

Η τεχνολογία Blockchain ως μέσο ενδυνάμωσης των ενεργειακών καταναλωτών και των ενεργειακών κοινοτήτων (στην ευρωπαϊκή και ελληνική έννομη τάξη)

Αγγελική Κ. Ζησιού*

I. Η ψηφιοποίηση της ενέργειας

Η ενεργειακή μετάβαση στην Ευρώπη καθοδηγείται από τρεις κινητήριες δυνάμεις: την απανθρακοποίηση (Decarbonisation), την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας (Decentralisation of energy generation) και την ψηφιοποίηση (Digitalisation)¹. Οι τρεις αυτοί πυλώνες, γνωστοί και ως 3D strategy ή 3D revolution, διαμορφώνουν ένα νέο πλαίσιο για την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος, ανταποκρινόμενο στους σύνθετους και αλληλοεξαρτώμενους στόχους της ευρωπαϊκής πολιτικής για τον τομέα της ενέργειας. Η απανθρακοποίηση και η αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας απαιτούν ενεργή πολιτική βούληση και κοινωνική συμμετοχή. Η υλοποίησή τους προϋποθέτει την ανάπτυξη κατάλληλων πολιτικών εργαλείων και την αποδοχή τους τόσο από τα κράτη-μέλη όσο και από τους πολίτες. Ειδικά για την απανθρακοποίηση, η επίτευξη των στόχων που σχετίζονται με την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης συνδέεται με την ανάγκη αναθεώρησης των καταναλωτικών προτύπων. Η μετάβαση σε ένα βιώσιμο ενεργειακό μοντέλο απαιτεί αλλαγή νοοτροπίας και συμπεριφοράς, ενισχύοντας μια bottom-up προσέγγιση, βασισμένη στην ευαισθητοποίηση και την ενεργή συμμετοχή των πολιτών.

Αντίθετα, η ψηφιοποίηση δεν προκύπτει ως πολιτική επιλογή αλλά ως αναγκαιότητα που επιβάλλεται από την τεχνολογική εξέλιξη και τις απαιτήσεις της σύγχρονης οικονομίας. Η ραγδαία μείωση του κόστους των ψηφιακών τεχνολογιών και η αύξηση των δυνατοτήτων τους την τελευταία δεκαετία έχουν καταστήσει την ψηφιοποίηση κεντρικό άξονα στρατηγικής για κράτη και επιχειρήσεις. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Ενέργεια (International Energy Agency, IEA), οι επενδύσεις στην ψηφιοποίηση του ενεργειακού τομέα αυξάνονται με ρυθμό 20% ετησίως από το 2014, φτάνοντας τα 47 δισ. δολάρια το 2016² και ξεπερνώντας τα 70 δισ. δολάρια το 2023³, με την Ευρωπαϊκή Ένωση να διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο.

Η ψηφιοποίηση λειτουργεί ως ενοποιητικός παράγοντας για τους διαφορετικούς φορείς του ενεργειακού συστήματος προωθώντας τη δημιουργία μιας ευέλικτης και ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας. Οι καταναλωτές αποκτούν ενεργό ρόλο, με δυνατότητα πρόσβασης σε πολλαπλές μορφές ενέργειας με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Η έννοια του digital energy ή αλλιώς η έννοια της ψηφιοποίησης της ενέργειας περιλαμβάνει την προσπάθεια εκμετάλλευσης και ενσωμάτωσης της τεχνολογικής προόδου στον ενεργειακό τομέα. Χαρακτηριστικά, η IEA επισημαίνει ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να ενισχύσουν την αποδοτικότητα και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, προσφέροντας νέες δυνατότητες στους καταναλωτές⁴.

Ήδη στον βιομηχανικό τομέα, η ψηφιακή μετάβαση προσφέρει σημαντικά οφέλη. Τεχνολογίες όπως Internet of Things (IoT)⁵, έξυπνοι αισθητήρες, digital twins⁶ και συστήματα πρόβλεψης και ελέγχου, επιτρέπουν την ανάπτυξη εργαλείων που βελτιστοποιούν τις ενεργειακές διεργασίες και μειώνουν το κόστος. Οι δραστηριοποιούμενοι φορείς και κυρίως οι εταιρίες ενέργειας, ακολουθώντας αυτή την

* Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια Νομικής Σχολής ΔΠΘ, Δικηγόρος, LL.M., PhD

¹ J. VASCONCELOS, The Energy Transition from the European Perspective, σε: Clean Energy Law and Regulation, López-Ibot Mayor V. (εκδ.), Wildy, Simmonds & Hill Publishing, Great Britain, 2017, σ. 3.

² International Energy Agency, Digitalisation & Energy Technology Report, 2017, διαθέσιμο στο: <https://www.iea.org/digital/>.

³ European Commission, ANNEX to the Commission Implementing Decision on the financing of the Digital Europe Programme and the adoption of the multiannual work programme for 2025–202, C(2025) 1839 final.

⁴ J. SCOTT, Digital Energy, σε: The European Energy Transition: Actors, Factors, Sectors, Nies S. (εκδ.), Claeys&Casteels Law Publishing, Netherlands, 2019, σ. 374-375.

⁵ A. KARKOUCH / H. MOUSANNIF / H. AL. MOATASSIME / T. NOEL, Data Quality in Internet of Things: A State-of-the-art Survey, J. Netw. Comput. Appl., (73), 2016, σ. 57-81.

⁶ Μαθηματικό (ψηφιακό) μοντέλο προσομοίωσης της πραγματικής διεργασίας.

τάση, καλούνται να επαναπροσδιορίσουν τα επιχειρηματικά τους μοντέλα και να προσαρμοστούν στη νέα ψηφιακή πραγματικότητα.

Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το 2022 το Σχέδιο Δράσης για την Ψηφιοποίηση του Ενεργειακού Συστήματος, με στόχο την ενίσχυση των ψηφιακών υποδομών, την προώθηση έξυπνων τεχνολογιών και την αξιοποίηση ενεργειακών δεδομένων προς όφελος του τελικού χρήστη⁷. Στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, οι δυνατότητες αξιοποίησης της τεχνολογίας είναι τεράστιες. Τεχνικές όπως Big Data Analytics, Machine Learning και η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence, AI) προσφέρουν νέες δυνατότητες κατανόησης και αυτοματοποίησης των συστημάτων⁸. Εφαρμογές όπως η βελτιστοποίηση της απόκρισης ζήτησης και η προγνωστική συντήρηση (predictive maintenance, πρόβλεψη του ακριβούς χρόνου συντήρησης και αντικατάστασης εξοπλισμού) βασίζονται σε αυτές τις τεχνολογίες. Αντίστοιχα, η τεχνολογία Blockchain μπορεί να διευκολύνει τις συναλλαγές ενέργειας χωρίς μεσάζοντες, προωθώντας νέες μορφές peer-to-peer (P2P)⁹ εμπορίου¹⁰.

II. Ενεργειακός καταναλωτής και ενεργειακές κοινότητες: η εξελικτική πορεία της έννοιας και της θέσης τους

Η συγκύρια κρίνεται κομβικής σημασίας αναλογιζόμενοι την ήδη κυρωθείσα τέταρτη κατά σειρά δέσμη μέτρων τόσο για τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για τον τομέα του φυσικού αερίου. Η νέα αυτή νομοθετική παρέμβαση ενισχύει τη δυναμική μετατροπής των καταναλωτών σε ενεργούς συμμετέχοντες στην ενεργειακή μετάβαση, ευθυγραμμίζοντας τις πολιτικές προθέσεις με τις τεχνολογικές εξελίξεις και την ψηφιοποίηση του ενεργειακού τομέα. Οι καταναλωτές πλέον δεν περιορίζονται σε νομοθετικές εξαγγελίες και θεωρητικές δυνατότητες, αλλά εξοπλίζονται με απτές λύσεις. Η απομάκρυνση ωστόσο από τις παραδοσιακές μορφές συναλλαγής και η υιοθέτηση αυτοματοποιημένων διαδικασιών ενδέχεται να αναδείξει κενά στο ισχύον νομικό πλαίσιο, το οποίο ενδέχεται να μην επαρκεί για την προστασία των εμπλεκόμενων μερών.

Η έννοια και ο ρόλος του ενεργειακού καταναλωτή ακολούθησε τη λογική της απελευθέρωσης και εξελίχθηκε σταδιακά όσο μεταβαλλόταν και το παράγωγο δικαίωμα που οι τρεις δέσμες για την ενέργεια εισήγαγαν. Αρχικά, ο καταναλωτής ενέργειας απέκτησε το δικαίωμα επιλογής προμηθευτή, ενισχύοντας τον ανταγωνισμό και την αποδοτικότητα των αγορών. Σήμερα, ο ρόλος αυτός μετασηματίζεται, με τον καταναλωτή να αναλαμβάνει πιο ενεργό και ηγετικό ρόλο στις εξελίξεις του ενεργειακού τομέα. Η Οδηγία (ΕΕ) 2019/944¹¹ εισάγει για πρώτη φορά τον όρο «ενεργός πελάτης», επιτρέποντας στους τελικούς χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας να συμμετέχουν ενεργά στην αγορά, είτε μέσω εμπορίας της παραγόμενης ενέργειας είτε μέσω παροχής υπηρεσιών αποθήκευσης. Αν και ο όρος είναι πρόσφατος, η έννοια του «prosumer» (συνδυασμός των λέξεων producer και consumer) είναι ήδη γνωστή στην ευρωπαϊκή πρακτική και περιγράφει τους καταναλωτές που παράγουν ενέργεια, κυρίως από ανανεώσιμες πηγές¹². Σταδιακά, ο ορισμός επεκτάθηκε ώστε να περιλαμβάνει και δραστηριότητες

⁷ Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών, Ψηφιοποίηση του ενεργειακού συστήματος: Σχέδιο δράσης της ΕΕ, της 18ης Οκτωβρίου 2022, COM(2022) 552 final.

⁸ R. HANNA / E. GAZIS / J. EDJE / A. RHODES / R. GROSS, Unlocking the Potential of Energy Systems Integration, Energy Futures Lab Briefing Paper, 2018, διαθέσιμο στο: <https://imperialcollegelondonapp.box.com/s/0sil57fndc5tn9gfy6ypzp8v61qnv3mg>, σ. 10-11.

⁹ Οι συναλλαγές P2P αφορούν αποκλειστικά τις συναλλαγές μεταξύ καταναλωτών ή αλλιώς ομοτίμων (consumer-to consumer ή peer-to-peer), αποκλείοντας αντίστοιχες συναλλαγές μεταξύ επιχειρήσεων και καταναλωτών (business-to-consumer) και αποτελούν τη βάση της οικονομίας του διαμοιρασμού.

¹⁰ J-M. GLACHANT / N. ROSSETTO, The Digital World Knocks at Electricity's Door: Six Building Blocks to Understand Why, Policy Briefs, Florence School of Regulation, Energy, Electricity, 2018, διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/1814/59044> (Cadmus, European University Institute Research Repository), σ. 2.

¹¹ Οδηγία (ΕΕ) 2019/944 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5ης Ιουνίου 2019 σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την τροποποίηση της οδηγίας 2012/27/ΕΕ, ΕΕ L 158 της 14.06.2019, σ. 125-199.

¹² European Commission, Study on “Residential Prosumers in the European Energy Union” (JUST/2015/CONS/FW/C006/0127), 2017, διαθέσιμο στο: https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/study-residential-prosumers-energy-union_en.pdf, στις 09.05.20, σ. 31.

όπως η αποθήκευση, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η απόκριση ζήτησης, καθιστώντας τους prosumers βασικούς φορείς της ενεργειακής μετάβασης¹³.

Περαιτέρω, η Οδηγία (ΕΕ) 2019/944 για την ηλεκτρική ενέργεια, μέσω των άρθρων 2(11) και 16, θεσπίζει το κανονιστικό πλαίσιο για τις ενεργειακές κοινότητες πολιτών. Ειδικότερα, το άρθρο 2(11) καθορίζει τα χαρακτηριστικά αυτών των κοινοτήτων, όπως η εθελοντική συμμετοχή, οι κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί στόχοι και οι τομείς δραστηριοποίησης. Αυτά τα στοιχεία οδήγησαν στην υιοθέτηση του όρου «ενεργειακή κοινότητα πολιτών» αντί του αρχικά προτεινόμενου «τοπική ενεργειακή κοινότητα»¹⁴. Σύμφωνα με τον ορισμό, η συμμετοχή σε μία ενεργειακή κοινότητα είναι ανοιχτή σε κάθε ενδιαφερόμενη οντότητα, συμπεριλαμβανομένων και επιχειρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, το δικαίωμα λήψης αποφάσεων περιορίζεται σε μέλη που δεν ασκούν εκτεταμένη εμπορική δραστηριότητα στον ενεργειακό τομέα. Οι κοινότητες αυτές τελούν υπό ουσιαστικό έλεγχο των μελών τους ή των τοπικών αρχών και δεν έχουν ως κύριο σκοπό το οικονομικό όφελος¹⁵. Αντιθέτως, επιδιώκουν την παροχή περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών προνομίων στις περιοχές όπου δραστηριοποιούνται. Όσον αφορά τη νομική τους μορφή, τα κράτη-μέλη έχουν την ευχέρεια να καθορίσουν την οργανωτική δομή των ενεργειακών κοινοτήτων πολιτών σύμφωνα με το ιδιωτικό δίκαιο. Οι μορφές μπορεί να περιλαμβάνουν αστικές εταιρίες, συνεταιρισμούς, σωματεία ή μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς, καθώς και μικρές ή μεσαίες επιχειρήσεις. Κεντρική προϋπόθεση είναι η απόκτηση νομικής προσωπικότητας, ώστε οι κοινότητες να μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στις αγορές ενέργειας¹⁶.

III. Τεχνολογία Blockchain

Στο πλαίσιο του παραδοσιακού χρηματοπιστωτικού μοντέλου, οι συναλλαγές βασίζονται στην ύπαρξη ενός κεντρικού διαμεσολαβητή, ο οποίος αναλαμβάνει την καταγραφή και την ασφαλή διεκπεραίωσή τους¹⁷. Συνήθως, οι τράπεζες λειτουργούν ως τέτοιοι ενδιάμεσοι φορείς, διατηρώντας κεντρικές βάσεις δεδομένων όπου αποθηκεύονται κρίσιμες πληροφορίες για κάθε συναλλαγή, όπως τα στοιχεία των εμπλεκομένων, το ποσό, η αιτιολογία και ο αριθμός παραστατικού.

Μια καινοτόμος τεχνολογία, γνωστή ως τεχνολογία κατακευματισμένου καθολικού (Distributed Ledger Technology, DLT), έρχεται να αμφισβητήσει αυτό το μοντέλο, προσφέροντας τη δυνατότητα για άμεσες και ασφαλείς συναλλαγές μεταξύ των μερών, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κεντρικού διαχειριστή. Η DLT βασίζεται σε ένα αποκεντρωμένο σύστημα αποθήκευσης δεδομένων, το οποίο διαμοιράζεται σε πολλαπλούς κόμβους ενός δικτύου. Οι χρήστες, ανάλογα με τα δικαιώματα πρόσβασης που διαθέτουν, μπορούν είτε να διαβάζουν είτε να προσθέτουν εγγραφές στο σύστημα.

Η ασφάλεια και η αξιοπιστία του συστήματος επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ενός αλγορίθμου ασύμμετρης κρυπτογράφησης¹⁸. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη χρήση ενός δημόσιου κλειδιού για

¹³. R. LEAL-ARCAS / F. LESNIEWSKA / F. PROEDROU, Prosumers: New actors in EU Energy Security, Netherlands Yearbook of International Law, 2017, (48), 10.1007/978-94-6265-243-9_5, σ. 139-12 και ειδικότερα σ.141.

¹⁴. Πρόταση για Οδηγία του Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (αναδιατύπωση) της 30ής Νοεμβρίου 2016, COM(2016) 864 final/2, 2016/0380 (COD).

¹⁵. D. FRIEDEN / A. TUERK / J. ROBERTS / A. GUINA, Collective Self-consumption and Energy Communities: Overview of Emerging Regulatory Approaches in Europe, Working Paper for Compile, H2020 Project, 2019, διαθέσιμο στο: https://www.compile-project.eu/wp-content/uploads/COMPILE_Collective_self-consumption_EU_review_june_2019_FINAL-1.pdf, σ. 2.

¹⁶. Οδηγία (ΕΕ) 2019/944 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Ιουνίου 2019, σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την τροποποίηση της οδηγίας 2012/27/ΕΕ (αναδιατύπωση) (Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ), αιτ. σκ. 44.

¹⁷. Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα, Πώς Μπορεί η Νέα Τεχνολογία να Μεταμορφώσει τις Χρηματοπιστωτικές Αγορές, 2017, διαθέσιμο στο: https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me-more/html/distributed_ledger_technology.el.html, στις 01.09.2020.

¹⁸. Κρυπτογραφία (cryptography) είναι η μελέτη τεχνικών που βασίζονται σε μαθηματικά προβλήματα δύσκολο να λυθούν, με σκοπό την εξασφάλιση της ασφάλειας (εμπιστευτικότητα, ακεραιότητα, αυθεντικότητα) των δεδομένων. Εφαρμογή της κρυπτογραφίας είναι η κρυπτογράφηση. Κρυπτογράφηση είναι ο μετασχηματισμός δεδομένων σε μορφή που να είναι αδύνατον να διαβαστεί χωρίς τη γνώση της σωστής ακολουθίας bit. Η ακολουθία bit καλείται «κλειδί» και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κατάλληλο αλγόριθμο/ συνάρτηση. Η αντίστροφη διαδικασία είναι η αποκρυπτογράφηση και απαιτεί γνώση

την κρυπτογράφηση των δεδομένων και ενός ιδιωτικού κλειδιού για την αποκρυπτογράφηση τους. Κάθε χρήστης διαθέτει ένα μοναδικό ζεύγος κλειδιών: το δημόσιο κλειδί, το οποίο μπορεί να κοινοποιείται ελεύθερα, και το ιδιωτικό, το οποίο παραμένει αυστηρά απόρρητο¹⁹. Η μαθηματική σχέση μεταξύ των δύο κλειδιών εξασφαλίζει ότι μόνο ο κάτοχος του ιδιωτικού κλειδιού μπορεί να αποκρυπτογραφήσει τα δεδομένα που έχουν κρυπτογραφηθεί με το αντίστοιχο δημόσιο. Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή της DLT είναι η τεχνολογία Blockchain. Έγινε ευρέως γνωστή μέσω του Bitcoin, του πρώτου κρυπτονομίσματος που επέτρεψε συναλλαγές μεταξύ χρηστών χωρίς την παρέμβαση τραπεζών ή άλλων χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων²⁰. Αν και συχνά ταυτίζεται με τα κρυπτονομίσματα, το Blockchain έχει πολύ ευρύτερες δυνατότητες εφαρμογής²¹.

Το Blockchain λειτουργεί ως ένα αποκεντρωμένο ψηφιακό καθολικό, όπου κάθε κόμβος του δικτύου διατηρεί ένα πλήρες και ταυτόσημο αντίγραφο της βάσης δεδομένων. Οι πληροφορίες καταγράφονται σε διαδοχικά blocks, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μια αλυσίδα. Κάθε νέο μπλοκ περιλαμβάνει τα δεδομένα της συναλλαγής, έναν μοναδικό κωδικό ταυτοποίησης (hash), καθώς και τον κωδικό του προηγούμενου block, διασφαλίζοντας έτσι τη συνέχεια και την ακεραιότητα της αλυσίδας²². Η καταχώριση ενός νέου block απαιτεί την επιβεβαίωση της συναλλαγής από το δίκτυο, μέσω ενός μηχανισμού συναίνεσης (consensus protocol). Στην περίπτωση του Bitcoin, η διαδικασία αυτή βασίζεται στο λεγόμενο Proof-of-Work, όπου οι χρήστες (miners) καλούνται να επιλύσουν ένα σύνθετο μαθηματικό πρόβλημα. Για να επικυρωθεί η συναλλαγή απαιτείται από το 51% των χρηστών να επιβεβαιώσει την συναλλαγή²³. Η επίλυση απαιτεί σημαντική υπολογιστική ισχύ και συνεπάγεται κόστος σε εξοπλισμό και ενέργεια. Ο πρώτος που θα επιλύσει το πρόβλημα επιβραβεύεται με μονάδες του κρυπτονομίσματος, γεγονός που ενισχύει τη συμμετοχή και την ασφάλεια του συστήματος. Ωστόσο, η ενεργοβόρα φύση αυτής της διαδικασίας αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα. Είναι ενδεικτικό ότι μόνο το δίκτυο του Bitcoin κατανάλωσε το 2018 περίπου 22 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, ποσότητα αντίστοιχη με την ετήσια κατανάλωση μιας χώρας όπως η Ιρλανδία²⁴.

Η έντονη αυτή κατανάλωση ενέργειας, απόρροια του μηχανισμού συναίνεσης Proof-of-Work (PoW), αποτέλεσε αντικείμενο συστηματικής κριτικής λόγω του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος²⁵. Ωστόσο, τα τελευταία έτη παρατηρείται σαφής στροφή προς πιο βιώσιμα μοντέλα λειτουργίας, μέσω της υιοθέτησης ενεργειακά αποδοτικών μηχανισμών συναίνεσης, όπως το Proof-of-Stake (PoS), και της συνδυασμένης χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) για τη λειτουργία κόμβων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Ethereum, το οποίο μετά τη μεγάλη αναβάθμιση The Merge το 2022, εγκατέλειψε το Proof-of-Work και μείωσε την κατανάλωση ενέργειας κατά 99,95%²⁶.

του κλειδιού. Σκοπός της κρυπτογράφησης είναι να εξασφαλίσει το απόρρητο των δεδομένων κρατώντας τα κρυφά από όλους όσους έχουν πρόσβαση σε αυτά. (για μια εκτενή ανάλυση βλ. A. J. MENEZES / P. C. VAN OORSCHOT / S. A. VANSTONE, Handbook of Applied Cryptography, CRC Press, London, New York, 1997.

¹⁹. M. FINCK, Blockchain Regulation and Governance in Europe, Cambridge University Press, UK, 2018, σ. 28.

²⁰. F. HASSE / A. VON PER FALL / T. HILLEBRAND / E. SMOLE / L. LAY / M. CHARLET, Blockchain: An Opportunity for Energy Producers and Consumers?, PwC Global Power and Utilities, 2016, διαθέσιμο στο: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/pwc-blockchain-opportunity-for-energy-producers-and-consumers.pdf>.

²¹. M. LANG / M. MÜLLER, Blockchain and Smart Contracts in the Energy Industry: A European Perspective, International and Oil & Gas Law, Development and Investment, 17B-1, Rocky Mt. Min. L. Fdn., 2019, διαθέσιμο στο: <https://www.twobirds.com/~media/pdfs/germany/matthias-lang-maria-mueller-blockchain-and-smart-contracts-in-the-energy-industry--a-european-perspective-international-mining-and-oil-and-gas-law-development-and-investment-17b1-rocky-mt-min-l-fdn-2019.pdf>, στις 23.08.20, σ. 2.

²². Για μια περιγραφική ανάλυση των συναρτήσεων hash, βλ. P. ROGAWAY / T. SHRIMPION, Cryptographic Hash-Function Basics: Definitions, Implications, and Separations for Preimage Resistance, Second-Preimage Resistance, and Collision Resistance, σε: Fast Software Encryption, B. Roy, W. Meier, (εκδ.), Lecture Notes in Computer Science, vol 3017. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004.

²³. S. MEUNIER, Chapter 3-Blockchain 101: What is Blockchain and How Does This Revolutionary Technology Work?, σε: Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains, Marke A. (εκδ.), Academic Press, UK, 2018, σ. 23-34.

²⁴. Ο.π., S. MEUNIER, σ. 23-34.

²⁵. A. DE VRIES, Bitcoin's Growing Energy Problem. Joule, 2(5), 801-805, 2018.

²⁶. Ethereum Foundation, Ethereum Energy Consumption After The Merge, 2022, διαθέσιμο στο: <https://ethereum.org/en/energy-consumption/>, στις 15.12.22.

Η έλευσης μια νέας μορφής σύμβασης, τη δημιουργία της οποίας η τεχνολογία του Blockchain επέτρεψε, δημιουργεί νέες προκλήσεις και αναμένεται να τροποποιήσει την τρέχουσα κατάσταση. Οι λεγόμενες «έξυπνες συμβάσεις» (Smart Contracts) αποτελούν μια ειδική εφαρμογή της τεχνολογίας Blockchain και ορίζονται ως ψηφιακές συμφωνίες που ενεργοποιούνται αυτόματα μόλις εκπληρωθούν συγκεκριμένοι όροι, χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση ή η επικύρωση από κάποιον θεσμικό φορέα²⁷. Ο χαρακτηρισμός «έξυπνες» δεν παραπέμπει στη χρήση τεχνητής νοημοσύνης, όπως συχνά εσφαλμένα υπονοείται, αλλά στην ενσωμάτωση λογικών ακολουθιών και αυτοματοποιημένων διαδικασιών που εκτελούνται βάσει προκαθορισμένων συνθηκών²⁸. Η λειτουργία τους βασίζεται σε ένα προγραμματισμένο σύστημα κανόνων, το οποίο ενεργοποιείται όταν πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια, χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση ή κρίση.

Ένα κρίσιμο σημείο στη θεωρητική προσέγγιση των Smart Contracts είναι η απουσία εποπτεύουσας αρχής. Σύμφωνα με την αρχική φιλοσοφία τους, οι συμβάσεις αυτές λειτουργούν ανεξάρτητα από ρυθμιστικούς μηχανισμούς. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν απόψεις που υποστηρίζουν πως η ύπαρξη ενός εποπτικού πλαισίου είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της νομιμότητας και της διαφάνειας κατά την εκτέλεσή τους²⁹. Ενδεικτικά, ένα Smart Contract στον τομέα της ενέργειας θα μπορούσε να εκτελεί αυτόματα αγοραπωλησίες ενέργειας μεταξύ καταναλωτών γειτονικών δικτύων, βασιζόμενο αποκλειστικά στην τιμή της ενέργειας και σε προκαθορισμένους όρους.

Η πρώτη θεσμική αναγνώριση αυτών των τεχνολογιών στην ελληνική έννομη τάξη πραγματοποιήθηκε με τον Νόμο 4961/2022, ο οποίος δημοσιεύθηκε τον Ιούλιο του 2022³⁰. Ο νόμος αυτός αποτελεί όχι μόνο την πρώτη ολοκληρωμένη νομοθετική προσέγγιση για τις αναδύομενες τεχνολογίες στην Ελλάδα, αλλά και μία από τις πρώτες αντίστοιχες πρωτοβουλίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

IV. Νομικές προκλήσεις

Η επιχειρούμενη ενεργειακή μετάβαση στον τομέα της ενέργειας, μετεξελίσσει τις ενεργειακές αγορές, προωθώντας αποκεντρωμένα μοντέλα και ενσωματώνοντας ολοένα και περισσότερες εφαρμογές Smart Contracts και Blockchain. Οι τεχνολογίες αυτές ενισχύουν τον ρόλο των καταναλωτών, προσφέροντάς τους καινοτόμα εργαλεία που ενδυναμώνουν τη θέση τους στο ενεργειακό σύστημα, μετατρέποντάς τους από παθητικούς αποδέκτες σε ενεργούς συμμετέχοντες. Ωστόσο, η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών συνοδεύεται από σημαντικές νομικές προκλήσεις. Στο παρόν ρυθμιστικό περιβάλλον, οι νομικές διαστάσεις των Smart Contracts και της τεχνολογίας Blockchain παραμένουν σε μεγάλο βαθμό μη ορισμένες. Η απουσία ενός σαφούς και συνεκτικού νομοθετικού πλαισίου ενδέχεται να οδηγήσει σε αποσπασματικές και ενδεχομένως επισφαλείς πρακτικές, ιδίως σε περιπτώσεις παραβίασης ή ανώμαλης εξέλιξης των συμβατικών σχέσεων (που αναπτύσσονται στις βάσεις της τεχνολογίας αυτής), με αποτέλεσμα την παραγωγή νομικά αβέβαιων καταστάσεων.

Καθώς η ψηφιοποίηση του ενεργειακού τομέα επιταχύνεται, τίθεται το ερώτημα κατά πόσο οι τεχνολογικές αυτές λύσεις μπορούν να ενταχθούν αρμονικά στο ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο. Η πρόκληση έγκειται στο να διαπιστωθεί αν οι εφαρμογές αυτές είναι συμβατές με τις βασικές αρχές του ενωσιακού δικαίου, το ευρωπαϊκό δίκαιο ενέργειας, το δίκαιο των συμβάσεων, το δίκαιο της προστασίας των καταναλωτών και της προστασίας προσωπικών δεδομένων, καθώς και την ενίσχυση της αρχής της ενεργειακής αλληλεγγύης και της ασφάλειας εφοδιασμού.

²⁷ Ο.π., F. HASSE / A. VON PERFALL / T. HILLEBRAND / E. SMOLE / L. LAY / M. CHARLET, σ. 3.

²⁸ R. KOULU, Blockchains and Online Dispute Resolution: Smart Contracts as an Alternative to Enforcement, SCRIPTed, 13, 2016, σ. 40-69, K. LAUSLAHTI / J. MATTILA / T. SEPPÄLÄ, Smart Contracts—How Will Blockchain Technology Affect Contractual Practices? ETLA Reports, (68), 2017, διαθέσιμο στο: <https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-68.pdf>.

²⁹ L. CONG / Z. HE, Blockchain Disruption and Smart Contracts, 2018, διαθέσιμο στο: <https://ssrn.com/abstract=2985764>, στις 07.09.20, σ. 8 επ.

³⁰ Ν. 4961/2022 (ΦΕΚ Α' 146/ 27.7.2004) *Αναδύομενες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών, ενίσχυση της ψηφιακής διακυβέρνησης και άλλες διατάξεις*.

1. Συμβαλλόμενα μέρη σε ένα Smart Contract

Ένα από τα πρώτα ζητήματα που ανακύπτουν στο πλαίσιο της πώλησης πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ καταναλωτών εντός μικροδικτύων³¹ με κατανομημένους ενεργειακούς πόρους, όπως φωτοβολταϊκά συστήματα και μονάδες αποθήκευσης, είναι η ακριβής νομική φύση της συμβατικής σχέσης που δημιουργείται. Κεντρικό ερώτημα αποτελεί η ιδιότητα με την οποία ο αυτοπαραγωγός-ενεργός πελάτης προβαίνει στην πώληση ενέργειας προς τον γείτονα ή άλλο τελικό χρήστη: ενεργεί ως ιδιώτης καταναλωτής ή αποκτά χαρακτηριστικά προμηθευτή, με αποτέλεσμα η πράξη να λαμβάνει εμπορικό χαρακτήρα;

Η Οδηγία (ΕΕ) 2019/944 για την ηλεκτρική ενέργεια εισάγει την έννοια του ενεργού πελάτη, επιχειρώντας να αποσαφηνίσει το πεδίο εφαρμογής της προστασίας που παρέχεται στους καταναλωτές και να ορίσει τα όρια της δραστηριότητάς τους εντός της αγοράς. Σε περίπτωση που η πώληση της περίσσειας ενέργειας θεωρηθεί επιχειρηματική δραστηριότητα, οι εμπλεκόμενοι καταναλωτές θα πρέπει να συμμορφωθούν με ένα αυστηρότερο ρυθμιστικό πλαίσιο. Αυτό περιλαμβάνει την υπαγωγή σε κανόνες που απορρέουν από το δίκαιο προστασίας του καταναλωτή, την ένταξη σε διαφορετικό φορολογικό καθεστώς και την τήρηση των Κανονισμών και Οδηγιών που διέπουν τη χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

2. Δίκαιο προστασίας καταναλωτή

Η χρήση των Smart Contracts για τη ρύθμιση συναλλαγών πώλησης πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ καταναλωτών εντός μικροδικτύων εγείρει σημαντικά ερωτήματα ως προς τη συμβατότητά τους με το δίκαιο προστασίας του καταναλωτή. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία στον συγκεκριμένο τομέα είναι ιδιαίτερα εκτενής³² και περιλαμβάνει ρυθμίσεις για αθέμιτους όρους, καταχρηστικές ρήτρες, υποχρεώσεις ενημέρωσης, καθώς και δικαιώματα υπαναχώρησης σε συμβάσεις εξ αποστάσεως, δηλαδή συμβάσεις που συνάπτονται χωρίς φυσική παρουσία των μερών³³.

Για να αξιολογηθεί η εφαρμογή των ενωσιακών κανόνων προστασίας του καταναλωτή στις P2P συναλλαγές ενέργειας μέσω Smart Contracts, απαιτείται πρώτα να προσδιοριστεί η ιδιότητα των συμβαλλομένων μερών. Εάν οι συμμετέχοντες θεωρηθούν καταναλωτές, τότε ενεργοποιούνται οι σχετικές προστατευτικές διατάξεις. Αντίθετα, αν χαρακτηριστούν ως προμηθευτές ή έμποροι, υπάγονται σε διαφορετικό ρυθμιστικό πλαίσιο. Οδηγό για την αναζήτηση ασφαλούς απάντησης αποτελεί η Οδηγία 2018/2001 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στο άρθρο 2(14) αυτής, περιγράφεται η έννοια του «αυτοκαταναλωτή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές» ως ο τελικός πελάτης που παράγει, αποθηκεύει και δύναται να πωλεί την παραγόμενη ενέργεια, υπό την προϋπόθεση ότι (ειδικά για μη οικιακούς χρήστες) η δραστηριότητα αυτή δεν αποτελεί την κύρια εμπορική ή επαγγελματική του απασχόληση. Η μη εμπορική φύση αυτών των συναλλαγών επιβεβαιώνεται και στο άρθρο 21(2)(γ) της ίδιας Οδηγίας, όπου αναφέρεται ότι τα κράτη-μέλη οφείλουν να διασφαλίζουν πως οι αυτοκαταναλωτές διατηρούν τα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις τους ως τελικοί καταναλωτές.

Παρά τις παραπάνω προβλέψεις, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο οι αυτοπαραγωγοί να χαρακτηριστούν ως προμηθευτές ή έμποροι, ιδίως ενόσω οι τεχνολογικές αυτές εξελίξεις αναφορικά με την εμπορεία της περίσσειας της ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και η ενωσιακή νομοθεσία δεν παρέχει εξαντλητικό κατάλογο των εμπλεκόμενων μερών και των ρόλων που

³¹ Ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος στη βιβλιογραφία ορισμός για το μικροδίκτυο το περιγράφει ως «μια ομάδα διασυνδεδεμένων φορτίων και κατανομημένων ενεργειακών πόρων μέσα σε σαφώς καθορισμένα ηλεκτρικά όρια που ενεργούν ως μία και μόνο ελεγχόμενη οντότητα σε σχέση με το δίκτυο. Ένα μικροδίκτυο μπορεί να συνδεθεί και να αποσυνδεθεί από το δίκτυο για να μπορέσει να λειτουργήσει σε λειτουργία συνδεδεμένη στο δίκτυο ή αυτόνομα». (A. HIRSCH / Y. PARAG / J. GUERRERO, *Microgrids A Review of Technologies, Key Drivers and Outstanding Issues*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (90), 2018, σ. 402-411).

³² Οδηγία 93/13/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 5ης Απριλίου 1993 σχετικά με τις καταχρηστικές ρήτρες των συμβάσεων που συνάπτονται με καταναλωτές.

³³ Αναφορικά με τον ορισμό των εξ αποστάσεως συμβάσεων βλ. άρθρο 2 στοιχείο 7 της Οδηγία 2011/83/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 25ης Οκτωβρίου 2011, σχετικά με τα δικαιώματα των καταναλωτών, την τροποποίηση της οδηγίας 93/13/ΕΟΚ του Συμβουλίου και της οδηγίας 1999/44/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και την κατάργηση της οδηγίας 85/577/ΕΟΚ του Συμβουλίου και της οδηγίας 97/7/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ.

αυτοί φέρουν³⁴. Το δίκαιο, άλλωστε, οφείλει να παραμένει ευέλικτο και να προσαρμόζεται στις τεχνολογικές και κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις. Συνεπώς, κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξετάζεται ad hoc αλλά και υπό το φως της νομολογίας του Δικαστηρίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Περαιτέρω και εφόσον δεχθούμε πως οι P2P συναλλαγές πώλησης της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιούνται εντός μικροδικτύου, μεταξύ ενεργών καταναλωτών ή μέσω φορέων σωρευτικής εκπροσώπησης, και δεν εντοπίζεται κάποιου είδους ανισοσθένεια μεταξύ των συναλλασσόμενων, τότε πρόκειται για καθαρά consumer-to-consumer συναλλαγές. Σε αυτή την περίπτωση, το δίκαιο προστασίας του καταναλωτή δεν ενεργοποιείται και η εφαρμογή των σχετικών διατάξεων παρέλκει.

3. Περιπτώσεις ανώμαλης εξέλιξης

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η εξέταση του τρόπου με τον οποίο καταρτίζονται τα Smart Contracts, και ειδικότερα το εάν η διαδικασία αυτή μπορεί να ενταχθεί στο παραδοσιακό σχήμα της πρότασης και αποδοχής, όπως αυτό προβλέπεται στο αστικό δίκαιο. Ο Νόμος 4961/2022, στο άρθρο 49 παρ. 1 εδ. β', προβλέπει την εφαρμογή των άρθρων 185 έως 196 του Αστικού Κώδικα, με εξαίρεση το άρθρο 194 του ίδιου Κώδικα, και στις έξυπνες συμβάσεις για την εσωτερική έννομη τάξη, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ερμηνευτική προσέγγιση του τρόπου εφαρμογής τους.

Η διάκριση μεταξύ των δύο βασικών μορφών έξυπνων συμβάσεων είναι καθοριστική. Στην πρώτη περίπτωση, όπου η σύμβαση καταρτίζεται με χρήση φυσικής γλώσσας και στη συνέχεια ενσωματώνεται σε πλατφόρμα Blockchain για την αυτοματοποιημένη εκτέλεσή της, δεν προκύπτουν ιδιαίτερα νομικά ζητήματα. Η κατάρτιση της σύμβασης προηγείται της ψηφιακής εγγραφής, και η τεχνολογία Blockchain χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εκτέλεση των ήδη συμφωνηθέντων όρων³⁵. Επομένως, η σύμπτωση των δηλώσεων βουλήσεως και η νομική φύση της σύμβασης κρίνονται βάσει των διατάξεων του Αστικού Κώδικα, με άμεση εφαρμογή³⁶.

Αντίθετα, στη δεύτερη μορφή έξυπνων συμβάσεων, όπου τόσο η κατάρτιση όσο και η εκτέλεση πραγματοποιούνται μέσω της τεχνολογίας Blockchain, η εφαρμογή του παραδοσιακού σχήματος πρότασης-αποδοχής απαιτεί ειδική ερμηνεία. Σε αυτό το πλαίσιο, η πρόταση εκδηλώνεται με την καταχώριση της σύμβασης σε κόμβο του δικτύου Blockchain, θεωρείται πρόταση και όχι πρόσκληση δεδομένου ότι ο προτείνων έχει ήδη θέσει τους όρους του έξυπνου συμβολαίου μέσω της χρήσης του ιδιωτικού κλειδιού και της ψηφιακής υπογραφής του προτεινόντος³⁷. Η πρόταση θεωρείται δεσμευτική λόγω της αμετάβλητης φύσης του περιβάλλοντος Blockchain³⁸. Η αποδοχή πραγματοποιείται όταν ο αντισυμβαλλόμενος αποδέχεται τους όρους της σύμβασης, χρησιμοποιώντας επίσης το δικό του ιδιωτικό κλειδί και την αντίστοιχη ψηφιακή υπογραφή³⁹. Η σύμπτωση των δηλώσεων βουλήσεως σε αυτό το στάδιο καθιστά τη σύμβαση καταρτισμένη και ικανή να παράγει έννομα αποτελέσματα, σύμφωνα με το άρθρο 49 παρ. 1 εδ. α' του Ν. 4961/2022⁴⁰.

Σε περίπτωση που κατά τη διαδικασία σύναψης της σύμβασης προκύψουν ελαττώματα, απαιτείται η εξατομικευμένη αξιολόγηση της εφαρμογής των διατάξεων του Αστικού Κώδικα. Οι παράγραφοι 2 και 3 του άρθρου 49 του Ν. 4961/2022 προβλέπουν την εφαρμογή των σχετικών διατάξεων περί

³⁴. Υπό το άρθρο 2(2) της Οδηγίας 2011/83/ΕΕ, «έμπορος» νοείται: κάθε φυσικό πρόσωπο ή κάθε νομικό πρόσωπο, ανεξάρτητα από το εάν διέπεται από το ιδιωτικό ή δημόσιο δίκαιο, το οποίο ενεργεί, ακόμη και μέσω κάθε άλλου προσώπου ενεργούντος εξ ονόματός του ή για λογαριασμό του, για σκοπούς οι οποίοι σχετίζονται με τις εμπορικές, επιχειρηματικές, βιοτεχνικές ή επαγγελματικές δραστηριότητές του σε σχέση με συμβάσεις καλυπτόμενες από την παρούσα Οδηγία.

³⁵. Α.-Μ ΜΑΛΕΣΚΑ, Νομικές πτυχές των smart contracts και τεχνολογία blockchain, 2023, διαθέσιμο σε <https://pergamon.lib.uoa.gr/ua/dl/frontend/el/browse/3275177>, σ. 36.

³⁶. Ν. ΘΕΟΔΩΡΑΚΗΣ / Γ. ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ, Blockchain: εφαρμογές, προοπτικές και προκλήσεις για το ελληνικό νομικό σύστημα ιδίως, οι εφαρμογές του στις έννομες σχέσεις ιδιωτικού δικαίου, ΔιΜΕΕ, 2019, σ. 5 επ.

³⁷. Ι. ΠΑΠΑΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Η δογματική ένταξη των smart contracts στο δίκαιο των συμβάσεων, ΧρΙΔ, 2020, σ. 469 επ.

³⁸. Κ.-Χ ΤΑΜΠΑΡΑ, Στρατηγικές και νομικές πτυχές για πετυχημένα έξυπνα συμβόλαια, 2022, δημοσιευμένη σε <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/14669>, σ. 39

³⁹. Μ. DUROVIC / Α. JANSSEN, The formation of Blockchain -based Smart Contracts in the Light of Contract Law, European Review of Private Law, 2019, σ. 753 επ.

⁴⁰. Α. ΚΑΝΕΛΛΟΣ, Smart Contracts—Νομικές προκλήσεις και επιχειρηματικές προοπτικές, Νομική Βιβλιοθήκη, 2022, σ. 147 επ.

ακυρότητας και ελαττωμάτων της βούλησης. Συγκεκριμένα, για την ακυρότητα εφαρμόζονται τα άρθρα 130, 138, 159 και 174 έως 179 ΑΚ, ενώ για τα ελαττώματα της βούλησης ισχύουν τα άρθρα 140 έως 157 ΑΚ. Παρόμοια ρύθμιση περιλαμβάνεται και στο άρθρο 47 του ίδιου νόμου, αναφορικά με την εγκυρότητα της εγγραφής σε πλατφόρμα της τεχνολογίας Blockchain.

4. Δίκαιο προσωπικών δεδομένων

Τα προσωπικά δεδομένα αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο της σύγχρονης ψηφιακής πραγματικότητας. Ενώ ο πολλαπλασιασμός της τεχνολογικής καινοτομίας έχει κάνει την αυτοματοποιημένη επεξεργασία των προσωπικών δεδομένων συνθήκη, η προστασία των δικαιωμάτων των υποκειμένων των δεδομένων δεν αποτελεί πάντοτε αυτονόητη προτεραιότητα. Η ανάγκη για ένα ισχυρό και συνεκτικό πλαίσιο προστασίας σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης καθίσταται επιτακτική, ιδιαίτερα ενόψει της διαμόρφωσης της ψηφιακής ενιαίας αγοράς (Digital Single Market)⁴¹. Η εμπιστοσύνη των πολιτών και των επιχειρήσεων στην ασφάλεια των δεδομένων είναι καθοριστική για την εύρυθμη λειτουργία και την ανάπτυξη της ψηφιακής οικονομίας εντός της εσωτερικής αγοράς. Στο πλαίσιο αυτό, ο Γενικός Κανονισμός Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων (General Data Protection Regulation, GDPR) συνιστά ένα ουσιαστικό βήμα προς την ενίσχυση των θεμελιωδών δικαιωμάτων των φυσικών προσώπων στην ψηφιακή εποχή, ενώ παράλληλα προσφέρει στις επιχειρήσεις ένα ενιαίο και απλοποιημένο σύνολο κανόνων για τη συμμόρφωσή τους εντός της Digital Single Market⁴².

Καθώς η ψηφιοποίηση επεκτείνεται σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένου και του ενεργειακού κλάδου, η τεχνολογία Blockchain οφείλει να αξιολογηθεί υπό το πρίσμα του ενωσιακού δικαίου για την προστασία των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα. Η συμβατότητά της με τις αρχές και τις απαιτήσεις του GDPR αποτελεί κρίσιμο ζήτημα, ιδίως ως προς την ασφάλεια, τη διαφάνεια και την δυνατότητα ελέγχου της επεξεργασίας των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα που ενδέχεται να συλλέγονται κατά τη χρήση σχετικών εφαρμογών.

Η παραδοχή ότι οι εφαρμογές Blockchain κατά τη συνήθη λειτουργία τους αποθηκεύουν ή επεξεργάζονται δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα ενεργοποιεί μια σειρά διαφορετικών δικαιωμάτων βάσει του GDPR. Ωστόσο, η φύση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Blockchain φαίνεται, σε πρώτη ανάγνωση, να συγκρούονται με τις απαιτήσεις του GDPR, εγείροντας ερωτήματα ως προς τη συμβατότητα των δύο πλαισίων.

Η αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ Blockchain και GDPR μπορεί να οργανωθεί γύρω από δύο βασικούς άξονες:

- **Ορισμός υπεύθυνου επεξεργασίας:** Εξετάζεται κατά πόσο είναι εφικτό να προσδιοριστεί ένα πρόσωπο ή φορέας ως υπεύθυνος επεξεργασίας δεδομένων στο πλαίσιο μιας εφαρμογής Blockchain. Ο υπεύθυνος αυτός θα πρέπει να είναι σε θέση να αναλάβει την ευθύνη και να αποδείξει τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του GDPR.
- **Δικαιώματα των υποκειμένων των δεδομένων:** Αναλύεται η δυνατότητα των φυσικών προσώπων να ασκήσουν τα δικαιώματα που τους παρέχει ο GDPR, όπως το δικαίωμα πρόσβασης, διόρθωσης, διαγραφής και περιορισμού της επεξεργασίας, στο πλαίσιο λειτουργίας ενός αποκεντρωμένου και αμετάβλητου συστήματος όπως το Blockchain.

Εκκινώντας από τον πρώτο άξονα, η διερεύνηση της δυνατότητας ορισμού υπεύθυνου επεξεργασίας στο πλαίσιο εφαρμογών Blockchain συνδέεται άρρηκτα με το είδος της τεχνολογικής αρχιτεκτονικής που υιοθετείται. Σύμφωνα με το άρθρο 4, σημείο 7 του GDPR, ως υπεύθυνος επεξεργασίας νοείται «*το φυσικό ή νομικό πρόσωπο, η δημόσια αρχή, η υπηρεσία ή άλλος φορέας που, μόνα ή από κοινού με άλλα, καθορίζουν τους σκοπούς και τον τρόπο της επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα: όταν οι*

⁴¹ Κανονισμός (ΕΕ) 2016/679 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Απριλίου 2016 για την προστασία των φυσικών προσώπων έναντι της επεξεργασίας των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και για την ελεύθερη κυκλοφορία των δεδομένων αυτών και την κατάργηση της Οδηγίας 95/46/ΕΚ (Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων, ΕΕ L 119 της 4.5.2016, σ. 1-88.

⁴² Ανακοίνωσή της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή Περιφερειών: Στρατηγική για την ψηφιακή ενιαία αγορά της Ευρώπης της 6ης Μαΐου 2015, COM(2015) 192 final.

σκοποί και ο τρόπος της επεξεργασίας αυτής καθορίζονται από το δίκαιο της Ένωσης ή το δίκαιο κράτους μέλους, ο υπεύθυνος επεξεργασίας ή τα ειδικά κριτήρια για τον διορισμό του μπορούν να προβλέπονται από το δίκαιο της Ένωσης ή το δίκαιο κράτους μέλους»

Στις περιπτώσεις ιδιωτικών εφαρμογών Blockchain, όπου υπάρχει κεντρικός φορέας διαχείρισης με αρμοδιότητα ελέγχου πρόσβασης, η ταύτιση με τον ρόλο του υπεύθυνου επεξεργασίας είναι εφικτή. Αντίθετα, στις δημόσιες εφαρμογές Blockchain, η απουσία κεντρικής διαχειριστικής αρχής καθιστά τον προσδιορισμό του υπεύθυνου επεξεργασίας ιδιαίτερα σύνθετο εγχείρημα. Οι λύσεις που μέχρι στιγμής έχουν υποστηριχθεί ποικίλουν χωρίς ωστόσο να επιλύουν πλήρως την συγκεκριμένη προβληματική. Μία προσέγγιση υποστηρίζει ότι κάθε κόμβος του δικτύου μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνος επεξεργασίας για το σύνολο των δεδομένων που αποθηκεύονται στην αλυσίδα⁴³. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή αυτής της θέσης καθίσταται δυσχερής, καθώς θα απαιτούσε από το υποκείμενο των δεδομένων να απευθυνθεί σε κάθε κόμβο ξεχωριστά για την άσκηση των δικαιωμάτων του βάσει των άρθρων 15 έως 17 του GDPR, κάτι που στην πράξη κρίνεται ανέφικτο.

Μια εναλλακτική εκδοχή αυτής της θέσης περιορίζει την ευθύνη κάθε κόμβου μόνο στα δεδομένα που σχετίζονται με τις συναλλαγές που ο ίδιος υλοποιεί. Ωστόσο, η ταύτιση του υποκειμένου των δεδομένων με τον υπεύθυνο επεξεργασίας ή τον εκτελούντα την επεξεργασία εγείρει νέα ερωτήματα, καθώς αντιβαίνει στο σκοπό και στο πνεύμα του GDPR, που στην ουσία είναι η προστασία των φυσικών προσώπων έναντι της επεξεργασίας των προσωπικών τους δεδομένων⁴⁴. Ένα ακόμη σενάριο εξετάζει το ενδεχόμενο συλλογικής ευθύνης, όπου όλοι οι κόμβοι θεωρούνται από κοινού υπεύθυνοι επεξεργασίας⁴⁵. Ωστόσο, η προϋπόθεση του από κοινού καθορισμού των σκοπών και των μέσων επεξεργασίας δεν πληρούται εύκολα σε αποκεντρωμένα δίκτυα, γεγονός που περιορίζει τη βιωσιμότητα αυτής της προσέγγισης.

Συνολικά, οι δημόσιες εφαρμογές Blockchain φαίνεται προς το παρόν τεχνικά αδύνατο να μπορούν συμμορφωθούν πλήρως με τις απαιτήσεις του GDPR. Ενδεχομένως, η λύση να βρίσκεται εκτός του πυρήνα της τεχνολογίας Blockchain, στους ενδιάμεσους φορείς που επεξεργάζονται ή αναλύουν τα δεδομένα πριν την εγγραφή τους στο Blockchain. Στον ενεργειακό τομέα, η επιλογή της σωρευτικής εκπροσώπησης⁴⁶ και ειδικότερα η επιλογή των ανεξάρτητων φορέων σωρευτικής εκπροσώπησης⁴⁷, μπορεί να προσφέρει ένα λειτουργικό μοντέλο συμμόρφωσης. Εφόσον οι αυτοπαραγωγοί επιλέξουν να πωλούν την πλεονάζουσα ενέργεια τους μέσω οργανωμένων σχημάτων, η επεξεργασία των προσωπικών δεδομένων μπορεί να πραγματοποιείται πριν την καταγραφή στο Blockchain, με τους φορείς σωρευτικής εκπροσώπησης να αναλαμβάνουν τον ρόλο του υπεύθυνου ή του εκτελούντος την επεξεργασία. Επιπλέον, όταν ο φορέας σωρευτικής εκπροσώπησης λειτουργεί ως νομικό πρόσωπο και εκπροσωπεί συλλογικά τους αυτοπαραγωγούς στις συναλλαγές ενέργειας μέσω Blockchain, η εφαρμογή του GDPR περιορίζεται, καθώς ο τελευταίος δεν καλύπτει την επεξεργασία δεδομένων που αφορούν νομικά πρόσωπα⁴⁸.

Η ίδια συλλογιστική μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση των ενεργειακών κοινοτήτων πολιτών⁴⁹, οι οποίες δύνανται να αξιοποιήσουν εφαρμογές Blockchain για τη διαχείριση και πώληση της παραγόμενης ενέργειας από αυτοπαραγωγή. Η Οδηγία (ΕΕ) 2019/944 για την ηλεκτρική ενέργεια παρέχει σαφή νομική βάση για τη λειτουργία των ενεργειακών κοινοτήτων πολιτών, επιτρέποντας στα

⁴³ Ο.π., M. FINCK, 2018, σ. 26-28, M. BERBERICH / M. STEINER, Blockchain Technology and the GDPR: How to Reconcile Privacy and Distributed Ledgers, Eur. Data Prot. L., 2, 3, 2016, σ. 422-426 και ειδικότερα σ. 424, C. WIRTH / M. KOLAIN, Privacy by BlockChain Design: A BlockChain-enabled GDPR-compliant Approach for Handling Personal Data σε Proceedings of the 1st ERCIM Blockchain Workshop 2018, Reports of the European Society for Socially Embedded Technologies, W. Prinz / P. Hoschka (εκδ.), 2018, σ. 5.

⁴⁴ Για μια διεξοδική ανάλυση βλ. L. MOEREL, Blockchain and Data Protection σε The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms, L. DiMatteo / M. Cannarsa / C. Poncibò (εκδ.), Cambridge University Press, Cambridge, 2019, σ. 213-232 και ειδικότερα σ. 226-227.

⁴⁵ Ο.π., M. FINCK, 2018, σ. 26-28, ό.π., C. WIRTH / M. KOLAIN, 2018, σ. 5.

⁴⁶ Ο.π., Οδηγία (ΕΕ) 2019/944, άρθρο 2 (18).

⁴⁷ Ο.π., Οδηγία (ΕΕ) 2019/944, άρθρο 2 (19).

⁴⁸ Ο.π., Κανονισμός (ΕΕ) 2016/679, αιτ. σκ.14.

⁴⁹ Ο.π., Οδηγία (ΕΕ) 2019/944, άρθρα 2 (11) και 16.

κράτη-μέλη να καθορίσουν την οργανωτική τους μορφή σύμφωνα με το ιδιωτικό δίκαιο. Οι επιλογές περιλαμβάνουν αστικές εταιρείες, συνεταιρισμούς, σωματεία ή μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς, καθώς και εταιρικές μορφές μικρής ή μεσαίας κλίμακας. Βασική προϋπόθεση είναι η απόκτηση νομικής προσωπικότητας και δικαιοπρακτικής ικανότητας, ώστε οι κοινότητες να μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στις αγορές ενέργειας⁵⁰. Ως εκ τούτου, οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται από ενεργειακές κοινότητες πολιτών μέσω Blockchain δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του GDPR, καθώς δεν επεξεργάζονται πλέον δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα φυσικών προσώπων.

Ο δεύτερος άξονας προβληματισμού αφορά τη δυνατότητα των υποκειμένων των δεδομένων να ασκήσουν τα δικαιώματα που προβλέπει ο GDPR στο πλαίσιο για παράδειγμα μιας συναλλαγής που υλοποιείται μέσω εφαρμογών Blockchain. Το ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσο κάθε κόμβος του δικτύου (εφόσον θεωρηθεί υπεύθυνος επεξεργασίας) μπορεί τεχνικά να ανταποκριθεί σε αιτήματα όπως η διόρθωση ή η διαγραφή προσωπικών δεδομένων, καθώς και στην εφαρμογή αρχών όπως η ελαχιστοποίηση των δεδομένων⁵¹.

Μια πιθανή προσέγγιση στην ανωτέρω προβληματική είναι η ερμηνεία του GDPR με τρόπο που να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες της τεχνολογίας Blockchain. Για παράδειγμα, το δικαίωμα διόρθωσης που περιλαμβάνεται στο άρθρο 16 του GDPR, θα μπορούσε να υλοποιηθεί μέσω της προσθήκης νέου Block που περιέχει συμπληρωματική δήλωση⁵², δεδομένου ότι η τροποποίηση των ήδη καταχωρισμένων Blocks δεν είναι τεχνικά εφικτή. Με τον τρόπο αυτό, η λύση της αναλογικής ερμηνείας και εφαρμογής των προϋποθέσεων του GDPR στην περίπτωση της τεχνολογίας Blockchain ενδέχεται να υπερκεράσει τους τεχνικούς περιορισμούς που επί του παρόντος δυσχεραίνουν την πλήρη συμμόρφωση με αυτόν.

Μια εναλλακτική λύση συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του GDPR θα μπορούσε να επέλθει με τεχνικές τροποποιήσεις της τεχνολογίας Blockchain και συγκεκριμένα με την αποθήκευση των προσωπικών δεδομένων σε ξεχωριστή βάση δεδομένων εκτός Blockchain (off-chain)⁵³. Με αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα μπορούν να τροποποιούνται ή να διαγράφονται ευκολότερα, ενώ παράλληλα η αρχή της ελαχιστοποίησης καθίσταται εφαρμόσιμη. Η off-chain προσέγγιση επιτρέπει την επεξεργασία μόνο των απολύτως απαραίτητων δεδομένων για τον σκοπό της συναλλαγής⁵⁴, σε αντίθεση με την on-chain αποθήκευση που αναπαράγει το σύνολο των δεδομένων σε κάθε κόμβο. Παρότι η off-chain αποθήκευση διευκολύνει τη συμμόρφωση με τον GDPR, δεν επιλύει πλήρως το ζήτημα των δημόσιων κλειδιών, τα οποία είναι εγγενώς συνδεδεμένα με τη λειτουργία του Blockchain. Για τις P2P συναλλαγές στον ενεργειακό τομέα, προτείνεται η χρήση της μεθόδου Zero-Knowledge Proof⁵⁵. Με αυτήν, επιβεβαιώνεται η εγκυρότητα της συναλλαγής χωρίς να αποκαλύπτονται τα δεδομένα της ή τα δημόσια κλειδιά, καθιστώντας αδύνατη την ταυτοποίηση των φυσικών προσώπων⁵⁶. Αν και η μέθοδος αυτή δεν εξασφαλίζει πλήρη διαφάνεια, ενισχύει σημαντικά τη συμβατότητα της τεχνολογίας Blockchain με τις απαιτήσεις του GDPR⁵⁷.

Περαιτέρω η όλη προβληματική θα μπορούσε εύκολα να επιλυθεί στην περίπτωση που η πώληση της παραγόμενης ενέργειας από αυτοπαραγωγούς πραγματοποιούνταν αποκλειστικά μέσω φορέων σωρευτικής εκπροσώπησης ή ενεργειακών κοινοτήτων πολιτών, δηλαδή μέσω οντοτήτων με νομική προσωπικότητα οι οποίες εξ ορισμού δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του GDPR. Επιπλέον, η

⁵⁰ Ο.π., Οδηγία (ΕΕ) 2019/944, αιτ. σκ. 44.

⁵¹ Ο.π., Κανονισμός (ΕΕ) 2016/679, άρθρο 5.

⁵² Ο.π., M. FINCK, 2018, σ. 29-30.

⁵³ Ο.π., M. FINCK, 2018, σ. 29-30.

⁵⁴ Όπως περιγράφεται στο άρθρο 5 παρ. 1 περ. γ' του Κανονισμού (ΕΕ) 2016/679 σχετικά με την αρχή ελαχιστοποίησης των δεδομένων.

⁵⁵ M. KÖHLER / I. MÜLLER-BOYSEN, Blockchain und Smart Contracts – Energieversorgung ohne Energieversorger?, ZNER, (3), 2018, σ. 203-209 και ειδικότερα σ. 208.

⁵⁶ M. MARTINI / Q. WEINZIERL, Die Blockchain-Technologie und das Recht auf Vergessenwerden, NVwZ, 2017, σ. 1251-1259 και ειδικότερα σ. 1256. Για περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τη μέθοδο Zero-Knowledge-Proof βλ. G. SAMMAN, The Trend Towards Blockchain Privacy: Zero Knowledge Proofs, 2016, διαθέσιμο στο: <https://www.coindesk.com/trend-towards-blockchain-privacy-zero-knowledge-proofs>.

⁵⁷ Ο.π., M. FINCK, 2018, σ. 18.

προστασία των προσωπικών δεδομένων των μελών των συλλογικών αυτών σχημάτων δεν σχετίζεται με τις ίδιες τις εφαρμογές Blockchain, καθώς η σχετική επεξεργασία πραγματοποιείται σε προγενέστερο στάδιο, στο πλαίσιο της εσωτερικής λειτουργίας της συλλογικότητας στην οποία συμμετέχουν οι αυτοπαραγωγοί ως φυσικά πρόσωπα.

Αν και η προηγούμενη ανάλυση επικεντρώνεται κυρίως στα ουσιαστικά δικαιώματα των υποκειμένων, δεν σημαίνει ότι οι υπόλοιπες προϋποθέσεις εφαρμογής του GDPR, όπως η παροχή έγκυρης συγκατάθεσης, δεν εγείρουν ζητήματα. Ειδικότερα, παραμένει ασαφές πώς μπορεί να διασφαλιστεί η ρητή και τεκμηριωμένη συγκατάθεση του υποκειμένου για την επεξεργασία των προσωπικών του δεδομένων στο πλαίσιο μιας εφαρμογής Blockchain. Συνολικά, η προστασία των προσωπικών δεδομένων αποδεικνύεται ιδιαίτερα δύσκολη, όταν πρόκειται για δημόσιες εφαρμογές Blockchain. Δεν μπορεί, άλλωστε, να αποκλειστεί το ενδεχόμενο η ίδια η πρόοδος της τεχνολογίας να οδηγήσει σε αναθεώρηση του σκοπού του Κανονισμού, ενισχύοντας την κυριαρχία των υποκειμένων επί των δεδομένων τους. Μια τέτοια εξέλιξη θα μπορούσε να επιτρέψει στα φυσικά πρόσωπα να έχουν πλήρη έλεγχο επί των προσωπικών τους δεδομένων, με δυνατότητα να τα επεξεργάζονται, να τα διορθώνουν ή να τα διαγράφουν κατά βούληση. Συνεπώς, μένει να φανεί αν η δυναμική των εφαρμογών Blockchain θα μπορέσει να συνδυαστεί με την αρχή της αυτοδιάθεσης των δεδομένων, υπηρετώντας ουσιαστικά τις επιταγές του GDPR για την προστασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα.

5. Η τεχνολογία Blockchain ως μέσο ενίσχυσης της ενεργειακής αλληλεγγύης και της ασφάλειας εφοδιασμού

Η βασική αρχιτεκτονική του συστήματος ηλεκτροδότησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση συγκροτείται από το φυσικό σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από τις επιμέρους αγορές που συναπαρτίζουν την οργανωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πλαίσιο της απελευθέρωσης της αγοράς, ο κλάδος της παραγωγής έχει πλέον λειτουργικώς αποσχισθεί από τον κλάδο της μεταφοράς.

Διακρίνονται δύο κύριοι τύποι δικτύων: (i) τα δίκτυα μεταφοράς, τα οποία εξυπηρετούν τη μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος σε εκτεταμένες αποστάσεις, διασυνοριακά ή εντός της επικράτειας, σε υψηλές και υπερυψηλές τάσεις (τυπικά ≥ 110 kV), και (ii) τα δίκτυα διανομής, τα οποία λειτουργούν σε μεσαίες και χαμηλές τάσεις και τροφοδοτούν τους τελικούς καταναλωτές (οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς, συνήθως στα 220/380 V).

Ο λειτουργικός αυτός διαχωρισμός είναι καίριας σημασίας, δεδομένου ότι οι σταθμοί παραγωγής τοποθετούνται κατά κανόνα σε μεγάλη απόσταση από τα αστικά κέντρα κατανάλωσης. Η ηλεκτρική ενέργεια από τους σταθμούς παραγωγής πρώτα μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές υψηλής τάσης και έπειτα μεταφέρεται μέσω του δικτύου μεταφοράς σε μακρινές αποστάσεις (με αυτό τον τρόπο οι απώλειες κατά τη μεταφορά ελαχιστοποιούνται). Στον τελικό προορισμό, διοχετεύεται σε υποσταθμούς μέσης ή χαμηλής τάσης οι οποίοι και συνορεύουν με τις προς χρήση περιοχές. Εκεί η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται από υψηλή σε μέση ή χαμηλή τάση, προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε σπίτια που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.

Η πτωτική τάση του κόστους των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, των ανεμογεννητριών μικρής κλίμακας και των συστημάτων αποθήκευσης έχει επιταχύνει τη διεύθυνση της αυτοπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μεμονωμένα νοικοκυριά και τελικούς καταναλωτές.⁵⁸ Οι εξελίξεις αυτές καθιστούν την αυτοπαραγωγή ολοένα και πιο ελκυστική⁵⁹ με αποτέλεσμα ένα αυξανόμενο ποσοστό καταναλωτών να διαφοροποιεί μερικώς ή και ουσιαδώς την εξάρτησή του από το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο, μειώνοντας τόσο τη ζήτηση από το κεντρικό σύστημα όσο και την οικονομική του έκθεση στις τιμές της χονδρεμπορικής αγοράς ηλεκτρισμού⁶⁰.

⁵⁸. IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2021, eBook Partnership, 2022.

⁵⁹. LAZARD, Levelized Cost of Energy (LCOE) v.16, 2023, σ. 12-15, διαθέσιμο στο: <https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/>.

⁶⁰. ACER, Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2022, 2023, σ. 55-58.

Η ενίσχυση της αυτοπαραγωγής και η διείσδυση αποκεντρωμένων πόρων ενέργειας οδήγησαν τα ενεργειακά συστήματα σε ένα ολοένα και πιο αποκεντρωμένο μοντέλο, μετατοπίζοντας σημαντικό μέρος της αγοραστικής και ρυθμιστικής ισχύος από τις παραδοσιακές μεγάλες εταιρείες κοινής ωφέλειας προς τους μεμονωμένους καταναλωτές-παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας⁶¹. Η τάση αυτή έχει ενθαρρύνει την ταχεία ανάπτυξη των ενεργειακών κοινοτήτων σε διεθνές επίπεδο, όπου νοικοκυριά και μικρές επιχειρήσεις παράγουν, αποθηκεύουν και ανταλλάσσουν ενέργεια μεταξύ τους⁶², δημιουργώντας νέες προκλήσεις και ευκαιρίες στη διαχείριση των δικτύων και στην οικονομική οργάνωση των συστημάτων ηλεκτροδότησης⁶³.

Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνολογία Blockchain αναδύεται ως θεμελιώδες εργαλείο ενίσχυσης της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης στην αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας από αυτοπαραγωγούς ενεργούς καταναλωτές. Η χρήση τεχνολογιών κατανεμημένων καθολικών όπως οι εφαρμογές Blockchain διασφαλίζει την αδιάβλητη καταγραφή των συναλλαγών, ενώ τα smart contracts επιτρέπουν την αυτόματη εκτέλεση συναλλαγών, περιορίζοντας την ανάγκη για κεντρική διαμεσολάβηση. Με τον τρόπο αυτό, η τεχνολογία Blockchain παρέχει ένα αξιόπιστο πλαίσιο για την οριζόντια ανταλλαγή ενέργειας ενισχύοντας ταυτόχρονα την ενεργειακή αλληλεγγύη και την ασφάλεια εφοδιασμού, αρχικά σε τοπικό επίπεδο θέτοντας τις βάσεις για μία bottom-up ευόδωση των στόχων της ενωσιακής πολιτικής ενέργειας. Ειδικότερα, τα μέλη ενεργειακών κοινοτήτων που λειτουργούν σε μικροδίκτυα μπορούν να ρυθμίζουν αυτοματοποιημένα την κατανομή της παραγόμενης ενέργειάς τους σε περιόδους αιχμής ή έλλειψης, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα του δικτύου συνολικά. Τέλος, η διαφάνεια και η ιχνηλασιμότητα που προσφέρουν οι εφαρμογές Blockchain εναρμονίζονται με το υπάρχον ρυθμιστικό πλαίσιο, δημιουργώντας ένα λειτουργικό υπόβαθρο όπου η τεχνολογική δυνατότητα και η κανονιστική αξιοπιστία συνυπάρχουν για τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας και της αμοιβαίας εμπιστοσύνης μεταξύ των χρηστών των καινοτόμων αυτών εργαλείων ανταλλαγής ενέργειας αποκεντρωμένα.

V. Συμπεράσματα

Η ψηφιοποίηση της ενέργειας, στηριζόμενη στις αρχές της απανθρακοποίησης, της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας και της τεχνολογικής καινοτομίας, συνιστά καθοριστικό παράγοντα για τη διαμόρφωση της ενιαίας αγοράς ενέργειας σε ενωσιακό επίπεδο. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας Blockchain και των έξυπνων συμβάσεων δύναται να προσφέρει ουσιαστικές μεταβολές στη λειτουργία των αγορών ενέργειας, ενισχύοντας τη διαφάνεια, την αποδοτικότητα και την ενεργό συμμετοχή των τελικών καταναλωτών. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στο ευρωπαϊκό ενεργειακό γίγνεσθαι αναδεικνύει νέες μορφές συναλλαγής και συνεργασίας, με νέες μορφές συμμετοχής για τους ευρωπαίους καταναλωτές οι οποίοι πλέον μπορούν να οργανώνονται σε ενεργειακές κοινότητες πολιτών, δυνατότητες οι οποίες μετασχηματίζουν τον ρόλο του καταναλωτή σε θεμελιώδη παράγοντα της αγοράς. Ωστόσο, η ταχεία αυτή τεχνολογική εξέλιξη εγείρει και κανονιστικές προκλήσεις, ιδίως ως προς την ερμηνεία και την εφαρμογή των υφιστάμενων κανόνων του δικαίου των συμβάσεων, της προστασίας του καταναλωτή και της προστασίας των προσωπικών δεδομένων.

Τόσο η ενωσιακή όσο και η εθνική έννομη τάξη κάνουν βήματα προς αυτή την κατεύθυνση με χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτά των νομοθετικών πρωτοβουλιών της τέταρτης δέσμης μέτρων για την αναδιοργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου αλλά και του Νόμου 4961/2022 δια του οποίου η ελληνική έννομη τάξη θεσπίζει ρυθμιστικό πλαίσιο για τις αναδυόμενες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών και την ενίσχυση της ψηφιακής διακυβέρνησης. Παρά ταύτα, εξακολουθούν να υφίστανται νομοθετικά κενά και ασάφειες. Συνεπώς, η πρόκληση δεν εντοπίζεται μόνο στην τεχνική εφαρμογή των νέων τεχνολογιών, αλλά κυρίως στην εναρμόνισή τους με τις θεμελιώδεις αρχές του ενωσιακού και των επιμέρους εθνικών εννόμων τάξεων των κρατών-μελών.

⁶¹. IEA, World Energy Outlook 2023, 2023, σ. 412-415.

⁶². CEER, Status Review on Regulatory Frameworks for Self-Consumption and Energy Communities, 2022, σ. 22-28.

⁶³. ENTSO-E., System Flexibility Needs for the Energy Transition, 2022, σ. 45-50.

Η ανάπτυξη ενός ευέλικτου, τεχνολογικά ουδέτερου και συνεκτικού ρυθμιστικού πλαισίου αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την ομαλή και ασφαλή ενσωμάτωση της τεχνολογίας Blockchain στον ενεργειακό τομέα, η αξιοποίησή της οποίας μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην επίτευξη των στόχων της πράσινης και ψηφιακής μετάβασης, εφόσον συνοδευτεί από ρυθμιστική σαφήνεια, τεχνική αξιοπιστία και θεσμική ωριμότητα.