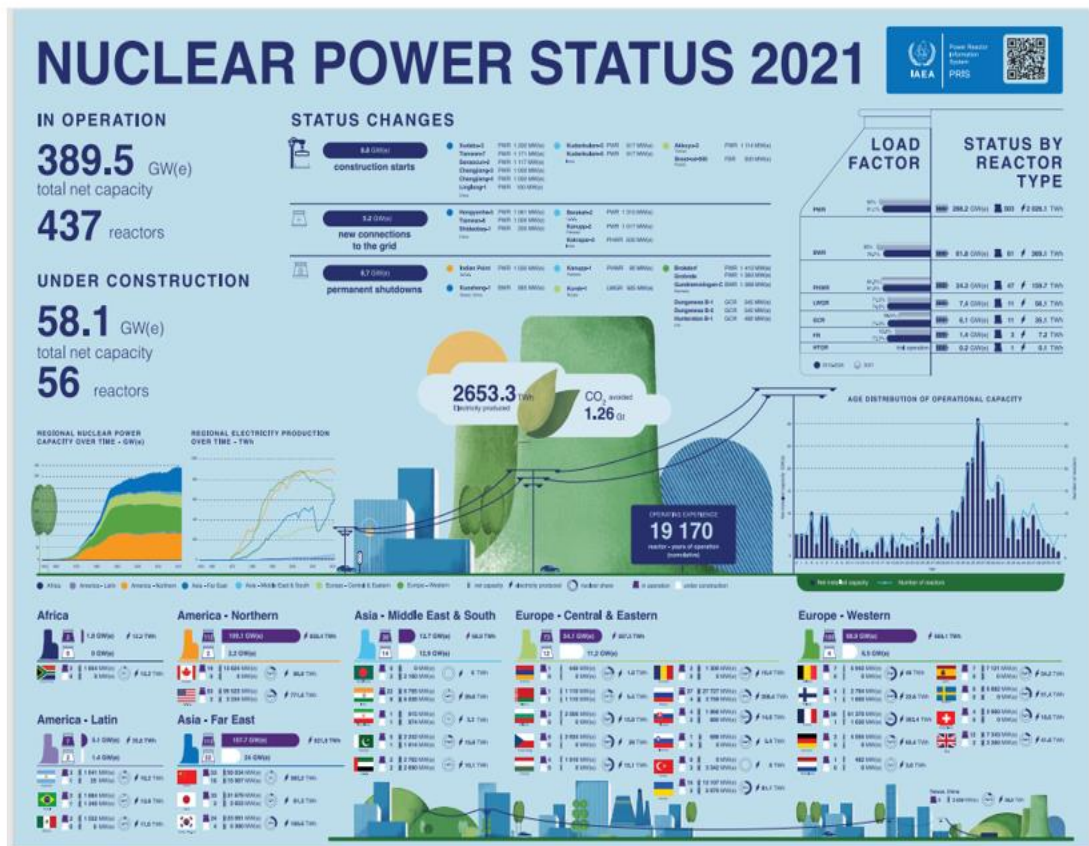


Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της International Atomic Energy Agency «[IAEA NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD 2022 edition](#)», διάγραμμα 3, σελίδα 86.

Άλλες δύο χώρες οφείλουν πάνω από το ήμισυ της ηλεκτρικής τους ενέργειας στα πυρηνικά και η δη η Σλοβακία (52%) και το Βέλγιο με 51%. Το ποσοστό αυτό διαμορφώνεται στο 47% στην Ουγγαρία, στο 37% στην Σλοβενία και τη Δημοκρατία της Τσεχίας, στο 35% στη Βουλγαρία, στο 33% στη Φινλανδία, στο 31% στη Σουηδία, στο 21% στην Ισπανία, στο 19% στη Ρουμανία, στο 12% στη Γερμανία και στο 3% στην Ολλανδία (Διάγραμμα 15, IAEA, 2022f).

Πυρηνικό προφίλ κ-μ. Ο πυρηνικός στόλος των κ-μ χαρακτηρίζεται από ποικιλομορφία και ετερογένεια (Σχήμα 4), γεγονός που συμπαράσφρει και τις πολιτικές αποφάσεις που κατά καιρούς λαμβάνονται, όπως γίνεται φανερό από την καταγραφή που ακολουθεί.

Σχήμα 4: Κατάσταση πυρηνικής ενέργειας παγκοσμίως, 2021



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα pris.iaea.org.

Γαλλία. Στη Γαλλία το μέλλον της πυρηνικής ενέργειας βασίζεται στους στόχους που έχει θέσει η Πράξη για την Ενεργειακή μετάβαση στην Πράσινη Ανάπτυξη και στο Πολυετές Ενεργειακό Πλάνο, το οποίο τελεί υπό αναθεώρηση. Σύμφωνα με το τελευταίο, σχεδιάζεται να κλείσουν 14 αντιδραστήρες προκειμένου να μειωθεί το μερίδιο των πυρηνικών στο ηλεκτρικό μείγμα από το 70% στο 50% έως το 2035 (NEA, 2021b)

Βέλγιο. Ο πυρηνικός αντιδραστήρας BR3 του Βελγίου ήταν ο πρώτος αντιδραστήρας Πεπιεσμένου Ύδατος που κατασκευάστηκε έξω από αμερικάνικο έδαφος. Το κλείσιμό του το 1987 οδήγησε στην έναρξη του πρώτου δυτικοευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος για τη μελέτη του τρόπου αποσυναρμολόγησης των αντιδραστήρων αυτού του τύπου. Σήμερα βρίσκονται σε λειτουργία 6 αντιδραστήρες στο Βέλγιο, μέσης ηλικίας 42 χρονών. Όλοι πλην δύο (των πιο νέων Tihange 3 and Doel 4, των οποίων η λειτουργία παρατάθηκε για 10 χρόνια έως το 2035) προγραμματιζόταν να κλείσουν έως τα τέλη Οκτωβρίου. Εν τέλει το Σεπτέμβριο

έκλεισε ο Doel 3 και οι προπαρασκευαστικές εργασίες αποσυναρμολόγησης θα διαρκέσουν περίπου πέντε χρόνια (“Belgium Shuts down Doel 3,” 2022 · IAEA, 2022a).

Γερμανία. Η Γερμανία έχει τρεις εναπομείναντες αντιδραστήρες πυρηνικής ενέργειας σε λειτουργία και βρίσκεται στη διαδικασία της σταδιακής κατάργησης του πυρηνικού προγράμματος. Συνολικά 26 πυρηνικοί αντιδραστήρες τελούν υπό παροπλισμό, τέσσερις έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας και τρεις έχουν αποσυναρμολογηθεί πλήρως. Οι υπόλοιποι τρεις που λειτουργούν θα κλείσουν οριστικά μέχρι το τέλος του 2022. Την απόφαση οριστικής παύσης των πυρηνικών εργοστασίων έλαβε η γερμανική ομοσπονδιακή κυβέρνηση μετά το ατύχημα στον πυρηνικό σταθμό της Ιαπωνίας Fukushima Daiichi στις 11 Μαρτίου 2011. Η Κυβέρνηση κατόπιν εντατικών διαπραγματεύσεων με τους ιδιοκτήτες των πυρηνικών εργοστασίων υπέγραψε συμβόλαιο με το οποίο αναγνωρίζει στους ιδιοκτήτες πυρηνικών εργοστασίων δικαίωμα σε αποζημίωση, λόγω της απόφασης που ελήφθη για την πρόωρη παύση των πυρηνικών εργοστασίων. Το συνολικό ποσό της αποζημίωσης προβλέπεται να ανέλθει στα 2.400.000.000 ευρώ (IAEA, 2022b · NEA, 2022a).

Ουγγαρία. Τα σχέδια για την κατασκευή δύο νέων αντιδραστήρων τύπου VVER-1200 στην περιοχή PAKS προχωρούν σύμφωνα με το πρόγραμμα. Οι προκαταρκτικές εργασίες ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2019, ενώ η κατασκευή προβλέπεται να ξεκινήσει το 2022 με 2023. Η λύση αυτή προτάθηκε για να καλυφθεί η μελλοντική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Τόσο η πρόσφατα εγκριθείσα Εθνική Στρατηγική Ενέργεια, όσο και το Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος, προβλέπουν τη διατήρηση της πυρηνικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα έως το 2040 (IAEA, 2022c).

Ισπανία. Το Μάρτιο του 2021 η κυβέρνηση ενέκρινε το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, το οποίο προβλέπει την κατάργηση της πυρηνικής ενέργειας έως το 2035. Το Μάιο του 2020 το Συμβούλιο Πυρηνικής Ασφάλειας της Ισπανίας παράτεινε την άδεια λειτουργίας των σταθμών Almaraz 1 και 2 έως το 2027 και το 2028 αντίστοιχα. Αίτημα για άδεια παράτασης λειτουργίας έως το 2030 υπέβαλε και ο σταθμός Vandellós 2, ενώ η κρατική υπηρεσία Ραδιενεργών Αποβλήτων και Παροπλισμού Empresa αιτήθηκε άδεια για την πρώτη φάση παροπλισμού του εργοστασίου María de Garona, που σταμάτησε τη λειτουργία του το 2013 και έκλεισε οριστικά στις 02.08.2017 (IAEA, 2018).

Ρουμανία. Η Ρουμανία με δύο ενεργούς πυρηνικούς αντιδραστήρες σχεδιάζει την επέκταση του πυρηνικού της προγράμματος. Συγκεκριμένα, τα σχέδια για την ολοκλήρωση των σταθμών Cernavoda 3 και 4 αναβίωσαν και η κρατική επιχείρηση Nuclearelectrica που λειτουργεί το πυρηνικό εργοστάσιο Cernavoda εκτιμά ότι η μονάδα 3 θα μπει σε εμπορική λειτουργία το 2030, ενώ την επόμενη χρονιά θα ακολουθήσει και η μονάδα 4. Η μονάδα Cernavoda 1 προβλέπεται ότι θα ανακαινιστεί μεταξύ των ετών 2026 και 2028, προκειμένου να παρατείνει τη λειτουργία της για 30 χρόνια ακόμα (IAEA, 2022e)

Ιταλία. Η παρούσα ενότητα θα κλείσει με το παράδειγμα της Ιταλίας, που αν και έχει εξοστρακίσει την πυρηνική ενέργεια εδώ και χρόνια, αποτελεί μία ενδιαφέρουσα περίπτωση. Η Ιταλία ήταν μία από τις ευρωπαϊκές χώρες που πρωταγωνίστησαν στη χρήση πυρηνικών για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Από την Ιταλία καταγόταν ο Ενρίκο Φέρμι, ο φυσικός που έκανε την πρώτη επίδειξη ελεγχόμενης αλυσιδωτής αντίδρασης στον κόσμο και κατέθεσε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τον πρώτο πυρηνικό αντιδραστήρα μαζί με τον ουγγρικής καταγωγής Αμερικανό φυσικό Λέο Σίλαρντ. Παρά το γεγονός ότι η πυρηνική ενέργεια γνώρισε μία περίοδο μεγάλης άνθησης στην Ιταλία κυρίως έως το 1965, το πυρηνικό ατύχημα στο Τσέρνομπιλ είχε τρομακτικό αντίκτυπο στην κοινή γνώμη, που άσκησε αξιοσημείωτη επιρροή στην πολιτική σκηνή του τόπου. Η γενικευμένη δυσαρέσκεια κατά της πυρηνικής ενέργειας οδήγησε σε τρία δημοψηφίσματα το Νοέμβριο του 1987, τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα την άμεση εγκατάλειψη των πυρηνικών (IAEA, 2022d· NEA, 2022a).

Θεσμική και νομολογιακή στάση απέναντι στο πυρηνικό δίλημμα

Ταξινομία. Η ΕΕ πιστή στην πράσινη ατζέντα της και στις δεσμεύσεις που ανέλαβε στο πλαίσιο της ιστορικής Συμφωνίας των Παρισίων του 2015 για την κλιματική αλλαγή και της Ατζέντας 2030 του ΟΗΕ²⁶, υιοθέτησε το 2019 το European Green Deal²⁷, που συνιστά ένα πακέτο νομοθετικών μέτρων, πολιτικών, στρατηγικών και σχεδίων δράσης, με στόχο το μετριασμό και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, όπως και την επίτευξη του στόχου του 1.5⁰C. Η έννοια της αποκατάστασης των οικολογικών συστημάτων που διακατέχει της Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, έχει

²⁶ Η Ατζέντα 2030 έχει στον πυρήνα της τους 17 στόχους για τη βιώσιμη ανάπτυξη (ΣΒΑ) και καλύπτει τις τρεις διαστάσεις βιωσιμότητας: την οικονομική, την κοινωνική και την περιβαλλοντική.

²⁷ Commission Communication, “The European Green Deal”, COM (2019)640.

κάνει κάποιους να μιλούν για οικολογική πρωτοκαθεδρία, ήτοι για τη δεσπόζουσα θέση που φαίνεται να απολαμβάνει πλέον η διάσταση του περιβάλλοντος σε σχέση με τις άλλες δύο διαστάσεις της βιωσιμότητας και δη την κοινωνική και την οικονομική (Chiti, 2022).

Στο πλαίσιο αυτής της μετάβασης από τη βιώσιμη ανάπτυξη σε πιο οικολογικές ατραπούς, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συγκρότησε την Τεχνική Ομάδα Εμπειρογνομόνων στη Βιώσιμη Χρηματοδότηση για να εισηγηθεί ένα ενοποιημένο σύστημα ταξινόμησης βιώσιμων οικονομικών δραστηριοτήτων, ήτοι μια κοινή γλώσσα για τις επιτρεπτές πράσινες επενδύσεις, που πήρε το όνομα «Ταξινομία». Σκοπός της «Ταξινομίας» είναι η κινητοποίηση περίπου 1 τρισεκατομμυρίου ευρώ σε δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις μέσα σε διάστημα 10 ετών, προκειμένου να υλοποιηθούν οι φιλοδοξίες της «Πράσινης Συμφωνίας». Η Τεχνική Ομάδα Εμπειρογνομόνων ασκώντας τα καθήκοντάς της, διέβλεψε τον πιθανό ρόλο που θα μπορούσε να διαδραματίσει η πυρηνική ενέργεια στην επίτευξη των στόχων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και στη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος και πρότεινε τη συμπερίληψή της. Συνέστησε παρά ταύτα να εξεταστεί σε βάθος κατά πόσο παραβιάζει ή όχι την Αρχή της Μη Πρόκλησης Σημαντικής Βλάβης²⁸. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ζήτησε από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (JRC) να συντάξει μία τεχνική αναφορά αξιολόγησης σχετικά με το κατά πόσο είναι συμβατή η πυρηνική ενέργεια με τα προαπαιτούμενα της αρχής της Μη Πρόκλησης Σημαντικής Βλάβης. Τον Απρίλιο του 2021, το JRC κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η πυρηνική ενέργεια δεν παραβιάζει την εν λόγω αρχή περισσότερο από τις άλλες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής. Η Επιτροπή αφού επιβεβαίωσε την ορθότητα του συμπεράσματος με τη συνδρομή δύο ακόμα ομάδων εμπειρογνομόνων, προέβη σε μια σειρά τροποποιήσεων στον Κανονισμό της ΕΕ για την ταξινόμηση²⁹, οι οποίες προανήγγειλαν τη συμπερίληψη της πυρηνικής ενέργειας στις συμβατές δραστηριότητες. Εν τέλει, στις 2 Φεβρουαρίου 2022, η Επιτροπή ενέκρινε έναν συμπληρωματικό κατ' εξουσιοδότηση Κανονισμό³⁰ δια του οποίου συμπεριέλαβε την παραγωγή ορυκτού αερίου και πυρηνικής ενέργειας στον κατάλογο των οικονομικών ενασχολήσεων που καλύπτονται από την «Ταξινομία», με το σκεπτικό ότι μπορούν να συμβάλουν στην απαλλαγή της οικονομίας της Ένωσης από τις ανθρακούχες εκπομπές. Εντούτοις, η Επιτροπή εφιστά την προσοχή ότι η

²⁸ Do No Significant Harm Principle (DNSH)

²⁹ Κανονισμός (ΕΕ) 2020/852

³⁰ Κατ' εξουσιοδότηση Κανονισμός (ΕΕ) 2022/1214 της Επιτροπής της 9ης Μαρτίου 2022

χρηματοδότηση των δραστηριοτήτων αυτών θα εξαρτάται από αυστηρές και απарέγκλιτες προϋποθέσεις, οι οποίες αφορούν τόσο τα καινούργια όσο και τα υπάρχοντα έργα. Μία εξ αυτών, φερ' ειπείν, είναι ότι τα κ-μ που επιθυμούν να χρηματοδοτήσουν τέτοια έργα θα πρέπει να διαθέτουν τα απαραίτητα κονδύλια για τη διαχείριση των αποβλήτων και για τον παροπλισμό των εγκαταστάσεων και να υποβάλουν αναφορές στην Επιτροπή η οποία διατηρεί το δικαίωμα να εξετάζει την επάρκεια των σχετικών πόρων (NEA, 2022a).

Με τον τρόπο αυτό η πυρηνική ενέργεια έλαβε παράταση ζωής, συναντώντας παράλληλα το πράσινο πεπρωμένο της (Σχήμα 5).

Σχήμα 5: Η μαγεία του μάρκετινγκ του ©Andy Singer



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα [«youngfoee.eu»](http://youngfoee.eu).

Κρατικές ενισχύσεις. Το πράσινο φως φαίνεται να έχει δώσει στα πυρηνικά έργα και το Δικαστήριο της Ευρωπαϊκή Ένωσης, αποδεικνύοντας κατ' αυτόν τον τρόπο ότι η πυρηνική ενέργεια αποτελεί μια μάλλον έγκυρη πολιτική επιλογή.

Συγκεκριμένα το ΔΕΕ με την απόφασή του στην υπόθεση Hinkley Point C άλλαξε τον τρόπο αξιολόγησης της συμβατότητας ή μη των κρατικών ενισχύσεων που λαμβάνουν τα έργα της πυρηνικής ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή καλείται, εφ'

εξής, να περιορίζει την ανάλυσή της στην κατά γράμμα ερμηνεία του άρθρου 107 παρ. 3 περ. γ' ΣΛΕΕ και να μην εξαρτά την κρίση της περί νομιμότητας του προτεινόμενου μέτρου από τον σκοπό που επιδιώκει. Κοντολογίς δεν απαιτείται να επιδιώκεται σκοπός κοινού συμφέροντος από τα μέτρα προώθησης της πυρηνικής ενέργειας, προκειμένου να θεωρηθούν ότι είναι συμβατά με την εσωτερική αγορά.

Με αυτό τον τρόπο το ΔΕΕ θέλησε να προστατεύσει τους ενωσιακούς κανόνες περί κρατικών ενισχύσεων από τον κίνδυνο μετατροπής τους σε αρένα αντεγκλήσεων των κ-μ ως προς την επιλογή της βέλτιστης ενεργειακής λύσης. Εν τέλει το ΔΕΕ επιβεβαίωσε ότι επιτρέπονται οι κρατικές ενισχύσεις για την πυρηνική ενέργεια, χωρίς να περιορίζονται υπέρμετρα από τους κανόνες της ΕΕ για το Δίκαιο Ανταγωνισμού. Το Δικαστήριο υπογράμμισε, ακόμη, ότι η ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού αποτελεί ύψιστη πολιτική προτεραιότητας και ότι τα κράτη μέλη δικαιούνται να επιλέγουν τη σύσταση του ενεργειακού τους μείγματος.

Δεν απεφάνθη ωστόσο σχετικά με τον ισχυρισμό της αναιρεσείουσας ότι η πυρηνική ενέργεια δεν αποτελεί «καθαρή ενέργεια», αφήνοντας ανοιχτό το ερώτημα εάν τα κράτη μέλη μπορούν να προσφύγουν σε αυτή, στο πλαίσιο των ενωσιακών πολιτικών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. (Μπούζιου Μαρία, 2020). Το ερώτημα αυτό απαντήθηκε εν τέλει καταφατικά, όπως προείρηται, μέσω της συμπερίληψης των πυρηνικών έργων και δραστηριοτήτων στην «Ταξινομία».

Συμπεράσματα κεφαλαίου

Το κεφάλαιο τούτο έκανε μία ιστορική αναδρομή στις απαρχές της πυρηνικής έρευνας που σφραγίστηκε από το νεόκοπο κλάδο της κβαντικής φυσικής και την προσπάθεια εξήγησης της φύσης του φωτός. Στη συνέχεια, παρακολούθησε τη μετάβαση της πυρηνικής ενέργειας από την καταστροφική στην ζωογόνα της χρήση και κατέγραψε την πλαισίωσή της στο ευρωπαϊκό έδαφος μέσα από την ίδρυση ενός περιφερειακού υπερεθνικού οργανισμού και τη θέσπιση σημαντικών δευτερογενών νομοθετικών πράξεων. Περαιτέρω, έκανε μία επισκόπηση του πυρηνικού δυναμικού στην ΕΕ, το οποίο δείχνει να μειώνεται. Το εν λόγω συμπέρασμα εξάγεται από την παρουσίαση του πυρηνικού προφίλ των κ-μ, όπου διαφαίνεται μία τάση υποχώρησης των πυρηνικών από τις πρώτες θέσεις των σημαντικών πηγών ηλεκτρικής ενέργειας.

Την τάση αυτή που έχει γίνει αντιληπτή και από τη Eurostat³¹, κάνουν μια απόπειρα να ανατρέψουν τόσο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή που συμπεριέλαβε τα πυρηνικά έργα στην «Ταξινόμια» της καθιστώντας τα επιλέξιμα, όσο και το ΔΕΕ το οποίο μεταχειρίζεται με επιείκεια τις κρατικές ενισχύσεις στον πυρηνικό κλάδο, αποσυνδέοντας την κρίση περί νομιμότητάς τους από την απαίτηση επιδίωξης κοινού συμφέροντος.

³¹ Σύμφωνα με τη Eurostat η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς στην ΕΕ μειώθηκε κατά 25,2% το διάστημα 2006-2020

Κεφάλαιο τρίτο: Οι τρεις διαστάσεις της βιωσιμότητας στην ενεργειακή ασφάλεια

Εισαγωγή

Η Ευρώπη του φτωχού υπεδάφους και της μεγάλης ενεργειακής εξάρτησης βρίσκεται για άλλη φορά στη δυσάρεστη θέση να πληρώσει αδρά, τόσο τους Ρώσους των πολιτικών βλέψεων προς Δυσμιάς, όσο και τους Αμερικάνους του δόγματος «America First», προκειμένου να εξασφαλίσει τον ενεργειακό εφοδιασμό της. Οι γεωπολιτικές συγκρούσεις Ρώσων και Ουκρανών προκάλεσαν μια πρωτοφανή αύξηση στις τιμές του φυσικού αερίου, γεγονός όμως το οποίο αποτελεί τη συνέχεια-και όχι την αφετηρία- μιας ενεργειακής κρίσης που είχε ξεκινήσει κάμποσους μήνες πιο πριν. Η επέκταση της παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου στις ΗΠΑ με τη μέθοδο του fracking δημιούργησε σημαντικές οικονομικές στρεβλώσεις σχεδόν σε όλες τις χώρες πετρελαιοπαραγωγούς με αποτέλεσμα να ξεσπάσει ένας ανελέητος ανταγωνισμός συμφερόντων, που επηρέασε τις ούτως ή άλλως ασταθείς τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου (Kemfert, 2019). Η φήμη που θέλει τα ορυκτά καύσιμα υποκινητές πολέμων, φαίνεται να επιβεβαιώνεται εν προκειμένω.

Μέσα σε αυτό το πιεστικό πλαίσιο, όπου η ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού είναι πάλι το ζητούμενο, η Ευρώπη θα πρέπει να αναζητήσει ένα ενεργειακό σύστημα που να χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό ασφάλειας εφοδιασμού, αλλά να σέβεται, ταυτόχρονα, τους περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς περιορισμούς. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να αναζητήσει ένα ενεργειακό όχημα που να εξασφαλίζει τον εφοδιασμό, λαμβάνοντας υπόψη το τρίπτυχο της βιωσιμότητας.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστεί ο πιθανός ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει η πυρηνική ενέργεια στις επίτευξη αυτού του στόχου, μέσα από τη χρήση μιας σειράς εκθέσεων έγκριτων διεθνών οργανισμών.

Εξέταση περιβαλλοντικής συνιστώσας

Ανθρακικό αποτύπωμα. Η ΕΕ θέλοντας να πρωτοπορήσει στην επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας των Παρισίων του 1,5⁰C και των μηδενικών εκπομπών έως το 2050, σπεύδει να εξοβελίσει ό,τιδήποτε ανθρακοφόρο από το ενεργειακό της μείγμα, άλλες φορές ορθώνοντας εμπόδια (σύστημα ETS³²) και άλλες παρέχοντας κίνητρα³³.

³² Emission Trading System-Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών

³³ Πυλώνας «πράσινη μετάβαση» του χρηματοδοτικού εργαλείου «Next Generation EU», προγράμματα επιδότησης της βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης, όπως το εθνικό «ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΩ-ΑΥΤΟΝΟΜΩ».

Στο καθημερινό μας λεξιλόγιο, μπήκαν έννοιες όπως «διοξείδιο του άνθρακα» «αέρια του θερμοκηπίου» και άλλα τέτοια δυσσιώνα και μαθαίνουμε σιγά σιγά να διακείμεθα αρνητικά σε οποιαδήποτε δραστηριότητα αυξάνει το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα ή αδιαφορεί για αυτό.

Αναρωτιόμαστε συχνά ποια τα αποτελέσματα όλων αυτών των πολιτικών που έχουν επιδοθεί σε έναν αγώνα δρόμου για να προλάβουν αυτά που χρόνια παραβλέπαμε.

Στην έκθεση προόδου της ΕΕ για τις κλιματικές δράσεις³⁴ διαβάζουμε ότι: Σε σύγκριση με το 2020, οι εκπομπές από τους τομείς που καλύπτονται από το ETS αυξήθηκαν το 2021 κατά 6,6%. Το ETS καταλαμβάνει την ηλεκτροπαραγωγή, το μεγαλύτερο μέρος της βιομηχανικής παραγωγής και τις εκπομπές από τις αερομεταφορές εντός της ΕΕ. Η αύξηση των εκπομπών αντανακλά τόσο την οικονομική ανόρθωση από την πανδημία, όσο και την εξελισσόμενη ενεργειακή κρίση. Οι εντός ETS αεροπορικές μεταφορές που εμφάνισαν εντυπωσιακή πτωτική πορεία της τάξεως του 60% το 2020, ανέκαμψαν κατά 30%, το 2021, αλλά παρέμειναν κατά 50% χαμηλότερες από ό,τι το 2019.

Συνολικά όμως το ισοζύγιο φαίνεται να είναι θετικό καθώς παρά την μετά-*conid* ανάκαμψη οι εκπομπές στην ΕΕ παραμένουν 4% κάτω από τα προπανδημικά επίπεδα. Η ΕΕ φαίνεται ότι βρίσκεται σε καλό δρόμο για την επίτευξη του στόχου της καθαρής μείωσης, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 55% έως το 2030 σε σύγκριση με το 1990. Οι καθαρές εγχώριες εκπομπές, συμπεριλαμβανομένου του τομέα της χρήσης γης, της αλλαγής χρήσης γης και της δασοκομίας (LULUCF), ήταν 30% χαμηλότερες από τα επίπεδα του 1990. Εν τούτοις δεν υπάρχει χρόνος για εφησυχασμούς και το πακέτο νομοθετικών πρωτοβουλιών «Fit for 55» προχωράει και βρίσκεται σε διάφορα στάδια νομοθετικής ωριμότητας³⁵.

Η μέση κατά κεφαλήν παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη ήταν 6,1 τόνοι για το 2019 (Διάγραμμα 16). Πρωταθλητής στο δείκτη αυτό αναδείχτηκε το Παλάου του Ειρηνικού Ωκεανού με 55.29 τόνους το 2020, ενώ, αντίθετα, στις Νήσους Φερόες η παραγωγή έφτασε στο αμελητέο ποσό των 0,04 τόνων³⁶.

³⁴ [EU Climate Action Progress Report COM\(2022\) 514 final](#)

³⁵ Δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης της προόδου των νομοθετημάτων στο ψηφιακό εργαλείο του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου «[Legislative Train Schedule](#)»

³⁶ Στατιστικά στοιχεία από την ιστοσελίδα [worldpopulationreview.com](#)

Διάγραμμα 16: Κατά κεφαλήν παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ27 το 2019 (σε τόνους)



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα [«data.worldbank.org»](http://data.worldbank.org).

Ο λόγος που το διοξείδιο του άνθρακα έχει στοχοποιηθεί παγκοσμίως, είναι διότι αποτελεί το πιο κοινό από τα αέρια του θερμοκηπίου, αυτό δηλαδή που απαντάται πιο συχνά στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Στην Ευρώπη μάλιστα ευθύνεται κατά ποσοστό 80% για το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Σχήμα 6, (ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, 2021).

Σχήμα 6: Εκπομπές ρύπων στην ΕΕ το 2019 ανά αέριο θερμοκηπίου



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα europarl.europa.eu.

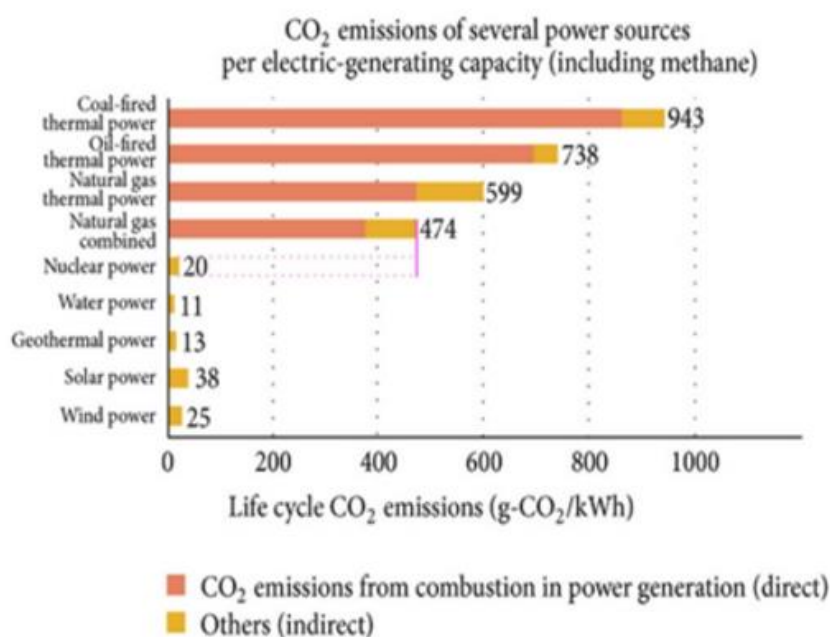
Στις εντυπωσιακές αυτές επιδόσεις της ΕΕ, η συνδρομή της πυρηνικής ενέργειας ήταν σίγουρα υπολογίσιμη, καθώς αποτελεί τη μεγαλύτερη παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στις προηγμένες οικονομίες συνολικά (IEA, 2019).

Συγκεκριμένα, τα τελευταία 50 χρόνια, η χρήση της πυρηνικής ενέργειας έχει μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 66 γιγατόνους, ποσότητα που αντιστοιχεί σε παγκόσμιες εκπομπές (ενεργειακής προέλευσης) δύο ετών περίπου (IEA, 2019 · Nea, 2022).

Εκπέμπει 40 φορές λιγότερο CO² από τον άνθρακα, 30 φορές λιγότερο από το φυσικό αέριο, λιγότερο ακόμα και από την ηλιακή ενέργεια και σχεδόν την ίδια ποσότητα με την αιολική (Διάγραμμα 16i Abdallah & El-Shennawy, 2013). Υποστηρίζεται μάλιστα ότι η μείωση του μεριδίου της στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα τα τελευταία χρόνια είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους η ταχεία επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν κατάφερε να σταματήσει την αύξηση του CO² (IEA, 2019).

Επί του παρόντος, ο μόνος υπολογίσιμος αντίπαλός της είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια (Διάγραμμα 16i Abdallah & El-Shennawy, 2013), της οποία το μειονέκτημα όμως είναι ότι εξαρτάται από γεωγραφικούς παράγοντες και δη από την κατανομή των υδάτινων οδύσεων (Brook & Bradshaw, 2015).

Διάγραμμα 16i: Άμεσες και έμμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου)



Σημείωση: Αναδημοσίευση από το άρθρο [«Reducing Carbon Dioxide Emissions from Electricity Sector Using Smart Electric Grid Applications»](#) των Abdallah Lamiaa & El-Shennawy Tarek, που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό «Journal of Engineering», στον τόμο 2013, σήμα 4, σελίδα 5.

Ο ρόλος της πυρηνικής ενέργειας στην απανθρακοποίηση είναι πλέον παγιωμένος και αναδεικνύεται εντόνως τόσο στις αναλύσεις των ειδικών, όσο και στις διεθνείς εκθέσεις.

Η IPCC στα σενάρια που εξέτασε, απεφάνθη ότι η πυρηνική ενέργεια αναμένεται να συμβάλλει σημαντικά στην απαλλαγή από τον άνθρακα.

Το 2018 εξέτασε 90 οδικούς χάρτες συμβατούς με το σενάριο του 1,5°C - δηλαδή εναλλακτικές που προτείνουν τρόπους μείωσης των εκπομπών, ικανούς να περιορίσουν τη μέση υπερθέρμανση του πλανήτη σε λιγότερο από 1,5°C. Σε αυτές τις ασκήσεις η IPCC διαπίστωσε ότι, για να γίνει εφικτό το σενάριο του 1,5°C η πυρηνική παραγωγή θα πρέπει να φτάσει δυναμικότητες της τάξεως των 1.160 γιγαβάτ ηλεκτρικής ισχύος, από τα 394 γιγαβάτ που σημειώθηκαν το 2020.

Η επίτευξη αυτού του στόχου θα γλίτωνε το περιβάλλον από 87 γιγατόνους σωρευτικών εκπομπών μεταξύ των ετών 2020-2050, με την πυρηνική ενέργεια να συμβάλλει στο στόχο ελέγχου των επιπέδων του ανθρακικού αποτυπώματος κατά 20%. Θα ισοδυναμούσε επίσης με την αποφυγή σχεδόν τριών ετών παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα³⁷ (Nea, 2022).

Πλην όμως ο στόχος αυτός δεν φαίνεται ρεαλιστικός. Κάθε χρόνο, οι εκθέσεις του IEA για την παρακολούθηση της προόδου της καθαρής ενέργειας τονίζουν ότι οι προσπάθειες για την ανάπτυξη και την απαλλαγή του ενεργειακού τομέα από τις ανθρακούχες εκπομπές δεν βρίσκονται σε καλό δρόμο. Σύμφωνα με τα τρέχοντα δεδομένα και τις πολιτικές τάσεις, η πυρηνική ισχύς το 2050 θα ανέλθει σε 479 γιγαβάτ - πολύ πιο κάτω από το στόχο των 1.160 γιγαβάτ, ο οποίος θα απαιτούσε σημειωτέον μια εκθετική ανάπτυξη της πυρηνικής βιομηχανίας της τάξεως του 200% περίπου (Πίνακας 3, σενάριο ΠΑΣΑ, Nea, 2022).

³⁷ Έτος βάσης: 2020

Πίνακας 3: Ο ρόλος της πυρηνικής ενέργειας στα σενάρια μείωσης των εκπομπών

Organisation	Scenario	Publication year	Climate target	Role of nuclear technologies		Description	Role of nuclear energy by 2050	
				Large Generation III	Nuclear Innovation		Capacity (GW)	Nuclear growth (2020-50)
IAEA (2021b)	High Scenario	2021	2°C	Included	Not included	Conservative projections based on current plans and industry announcements.	792	98%
IEA (2021c)	Net Zero Scenario (NZE)	2021	1.5°C	Included	Not included in the quantitative model, although the potential of HTGR and nuclear heat are acknowledged in the report narrative	Conservative nuclear capacity estimates. NZE projects 100 gigawatts more nuclear energy than the IEA sustainable development scenario.	812	103%
Shell (2021)	Sky 1.5 Scenario	2021	1.5°C	Included	Not specified	Ambitious estimates based on massive investments to boost economic recovery and build resilient energy systems.	1 043	160%
IIASA (2021)	Divergent Net Zero Scenario	2021	1.5°C	Included	Not specified	Ambitious projections required to compensate for delayed actions and divergent climate policies.	1 232	208%
Bloomberg NEF (2021)	New Energy Outlook Red Scenario	2021	1.5°C	Included	Explicit focus on SMRs and nuclear hydrogen	Highly ambitious nuclear pathway with large-scale deployment of nuclear innovation.	7 080	1670%

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της Nuclear Energy Agency [«MEETING CLIMATE CHANGE TARGETS: THE ROLE OF NUCLEAR ENERGY»](#), 2022, ©OECD 2022, πίνακας 2, σελίδα 18.

Η μειωτική τάση των πυρηνικών επιβεβαιώνεται και από τα στατιστικά της Eurostat που καταγράφηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας. Υπενθυμίζεται ότι το 2020 η πυρηνική παραγωγή πυρηνικής ενέργειας σημείωσε τη μεγαλύτερη πτώση που παρατηρήθηκε σε ευρωπαϊκό έδαφος από το 1988, με απώλειες 78 TWh, (BP, 2021). Η γαλλική παραγωγή, που ευθύνεται ιδιαίτερα για τις απώλειες αυτές, σημείωσε νέο ιστορικό χαμηλό το 2022, αφού περιορίστηκε στο ήμισυ, περίπου, της δυναμικότητας του πυρηνικού στόλου (Silverstone, 2022).

Τέλος, σύμφωνα με τον IEA (International Energy Agency) στις προηγμένες οικονομίες τα δύο τρίτα του πυρηνικού δυναμικού κινδυνεύουν να κλείσουν πρόωρα εντός των επομένων δύο δεκαετιών (IEA, 2019).

Συνεπώς το ενδεχόμενο αύξησης της πυρηνικής παραγωγής και επέκτασης των μονάδων, που απαιτείται για την υλοποίηση των σεναρίων του IPCC δεν διαφαίνεται στον ορίζοντα.

Κλείνοντας την ενότητα κρίνω σημαντικό να πω δυο λόγια για την ανθεκτικότητα ή μη των πυρηνικών εργοστασίων στην κλιματική αλλαγή. Η πυρηνική ενέργεια, όπως προεκτέθη, αποτελεί μία πρώτης τάξεως λύση στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος, άρα και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Πόσο όμως επηρεάζεται η ίδια από την κλιματική αλλαγή; Η περίπτωση της Γαλλίας και της χαμηλής παραγωγικής της απόδοσης είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της ευαισθησίας των πυρηνικών στα ακραία κλιματικά φαινόμενα.

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι η μέση συχνότητα των κλιματικά προκαλούμενων διαταραχών στις πυρηνικές εγκαταστάσεις έχει αυξηθεί δραματικά μεταξύ των δεκαετιών 1990 και 2010. Επίσης οι περιπτώσεις πλημμυρών σε ορυχεία ουρανίου, οι οποίες φαίνεται να αυξάνονται με την αλλαγή του κλίματος, απειλούν σοβαρά τον ενεργειακό εφοδιασμό αλλά και τα αποθέματα νερού.

Ο πιο συχνά αναφερόμενος κλιματικός κίνδυνος για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες είναι η αύξηση της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας, η οποία μπορεί να προκαλέσει δυσχέρειες στην ψύξη του αντιδραστήρα και να μειώσει τη θερμική του απόδοση.

Τον Αύγουστο του 2003 ο καύσωνας που χτύπησε τη Γαλλία, και η επιρροή που είχε στον πυρηνικό της στόλο, εξοικείωσαν το ευρύ κοινό με τις κλιματικές επιπτώσεις στα πυρηνικά, για τις οποίες υπήρχαν αναφορές ήδη από το 1976. Αυτό που συνέβη είναι ότι οι υψηλές θερμοκρασίες προκάλεσαν τη μη διαθεσιμότητα 10- 15 GW από τα 63 GW πυρηνικής ενέργειας που ήταν τότε εγκατεστημένα στη Γαλλία. Η σημαντική πτώση της διαθεσιμότητας έφερε σε μεγάλη δοκιμασία το σύστημα και είχε συνέπειες που μια έκθεση της γαλλικής Γερουσίας αποκάλεσε «παραλίγο καταστροφικές».

Το παράδειγμα του 2003, όμως, δεν ήταν ένα μεμονωμένο περιστατικό, γεγονός που ανάγκασε το διαχειριστής του γαλλικού συστήματος μεταφοράς, RTE³⁸, να αναθέσει το 2020 μια μελέτη για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των καιρικών συνθηκών στην παραγωγή πυρηνικής ενέργειας μεταξύ 2015 και 2020. Η μελέτη αυτή

³⁸ Réseau de Transport d'Électricité

βασίστηκε σε δεδομένα που δημοσιοποίησε η EDF³⁹ σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κανονισμό του 2011 για την ακεραιότητα και τη διαφάνεια της χονδρικής αγοράς ενέργειας (REMIT).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, το κρίσιμο χρονικό διάστημα της πενταετίας 2015-2020 οι καιρικές συνθήκες ήταν υπεύθυνες για 3.994 ώρες καθολικής διακοπής λειτουργίας (μηδενική ισχύς) -μια απώλεια που αντιστοιχεί σε 166 ημέρες παραγωγής αντιδραστήρα- και 4.045 ώρες μερικής διακοπής λειτουργίας (Διάγραμμα 17).

Διάγραμμα 17: Κλιματογενείς δυσλειτουργίες των γαλλικών πυρηνικών εργοστασίων, περίοδος 2015-2020



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 61, σελίδα 319.

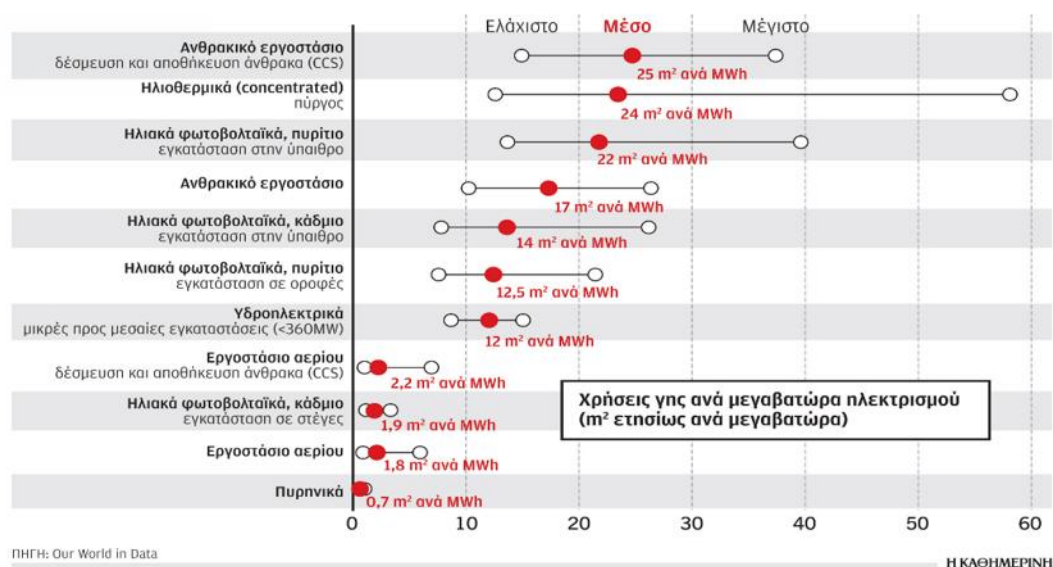
Το 2018 ήταν το χειρότερο έτος με 23 πλήρεις διακοπές και 103 μερικές. Τα στοιχεία εξηγούν όμως και τις ιδιαίτερα υψηλές απώλειες πυρηνικής παραγωγής του 2020, όπου η ξηρασία και ο καύσωνας προκάλεσαν απώλειες της τάξεως των 3 TWh (Schneider et al., 2021).

Εδαφικό αποτύπωμα. Κάθε εγκατάσταση παραγωγή ενέργειας απαιτεί τη δέσμευση εδαφικής επιφάνειας. Εξετάζοντας το εδαφικό αποτύπωμα των μονάδων

³⁹ Électricité de France. Η κρατική εταιρεία ηλεκτρισμού της Γαλλίας

πυρηνικής ενέργειας καταλήγουμε στη διαπίστωση ότι οι επιδόσεις της είναι πολύ καλές (Διάγραμμα 18).

Διάγραμμα 18: Εδαφικό αποτύπωμα διαφόρων τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την εφημερίδα «Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ».

Πράγματι, μια πυρηνική εγκατάσταση ικανή να παράγει κατά μέσο όρο 2 GW σε πλήρη δυναμικότητα, καταλαμβάνει συνήθως 1.000 με 2.000 στρέμματα γης, συμπεριλαμβανομένων όλων των υποστηρικτικών παρακολουθημάτων. Ένα αιολικό πάρκο, προκειμένου να επιτύχει το ίδιο επίπεδο ετήσιας παραγωγής θα έπρεπε να δεσμεύσει σαράντα φορές μεγαλύτερη έκταση. Για να γίνουν ακόμα πιο αντιληπτά τα μεγέθη, η ετήσια παραγωγή ενός 1 GW πυρηνικού αντιδραστήρα είναι ίση με εκείνη 2.000 ανεμογεννητριών περίπου.

Έχει υπολογιστεί ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ σε κάθε μονοκατοικία των ΗΠΑ και δη σε 56 εκατομμύρια μονοκατοικίες, από 5 kW πάνελ σε κάθε σπίτι και με μέσο συντελεστή φορτίου 17%, θα οδηγούσε σε συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της τάξεως των 420 TWh ετησίως. Η πυρηνική παραγωγή το 2018 απέφερε περίπου 807 TWh, συνεπώς το ηλιακό εγχείρημα θα είχε ως αποτέλεσμα μόνο το ήμισυ της σημερινής πυρηνικής παραγωγής και θα κάλυπτε μόνο το 11% των συνολικών αναγκών παραγωγής χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για το 2040.

Επίσης ο ενεργειακός σχεδιασμός στην επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας οφείλει να λαμβάνει υπόψη του τόσο τα γεωγραφικά εμπόδια όσο και το ανταγωνιστικό

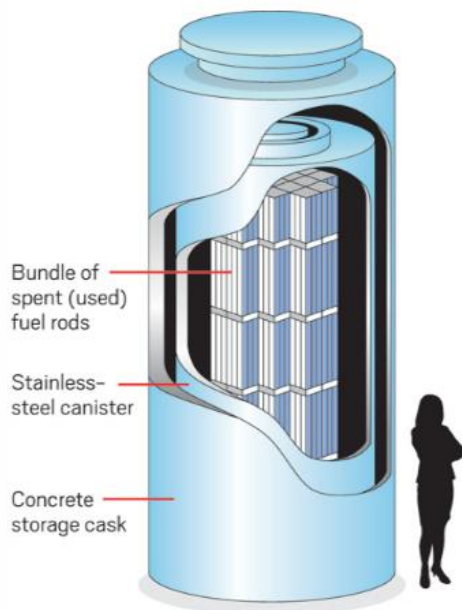
εδαφικό ενδιαφέρον που εκδηλώνουν άλλοι οικονομικοί κλάδοι όπως ο τουριστικός. Υπήρξαν περιπτώσεις που εταιρείες ανάπτυξης ενεργειακών έργων αναγκάστηκαν εξ αυτών των λόγων να επιλέξουν λύσεις έντασης κεφαλαίου, όπως η όδευση καλωδίων σε σήραγγες κάτω από τις Άλπεις από την Ιταλία προς τη Γαλλία και την Αυστρία, και η πόντιση καλωδίων κάτω από τον Βισκαϊκό Κόλπο από την Ισπανία προς τη Γαλλία (IEA, 2019).

Απόβλητα. Τα ραδιενεργά απόβλητα των πυρηνικών εργοστασίων ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: Απόβλητα χαμηλής ραδιενέργειας (low-level waste-LLW), απόβλητα μέσης ραδιενέργειας (intermediate-level waste-ILW) και απόβλητα υψηλής ραδιενέργειας (high-level waste-HLW). Κριτήριο της κατηγοριοποίησης αυτής είναι η περιεκτικότητά τους σε ραδιενεργό υλικό και το χρονικό διάστημα που παραμένουν επικίνδυνα. Η διάθεση των αποβλήτων χαμηλής ραδιενέργειας και των περισσότερων αποβλήτων μέσης ραδιενέργειας είναι μία πρακτική δοκιμασμένη στο χρόνο, ενώ τα υψηλής ραδιενέργειας απόβλητα αποθηκεύονται προσωρινά σε ειδικά κατασκευασμένες εγκαταστάσεις (NEA, 2020).

Παρά το γεγονός ότι στο συλλογικό φαντασιακό τα ραδιενεργά απόβλητα έχουν για πάντα καταγραφεί ως πράσινα φωσφορίζοντα υγρά, στην πραγματικότητα είναι στερεά και λιγότερα από όσα πιστεύουμε: Όλα τα χρησιμοποιημένα καύσιμα που έχει παραγάγει η εμπορική πυρηνική βιομηχανία από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 έως σήμερα θα γέμιζαν ένα γήπεδο ποδοσφαίρου και θα έφταναν σε ύψος τα 10 μέτρα περίπου (Nuclear Energy Institute, n.d.).

Η διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων ξεκινάει με την αφαίρεση των χρησιμοποιημένων ράβδων καυσίμου, οι οποίες βυθίζονται αρχικά σε μία δεξαμενή αποθήκευσης με νερό. Όταν οι ράβδοι κρυώσουν αρκετά, ώστε να μην είναι απαραίτητη η παραμονή τους στο νερό - συνήθως αφότου παρέλθουν 2 με 5 χρόνια- μεταφέρονται και αποθηκεύονται σε ξηρά δοχεία κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα, τα οποία εγκιβωτίζονται εν συνεχεία σε κυλίνδρους οπλισμένου σκυροδέματος (Σχήμα 7). Τα δοχεία είναι αρκετά ασφαλή ώστε να μπορεί κανείς να τα αγγίξει και σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο που να αντέχουν σε συνθήκες μακροχρόνιας αποθήκευσης, μέχρι να βρεθεί χώρος μόνιμης εναπόθεσης (Jacoby, 2020 · Nuclear Energy Institute, n.d.)

Σχήμα 7: Δοχεία αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων από γάλυβα και τσιμέντο



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα cen.acs.org.

Η λύση μόνιμης εναπόθεσης που έχει προταθεί είναι η διάθεση των αποβλήτων σε βαθιές γεωλογικές αποθήκες και έχει χαιρετιστεί από την πυρηνική κοινότητα ως μία αποδεκτή και εφικτή επιλογή που προσδίδει στην πυρηνική ενέργεια βιώσιμο χαρακτήρα μακράς διάρκειας (NEA, 2020).

Ο πρώτος τέτοιος χώρος μόνιμης αποθήκευσης αναλωμένων καυσίμων κατασκευάζεται στην περιοχή Olkiluoto της Φινλανδίας και ονομάζεται Onkalo. Η αποθήκη που βρίσκεται σε βάθος περίπου 500 μέτρων κάτω από το επίπεδο του εδάφους, θα υποδεχτεί, όταν ολοκληρωθεί, τα αναλωμένα καύσιμα όλων των πυρηνικών αντιδραστήρων της Φινλανδίας, τα οποία θα αποθηκευτούν εκεί για χιλιάδες χρόνια. Η μέθοδος που θα εφαρμοστεί βασίζεται τη σουηδική ιδέα KBS-3 για τη χρήση δοχείων αποθήκευσης από χαλκό. Συγκεκριμένα, όταν ξεκινήσει τη λειτουργία του γύρω στο 2025 -σύμφωνα με τους υπολογισμούς- τα απόβλητα που θα υποδεχτεί θα υφίστανται την εξής διαδικασία: Οι ράβδοι των καυσίμων μετά την περίοδο ψύξης στις δεξαμενές θα τοποθετούνται σε δοχεία πλάτους ενός μέτρου κατασκευασμένα από χυτοσίδηρο, ένα υλικό που επιλέχθηκε για την ικανότητά του να αντέχει στις μηχανικές καταπονήσεις. Το σιδερένιο δοχείο θα ενθυλακώνεται κατόπιν μέσα σε ένα χάλκινο δοχείο πάχους πέντε εκατοστών που θα το προστατεύει από τις

διαβρωτικές επιδράσεις των υπόγειων υδάτων. Στη συνέχεια το δοχείο θα τοποθετείται σε μια κυλινδρική οπή παραγεμισμένη με πηλό μπεντονίτη, ο οποίος σε περίπτωση που έρθει σε επαφή με το νερό, θα διογκώνεται και θα στερεοποιείται ώστε να διατηρεί το δοχείο απρόσβλητο από τις κινήσεις των πετρωμάτων (Gordon, 2017).

Το εργοτάξιο του Ογκάλο επισκέφτηκε το 2020 ο Γενικός Διευθυντής της ΙΑΕΑ Ραφαέλ Μαριάνο Γκρόσι, ο οποίος έκανε την εκτίμηση ότι αλλάζει πλέον ο τρόπος που θα αντιμετωπίζεται η πυρηνική ενέργεια από τούδε και στο εξής, αφού το Ογκάλο αποτελεί τη μόνιμη λύση σε ένα ζήτημα που ταλάνιζε επί χρόνια την πυρηνική βιομηχανία, αλλά και την κοινή γνώμη (Gil, 2020).

Κι ενώ η λύση αυτή φαντάζει η πλέον ενδεδειγμένη, υπάρχουν, εντούτοις φωνές που αρθρώνουν ισχυρό αντίλογο.

Ανεξάρτητες επιστημονικές μελέτες δείχνουν ότι ο χαλκός της σουηδικής μεθόδου KBS-3 μπορεί να διαβρωθεί ταχύτερα από ό,τι είχε αρχικά υποθεθεί, αποτελεί δε, μία λύση οικονομικά ασύμφορη και γι' αυτό μη ελκυστική για μία σειρά χώρες, όπως η Δημοκρατία της Τσεχίας, που έχει ήδη ανακοινώσει ότι απέχει από το εγχείρημα εξ αυτού του λόγου.

Περαιτέρω, τα επίσημα φινλανδικά στοιχεία δείχνουν ότι το κόστος κατασκευής και ανάπτυξης του αποθεσιοθαλάμου Ογκάλο έφτασε τα 5 δισεκατομμύρια ευρώ, ποσό που κανένα άλλο κ-μ δεν διαθέτει προς το παρόν. Η Τσεχική Δημοκρατία έχει υπολογίσει ότι θα χρειαστούν 3,1 δισεκατομμύρια ευρώ για την κατασκευή ενός χώρου αποθήκευσης στο έδαφός της, ωστόσο, μόνο το 1,1 δισεκατομμύρια ευρώ έχουν συγκεντρωθεί μέχρι σήμερα. Η δυστοκία αυτή δείχνει καθαρά πόσο αμελητέα είναι η συνεισφορά του Ογκάλο στη λύση του μεγάλου ζητήματος των αποβλήτων της πυρηνικής βιομηχανίας.

Μια άλλη παράμετρος που φαίνεται να θίγεται από την εσφαλμένη διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων, είναι η οικεία νομοθεσία της ΕΕ. Το ενωσιακό πλαίσιο διαχείρισης αναλωθέντων καυσίμων και ραδιενεργών αποβλήτων απορρέει από την Οδηγία 2011/70/Ευρατόμ του Συμβουλίου της 19ης Ιουλίου 2011. Παρά τα διαλαμβανόμενα στην Οδηγία, τα κ-μ δεν φαίνονται διατεθειμένα να δώσουν μια οριστική λύση στο πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων.

Συγκεκριμένα, από τα 27 κ-μ μόνο τα τρία (Φινλανδία, Λουξεμβούργο και Σλοβακία) εφάρμοσαν την Οδηγία κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφύγουν τη διαδικασία επί παραβάσει.

Τα περισσότερα κ-μ, δεν έχουν αναδείξει τις επιπτώσεις των προγραμμάτων διαχείρισης πυρηνικών αποβλήτων, καθώς τα εν λόγω προγράμματα δεν συνοδεύονται, ως όφειλαν, από Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Συνακόλουθο αποτέλεσμα της απουσίας των εν λόγω Μελετών είναι και η έλλειψη πληροφόρησης του κοινού που επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο μέσα από τις διαδικασίες διαβούλευση αυτών των κειμένων.

Τέλος, η ίδια η Οδηγία φαίνεται να αφήνει αρρύθμιστα σημαντικά πεδία, όπως η διαχείριση των στρατιωτικών αποβλήτων, η τύχη των πυρηνικών αποβλήτων, που έχουν καταποντιστεί στη θάλασσα πριν το 1975, καθώς και η πρόβλεψη για απαγόρευση της μεταφοράς πυρηνικών αποβλήτων σε χώρες εκτός της ΕΕ (Mraz & Lorenz, 2022).

Το πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων γίνεται ακόμα πιο ζοφερό, αν υπολογίσει κανείς την επιπλέον επιβάρυνση που συνεπάγονται για το σύστημα και το περιβάλλον ο εξοπλισμός και οι λοιπές κατασκευές που απορρίπτονται στο στάδιο του παροπλισμού των μονάδων. Το αδιέξοδο των πυρηνικών αποβλήτων δικαιώνει μια Βρετανική Επιτροπή, η οποία ήδη από το 1976 έκανε την εκτίμηση ότι δεν θα πρέπει να κατασκευαστούν άλλα πυρηνικά εργοστάσια μέχρι να επιλυθούν τα προβλήματα διάθεσης των αποβλήτων (Pearce, 2012).

Παροπλισμός. Ο παροπλισμός μιας πυρηνικής εγκατάστασης, όπως ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή ένας ερευνητικός αντιδραστήρας, είναι το τελευταίο βήμα στον κύκλο ζωής της. Περιλαμβάνει δραστηριότητες από τη διακοπή λειτουργίας και την απομάκρυνση του πυρηνικού υλικού έως την περιβαλλοντική αποκατάσταση του χώρου. Επειδή όμως πρόκειται για κοστοβόρα δραστηριότητα, οι υπεύθυνοι των μονάδων το αφήνουν στις καλές θέτοντας υπό διακινδύνευση και τη δημόσια υγεία, αλλά και το ίδιο το περιβάλλον.

Τα στατιστικά είναι συντριπτικά: Αρχής γενομένης από την 1η Ιουλίου 2021, η παγκόσμια πυρηνική βιομηχανία μετρά 196 κλειστούς αντιδραστήρες συνολικής ισχύος 90,4 GW. Επτά επιπλέον αντιδραστήρες (5,5 GW) έχουν προστεθεί στη λίστα σε σχέση με το 2020: Από δύο στις ΗΠΑ και το Ηνωμένο Βασίλειο και από ένας στη Ρωσία, τη Σουηδία και την Ταϊβάν. Σχεδόν το 60% των κλειστών μονάδων βρίσκεται στην Ευρώπη (93 στη Δυτική Ευρώπη και 24 στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη), σχεδόν το ένα τέταρτο βρίσκεται στη Βόρεια Αμερική (46 μονάδες) και το ένα έκτο στην Ασία (33). Ο Πίνακας 4 παρέχει μια επισκόπηση των κλειστών αντιδραστήρων παγκοσμίως και του σταδίου παροπλισμού που βρίσκεται ο καθένας.

Πίνακας 4: Επισκόπηση των κλειστών αντιδραστήρων παγκοσμίως (από τον Ιούλιο του 2021)

Country	Closed Reactors	Warm-up	Hot-zone	Ease-off	LTE	Completed	Share of Completed
USA	40	9	0	4	13	14	35%
UK	32	0	0	0	32	0	0%
Germany	30	8	8	8	1	5	17%
Japan	27	26	0	0	0	1	4%
France	14	4	2	0	8	0	0%
Russia	9	0	0	0	9	0	0%
Sweden	7	3	4	0	0	0	0%
Canada	6	1	0	0	5	0	0%
Bulgaria	4	4	0	0	0	0	0%
Italy	4	4	0	0	0	0	0%
Ukraine	4	0	0	0	3	0	0%
Slovakia	3	2	1	0	0	0	0%
Spain	3	1	0	1	1	0	0%
Taiwan	3	3	0	0	0	0	0%
Lithuania	2	2	0	0	0	0	0%
South Korea	2	2	0	0	0	0	0%
Switzerland	1	1	0	0	0	0	0%
Armenia	1	1	0	0	0	0	0%
Belgium	1	0	0	1	0	0	0%
India	1	1	0	0	0	0	0%
Kazakhstan	1	0	0	0	1	0	0%
Netherlands	1	0	0	0	1	0	0%
Total	196	72	15	14	74	20	10%

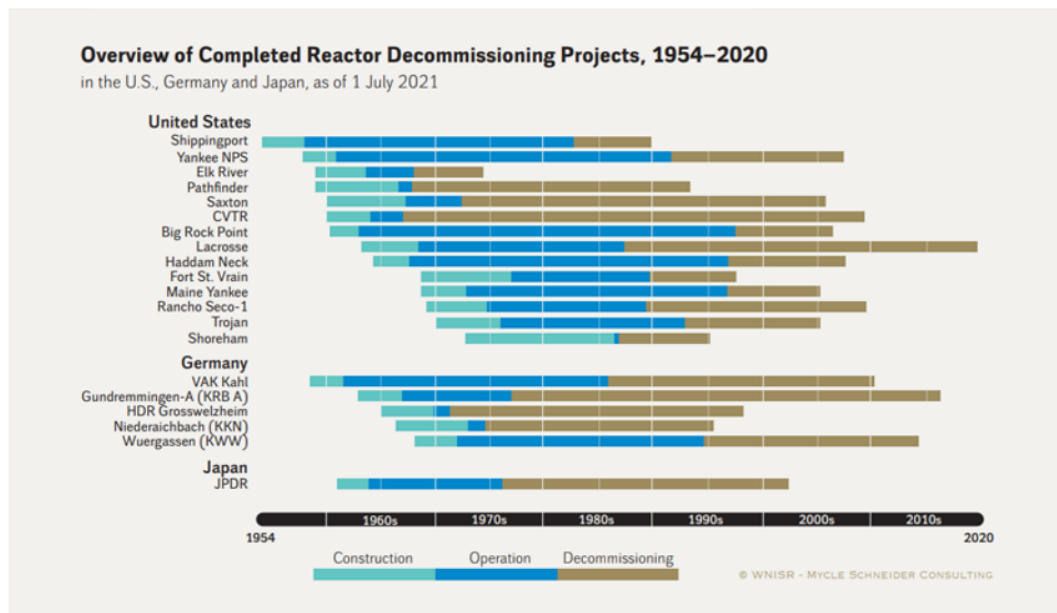
Sources: Various, compiled by WNISR, 2021

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, πίνακας 12, σελίδα 236.

Από το 2020 έως το 2021, κανένας αντιδραστήρας δεν ολοκλήρωσε τη διαδικασία τεχνικού παροπλισμού. Ο τελευταίος αντιδραστήρας που τα κατάφερε ήταν ο σταθμός La Crosse στις ΗΠΑ, το 2019, ισχύος 48 MW. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι σχετικές εργασίες ολοκληρώθηκαν 37 ολόκληρα χρόνια μετά το κλείσιμό του.

Οι μόνες χώρες που έχουν ολοκληρώσει τη διαδικασία τεχνικού παροπλισμού είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες (14 αντιδραστήρες), η Γερμανία (5) και η Ιαπωνία (1). Στη Γερμανία, ο αντιδραστήρας Groβwelzheim ήταν συνδεδεμένος στο δίκτυο μόνο για ένα έτος, αλλά οι εργασίες παροπλισμού διήρκεσαν πάνω από 20 χρόνια (Διάγραμμα 19). Στην Ιαπωνία, ο μόνος αντιδραστήρας που παροπλίστηκε ήταν ένας μικρός ερευνητικός αντιδραστήρας, ενώ κανένας από τους εμπορικούς δεν έχει παροπλιστεί ακόμη.

Διάγραμμα 19: Επισκόπηση των ολοκληρωμένων έργων παροπλισμού (1954-2020)



Sources: Various, compiled by WNISR, 2021

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 40, σελίδα 237.

Η μέση διάρκεια της διαδικασίας παροπλισμού, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που ακολουθείται, είναι περίπου 20 έτη, με δύο ακραίες τιμές: Μία ελάχιστη, διάρκειας έξι ετών που αφορά το σταθμό Elk River των 22 MW και μία μέγιστη διάρκειας 42 έτη για τον CVTR (Carolinas-Virginia Tube Reactor) των 17 MW. Αμφότεροι ήταν εγκατεστημένοι στις ΗΠΑ, αμφότεροι μικρής δυναμικότητας.

Τέλος, από τους 20 παροπλισμένους αντιδραστήρες, μόνο οι 10 έχουν μετατραπεί σε χώρους πρασίνου.

Το ίδιο απαισιόδοξο προβλέπεται και το μέλλον, καθώς επίκειται εκθετική αύξηση των εργοστασίων που θα παύσουν να λειτουργούν. Κάνοντας την παραδοχή ότι η μέση διάρκεια ζωής ενός αντιδραστήρα είναι 40 χρόνια, 180 ακόμα αντιδραστήρες θα κλείσουν μέχρι το 2030 (αντιδραστήρες που συνδέθηκαν στο δίκτυο μεταξύ 1981 και 1990)- και άλλοι 132 θα κλείσουν μέχρι το 2060 (Schneider et al., 2021).

Βάσιμα θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι ο παροπλισμός των πυρηνικών σταθμών έχει τις προϋποθέσεις να γίνει μια από τις πιο επικερδείς οικονομικές δραστηριότητες του 21^{ου} αιώνα.

Αξίζει να αναφερθεί η περίπτωση της Ιταλίας, η οποία έκλεισε τον τελευταίο από τους 4 αντιδραστήρες της το 1987, μετά τα δημοψηφίσματα που ακολούθησαν το

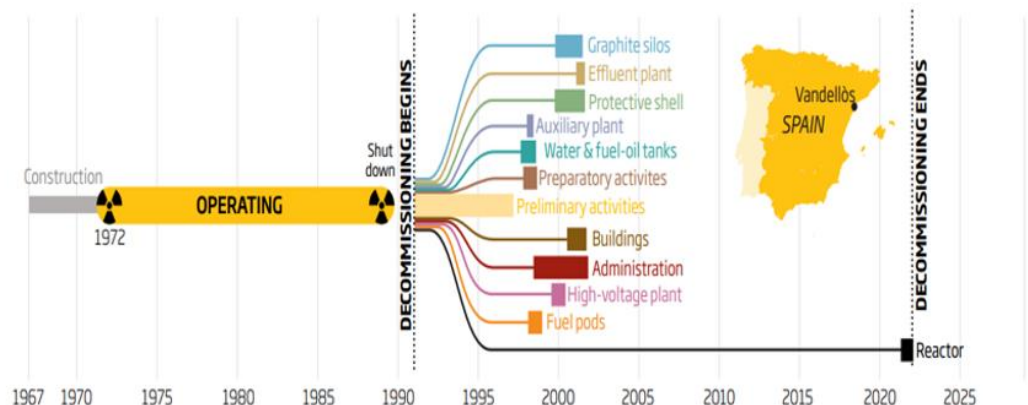
πυρηνικό ατύχημα του Chernobyl. Η κρατική εταιρεία Sogin που έχει τεθεί υπεύθυνη για τις εργασίες παροπλισμού υπολογίζει να αποκαταστήσει τις εκτάσεις που φιλοξενούν τα εργοστάσια, το 2026 για το σταθμό Garigliano, το 2027 για το σταθμό Latina το 2029 για τον Enrico Fermi και το 2030 για τον Caorso (IAEA, 2022d).

Οι ίδιοι πάνω κάτω χρόνοι παροπλισμού ισχύουν και για τον αντιδραστήρα Vandellòs της Ισπανίας, ο οποίος ενώ δούλεψε για 17 χρόνια (1972-1989), θα παροπλιστεί μετά από 38 χρόνια εργασιών (1990-2028 · Σχήμα 8) (ENRESA, n.d.).

Σχήμα 8: Διάρκεια λειτουργίας, εργασίες παροπλισμού και διάρκεια παροπλισμού του ισπανικού αντιδραστήρα Vandellòs

How long it takes

The first nuclear power plants weren't built with decommissioning in mind and it shows. For instance, by the time decommissioning is over, the gas-cooled Vandellòs reactor in Spain will have spent 40 years being decommissioned. That is more than twice as much time as the reactor spent in service



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την άρθρο «How to dismantle a nuclear reactor» του Pearce Fred, σελίδα 47. Το άρθρο είναι δημοσιευμένο στο περιοδικό New Scientist της 10ης.03.2021 (Volume 213, Issue 2855, 10 March 2012) (Pearce, 2012).

Εξέταση κοινωνικής συνιστώσας

Η υιοθέτηση των πυρηνικών στο ενεργειακό μείγμα αποτελεί μία απόφαση με έντονα κοινωνική διάσταση. Οι κίνδυνοι που συνεπάγεται έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην κοινωνία η οποία επωμίζεται, σε περίπτωση ατυχήματος, ένα μεγάλο βάρος για δεκαετίες, ίσως και αιώνες και μάλιστα σε οικουμενικό επίπεδο, καθώς η ραδιενέργεια δεν γνωρίζει σύνορα. Κι ενώ η κοινωνία θα πρέπει να είναι παρούσα και να συμμετέχει στη διαδικασία λήψης της απόφασης, όπως άλλωστε υπαγορεύει και η Σύμβαση του Άαρχους, ενίοτε αγνοείται όταν έρχεται αυτή η ώρα, γεγονός που αυξάνει έτι περαιτέρω τα αισθήματα καχυποψίας και έλλειψης εμπιστοσύνης.

Τάσεις. Η κοινή γνώμη φαίνεται ότι δεν έχει αποφασίσει αμετάκλητα αν θα ενταχθεί στο πυρηνικό ή στο αντιπυρηνικό στρατόπεδο αν και η κυρίαρχη τάση μοιάζει να μην συμπαθεί την πυρηνική ενέργεια, τουλάχιστον στην Ευρώπη.

Μία από τις πιο ισχυρές φωνές στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής η Γκρέτα Τούνμπεργκ τάχθηκε υπέρ της συνέχισης της λειτουργίας των πυρηνικών σταθμών, επισημαίνοντας ότι είναι προτιμότεροι από τις λιγνιτικές μονάδες.

Η δήλωσή της αυτή χρησιμοποιήθηκε από το Γερμανό Υπουργό Δικαιοσύνης Μάρκο Μπούσμαν, του οποίου το κόμμα (FDP) τάσσεται υπέρ της λειτουργίας των πυρηνικών εργοστασίων. Την επικαλέστηκε σε δημοσίευση που έκανε σε λογαριασμό κοινωνικής δικτύωσης που διατηρεί, προκειμένου να ενισχύσει τη θέση του (iefimerida, 2022).

Φέτος το Μάιο η Ακαδημία Αθηνών ανήρτησε στο διαδίκτυο μία εισήγησή με θέμα «Προοπτικές της πυρηνικής ενέργειας στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής». Όπως αναφέρει στην ανακοίνωσή της επειδή ποικίλες διεθνείς δημοσκοπήσεις καταγράφουν την αρνητική διάθεση των Ελλήνων πολιτών απέναντι στην πυρηνική ενέργεια, θεώρησε σκόπιμο να ενημερώσει αντικειμενικά τον Έλληνα πολίτη, παραθέτοντας όλα τα δεδομένα. Καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η πυρηνική ενέργεια είναι μια ασφαλής και πράσινη επιλογή, παρά ταύτα προειδοποιεί ότι «δεν εισηγείται την ένταξή της στον εθνικό ενεργειακό σχεδιασμό, υποστηρίζει όμως την σκοπιμότητα εκκίνησης των διαδικασιών» (Χριστοφόρου, 2022).

Από την άλλη, αρκετά είναι τα δείγματα της εχθρικής διάθεσης πολιτών κι πολιτικών. Οι έρευνες κοινής γνώμη αναδεικνύουν ανησυχίες που περιστρέφονται γύρω από τη διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων, την ασφάλεια και την προστασία.

Χαρακτηριστικό είναι ότι ακόμα και οι χώρες που περιλαμβάνουν τα πυρηνικά στα υφιστάμενα και μελλοντικά ενεργειακά τους σχέδια, σιωπούν ενίοτε στα διεθνή φόρα για τον ρόλο που μπορεί να διαδραματίσει στην κλιματική αλλαγή, φοβούμενες το πολιτικό κόστος (Nea, 2022).

Ο φόβος αυτός φαίνεται να είναι υπαρκτός αφού το κλείσιμο πολλών πυρηνικών αντιδραστήρων την τελευταία πενταετία δεν οφείλεται σε τεχνικό σφάλμα ή ανθρώπινο λάθος, αλλά σε πολιτικές αποφάσεις (World Nuclear Association, 2022b)

Σύμφωνα με τα στοιχεία που διατηρεί η Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας, το 19% των αντιδραστήρων που έχουν αποσυρθεί διαχρονικά, δλδ 34 αντιδραστήρες, έκλεισαν λόγω έλλειψης κοινωνικής αποδοχής ή για άλλους πολιτικούς λόγους (ΙΑΕΑ, 2022f).

Έχει γίνει ήδη αναφορά στην περίπτωση της Ιταλίας, όπου τα δημοψηφίσματα του 1987 αποφάσισαν την τύχη των πυρηνικών στη χώρα. Σε πολιτική απόφαση, που ελήφθη το 2011 οφείλεται και το κλείσιμο των σταθμών στη Γερμανία, κατόπιν της μεγάλης αναστάτωσης που προκάλεσε το ατύχημα της Φουκουσίμα (Πίνακας 5).

Πίνακας 5: Μόνιμα κλειστοί αντιδραστήρες 2021

Ten reactors were permanently shut down in 2021. The three German reactors and the one Taiwanese reactor were closed as a result of a political decision to phase out nuclear generation. The last three reactors in Germany are due to close in 2022.

Table 5. Shutdown reactors in 2021

	Location	Capacity (MWe net)	First grid connection	Permanent shutdown date
Indian Point 3	USA	1030	27 April 1976	1 May 2021
Dungeness B1	UK	545	3 April 1983	7 June 2021
Dungeness B2	UK	545	29 December 1985	7 June 2021
Kuosheng 1	Taiwan	985	21 May 1981	1 July 2021
Karachi 1	Pakistan	90	18 October 1971	1 August 2021
Hunterston B1	UK	490	8 February 1976	26 November 2021
Kursk 1	Russia	925	19 December 1976	19 December 2021
Brokdorf	Germany	1410	14 October 1986	31 December 2021
Grohnde	Germany	1360	5 September 1984	31 December 2021
Gundremmingen C	Germany	1288	2 November 1984	31 December 2021

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Performance Report 2022»](#), ©2022 World Nuclear Association, πίνακας 5, σελίδα 13 (World Nuclear Association, 2022b).

Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι παρά το Ρωσοουκρανικό πόλεμο και την τεράστια ενεργειακή ανασφάλεια και ακρίβεια που προκάλεσε, οι κυβερνήσεις καλούν τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα να επανεκκινήσουν, αγνοώντας τα πυρηνικά (World Nuclear Association, 2022b).

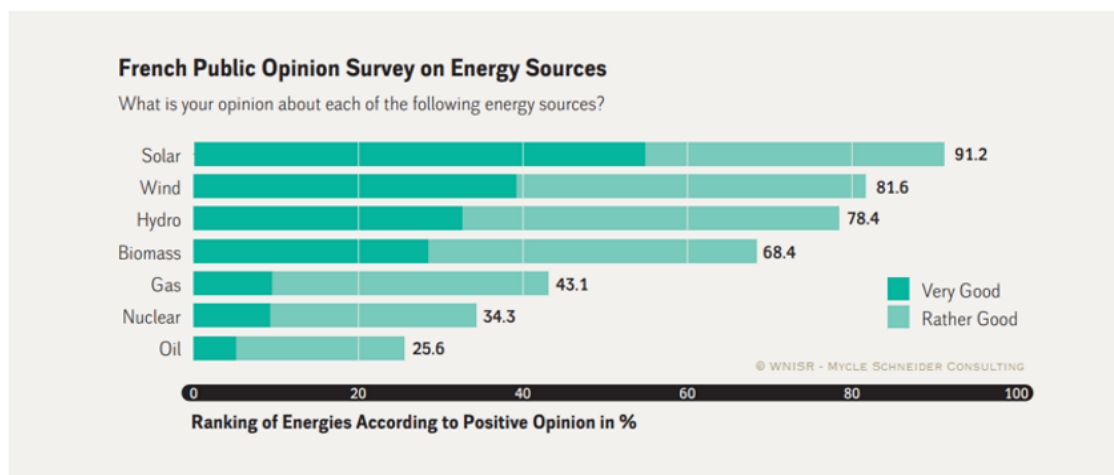
Ακόμα και στη Γαλλία, που το 2020 αποτελούσε την τρίτη παραγωγό πυρηνικής ενέργειας στο κόσμο⁴⁰, παρατηρείται ανομοιογένεια απόψεων. Σύμφωνα με δημοσκόπηση που διεξήγαγε το 2020 ο γαλλικός κρατικός φορέας «Ινστιτούτο Ραδιοπροστασίας και Πυρηνικής Ασφάλειας»⁴¹ στο πλαίσιο του "Βαρόμετρου Γνώμης" ενός εργαλείου που παρακολουθεί τις αντιλήψεις των Γάλλων για τα ζητήματα επικινδυνότητας, εννέα στους δέκα ερωτηθέντες πολίτες έχουν "μάλλον καλή" ή "πολύ καλή" γνώμη για την ηλιακή ενέργεια και οκτώ στους δέκα το ίδιο για

⁴⁰ [Which countries generated the most nuclear power this year? | World Economic Forum \(weforum.org\)](#)

⁴¹ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire-IRSN

τις ανεμογεννήτριες (Διάγραμμα 20). Όσον αφορά την πυρηνική ενέργεια, μόνο το ένα τρίτο εκφράζει "μάλλον καλή" ή "πολύ καλή" γνώμη, ενώ το 16% έχει "πολύ κακή" γνώμη, απορρίπτοντας πλήρως την επιλογή αυτή (Charron et al., 2000).

Διάγραμμα 20: Έρευνα γνώμης στη Γαλλία σχετικά με την προτίμηση που δείχνουν οι πολίτες στις διάφορες ενεργειακές τεχνολογίες (2020)



Sources: IRSN Barometer, 2020

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 28, σελίδα 95.

Ούτε και το εργασιακό μέλλον στον πυρηνικό κλάδο προδιαγράφεται ευόιο. Η γενική τάση που καταγράφεται είναι ότι το ανθρώπινο δυναμικό γερνάει. Το φαινόμενο αυτό δείχνει να αντιμετωπίζεται σε Γαλλία και ΗΠΑ αλλά είναι γεγονός ότι η πυρηνική βιομηχανία συναντά δυσκολίες στην προσέλκυση νέων εργαζομένων (NEA, 2021a).

Υπάρχει όμως κι ένας άλλος λόγος, λιγότερο προφανής, που δεν καθιστά τα πυρηνικά ιδιαίτερα ελκυστικά: Ο αποκλεισμός της δυνατότητας συμμετοχής των πολιτών στη χρηματοδότηση των έργων. Έχει αποδειχτεί ότι τα έργα κοινοτικής ιδιοκτησίας, όπως αυτά που χρηματοδοτούν οι ενεργειακές κοινότητες, προτιμώνται από την κοινή γνώμη, καθώς αποφέρουν οκτώ φορές περισσότερα κέρδη στην τοπική οικονομία από ό,τι αυτά που ανήκουν στις μεγάλες πολυεθνικές, γεγονός που έχει θετικό αντίκτυπο στους πολίτες, τόσο σε αναπτυξιακό, όσο και ψυχολογικό επίπεδο (Heinrich Böll Foundation, 2018).

Την ανάγκη αυτή μιας κοινότητας να αποτελεί μέρος ενός ενεργειακού έργου, παραγωγός και καταναλωτής μαζί⁴² δεν μπορεί να την ικανοποιήσει ο πυρηνικός κλάδος, που αποτελεί, λόγω δυσθεώρητου κόστους, υπόθεση των ολιγοπωλίων και των οικονομιών κλίμακας.

Πυρηνικά ατυχήματα. Τίποτα δεν μπορεί να εξηγήσει καλύτερα το αρνητισμό της κοινής γνώμης απέναντι στα πυρηνικά όσο ο φόβος του πυρηνικού ατυχήματος.

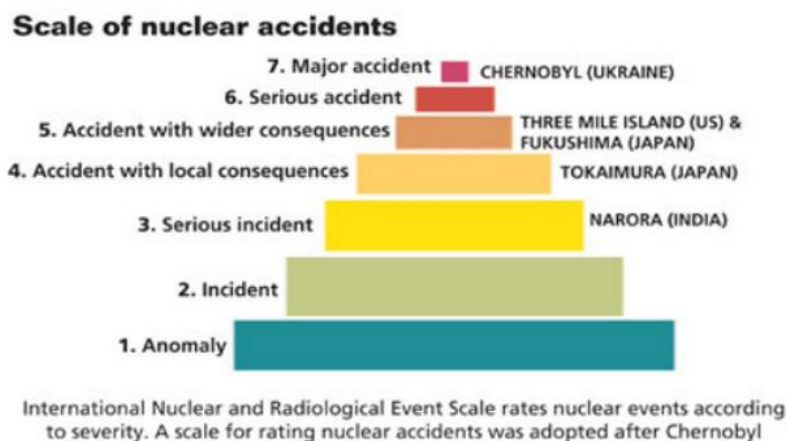
Οι αναπαραστάσεις ενός πυρηνικού ολέθρου είναι βαθιά ριζωμένες στο συλλογικό ασυνείδητο, ιδιαίτερα μετά τα πυρηνικά ατυχήματα στο Chernobyl και τη Φουκουσίμα. Αυτό το αντανακλαστικό έχει περάσει και στην τέχνη, η οποία τοποθετεί στο επίκεντρο των θεμάτων που την εμπνέουν όχι τόσο μια καταστροφή από πυρηνικά όπλα, όσο ένα συμβάν γεννημένο από την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργεια και τα απόβλητά της (Σιόβας Δημήτρης, 2015).

Η θεματολογία αυτή είναι απόλυτα δικαιολογημένη αν υπολογίσει κανείς ότι από το 1952 (Οττάβα Καναδάς) έως το 2011 (Φουκουσίμα, Ιαπωνία) έχουν καταγραφεί 38 πυρηνικά ατυχήματα, με πιο σημαντικά όλων τα ατυχήματα του Κιστίμ (1957-1958) και του Chernobyl (1986), που συνέβησαν στην πρώην ΕΣΣΔ και νυν Ουκρανία (Σχήμα 9). Το συμβάν στη Φουκουσίμα (2011) της Ιαπωνίας, αν και πολύ σοβαρό, ταξινομείται χαμηλότερα στην κλίμακα INES⁴³ απ' ό,τι τα προαναφερθέντα (Βερέττας, 2011).

⁴² Prosumer: Από τη συρραφή των λέξεων producer (παραγωγός) και consumer (καταναλωτής). Πρόκειται για τον καταναλωτή που επιζητά να γίνει και παραγωγός, προκειμένου να ανταπεξέλθει στις δύσκολες οικονομικές συνθήκες και να επιβιώσει

⁴³ International Nuclear Event Scale (Διεθνής Κλίμακα Πυρηνικών Συμβάντων)

Σχήμα 9: Κατάταξη πυρηνικών ατυχημάτων στην κλίμακα International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την ιστοσελίδα downtoearth.org. Κατάταξη των πιο σοβαρών ατυχημάτων παγκοσμίως και διαχρονικά, σύμφωνα με την κλίμακα International Nuclear Event Scale (INES), την οποία πρωτοεισήγαγε η ΙΑΕΑ το 1990 μετά το πυρηνικό ατύχημα του Chernobyl (Chakravarty, 2013)

Κιστίμ. Η καταστροφή του Κιστίμ οφείλεται μάλλον σε αυθόρμητη έκρηξη ραδιενεργών καταλοίπων, λόγω της επαφής τους με υπόγεια αποθέματα νερού. Η ραδιενέργεια που απελευθερώθηκε μόλυνε μία έκταση τουλάχιστον 100 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Πρόκειται για μία καταστροφή, τις πλήρεις λεπτομέρειες της οποίας δεν γνωρίζουμε μετά βεβαιότητας, αφού η σοβιετική κυβέρνηση επιδόθηκε σε έναν αγώνα απόκρυψης του συμβάντος, με αποτέλεσμα, δεκαετίες μετά, να βλέπουν το φως της δημοσιότητας αθέατες πλευρές της (Βερέττας, 2011)

Αναφορές στο περιστατικό είχαν εμφανιστεί αποσπασματικά στο δυτικό τύπο από το 1958, αλλά το ατύχημα έγινε ευρέως γνωστό το 1976, όταν ο σοβιετικός βιολόγος Zhores A. Medvedev έγραψε γι' αυτό στο βρετανικό επιστημονικό περιοδικό New Scientist και δη στο άρθρο του «Δύο δεκαετίες διαφωνίας». Οι περιγραφές του προέρχονταν τόσο από την επαφή του με το ίδιο το συμβάν, όσο και από μελέτες ερευνών που είχαν πραγματοποιήσει Σοβιετικοί επιστήμονες, οι οποίες περιλάμβαναν μετρήσεις in situ, σχεδόν αμέσως μετά το ατύχημα.

Πλην όμως επειδή η καταστροφή του Κιστίμ ήταν σχεδόν άγνωστη στους δυτικούς, το άρθρο του Medvedev στον New Scientist προκάλεσε μεγάλο θόρυβο και οι υπέρμαχοι των πυρηνικών αντέδρασαν έντονα.

Ο ίδιος γράφει:

Ορισμένοι Δυτικοί πυρηνικοί ειδικοί, ανάμεσά τους και ο Πρόεδρος του Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας του Ηνωμένου Βασιλείου, Σερ Τζων Χίλλ, προσπάθησαν να απορρίψουν την ιστορία μου σαν «επιστημονική φαντασία» «αστεία» ή «φανταστική διήγηση». Όμως ένα μήνα αργότερα περίπου, η ιστορία μου επιβεβαιώθηκε απ' τον καθηγητή Λεβ Τούμερμαν, επικεφαλής του Εργαστηρίου Βιοφυσικής του Ινστιτούτου Μοριακής βιολογίας της Μόσχας, που μετανάστευσε στο Ισραήλ το 1972. Ο Τούμερμαν είχε επισκεφτεί την περιοχή μεταξύ του Τσελιαμπίνσκ και του Ζβέρντλοφσκ το 1960. Μπόρεσε να δει ότι εκατοντάδες τετραγωνικά μίλια γης ήταν τόσο μολυσμένα από ραδιενεργά κατάλοιπα ώστε ολόκληρη η περιοχή είχε κηρυχθεί απαγορευμένη ζώνη. Όλα τα χωριά και οι κωμοπόλεις είχαν καταστραφεί ώστε να μην μπορεί να κατοικηθεί η επικίνδυνη ζώνη και να μην επιστρέψουν οι άνθρωποι που απομακρύνθηκαν εκεί. Όμως η προσωπική μαρτυρία του Τούμερμαν δεν έπεισε όλους τους ειδικούς, ούτε και τον Σερ Τζων Χίλλ, πως η καταστροφή ήταν αληθινή. Παράμεναν οι αμφιβολίες πως η ιστορία ήταν εξογκωμένη (Roberts Alan & Medvedev Zhores, 1975, σελ. 54-55)

Η δυσπιστία αυτή έπεισε τον Medvedev να συγκεντρώσει περισσότερες πληροφορίες και ερευνητικά δεδομένα μέσα από ρωσικά επιστημονικά περιοδικά. Το υλικό που περισυνέλλεξε το δημοσίευσε, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα στοιχεία υποδεικνύουν μάλλον την περίπτωση ενός ατυχήματος σε κάποιο χώρο αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων.

Μετά την αποκάλυψη των λεπτομερειών του Κιστίμ, η Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας το ταξινόμησε ως ατύχημα επιπέδου 6 στην κλίμακα INES (Britannica, n.d.).

Chernobyl. Το Chernobyl αποτελεί την μεγαλύτερη πυρηνική καταστροφή όλων των εποχών και έχει χαρακτηριστεί από το INES ως το μόνο (γνωστό) πυρηνικό ατύχημα επιπέδου 7 (Σχήμα 9 ως άνω).

Οι μακροχρόνιες κοινωνικές, υγειονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις του Chernobyl είναι τόσο βαθιές και συνεχιζόμενες, που παραμένουν θέμα ακάματης έρευνας και διαμάχης.

Η έκρηξη που σημειώθηκε στον αντιδραστήρα 4 του Πυρηνικού Σταθμού Παραγωγής Ενέργειας, στις 26.04.1986, απελευθέρωσε στο περιβάλλον 100 περίπου ραδιενεργά ισότοπα, με πιο επικίνδυνα αυτών το ιώδιο-131, το στρόντιο -90, το

καισάριο -137 και το πλουτόνιο-239, 240 και 241. Ενώ ο χρόνος ημιζωής⁴⁴ του ιωδίου-131 είναι μόλις 8 ημέρες, το στρόντιο-90 και το καισάριο-137 έχουν χρόνο ημιζωής 29 και 30 έτη αντίστοιχα, και το πλουτόνιο-239, 24.000 έτη. Ο αέρας και οι βροχές βοήθησαν στην διασπορά των στοιχείων και στην εναπόθεσή τους στο χώμα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το 40% περίπου των ευρωπαϊκών εδαφών έχει μολυνθεί από το στοιχείο καισάριο-137, γεγονός που επηρεάζει δυνητικά περίπου 400 εκατομμύρια ανθρώπους.

Είκοσι χρόνια μετά το ατύχημα, γύρω στα 5 εκατομμύρια άνθρωποι, μεταξύ των οποίων και 1 εκατομμύριο παιδιά, εξακολουθούσαν να ζουν σε μολυσμένες περιοχές, παρά ταύτα ο επίσημος αριθμός των νεκρών είναι εκπληκτικά χαμηλός. Πριν από το 2005 μόνο περίπου 50 θάνατοι είχαν αποδοθεί άμεσα στο ατύχημα.

Μια έκθεση του 2009 που συνετάγη από μία ομάδα Ρώσων και Λευκορώσων επιστημόνων υποστήριξε ότι ο αριθμός των θανάτων του Chernobyl από ασθένειες που σχετίζονται με τη ραδιενέργεια έχει ξεπεράσει τις 200.000 στην Ευρώπη και πλησιάζει τις 20.000 στον υπόλοιπο κόσμο.

Η ΙΑΕΑ από την άλλη, κάνει αναφορά στις 100.000 με 200.000 αποβολές που θεωρεί ότι σχετίζονται με το ατύχημα και έχουν ως αποτέλεσμα μακροπρόθεσμες δημογραφικές επιπτώσεις.

Περαιτέρω, μεγάλη αύξηση παρατηρήθηκε στις ψυχικές ασθένειες λόγω του ψυχικού τραύματος που προκάλεσε η καταστροφή, η ο ξεριζωμός και η απώλεια. Εκτός αυτού όμως υπάρχουν και ενδείξεις που ενοχοποιούν την ιονίζουσα ακτινοβολία για την πρόκληση νευροψυχιατρικών βλαβών στον εγκέφαλο, όπως η γνωστική έκπτωση.

Οι έμμεσες οικονομικές απώλειες 35 χρόνια μετά το ατύχημα, έχουν στοιχίσει στην Ουκρανία το ποσό των 232 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ.

Τέλος μία ενδιαφέρουσα διάσταση, παραγνωρισμένη από το διεθνή τύπο και τις αναφορές, είναι οι πολιτισμικές συνέπειες του ατυχήματος: Κάποιες από τις παραδόσεις της Πολέσιας, της περιοχής δηλαδή που ήταν εγκατεστημένο το εργοστάσιο χάθηκαν, καθώς οι άνθρωποι διασκορπίστηκαν και οι τόποι εγκατάστασης εγκαταλείφθηκαν (Schneider et al., 2021).

Κλείνοντας, κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι ένας απολογισμός των καταγεγραμμένων πυρηνικών ατυχημάτων οδηγεί στο συμπέρασμα πως είναι λίγα σε σχέση με τα χρόνια λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων παγκοσμίως. Η εκτίμηση αυτή όμως ανατρέπεται από τα επιστημονικά δεδομένα.

⁴⁴ Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να χαθεί η μισή ποσότητα μιας ουσίας

Η διάρκεια ζωής των πυρηνικών αντιδραστήρων υπολογίζεται σε "έτη αντιδραστήρα". Ένα έτος αντιδραστήρα αντιστοιχεί στη λειτουργία ενός αντιδραστήρα για ένα χρόνο. Οι 443 πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας στον κόσμο έχουν λειτουργήσει συνολικά 14.767 έτη αντιδραστήρα, κατά τη διάρκεια των οποίων έχουν συμβεί 23 ατυχήματα που οφείλονται στην τήξη του πυρήνα. Αυτό σημαίνει ότι ένα σοβαρό ατύχημα λαμβάνει χώρα κάθε 624 χρόνια αντιδραστήρα. Σύμφωνα όμως με τα σχεδιαστικά πρότυπα, ατυχήματα τέτοιας κλίμακας θα έπρεπε να συμβαίνουν μόνο μία φορά στα 20.000 χρόνια λειτουργίας. Συνεπώς τα πραγματικά ατυχήματα συμβαίνουν 32 φορές πιο συχνά από το επιτρεπτό όριο (He, 2013).

Εξέταση οικονομικής συνιστώσας

Κόστος κατασκευής. Ένα μέρος της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος που καλούμαστε να πληρώσουμε κάθε δίμηνο αντανάκλα τα κόστη τα οποία υφίσταται η μονάδα που το παράγει. Το βασικό εργαλείο μέτρησης της οικονομικής προσιτότητας της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το Ισοσταθμισμένο Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Levelized Cost of Energy ή LCOE), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στη χάραξη πολιτικής, στη μοντελοποίηση και στο δημόσιο διάλογο. Το LCOE υπολογίζει το συνολικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας κάθε ενεργειακής τεχνολογίας καθ' όλη της διάρκεια της ζωής της.

Με άλλα λόγια το LCOE και ιδίως το χαμηλό LCOE υποδεικνύει την τεχνολογία που αποτελεί την καλύτερη επένδυση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επειδή ακριβώς οι μεταβλητές που λαμβάνει υπόψη του το LCOE είναι το κόστος κατασκευής και λειτουργίας, θα γίνει μια αποτύπωση του κόστους κατασκευής των πυρηνικών σταθμών και των παραμέτρων που το επηρεάζουν, καθώς και του κόστους καυσίμου και παροπλισμού των εργοστασίων.

Οι πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν έργα υποδομής εντάσεως κεφαλαίου και απαιτούν τεράστια χρηματικά ποσά για να υλοποιηθούν. Για παράδειγμα, το κόστος του Αντιδραστήρα Πεπιεσμένου Νερού που κατασκευάζεται από την EDF στο Flamanville της Γαλλίας, δυναμικότητας 1,63 GW, έχει εκτοξευθεί, υπερβαίνοντας τα 12 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ. Τα πυρηνικά έργα που βρίσκονται σε εξέλιξη στις αναπτυσσόμενες οικονομίες, τα οποία χρησιμοποιούν κυρίως κινεζικά και ρωσικά σχέδια, είναι επίσης μεγάλης κλίμακας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το μέσο μέγεθος των νέων κατασκευών που ξεκινούν τα τελευταία

χρόνια είναι πάνω από 1 GW με κόστος κοντά στα 4,5 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ. Για μια τέτοια κατασκευή ο LCOE θα αυξηθεί κατά περίπου 5 δολάρια ΗΠΑ/MWh για κάθε ποσοστιαία μονάδα αύξησης του κόστους κεφαλαίου. Θα πρέπει να ειπωθεί ότι οι κεφαλαιακές ανάγκες ενός πυρηνικού σταθμού τρίτης γενιάς είναι συγκρίσιμες με εκείνες μιας μεγάλης εγκατάστασης ΥΦΑ⁴⁵. Τα έργα ΥΦΑ όμως αναπτύσσονται συνήθως από μεγάλες διεθνείς πετρελαϊκές εταιρείες, οι οποίες διαθέτουν σημαντικά μεγαλύτερη οικονομική ισχύ από ό,τι ακόμη και οι μεγαλύτερες ηλεκτρικές εταιρείες κοινής ωφέλειας των προηγμένων οικονομιών (IEA, 2019).

Μία από τις παραμέτρους που επηρεάζουν καταφανώς το κόστος κατασκευής άρα και το LCOE είναι ο χρόνος αποπεράτωσης των έργων, που προκαλεί αυξητικές εκτροπές στους προϋπολογισμούς των έργων.

Σε σύγκριση με τα έργα ΑΠΕ, η κατασκευή των οποίων μπορεί να διαρκέσει 1 ή 2 χρόνια, η κατασκευή πυρηνικών σταθμών απαιτεί πολλά χρόνια και μπορεί εύκολα να υπερβεί τη δεκαετία, αν συνυπολογιστούν και οι διαδικασίες σχεδιασμού και αδειοδότησης (Nea, 2022).

Τα 11 πυρηνικά εργοστάσια που ολοκληρώθηκαν την περίοδο 2018-2020 στην Κίνα χρειάστηκαν κατά μέσο όρο 7,1 χρόνια για να ολοκληρωθούν, ενώ τα αντίστοιχα έξι έργα στη Ρωσία χρειάστηκαν 15. Το ρωσικό εργοστάσιο Rostov-4 αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση υπέρμετρης καθυστέρησης αφού ξεκίνησε να λειτουργεί μετά από 35 χρόνια εργασιών! (Διάγραμμα 21) (Schneider et al., 2021)

⁴⁵ Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο

Διάγραμμα 21: Καθυστερήσεις στο χρονοδιάγραμμα πυρηνικών μονάδων που συνδέθηκαν στο δίκτυο μεταξύ των ετών 2018-2020



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 9, σελίδα 55.

Επειδή ακριβώς οι πυρηνικές εγκαταστάσεις απαιτούν σημαντικές επενδύσεις, εξαρτώνται σε κάποιο βαθμό από την άμεση ή έμμεση στήριξη των κυβερνήσεων, προκειμένου να επιμεριστεί ο κίνδυνος (Nea, 2022). Αυτό σημαίνει ότι το κόστος των κρατικών επιδοτήσεων, άρα και του έργου ως έναν βαθμό, επιβαρύνονται οι πολίτες.

Στη Δημοκρατία της Τσεχίας, φερ' ειπείν η εταιρεία ČEZ Group a.s.⁴⁶ υπέβαλε αίτηση αδειοδότησης στο Κρατικό Γραφείο Πυρηνικής Ασφάλειας για την κατασκευή δύο καινούργιων αντιδραστήρων στην περιοχή του Dukovany. Σύμφωνα με το τρέχον χρονοδιάγραμμα ο προμηθευτής πρόκειται να επιλεγεί έως το τέλος του 2022 , ενώ το έργο πρόκειται να τεθεί σε λειτουργία το 2036. Η Τσεχική Κυβέρνηση θα δανείσει το 70% του κόστους κατασκευής της μονάδας των 1200 Mwe και η ČEZ θα χρηματοδοτήσει το εναπομείναν 30% (NEA, 2021b).

Η κατασκευή μεγάλων αντιδραστήρων και οι αυξανόμενες δυσκολίες που συναντά η χρηματοδότησή τους, σε συνδυασμό με την ανάγκη για περισσότερη παραγωγή χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος, έχει στρέψει το ενδιαφέρον της πολιτικής και των επενδυτών στους Μικρούς Αρθρωτούς Αντιδραστήρες (Small

⁴⁶ Τσέχικη, πολυεθνική εταιρεία, η οποία ασχολείται επιχειρηματικά με όλο σχεδόν το φάσμα δραστηριοτήτων του ενεργειακού τομέα ([wikipedia](#))

Modular Reactors). Ως SMRs ορίζονται οι πυρηνικοί αντιδραστήρες με ηλεκτρική ισχύ μικρότερη από 300MW ανά μονάδα. Συνήθως κατασκευάζονται σε εργοστάσια, για λόγους μείωσης κόστους και στη συνέχεια μεταφέρονται στον τόπο, όπου πρόκειται να εγκατασταθούν (IEA, 2019).

Ήδη κάποιες χώρες έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον. Τον Απρίλιο του 2022 το Ηνωμένο Βασίλειο δημοσίευσε τη στρατηγική του για την ενεργειακή ασφάλεια και ανακοίνωσε ότι θα αυξήσει τις επενδύσεις του στην ανάπτυξη SMRs (Murakami & Anbumozhi, 2022).

Επίσης η κυβέρνηση του Βελγίου σχεδιάζει να δαπανήσει 100.000.000 ευρώ μέσα σε μια περίοδο 4 ετών προκειμένου να ερευνήσει το ενδεχόμενο κατασκευής SMRs (World Nuclear News, 2022).

Τέλος, η Ρουμανία εξετάζει την επιλογή ανάπτυξης πυρηνικών αντιδραστήρων νέας γενιάς, όπως οι SMRs μετά το 2030, προκειμένου να αυξήσει το μερίδιο των μη ανθρακούχων τεχνολογιών ενέργειας στο μείγμα της (IAEA, 2022e).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6 η κατασκευή SMRs βρίσκεται, ανά τον κόσμο, σε διάφορα στάδια υλοποίησης (IEA, 2019).

Πίνακας 6: Μικροί Αρθρωτοί Αντιδραστήρες (SMRs) υπό κατασκευή

Design	Net output per module (MW)	Type	Designer	Country	Status
Light-water cooled					
KLT-40S	70	Floating PWR	OKBM Afrikantov	Russia	Pre-commissioning testing
CAREM	30	PWR	CNEA	Argentina	Under construction
SMART	100	PWR	KAERI	Korea	Certified design, feasibility study to construct in Saudi Arabia (desalination)
NuScale	50 (x 12)	PWR	NuScale Power	United States	Licensing process, two projects planned in the United States (Idaho and Tennessee)
SMR-160	160	PWR	Holtec International	United States	Preliminary design
BWRX-300	300	BWR	GE Hitachi	United States	Conceptual design
(no name)	220	PWR	Rolls Royce	United Kingdom	Conceptual design
(no name)	170	PWR	CEA/EDF/Naval Group/TechnicAtome	France	Conceptual design
Generation IV (non-light-water cooled)					
HTR-PM	210	HTGR	Tsinghua University	China	Under construction
ACP100	100	PWR	CNNC	China	Start of construction planned for end of 2019
SC-HTGR	272	HTGR	Framatome	United States	Conceptual design
Xe-100	35	HTGR	X-energy LLC	United States	Conceptual design
4S	10	LMFR	Toshiba	Japan	Detailed design
EM2	265	GMFR	General Atomics	United States	Conceptual design
IMSR	190	MSR	Terrestrial Energy	Canada	Basic design
ThorCon	250	MSR	Martingale Inc	United States	Basic design

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση της International Energy Agency-IEA [«Nuclear Power in a Clean Energy System»](#), πίνακας 6, σελίδα 86.

Οι πιο ώριμες, κατασκευαστικά, μονάδες SMRs φαίνεται να είναι αυτές της Ρωσίας και της Κίνας. Η περίπτωση της Ρωσίας είναι άξια αναφοράς. Οι δίδυμοι πλωτοί αντιδραστήρες της παρουσιάστηκαν σαν μια φτηνή και γρήγορη λύση. Ωστόσο, η κατασκευή τους διήρκεσε περισσότερο χρόνο από οποιονδήποτε άλλο αντιδραστήρα που τέθηκε σε λειτουργία κατά την τριετία 2018-2020 (Διάγραμμα 21 ως άνω, καταχωρίσεις Akademik Lomonosov), με εξαίρεση τον επικό Rostov-4 και περίπου τέσσερις φορές περισσότερο από ό,τι είχε αρχικά προβλεφθεί. Λίγο πριν από την έναρξη της κατασκευής του πλοίου το 2007, η Rosatom⁴⁷ ανακοίνωσε ότι ο σταθμός

⁴⁷ Ρωσική κρατική εταιρεία, που ειδικεύεται στην πυρηνική ενέργεια, ιδρύθηκε από το Βλαντιμίρ Πούτιν και εδρεύει στη Μόσχα.

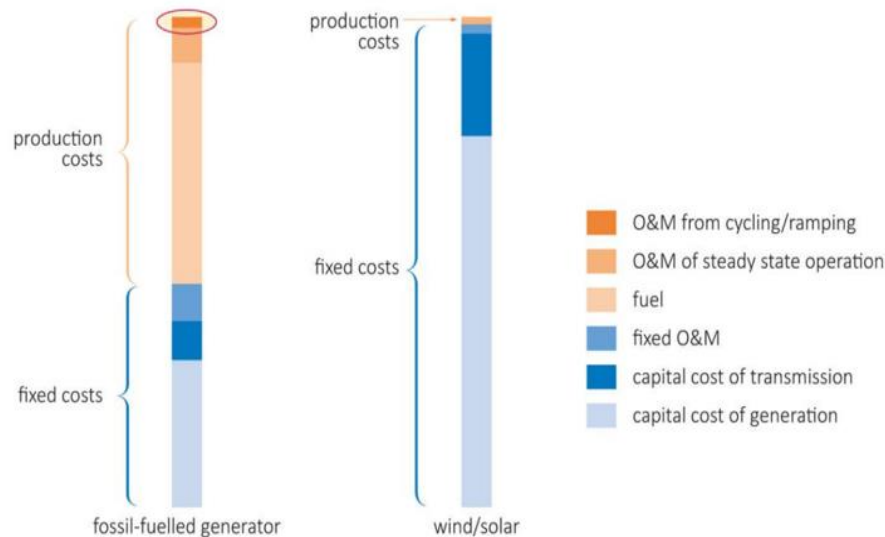
θα άρχιζε να λειτουργεί τον Οκτώβριο του 2010, κάτι που τελικά συνέβη τον Δεκέμβριο του 2019. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η "πυρηνική φορτηγίδα" έχει αποδειχτεί πιο ακριβή από την αρχική εκτίμηση των περίπου 6 δισεκατομμυρίων ρουβλίων (232 εκατομμύρια δολάρια σε τιμές του 2007). Το κόστος της υπολογίζεται σε τουλάχιστον 37 δισεκατομμύρια ρούβλια 2015 (740 εκατομμύρια δολάρια σε τιμές του 2015), άλλως **κοντά στα 25.000 δολάρια ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ, σχεδόν διπλάσιο κόστος από τους πιο ακριβούς αντιδραστήρες γενιάς III** (Schneider et al., 2021).

Ο Mark Cooper, ανώτερο στέλεχος στο Ινστιτούτο Ενέργειας και Περιβάλλοντος της Νομικής Σχολής του Βερμόντ έκανε την εξής ωμή δήλωση: «Οι μικροί αρθρωτοί αντιδραστήρες φαίνεται να ακολουθούν την πορεία των μεγάλων αντιδραστήρων, απαιτώντας πολλά χρήματα και σημειώνοντας αυξανόμενες καθυστερήσεις. Οι περισσότερες μάχες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής θα έχουν τελειώσει προτού τεθεί σε λειτουργία έστω και ένας από αυτούς τους αντιδραστήρες» (Schneider et al., 2021).

Κόστος λειτουργίας αντιδραστήρων και παύσης τους

Κόστος καυσίμου. Σε αντίθεση με το κόστος κατασκευής μίας πυρηνικής εγκατάστασης, που είναι απαγορευτικά υψηλό, το κόστος λειτουργίας της είναι χαμηλότερο σε σχέση με τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Έχει υπολογιστεί ότι η τιμή του ουρανίου επηρεάζει σε ένα ποσοστό 10% με 15% το συνολικό κόστος παραγωγής, με το ήμισυ αυτού να καταλαμβάνει το έξοδο για τον εμπλουτισμό του και τη μετατροπή του στη μορφή που πρέπει (World Nuclear Association, 2022c). Το αντίστοιχο κόστος για ένα συμβατικό εργοστάσιο άνθρακα αντιστοιχεί περίπου στο 50% του παραγωγικού κόστους (Σχήμα 10 Nalbandian-Sugden, 2016).

Σχήμα 10: Απεικόνιση του ενεργειακού κόστους σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας από ορυκτούς πόρους και σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την αναφορά που συντάξε η Herminé Nalbandian-Sugdenγια λογαριασμό της IEA «[Clean Coal Centre Operating ratio and cost of coal power generation](#)», Δεκέμβριος 2016, 2022», © IEA Clean Coal Centre, σχήμα 14, σελίδα 56.

Για να γίνει αντιληπτή αυτή η σχέση κόστος καυσίμου-κόστος παραγωγής, θα πρέπει να ειπωθεί ότι στην περίπτωση που η τιμή του ουρανίου διπλασιαστεί, το κόστος παραγωγής για ένα μέσο πυρηνικό εργοστάσιο θα αυξηθεί κατά 26%, και οι καταναλωτές θα δουν μια αύξηση στους λογαριασμούς του ρεύματος της τάξεως του 7% περίπου. Μια αντίστοιχη αύξηση στις τιμές του φυσικού αερίου θα οδηγήσει σε αύξηση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος, που θα φτάνει το 70%, όπως πολύ καλά διαπιστώσαμε τελευταία (Μιχαλόπουλος, 2022).

Το ουράνιο είναι φτηνό γιατί αυξήθηκε κατά 25% η ποσότητα του ανακτήσιμου πόρου την τελευταία δεκαετία, γεγονός που οφείλεται στην εντατική εξερεύνηση ορυκτών πόρων (World Nuclear Association, 2022a). Οι πιο σημαντικές αυξήσεις μάλιστα σημειώθηκαν στους πόρους με χαμηλό κόστος (<USD 40/kgU) και έτσι, σύμφωνα με μετρήσεις που έχουν γίνει, το ουράνιο επαρκεί για να καλύψει τις προβλεπόμενες απαιτήσεις ανάπτυξης έως το 2040.

Ωστόσο, σύμφωνα με το σενάριο υψηλής ζήτησης των Οργανισμών NEA και IAEA, η ικανοποίηση των μελλοντικών απαιτήσεων μέχρι και το έτος 2040 θα προκαλέσει μεγάλη μείωση στα αποθέματα φθηνού ουρανίου, δηλαδή σε αυτά που κοστίζουν κάτω από USD 80/kgU, η οποία θα φτάσει στο 87% των αναγνωρισμένων πόρων⁴⁸ (NEA-IAEA, 2020).

Επιπλέον, εκτός από φθινό, το ουράνιο είναι και ένας πόρος που εισφέρει τα μέγιστα στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού, αφού οι πηγές προμήθειας της ΕΕ είναι διαφοροποιημένες γεωγραφικά και βρίσκονται σε χώρες πολιτικά σταθερές: Το 45% των αναγκών της ΕΕ σε ουράνιο καλύπτεται από τα ορυχεία του Καναδά και της Αυστραλίας.

Κόστος παροπλισμού. Ο παροπλισμός μιας πυρηνικής εγκατάστασης αποτελεί σημαντική οικονομική επιβάρυνση, πολλές φορές δυσβάσταχτη.

Η αμερικανική εταιρεία PG&E Pacific Gas and Electric, που αποφάσισε να κλείσει το πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Diablo Canyon, το τελευταίο πυρηνικό εργοστάσιο της Καλιφόρνιας, υπολογίζει το κόστος παροπλισμού στα 5.1 δισεκατομμύρια δολάρια σε δολάρια του 2019! Η εν λόγω εκτίμηση συμπεριλαμβάνει το κόστος αποθήκευσης του αναλωμένου καυσίμου και των αποβλήτων και τις εργασίες αποκατάστασης του εργοστασίου (Gregoire, 2022).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναγνωρίζοντας τη μεγάλη επιβάρυνση που συνεπάγονται αυτού του τύπου οι εργασίες, έχει ενεργοποιήσει, όπως προαναφέρθηκε σε άλλο κεφάλαιο, δύο προγράμματα⁴⁹ για τον παροπλισμό των πυρηνικών σταθμών Ignalina, Kozloduy (Μονάδες 1 έως 4), Bohunice V1 (Μονάδες 1 και 2)⁵⁰, καθώς και των πυρηνικών υποδομών του Κοινού Ερευνητικού Κέντρου (JCR). Υπενθυμίζεται ότι το κονδύλι υλοποίησης των ως άνω προγραμμάτων, που καταλαμβάνει την περίοδο από 01.01.2021 έως 31.12.2027, ανέρχεται συνολικά στο ποσό του 1.018.000.000 EUR σε τρέχουσες τιμές και αποτελεί το 50% της συνολικής χρηματοδότησης, τουλάχιστον όσον αφορά τους Kozloduy και Bohunice V1.

Επιπλέον, επειδή ακριβώς οι εταιρείες που εκμεταλλεύονται τα πυρηνικά εργοστάσια δεν φαίνονται διατεθειμένες να αναλάβουν την οικονομική επιβάρυνση που απαιτεί ένας παροπλισμός, η Επιτροπή εντόπισε το ζήτημα και φρόντισε να θέσει

⁴⁸ Οι εύλογα εξασφαλισμένοι πόροι, σύμφωνα με την Παγκόσμια Ένωση Πυρηνικών (Nuclear Energy Association), οργανισμό με μέλη του την παγκόσμια πυρηνική βιομηχανία.

⁴⁹ Ίδετε πιο πάνω υποσημείωση 20

⁵⁰ Στη Λιθουανία, Βουλγαρία και Σλοβακία αντίστοιχα.

ως προϋπόθεση επιλεξιμότητας των πυρηνικών έργων στην «Ταξινόμια» την υποχρέωση των κρατών μελών να διαθέτουν, «από την ημερομηνία έγκρισης του έργου, ταμείο διαχείρισης ραδιενεργών αποβλήτων και ταμείο παροπλισμού πυρηνικών εγκαταστάσεων τα οποία μπορούν να συνδυάζονται»⁵¹.

Τέλος, σύμφωνα με ένα έγγραφο εργασίας της Επιτροπής που υπέπεσε στην αντίληψη του Πρακτορείου Reuters το 2016, θα χρειαστούν περίπου 268,3 δισεκατομμύρια ευρώ για να καλυφθεί το κόστος παροπλισμού των πυρηνικών μονάδων της ΕΕ, από τα οποία είναι διαθέσιμα μόνο τα 150,1 δισεκατομμύρια (Steitz & Lewis, 2016).

Έχοντας όλα αυτά κατά νου, οι σημερινοί πυρηνικοί επιστήμονες εργάζονται πάνω στο σχεδιασμό ενός πυρηνικού εργοστασίου που δεν θα χρειάζεται να παροπλιστεί για εκατοντάδες χρόνια, ενώ τα ραδιενεργά του απόβλητα δεν θα είναι περισσότερο επικίνδυνα από τα απόβλητα μιας μονάδας καύσης άνθρακα (Pearce, 2012).

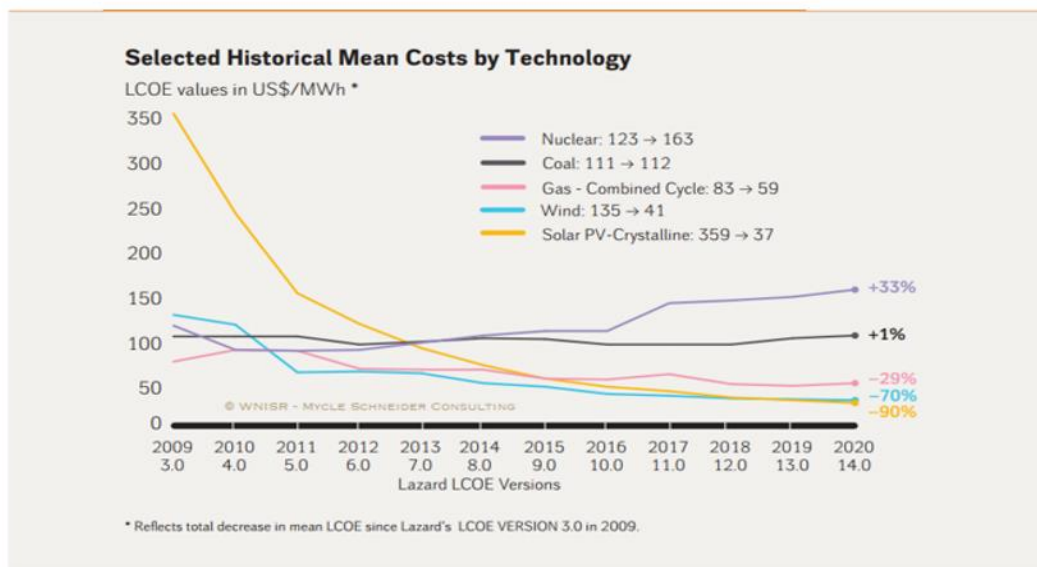
Η επιρροή του κόστους κατασκευής και λειτουργίας των πυρηνικών εργοστασίων και οι μεταβολές που υφίστανται, απεικονίζεται σε ποικίλες οικονομικές αναφορές ανά τον κόσμο. Η ετήσια ανάλυση του LCOE για τις ΗΠΑ, που συνέταξε η πολυεθνική εταιρεία διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων και χρηματοοικονομικών συμβούλων Lazard, δείχνει ότι το μη επιδοτούμενο μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικές μονάδες αυξήθηκε από τα 117 στα 163 δολάρια ΗΠΑ/MWh⁵². Το κόστος των ΑΠΕ, από την άλλη, μειώθηκε μεταξύ 2015 και 2020 από τα 64 στα 37 δολάρια ΗΠΑ/MWh για τα φωτοβολταϊκά και από τα 55 στα 40 δολάρια ΗΠΑ/MWh για τα χερσαία αιολικά. Μόνο τα τελευταία πέντε χρόνια, το LCOE της πυρηνικής ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 39%, ενώ οι ΑΠΕ έχουν γίνει πλέον η φθηνότερη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρισμού (Schneider et al., 2021).

Από το 2009 όταν η εταιρεία Lazard πρωτοδημοσίευσε τις εκτιμήσεις της για την LCOE με την τρέχουσα μέθοδο, τα κόστη των φωτοβολταϊκών μειώθηκαν κατά 90%, και των χερσαίων αιολικών κατά 70%. Σε αντιδιαστολή με τις ΑΠΕ, το κόστος της πυρηνικής τεχνολογίας αυξήθηκε κατά το ένα τρίτο (Διάγραμμα 22).

⁵¹ Ίδετε πιο πάνω και υποσημείωση 30 (Κατ' εξουσιοδότηση Κανονισμός (ΕΕ) 2022/1214 της Επιτροπής της 9ης Μαρτίου 2022)

⁵² Τα στοιχεία της έκθεσης επικαιροποιήθηκαν τον Οκτώβριο του 2020

Διάγραμμα 22: Τα φθίνοντα κόστη των ΑΠΕ σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 44, σελίδα 293.

Αυτά τα δεδομένα προφανώς εξηγούν το γιατί τα τελευταία χρόνια, η χρηματιστηριακή τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στη Γερμανία ήταν πάντα χαμηλότερη από ό,τι στη Γαλλία, τη χώρα με τους περισσότερους πυρηνικούς σταθμούς.

Συμπεράσματα κεφαλαίου

Η εξέταση της περιβαλλοντικής, κοινωνικής και οικονομικής βιωσιμότητας της πυρηνικής ενέργειας έδειξε αλλού καλές και αλλού κακές επιδόσεις. Η οπτικοποίηση της ανάλυσης, θα βοηθούσε στην εξαγωγή ενός άμεσου συμπεράσματος.

Ως εκ τούτου ακολουθεί πίνακας όπου απεικονίζονται οι εξεταζόμενες μεταβλητές του τριπτύχου, χωρίς συντελεστές βαρύτητας και «βαθμολογούνται» με το χαρακτηρισμό Καλή ή Κακή ανάλογα με την επίδοση που σημείωσαν (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Συνολική επίδοση πυρηνικής ενέργειας στις μεταβλητές «Περιβάλλον», «Κοινωνία», «Οικονομία»

ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ					
			ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ		
			ΚΑΛΗ	ΚΑΚΗ	
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ				
	Ανθρακικό αποτύπωμα		✓		
	Εδαφικό αποτύπωμα		✓		
	Απόβλητα			✓	
	Παροπλισμός			✓	
	ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ			✓	
	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ				
	Κατασκευή			✓	
	Καύσιμο		✓		
	Παροπλισμός			✓	
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		3	5	

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μοιάζει παρακινδυνευμένη η εκτίμηση περί βιωσιμότητας της πυρηνικής ενέργειας.

Τελικά συμπεράσματα

Η ΕΕ δεν είναι αυτόνομη ενεργειακά και αυτό της κοστίζει πολλαπλά. Η ενεργειακή της εξάρτηση από τη Ρωσία, το στρατηγικό της προμηθευτή, την καθιστά εξόχως ευάλωτη. Πρόκειται για μια σχέση που δοκιμάστηκε μέσα στα χρόνια και δοκιμάζεται πάλι σήμερα. Η κατάσταση αυτή έχει αναδείξει ως ύπατη ενωσιακή προτεραιότητα την προάσπιση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού. Η διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών παίζει προεξάρχοντα ρόλο και αποτελεί αντανakλαστική λύση. Η πυρηνική ενέργεια, που αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 εν μέρει ως απάντηση στην πολιτική αστάθεια που χαρακτήριζε της προμηθεύτριες χώρες πετρελαίου, και κλιμακώθηκε με τις πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του 1970, ξανακάνει την εμφάνιση στον πολιτικό διάλογο σαν μια πιθανή λύση. Αποτελεί εν τέλει λύση; Και πιο συγκεκριμένα: Αποτελεί μια ενεργειακή εναλλακτική, ικανή να εξασφαλίσει τον εφοδιασμό της ΕΕ, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα τις διαστάσεις της περιβαλλοντικής προστασίας, της κοινωνικής αποδοχής και της οικονομικής προσιτότητας;

Κατέστη σαφές από την ανάλυση ότι ενώ τα πυρηνικά συγκεντρώνουν κάποια επιμέρους πλεονεκτήματα, συνολικά δεν αποτελούν την καλύτερη επιλογή, περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά, αν ληφθεί μάλιστα υπόψη ότι ο βασικός ανταγωνιστής τους, δηλαδή οι ΑΠΕ, εκπληρώνουν καλύτερα τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές προδιαγραφές και βρίσκονται πλέον σε ένα προωθημένο στάδιο τεχνολογικής ωριμότητας και διείσδυσης που μειώνει κατακόρυφα και τα κόστη. Η πυρηνική ενέργεια στην Ευρώπη φαίνεται να βρίσκεται σε μαρασμό, όπως και ο θεσμικός εκφραστής της, η Ευρατόμ.

Τα συμπεράσματα αυτά επαληθεύει και η πραγματικότητα.

Η πυρηνικής ενέργεια στις προηγμένες οικονομίες δέχεται αυξανόμενες οικονομικές πιέσεις, ιδίως όταν λειτουργεί σε χώρες με αγορές που καθορίζουν ανταγωνιστικά τις χονδρεμπορικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δύο τρίτα του πυρηνικού δυναμικού στις προηγμένες οικονομίες κινδυνεύουν να κλείσουν πρόωρα τις επόμενες δύο δεκαετίες. Σε αυτό συντελεί και η γήρανση του πυρηνικού στόλου (IEA, 2019).

Σημαντικό ρόλο στην παρακμή των πυρηνικών παίζει και η επιβράδυνση στην αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, που παρατηρείται στις προηγμένες οικονομίες. Όσο κι αν φαντάζει παράδοξο, η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια μειώθηκε

στις 18 από τις 30 χώρες μέλη της IEA, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2010-2017. Διάφοροι παράγοντες ευθύνονται γι' αυτό, ο σημαντικότερος εκ των οποίων είναι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης (IEA, 2019).

Ο παραγκωνισμός των πυρηνικών είναι εμφανής και στις τάσεις που κυριαρχούν στον επιχειρηματικό κόσμο. Ο σημαντικότερος λόγος για την έλλειψη ενδιαφέροντος των επενδυτών για νέα πυρηνικά έργα σε Ευρώπη και Ηνωμένες Πολιτείες, είναι οι μεγάλες αποκλίσεις από τα χρονοδιαγράμματα που χαρακτηρίζουν τα έργα της τελευταίας δεκαετίας (IEA, 2019).

Μάλιστα, όπως φαίνεται, ούτε το μέλλον της γαλλικής πυρηνικής βιομηχανίας προδιαγράφεται ευοίωνα. Η EDF, με χρέη που έφταναν τα 43 δισεκατομμυρίων ευρώ, εντέλει κρατικοποιήθηκε (naftemporiki.gr, 2022).

Εκτός αυτού, η μειωμένη πυρηνική παραγωγή των γαλλικών εργοστασίων, εξανέμισε τις ελπίδες τις ΕΕ για απεξάρτηση από τη ρωσική ενεργειακή αγκάλη (Silverstone, 2022). Οι διακοπές στη λειτουργία ορισμένων αντιδραστήρων έφτασαν την παραγωγή στο χαμηλότερο επίπεδο της από το 1988.

Αντίθετα, τα έργα ΑΠΕ, κυρίως αιολικά και φωτοβολταϊκά έχουν γίνει ιδιαίτερα ελκυστικά, λόγω της δραματικής μείωσης του κόστους κατασκευής τους (IEA, 2019).

Πράγματι, μεγάλο ενδιαφέρον εκδηλώνουν για τις τεχνολογίες ΑΠΕ οι επενδύσεις με τη μέθοδο του Project Finance⁵³ και τα πράσινα ομόλογα που υποστηρίζουν τη χρηματοδότηση τόσο έργων ΑΠΕ, όσο και βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης (IEA-WEI, 2019).

Με ταχείς ρυθμούς φαίνεται να μειώνεται όμως και το κόστος αποθήκευσης. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες χρησιμοποιούνται τόσο στα ηλεκτρικά οχήματα όσο και στη βραχυπρόθεσμη εξισορρόπηση του δικτύου, υπερέβαιναν τα 1.100 δολάρια ΗΠΑ ανά kWh το 2010. Το 2020 το κόστος αυτό μειώθηκε κατά 89% και αντιστοιχεί πλέον σε 137 δολάρια ΗΠΑ ανά kWh. Μέχρι το 2023, οι τιμές αυτές αναμένεται να μειωθούν περισσότερο και να φτάσουν τα 100 δολάρια ΗΠΑ/kWh (Schneider et al., 2021). Το πράσινο υδρογόνο που παράγεται με ανανεώσιμες πηγές κοστίζει περίπου 2,5-5,5 EUR/kg, σύμφωνα με την από 08.07.2020 Στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το Υδρογόνο⁵⁴. Το υδρογόνο από ορυκτά καύσιμα κοστίζει

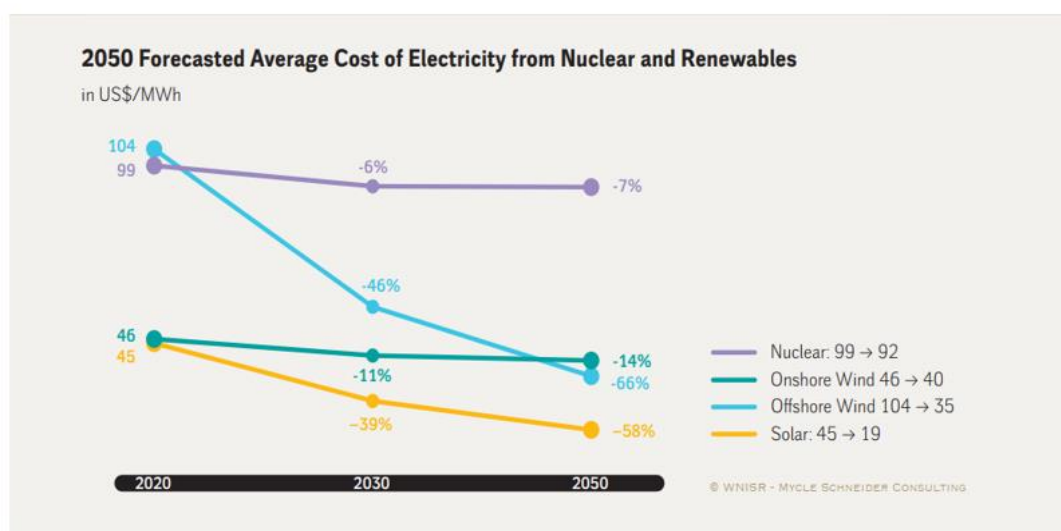
⁵³ Μέθοδος χρηματοδότησης σύμφωνα με την οποία το χρέος και τα ίδια κεφάλαια που υποστηρίζουν το έργο αποπληρώνονται από τις ταμειακές ροές που παράγει το ίδιο το έργο

⁵⁴ [COM\(2020\) 301 final](#)

περίπου 1,50 EUR/kg. Ωστόσο, η νορβηγική εταιρεία κατασκευής ηλεκτρολυτών NEL ASA ανακοίνωσε τον Ιανουάριο του 2021 ότι έχει ως στόχο την παραγωγή πράσινου υδρογόνου με κόστος 1,25 EUR/kg έως το 2025.

Μέχρι το 2050, το κόστος των φωτοβολταϊκών υπολογίζεται ότι θα αντιστοιχεί στο ένα πέμπτο του αντίστοιχου κόστους της πυρηνικής ενέργειας, σε ολόκληρη την ΕΕ, την Κίνα, την Ινδία και τις ΗΠΑ (Διάγραμμα 23). Υπό αυτές τις συνθήκες, είναι φανερό ότι πιθανή κατασκευή οποιουδήποτε πυρηνικού έργου θα οφείλεται σε ισχυρά συμφέροντα που δεν συνάδουν με τη λειτουργία της αγοράς.

Διάγραμμα 23: Πρόβλεψη για το 2050 του κόστους της παραγόμενης από πυρηνικά και ΑΠΕ ηλεκτρικής ενέργειας



Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 45, σελίδα 295.

Περαιτέρω, η ικανότητα ενσωμάτωσης των μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχει βελτιωθεί σημαντικά, μειώνοντας τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της πυρηνικής ενέργειας όσον αφορά την παροχή ευελιξίας (IEA, 2019). Ιδιαίτερα τώρα που έρευνες δείχνουν ότι η μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα με 100% ΑΠΕ είναι πλέον ρεαλιστική και οικονομικά βιώσιμη⁵⁵ (Traber et al., 2021).

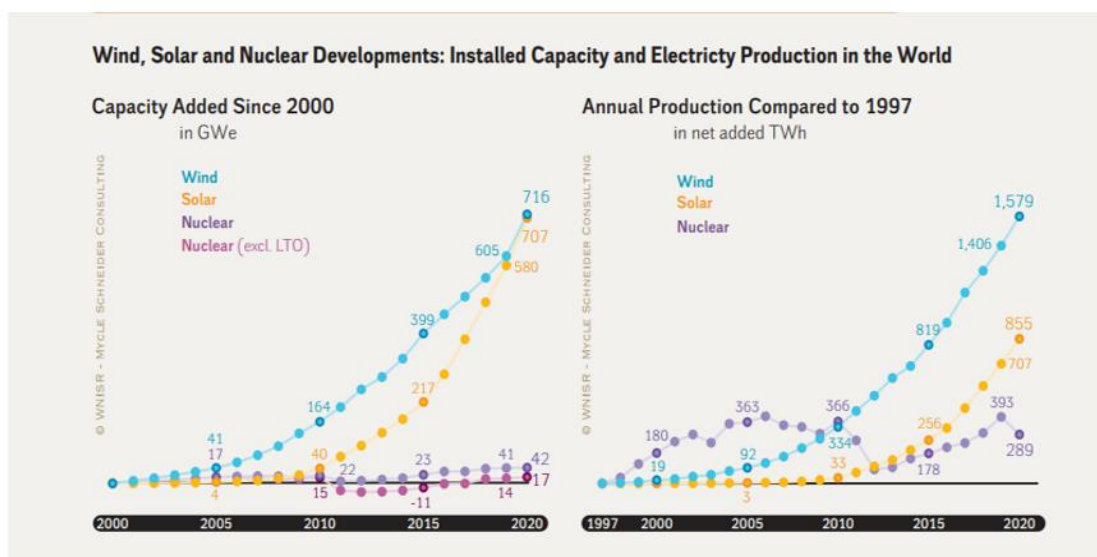
⁵⁵ Αντίθετα, η ίδια μελέτη καταλήγει ότι τα ορυκτά και η πυρηνική ενέργεια είναι- σύμφωνα με τους υπολογισμούς κόστους της τρέχουσας βιβλιογραφίας-ενεργειακά αναποτελεσματικά, υπερβολικά δαπανηρά και απαιτούν μεγάλους χρόνους κατασκευής ώστε να θεωρηθούν ουσιαστική λύση στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής (Traber et al., 2021)

Είναι απόλυτα εξηγήσιμο λοιπόν το γεγονός ότι παρατηρείται μεγάλη στροφή στις τεχνολογίες ΑΠΕ.

Συγκεκριμένα, εντός του 2020, σημειώθηκε καινούργιο ρεκόρ με την εγκατάσταση νέων έργων ΑΠΕ δυναμικότητας 256 GW (εξαιρουμένης της υδροηλεκτρικής), ξεπερνώντας το προηγούμενο ρεκόρ κατά σχεδόν 30%.

Από την αρχή της χιλιετίας παρατηρείται μία αύξηση δυναμικότητας κατά 716 GW για την αιολική ενέργεια και κατά 707 GW για την ηλιακή ενέργεια, σε αντίθεση με την πυρηνική ενέργεια, της οποίας η δυναμικότητα αυξήθηκε την ίδια περίοδο κατά 42 GW μόνο (Διάγραμμα 24, Schneider et al., 2021).

Διάγραμμα 24: Ανάπτυξη ΑΠΕ και πυρηνική ενέργειας: Εγκατεστημένη ισχύς από το 2000 και εξέλιξη ετήσιας παραγωγής με έτος βάσης το 1997



Sources: WNISR with IAEA-PRIS, IRENA, BP Statistical Review, 2021

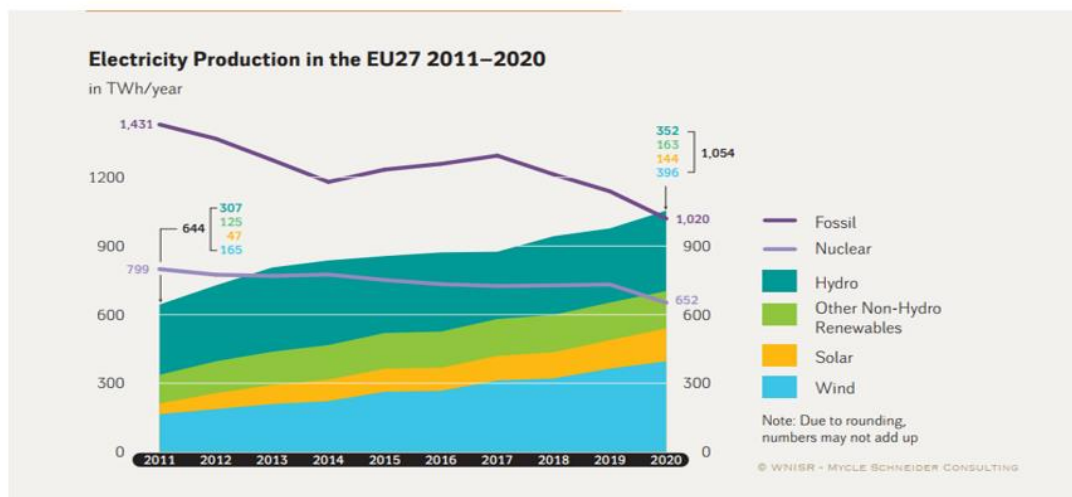
Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 46, σελίδα 296.

Η παγκόσμια τάση επαναλαμβάνεται και στην ΕΕ. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των υδροηλεκτρικών, συνεχίζουν να αυξάνονται και το 2020 αποτελούν την κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ, παράγοντας περίπου το 39% της (έναντι 34,6% το 2019), ενώ τα ορυκτά καύσιμα έπεσαν στο 36%.

Η πυρηνική παραγωγή μειώθηκε κατά 11%, σημειώνοντας έτσι τη μεγαλύτερη πτώση από το 1990. Το 2020 είναι επίσης η πρώτη χρονιά στην ΕΕ που οι μη υδροηλεκτρικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παράγουν περισσότερη ενέργεια με 702

TWh δυναμικότητα, από ό,τι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες με 652 TWh δυναμικότητα (688 TWh μεικτά) (Διάγραμμα 25).

Διάγραμμα 25: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ27 μεταξύ των ετών 2011-2020

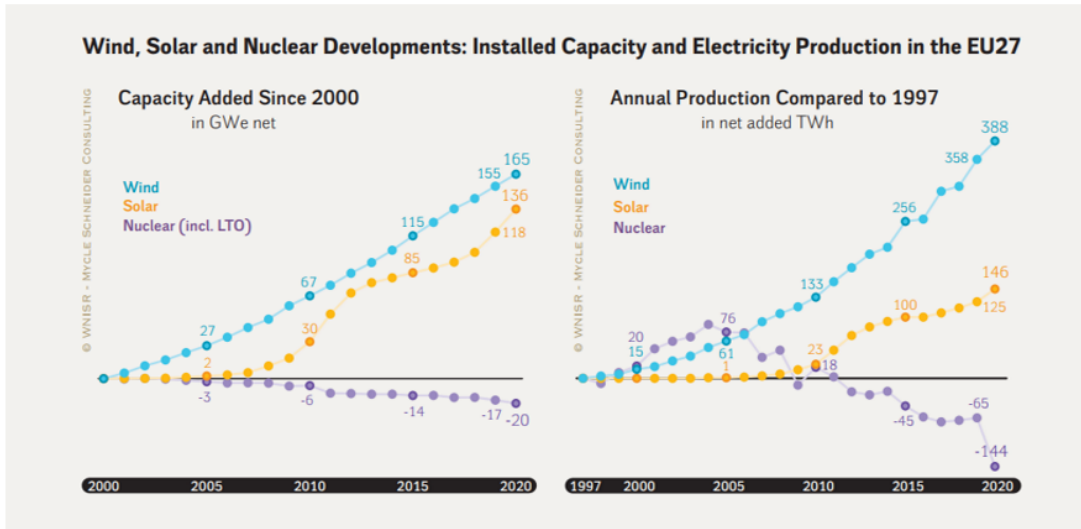


Sources: IAEA-PRIS, Agora Energiewende and Ember, 2021

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 52, σελίδα 302.

Από το 2000, προστέθηκαν 164,5 GW εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας, και 136,2 GW ηλιακής, ενώ η πυρηνική ενέργεια μειώθηκε κατά 20 GW. Από την υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997, η ετήσια παραγωγή αιολικής και ηλιακής ενέργειας αυξήθηκε κατά 388 TWh και 146 TWh αντίστοιχα, την ίδια στιγμή που η πυρηνική ενέργεια παρήγαγε 144 TWh λιγότερη ενέργεια (-151,8 TWh ακαθάριστα) (Διαγράμματα 26 και 27).

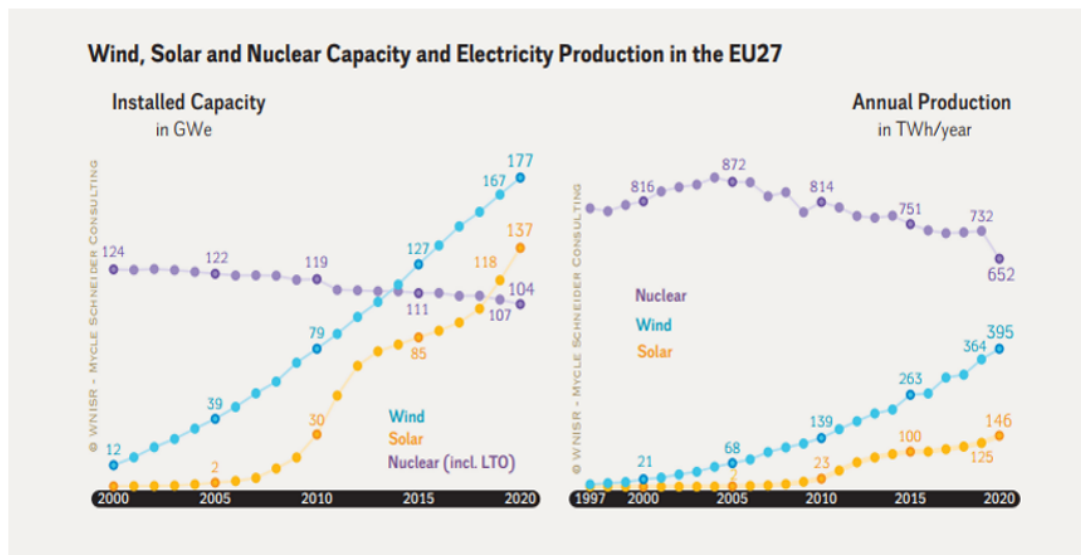
Διάγραμμα 26: Ανάπτυξη ΑΠΕ και πυρηνικής ενέργειας στην ΕΕ27: Εγκατεστημένη ισχύς από το 2000 και εξέλιξη ετήσιας παραγωγής με έτος βάσης το 1997



Sources: WNISR with IAEA-PRIS, IRENA, BP, 2021

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 53, σελίδα 303.

Διάγραμμα 27: Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και πυρηνικά στην ΕΕ27 (σε απόλυτους αριθμούς)



Sources: WNISR with IAEA-PRIS, IRENA, BP, 2021

Σημείωση: Αναδημοσίευση από την έκθεση [«World Nuclear Industry Status Report 2021»](#), ©A Mycle Schneider Consulting Project, διάγραμμα 54, σελίδα 303.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική είναι και η επισήμανση ότι δεν υπάρχει στόχος για την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας σε επίπεδο ΕΕ, τουλάχιστον όχι όπως υπάρχει για τις ΑΠΕ.

Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία που αποτελεί την κεντρική αναπτυξιακή στρατηγική της ΕΕ, όπως έχει εξειδικευτεί με μια σειρά εργαλεία (το πιο όψιμο των οποίων το RePowerEU που έχει ως στόχο την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα), μένει προσηλωμένη στη στροφή στις ΑΠΕ, για τις οποίες μάλιστα καθορίζονται νέοι πιο φιλόδοξοι στόχοι. Στην πρόταση της Επιτροπής για την τροποποίηση της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/2001⁵⁶ ο σημερινός στόχος της ΕΕ για συμμετοχή των ΑΠΕ σε ποσοστό τουλάχιστον 32% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας της Ένωσης έως το 2030, αυξάνεται σε 40%. Το Μάιο του 2022 στην ανακοίνωσή της⁵⁷ για το Σχέδιο RePowerEU, η Επιτροπή πρότεινε ακόμα μεγαλύτερη αύξηση του στόχου ώστε να φτάσει το 45% (Karageorgou, 2022· European Commission, 2022a).

Το κεφάλαιο θα κλείσει με μια αναφορά στο πόλεμο Ρωσίας -Ουκρανίας και τις συνέπειές του στο πυρηνικό εργοστάσιο της περιοχής Zaporizhzhia, όπου συνεχίζονται οι συγκρούσεις. Στην ετήσια έκθεση “World Nuclear Industry Status Report 2022” οι συντάκτες συμπεριέλαβαν ένα κεφάλαιο για την “Πυρηνική ενέργεια και τον πόλεμο”. Το κεφάλαιο αποτελεί μία πολύ καλή καταγραφή του εκρηκτικού συνδυασμού πυρηνικών και πολέμου. Κανένας πυρηνικός σταθμός παραγωγής ενέργειας στον κόσμο δεν έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί εν μέσω ενός πολέμου πλήρους κλίμακας, που περιλαμβάνει βομβαρδισμούς, κατάληψη του σταθμού και απειλές κατά των ανθρώπων που εργάζονται στις εγκαταστάσεις. Σε ένα χρονολόγιο των συμβάντων στο σταθμό, που βασίστηκε στις ανταποκρίσεις της Κρατικής Ρυθμιστικής Επιθεώρησης Πυρηνικής Ενέργειας της Ουκρανίας⁵⁸ και στις ανακοινώσεις του Γενικού Διευθυντή της ΙΑΕΑ Rafael Mariano Grossi, είναι έκδηλη η συνεχής αγωνία και ο φόβος για την πρόκληση μιας πυρηνικής καταστροφής, που θα μπορούσε να προκληθεί από τις εχθροπραξίες (Mytle et al., 2022· Stover, 2022).

⁵⁶ Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Δεκεμβρίου 2018 για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές

⁵⁷ [Ανακοίνωση της Επιτροπής COM\(2022\) 230 final](#)

⁵⁸ State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine (SNRIU)

Πρόκειται για ένα ενδεχόμενο πολύ πιθανό όσο διαρκεί ο πόλεμος, που κάνει ακόμα πιο αβέβαιο το ρόλο της πυρηνικής ενέργειας στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.

Επίλογος

Μήπως τελικά η πυρηνική ενέργεια έχει εξαντλήσει και τα δύο σημεία καμπής (watersheds) για τα οποία είχε μιλήσει ο Αυστριακός φιλόσοφος και ιερέας Ivan Illich τη δεκαετία του 1970; Σύμφωνα με αυτή την θεωρητική κατασκευή, κάθε σύγχρονος θεσμός περνάει από δύο κατώφλια: Το πρώτο όταν ο θεσμός γίνεται πιο αποτελεσματικός από τις πρακτικές που αντικαθιστά, το δεύτερο όταν η αυξανόμενη ανάπτυξη του θεσμού, αυξάνει μόνο την προσπάθεια που απαιτείται για τη συντήρησή του. Για να γίνει κατανοητός φέρνει το παράδειγμα του αυτοκινήτου: Το αυτοκίνητο, αρχικά έκανε πιο γρήγορες τις μετακινήσεις μας, έγινε δηλαδή πιο αποτελεσματικό από το κάρο, το ποδήλατο, ή τα πόδια. Τώρα όμως το πληρώνουμε πλέον ακριβά, αφού ένα σεβαστό μέρος των εισοδημάτων μας δαπανάται στη συντήρησή του στα καύσιμά του, στα τέλη κυκλοφορίας, για να σπαταλάμε ατελείωτες ώρες στην κίνηση ή ψάχνοντας για πάρκινγκ. Έγινε, με λίγα λόγια, αντιπαραγωγικό. Αυτό φαίνεται να έχει συμβεί και με την πυρηνική ενέργεια. Διατηρούμε μία κατάσταση που φαίνεται να κοστίζει περισσότερο απ' όσα μας δίνει. Ποια είναι λοιπόν η εξήγηση αυτού του ανορθολογισμού; Τα δραστικά μονοπώλια, λέει ο Illich, τα οποία αποτελούν υπολογίσιμες ομάδες πίεσης και δημιουργούν ανάγκες που μόνο τα ίδια μπορούν να ικανοποιήσουν (GEERTS, 2017). Ίσως αυτά και η νοσταλγία για μια εποχή που χάνεται, δίνουν το φιλί της ζωής στην τεχνολογία που μας έχει τρομάξει όσο καμιά άλλη.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

- Αλιγιζάκη, Α. (2018). *ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΚΑΙΟ ΤΗΣ ΕΕ-Ο αντίκτυπος στην ευρωπαϊκή ενεργειακή ασφάλεια* (ΣΑΚΚΟΥΛΑΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ, Ed.).
- Βερέττας, Μ. (2011). *Τα πυρηνικά*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΕΡΕΤΤΑ.
- Βερναρδάκη, Φ. (2022). *Η ενεργειακή εξάρτηση της ΕΕ από τη Ρωσική Ομοσπονδία*.
- Γεωργακάκος, Π., Σκαλωμένος, Α., Σφαρνάς, Ν., & Χριστακόπουλος, Ι. (n.d.). Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ. In *ΦΥΣΙΚΗ Β' ΛΥΚΕΙΟΥ*. ΙΤΥΕ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ. Retrieved December 17, 2022, from http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2682/Fysiki_B-Lykeiou-GP_html-empl/index.html
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2022, May 18). *REPowerEU*. PressCorner EU. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP_22_3131
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. (2022). *Οι ιδρυτικές Συνθήκες*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/1/the-first-treaties>
- Καπανίδης, Α. (2017). «Ασφάλεια εσωτερικού ενεργειακού εφοδιασμού στην ηλεκτρική ενέργεια. Ευρωπαϊκό και Ελληνικό δίκαιο». ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ.
- Κουλούρης, Ν. (n.d.). *ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΔΙΚΑΙΟΥ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*. Retrieved December 17, 2022, from <https://repo.euc.ac.cy/bitstream/handle/123456789/2131/%20.pdf?sequence=1>
- Κυριακίδου, Ζ. (2020). *Η εξέλιξη των μέτρων ασφαλείας στα πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Σύγκριση περιπτώσεων Chernobyl 1986 και Fukushima 2011* [ΕΘΝΙΚΟ ΚΙΑ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ]. <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/2918388/file.pdf>
- Μενγκ-Παπαντώνη, Μ. (2021). *Πολιτική για την ενέργεια-1*.
- Μιχαλόπουλος, Α. (2022). *Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΕ ΤΩΝ 27* [Πανεπιστήμιο Πειραιώς]. https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/14345/Michalopoulos_bio2028.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Μπούζιου, Μ. (2020). Κρατικές ενισχύσεις στον τομέα της ενέργειας_ Μετάβαση σε μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη [Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών] <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2935673/theFile>
- Πίτσικας, Γ. (n.d.). Το πείραμα των 2 οπών. *Φιλοσοφική Λίθος*.
- Σιόβας, Δ. (2015). [Αναπαραστάσεις του πυρηνικού ολέθρου στο συλλογικό φαντασιακό](#) [ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ].

Χριστοφόρου, Λ. (2022). *Εισήγηση της Επιτροπής Ενέργειας της Ακαδημίας Αθηνών με θέμα: «Προοπτικές για την Πυρηνική Ενέργεια στο Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής»*. <http://www.academyofathens.gr/el/announcements/press-releases/20220527-0>

Ξενόγλωσση

Belgium shuts down Doel 3. (2022, September 27). *Nuclear Engineering International*. <https://www.neimagazine.com/>

BP (2021). *Statistical Review of World Energy 2021- EU's energy market in 2020*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-eu-insights.pdf>

BP (2022). *BP Statistical Review of World Energy 2022*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>

Britannica (n.d.). Kyshtym disaster. In *Britannica*. Britannica. Retrieved December 17, 2022, from <https://www.britannica.com/facts/Kyshtym-disaster>

Brook, B. W., & Bradshaw, C. J. A. (2015). Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 29(3), 702–712. <https://doi.org/10.1111/cobi.12433>

Catherine, C. (2022, February 24). Why Europe is so dependent on Russia for natural gas. *CNBC Channel*. <https://www.cnbc.com/2022/02/24/why-europe-depends-on-russia-for-natural-gas.html>

Chakravartty, A. (2013). Fukushima: leak of radioactive water termed level 3 accident. *Down to Earth*. <https://www.downtoearth.org.in/news/fukushima-leak-of-radioactive-water-termed-level-3-accident-41969>

Charron, S., Mansoux, H., Brenot, J., & Bonnefous, S. (2000). *The IRSN barometer of the opinion on risks and security, a 10 years old practical tool to observe the perception of risks in France*. <https://www.irsn.fr/EN/Research/publications-documentation/Publications/DSDRE/Pages/The-IRSN-barometer-of-the-opinion-on-risks-and-security-a-10-years-old-practical-tool-to-observe-the-522.aspx>

Chiti, E. (2022). MANAGING THE ECOLOGICAL TRANSITION OF THE EU: THE EUROPEAN GREEN DEAL AS A REGULATORY PROCESS. *Common Market Law Review*, 59, 19–48.

Council of the European Union, & General Secretariat of the Council. (2016). *ΣΥΝΘΗΚΗ ΕΥΡΩΠΑΝΩΝ ΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΚΔΟΣΗ*. Publications Office EU. <https://doi.org/10.2860/47198>

CVCE. (2016). Euratom's monopoly over the supply of fissile materials. *Historical Events in the European Integration Process (1945–2014)*. <https://www.cvce.eu/en/education/unit-content/-/unit/02bb76df-d066-4c08-a58a->

d4686a3e68ff/6dd9bc1d-15f7-4ffe-abdd-4f3012d119e7/Resources#82d06b08-b322-45b9-be85-5736a6b28c8f_en&overlay

ENRESA. (n.d.). *Dismantling of the Vandellós I Nuclear Power Plant*. ENRESA. Retrieved December 17, 2022, from <https://www.enresa.es/eng/index/activities-and-projects/dismantling-and-environmental-restoration/dismantling-of-vandellos-i-nuclear-power-plant>

EURELECTRIC. (2022). *Power Barometer 2022*. <https://powerbarometer.eurelectric.org/>

European Commission. (2017). *Ενδεικτικό Πυρηνικό Πρόγραμμα 2017*. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2017:0237:FIN:EL:PDF>

ENERGY PRICES AND COSTS IN EUROPE, Pub. L. No. COM(2020) 951 final, European Union (2020). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0951&rid=9>

EUROPEAN COMMISSION. (2022). *Euratom Supply Agency*. European Union. https://euratom-supply.ec.europa.eu/index_el

European Commission. (2022, March 16). *Statement by Commissioner for Energy Kadri Simson on Synchronisation of the Continental European Electricity Grid with Ukraine and Moldova*. European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/statement_22_1789

European Commission, & Directorate-General for Budget. (2021). *The EU's 2021-2027 long-term Budget and NextGenerationEU: facts and figures*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2761/91357>

European Council. (2009). *ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ*. European Communities. <https://www.consilium.europa.eu/media/30807/qc7809568elc.pdf>

EUROPEANA. (2020). *Η από κοινού διαχείριση του άνθρακα και του χάλυβα*. <https://www.europeana.eu/el/exhibitions/70th-anniversary-of-the-schuman-declaration/pooling-coal-and-steel-resources>

EUROSTAT. (2020a). *What kind of energy do we consume in the EU?* <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-3a.html?lang=en>

EUROSTAT. (2020b). *What do we produce in the EU?* EUROSTAT. <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2b.html?lang=en>

EUROSTAT. (2020c). *What is the source of the electricity we consume?* <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-3b.html>

EUROSTAT. (2020d). *Energy, transport and environment statistics 2020 edition*. <https://doi.org/10.2785/463410>

EUROSTAT. (2022a). *Electricity price statistics-Statistics explained*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics

- EUROSTAT. (2022b). *Nuclear energy statistics-Statistics explained*.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Nuclear_energy_statistics#:~:text=Nuclear%20plants%20generated%20around%2024.6,in%20the%20EU%20in%202020.&text=In%202020%2C%2013%20EU%20countries,%2C%20Slovakia%2C%20Finland%20and%20Sweden.
- EUROSTAT. (2022c, February). *Energy statistics - An overview-Statistics explained*.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Primary_energy_production
- EUROSTAT. (2022d, March). *Coal production and consumption statistics*.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Coal_production_and_consumption_statistics
- EUROSTAT. (2022e, June 17). *Energy use in households in 2020*.
[https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220617-1#:~:text=In%202020%2C%20households%20accounted%20for,and%20derived%20heat%20\(8.2%25\).](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220617-1#:~:text=In%202020%2C%20households%20accounted%20for,and%20derived%20heat%20(8.2%25).)
- Frisch, O. (1979). *Τα λίγα που θυμάμαι* (1996th ed.). Διάυλος.
- GEERTS, R.-J. (2017). *PHILOSOPHICAL EXPLORATIONS ON ENERGY TRANSITION* [Wageningen University]. <https://doi.org/10.18174/400887>
- Gil, L. (2020, November 26). *Finland's Spent Fuel Repository a "Game Changer" for the Nuclear Industry, Director General Grossi Says*. IAEA.
<https://www.iaea.org/newscenter/news/finlands-spent-fuel-repository-a-game-changer-for-the-nuclear-industry-director-general-grossi-says>
- Gordon, H. (2017, April 24). Journey deep into the Finnish caverns where nuclear waste will be buried for millenia. *Wired*.
- Gregoire, T. (2022). The future of Diablo Canyon. *Radwaste Solutions*, 29(2).
<https://www.ans.org/pubs/magazines/rs/>
- He, Z. (2013, March 19). Chinese nuclear disaster "highly probable" by 2030. *China Dialogue*. <https://chinadialogue.net/en/energy/5808-chinese-nuclear-disaster-highly-probable-by-2-3/>
- Heinrich Böll Foundation. (2018). *ENERGY ATLAS 2018*. Heinrich Böll Foundation.
www.foeeurope.org/energyatlas
- IAEA. (2018). *Country Nuclear Power Profiles-SPAIN*. IAEA.
<https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Spain/Spain.htm>
- IAEA. (2022a). *Country Nuclear Power Profiles-BELGIUM*. IAEA.
<https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Belgium/Belgium.htm>
- IAEA. (2022b). *Country Nuclear Power Profiles-GERMANY*. IAEA.
<https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Germany/Germany.htm>

- IAEA. (2022c). *Country Nuclear Power Profiles-HUNGARY*. IAEA. <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Hungary/Hungary.htm>
- IAEA. (2022d). *Country Nuclear Power Profiles-ITALY*. IAEA. <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Italy/Italy.htm>
- IAEA. (2022e). *Country Nuclear Power Profiles-ROMANIA*. IAEA. <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Romania/Romania.htm>
- IAEA. (2022f). *IAEA_NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD*. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-42_web.pdf
- IEA. (2021). *Global Energy Review 2021: Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO 2 emissions in 2021*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf>
- IEA. (2019). *Nuclear Power in a Clean Energy System*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad5a93ce-3a7f-461d-a441-8a05b7601887/Nuclear_Power_in_a_Clean_Energy_System.pdf
- IEA. (2020). *Power systems in transition - Challenges and opportunities ahead for electricity security*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power_systems_in_transition.pdf
- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>
- IEA-WEI. (2019). *World Energy Investment 2019*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c299fa1e-f2f4-4b81-bfb2-672d3a50ccab/WEI2019.pdf>
- iefimerida. (2022, October 11). Γκρέτα Τούνμπεργκ: Προτιμότερη η πυρηνική ενέργεια από τον λιγνίτη. *Iefimerida*. <https://www.iefimerida.gr/kosmos/gkreta-toynmpergk-pyriniki-energeia-ligniti>
- Jacoby, M. (2020, March 30). As nuclear waste piles up, scientists seek the best long-term storage solutions. *Chemical and Engineering News*.
- Karageorgou, V. (2022). *EU Climate Law and The Fit for 55 legislative package*.
- Kempf, C. (2019). Green Deal for Europe: More Climate Protection and Fewer Fossil Fuel Wars. In *Intereconomics* (Vol. 54, Issue 6, pp. 353–358). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10272-019-0853-9>
- MARIE CURIE ALUMNI Association. (2020). *All you need to know about the Joint Research Centre (JRC)*. <https://www.mariecuriealumni.eu/statutes>
- Mraz, G., & Lorenz, P. (2022). *NUCLEAR WASTE MANAGEMENT IN THE EU IMPLEMENTATION OF DIRECTIVE 2011/70/EURATOM ASSESSMENT REPORT*. <http://www.joint-project.org/>

- Murakami, T., & Anbumozhi, V. (2022). *Chapter 2 Status of Small Modular Reactor Development and Deployment in the World*.
- Mytle, S., Antony, F., Julie, H., MV, R., Michael, S., Tatsujiro, S., von Hirschhausen, C., Wimmers, A. J., & Schneider, N. (2022). *The World Nuclear Industry Status Report 2022*. www.WorldNuclearReport.org,
- naftemporiki.gr. (2022, July 6). Γαλλία: Κρατικοποιείται η EDF, κολοσσός της πυρηνικής ενέργειας. *Naftemporiki.Gr*.
<https://www.naftemporiki.gr/kosmos/1349549/gallia-kratikoipoieitai-i-edf-kolossos-tis-pyrinikis-energeias/>
- Nalbandian-Sugden, H. (2016). *Operating ratio and cost of coal power generation*.
<https://usea.org/sites/default/files/Operating%20ratio%20and%20cost%20of%20coal%20power%20generation%20-%20ccc272-1.pdf>
- NEA. (2021a). *Long-Term Operation of Nuclear Power Plants and Decarbonisation Strategies*. https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_60310/long-term-operation-of-nuclear-power-plants-and-decarbonisation-strategies?details=true
- NEA. (2021b). *Nuclear Energy Data 2020*. OECD. <https://doi.org/10.1787/736e93d4-en-fr>
- NEA. (2022a). *Nuclear Energy Data 2021*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9ee42f54-en>
- NEA. (2022b). *Principles and Practice of International Nuclear Law*. https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_65159/principles-and-practice-of-international-nuclear-law#:~:text=Principles%20and%20Practice%20of%20International%20Nuclear%20Law%20examines%20the%20various,secure%20use%20of%20nuclear%20energy.
- Nea. (2022). *Meeting Climate Change Targets: The Role of Nuclear Energy*.
https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_69396/meeting-climate-change-targets-the-role-of-nuclear-energy?details=true
- NEA. (2020). *Radioactive waste management*. NEA. https://www.oecd-neo.org/jcms/c_12892/radioactive-waste-management
- NEA-IAEA. (2020). *Uranium 2020: Resources, Production and Demand*.
https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_52718/uranium-2020-resources-production-and-demand?details=true
- Nuclear Energy Institute. (n.d.). *Nuclear waste*. Retrieved December 17, 2022, from <https://www.nei.org/fundamentals/nuclear-waste>
- Our World In Data. (2020). *Electricity production from fossil fuels, nuclear and renewables, European Union (27)*. <https://ourworldindata.org/grapher/elec-fossil-nuclear-renewables?country=~European+Union+%2827%29>
- Pearce, F. (2012). How to dismantle a nuclear reactor. *New Scientist*, 213(2855), 46–47.
[https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(12\)60643-5](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(12)60643-5)

- Rippon, S. (1984). History of the PWR and its worldwide development. *Energy Policy*, 12(3), 259–265. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(84\)90026-0](https://doi.org/10.1016/0301-4215(84)90026-0)
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2022). Electricity mix. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/electricity-mix>
- Roberts A., & Medvedev Z. (1977). *Η πολιτική της πυρηνικής ενέργειας* (1985th ed.). Ελεύθερος Τύπος.
- Schneider, M., Froggatt, A., Chair, H. S., Suzuki, T., Wealer, B., Schneider, N., Kan, N., Hazemann, J., Ahmad, A., Budjeryn, M., le Moal, M., & Ramana, M. v. (2021). *The World Nuclear Industry Status Report 2021*. <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2021-lr.pdf>
- Silverstone, M. (2022, June 21). French Nuclear Power Crisis Frustrates Europe’s Push to Quit Russian Energy. *Energy Central*. <https://energycentral.com/c/ec/french-nuclear-power-crisis-frustrates-europe%E2%80%99s-push-quit-russian-energy>
- Södersten, A. (2018). *Euratom at the Crossroads*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781788112253>
- Steitz, C., & Lewis, B. (2016, February 16). EU short of 118 billion euros in nuclear decommissioning funds . *REUTERS*. <https://www.reuters.com/article/uk-europe-nuclear-idAFKCN0VP2KN>
- Traber, T., Hegner, F. S., & Fell, H.-J. (2021). An Economically Viable 100% Renewable Energy System for All Energy Sectors of Germany in 2030. *Energies*, 14(17), 5230. <https://doi.org/10.3390/en14175230>
- World Nuclear Association. (2022a). *Supply of Uranium*. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>
- World Nuclear Association. (2022b). *World Nuclear Performance Report 2022*. <https://www.world-nuclear.org/getmedia/9dafaf70-20c2-4c3f-ab80-f5024883d9da/World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx>
- World Nuclear Association. (2022c). *Economics of Nuclear Power*. <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>
- World Nuclear News. (2022, May 24). *Belgium government allocates funding for SMR research*. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Belgium-government-allocates-funding-for-SMR-resea>