



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

**Σχολή Οικονομικών, Επιχειρηματικών & Διεθνών Σπουδών
Τμήμα Οικονομικής Επιστήμης
Π.Μ.Σ. Βιοοικονομία, Κυκλική Οικονομία και Βιώσιμη Ανάπτυξη**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η Αμφίδρομη Σχέση Τηλεπικοινωνιών και
Βιωσιμότητας**

**The Bidirectional Relationship Between
Telecommunications and Sustainability**

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ

**Επιβλέπων Καθηγητής:
Μάρκος Τσελεκούνης Αναπληρωτής Καθηγητής**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2026

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η Αμφίδρομη Σχέση Τηλεπικοινωνιών και Βιωσιμότητας

Γεώργιος Τσίπουρας

A.M.: BIO2451



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



Υπεύθυνη Δήλωση
(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⁾ :	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ – ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ Π.Μ.Σ. ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ						
Όνομα:	ΓΕΩΡΓΙΟΣ			Επώνυμο:	ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ		
Όνομα και Επώνυμο Πατέρα:	ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ						
Όνομα και Επώνυμο Μητέρας:	ΣΑΡΑΝΤΟΥΛΑ ΠΑΡΛΑΠΑΝΗ						
Ημερομηνία γέννησης:	09/06/2001						
Τόπος Γέννησης:	ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ						
Αριθμός Δελτίου Ταυτότητας:	AN595585			Τηλ:	+306987677950		
Τόπος Κατοικίας:	Μαρούσι		Οδός:	Δερβενακίων	Αριθ:	1	ΤΚ: 15125
ΑΦΜ:	168346497		Δ/ση Ηλεκτρ. Ταχυδρομείου (E-mail):	georgechip@live.com			

Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις⁽²⁾, που προβλέπονται από τις διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

ΔΗΛΩΣΗ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2, 4, 6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/συνεισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι δε πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνο και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία στα οποία έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευκρινώς στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα της βιβλιογραφίας με πλήρη περιγραφή.

Ο Δηλών

Γεώργιος Τσίπουρας

Μαρούσι, 8 Σεπτεμβρίου 2026

08/09/2026

Ο - Η Δηλ.

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ

(1) Αναγράφεται από τον ενδιαφερόμενο πολίτη η αρχή ή η υπηρεσία του δημόσιου τομέα όπου απευθύνεται η αίτηση.

(2) Γνωρίζω ότι: 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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη σχέση μεταξύ τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας, με στόχο την ανάλυση της αμφίδρομης αλληλεπίδρασης μεταξύ του τομέα των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και της βιώσιμης ανάπτυξης. Ειδικότερα, διερευνάται τόσο η συμβολή των τηλεπικοινωνιών στη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης άλλων τομέων της οικονομίας όσο και η επίδραση των αρχών βιωσιμότητας στον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη λειτουργία των τηλεπικοινωνιακών υποδομών.

Η μεθοδολογία της εργασίας βασίζεται σε εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση διεθνών επιστημονικών μελετών, εκθέσεων οργανισμών και τεχνικών αναφορών που σχετίζονται με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ΤΠΕ, την ενεργειακή κατανάλωση των δικτύων και τις σύγχρονες πρακτικές βιώσιμης ανάπτυξης. Η ανάλυση οργανώνεται σε διακριτά στάδια, τα οποία περιλαμβάνουν την παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου, την κατηγοριοποίηση των βασικών συνιστωσών του ICT τομέα, την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την εξέταση των τεχνολογικών και στρατηγικών εξελίξεων που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα.

Τα αποτελέσματα της εργασίας καταδεικνύουν ότι οι ΤΠΕ διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη βιώσιμη ανάπτυξη, συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων, στη μείωση των εκπομπών και στην ανάπτυξη «έξυπνων» συστημάτων σε κρίσιμους τομείς όπως η ενέργεια, οι μεταφορές και η βιομηχανία. Παράλληλα, αναδεικνύεται ότι η αυξανόμενη ζήτηση για ψηφιακές υπηρεσίες οδηγεί σε αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης, γεγονός που δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για τον τομέα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην έννοια των πράσινων δικτύων (green networks), στη μετάβαση προς τα δίκτυα 5G και 6G και στον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης, τα οποία αποτελούν βασικούς παράγοντες για τη μελλοντική βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Συμπερασματικά, η εργασία αναδεικνύει ότι η επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης στον τομέα των τηλεπικοινωνιών προϋποθέτει την ενσωμάτωση της βιωσιμότητας στον σχεδιασμό των τεχνολογιών, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την εφαρμογή ολοκληρωμένων στρατηγικών διαχείρισης πόρων. Η ισορροπία μεταξύ ψηφιακής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής προστασίας αποτελεί βασική πρόκληση για το μέλλον.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Τηλεπικοινωνίες και Βιώσιμη Ανάπτυξη

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ΤΠΕ, βιωσιμότητα, ενεργειακή αποδοτικότητα, πράσινα δίκτυα, τεχνητή νοημοσύνη

ABSTRACT

This thesis examines the relationship between telecommunications and sustainability, aiming to analyze the bidirectional interaction between the Information and Communication Technologies (ICT) sector and sustainable development. In particular, it investigates both the contribution of telecommunications to improving environmental performance across various sectors of the economy and the impact of sustainability principles on the design, development, and operation of telecommunications infrastructures.

The methodology is based on an extensive literature review of international scientific studies, institutional reports, and technical documents related to the environmental footprint of ICT, the energy consumption of networks, and current sustainability practices. The analysis is structured in distinct stages, including the presentation of the theoretical framework, the classification of ICT components, the assessment of environmental impacts, and the examination of technological and strategic developments related to sustainability.

The findings indicate that ICT plays a crucial role in enabling sustainable development by optimizing resource use, reducing emissions, and supporting the deployment of smart systems in key sectors such as energy, transportation, and industry. At the same time, the increasing demand for digital services leads to rising energy consumption, creating significant challenges for the sector. Particular emphasis is placed on the concept of green networks, the transition to 5G and 6G technologies, and the role of artificial intelligence, all of which are key drivers for improving energy efficiency in the future.

In conclusion, the study highlights that achieving sustainability in the telecommunications sector requires the integration of sustainability principles into technology design, the adoption of renewable energy sources, and the implementation of comprehensive resource management strategies. Balancing digital growth with environmental protection remains a major challenge for the years ahead.

SUBJECT AREA: Telecommunications and Sustainable Development

KEYWORDS: ICT, sustainability, energy efficiency, green networks, artificial intelligence

Στην οικογένεια μου, που με στηρίζει σε κάθε μου προσπάθεια

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Μάρκο Τσελεκούνη, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Οι γνώσεις και οι συμβουλές του υπήρξαν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της.

Επίσης, ευχαριστώ την οικογένειά μου, για την αμέριστη στήριξη και την κατανόησή της καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1	Σκοπός της εργασίας.....	11
1.2	Οργάνωση της Εργασίας.....	12
2	ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ.....	13
2.1	Οι Σύγχρονες Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών.....	13
2.2	Βιωσιμότητα και Κυκλική Οικονομία	16
2.2.1	Η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	16
2.2.2	Θεωρητικά Μοντέλα Βιωσιμότητας: EMT, EKC και Rebound Effect.....	17
2.2.3	Η έννοια της βιωσιμότητας στο περιβάλλον των τηλεπικοινωνιών	18
3	Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (ΤΠΕ) ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ	20
3.1	Η καταλυτική επίδραση των ΤΠΕ στη Βιωσιμότητα.....	20
3.1.1	Μεταφορές και Logistics	20
3.1.2	Περιβάλλον και Ενέργεια	21
3.1.3	Βιομηχανία και Παραγωγή (Industry 4.0).....	21
3.1.4	Τηλεργασία και Ψηφιακή Οικονομία	22
3.1.5	Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities)	22
3.1.6	Οι ψηφιακές τεχνολογίες είναι παντού	23
3.2	Το Περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ΤΠΕ	24
3.2.1	Επίδραση των ΤΠΕ στο περιβάλλον ανά κατηγορία	24
3.2.2	Επίδραση των ΤΠΕ στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια ζωής τους	25
3.2.3	Επίδραση των ψηφιακών υπηρεσιών των ΤΠΕ στο περιβάλλον.....	26
3.2.4	Άλλες επιπτώσεις των ΤΠΕ στο περιβάλλον	27
3.3	Η επίδραση της Βιωσιμότητας στον τομέα των ΤΠΕ	27
3.3.1	ΤΠΕ και Ενεργειακή κατανάλωση.....	27
3.3.2	ΤΠΕ και Κυκλική Οικονομία	28
3.3.3	ΤΠΕ και μείωση των εκπομπών του πεδίου εφαρμογής 3 (Scope 3).....	28
3.3.4	Ο ρόλος των ρυθμιστικών Αρχών και των καταναλωτών	29
3.4	Τηλεπικοινωνίες και βιώσιμη ανάπτυξη: Μια αμφίδρομη σχέση.....	29
3.5	Προκλήσεις και Περιορισμοί στη Βιώσιμη Ανάπτυξη των Τηλεπικοινωνιών.....	31
3.5.1	Αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και της ζήτησης δεδομένων	31
3.5.2	Ηλεκτρονικά απόβλητα και διαχείριση πόρων	31
3.5.3	Το ψηφιακό χάσμα και οι κοινωνικές ανισότητες	32
3.5.4	Το φαινόμενο rebound και οι αντιφάσεις της αποδοτικότητας	32
3.5.5	Ρυθμιστικές και τεχνολογικές προκλήσεις.....	32
3.5.6	Συνολική αποτίμηση των προκλήσεων και των περιορισμών	32
4	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΙΣ ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	34
4.1	Δίκτυα 5G και 6G και ενεργειακή αποδοτικότητα.....	34
4.2	Ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence AI)	34

4.3	Net-Zero και ολιστικές στρατηγικές και πράσινη ενέργεια	35
4.4	Πράσινες Δικτυακές Υποδομές- Green Networks.....	36
4.5	Συνολική αποτίμηση των μελλοντικών τάσεων.....	37
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	39

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Δίκτυα οπτικών ινών κορμού και πρόσβασης.....	13
Σχήμα 2. Δίκτυο 6G και οι παρεχόμενες υπηρεσίες [6]	14
Σχήμα 3. Σύγχρονο ολοκληρωμένο Δίκτυο Τηλεπικοινωνιών [7]	14
Σχήμα 4. IoT εφαρμογές.....	15
Σχήμα 5. Η Περιβαλλοντική Καμπύλη Kuznets [13]	18
Σχήμα 6. Οι ΤΠΕ ως μοχλός βιωσιμότητας για ενεργειακή αποδοτικότητα, περιβαλλοντική προστασία και πράσινη ανάπτυξη	19
Σχήμα 7. Τα έξυπνα συστήματα μεταφορών (ITS) αξιοποιούν τις ΤΠΕ	20
Σχήμα 8. Έξυπνα ενεργειακά συστήματα (smart grids) και ΤΠΕ.....	21
Σχήμα 9. ΤΠΕ και τα έξυπνα εργοστάσια	22
Σχήμα 10. Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities).....	22
Σχήμα 11. Οι ψηφιακές τεχνολογίες στη γεωργία, εκπαίδευση, δημόσια διοίκηση και την υγεία.....	23
Σχήμα 12. Sources of ICT sector emissions [15]	24
Σχήμα 13. Συνεισφορά στις εκπομπές GHG των ΤΠΕ ανά κατηγορία [2].....	25
Σχήμα 14. Κύκλος ζωής τηλεπικοινωνιακών υποδομών και σχετικές δραστηριότητες ανά φάση (κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση και διαχείριση αποβλήτων).....	26
Σχήμα 15 Κατανάλωση ισχύος ανά συνδρομητή για διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης σε συνάρτηση με τον αριθμό των συνδρομητών [2].....	28
Σχήμα 16 Η διττή προσέγγιση της τεχνητής νοημοσύνης στη βιωσιμότητα: “Green by AI” και “Green in AI”	35
Σχήμα 17 Εξέλιξη κατανάλωσης ενέργειας και ανθρακικού αποτυπώματος στον τομέα ICT (2005–2030).....	36

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Η αμφίδρομη σχέση τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας.....	29
--	----

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ραγδαία ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών τις τελευταίες δεκαετίες έχει μετασχηματίσει ριζικά την οικονομία, την κοινωνία και τον τρόπο ζωής των ανθρώπων. Τα δίκτυα επικοινωνιών αποτελούν πλέον μια κρίσιμη υποδομή, αντίστοιχη με τα ενεργειακά και τα δίκτυα μεταφοράς, υποστηρίζοντας σχεδόν κάθε πτυχή της σύγχρονης δραστηριότητας. Ταυτόχρονα, η αυξανόμενη ανησυχία για την κλιματική αλλαγή και την εξάντληση των φυσικών πόρων έχει φέρει στο προσκήνιο την έννοια της βιωσιμότητας, η οποία επηρεάζει όλο και περισσότερο τις τεχνολογικές και οικονομικές αποφάσεις.

Στο πλαίσιο αυτό, οι τηλεπικοινωνίες βρίσκονται σε ένα κρίσιμο σημείο ισορροπίας. Από τη μία πλευρά, συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω της ψηφιοποίησης δραστηριοτήτων, της βελτιστοποίησης ενεργειακών συστημάτων και της ανάπτυξης έξυπνων υποδομών. Από την άλλη πλευρά, αποτελούν έναν ταχέως αναπτυσσόμενο καταναλωτή ενέργειας και φυσικών πόρων, καθώς η αυξανόμενη ζήτηση για δεδομένα αλλά και εφαρμογές AI οδηγεί σε συνεχή επέκταση των δικτύων και των Data Centers

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, ο τομέας των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ICT) ευθύνεται για περίπου 2 – 4% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και για 7 – 9% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας [1]. Παράλληλα, αναγνωρίζεται ως βασικός «ενεργοποιητής» για τη μείωση εκπομπών σε άλλους τομείς, όπως η ενέργεια, οι μεταφορές και τα κτίρια. Η διττή αυτή φύση καθιστά τις τηλεπικοινωνίες έναν από τους πιο κρίσιμους τομείς στη μετάβαση προς μια βιώσιμη οικονομία.

Η παρούσα εργασία επιχειρεί να αναλύσει σε βάθος αυτή την αμφίδρομη σχέση, συνδυάζοντας θεωρητική προσέγγιση με σύγχρονα δεδομένα και τεχνολογικές εξελίξεις. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις ευρωπαϊκές πολιτικές, στις εξελίξεις στην Ελλάδα και στις μελλοντικές τάσεις, όπως τα δίκτυα 5G, 6G και «πράσινα» οπτικά δίκτυα.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια της βιωσιμότητας έχει εξελιχθεί από ένα περιβαλλοντικό ζητούμενο σε μια ολιστική προσέγγιση ανάπτυξης που περιλαμβάνει περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η βιωσιμότητα αποτελεί κεντρικό στόχο πολιτικής, με το Ευρωπαϊκό Πράσινο Σύμφωνο να θέτει ως βασική επιδίωξη την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 [2].

Παράλληλα, η ψηφιοποίηση της οικονομίας και της κοινωνίας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές, όπως τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι οπτικές ίνες και τα συστήματα δεδομένων, δεν λειτουργούν απλώς ως μέσα μετάδοσης πληροφορίας, αλλά ως κρίσιμες υποδομές που διαμορφώνουν τον τρόπο λειτουργίας των σύγχρονων κοινωνιών. Παράλληλα, η βιωσιμότητα επιβάλλει νέες απαιτήσεις στον σχεδιασμό, τη λειτουργία και την εξέλιξη αυτών των υποδομών. Τα δίκτυα νέας γενιάς, οι οπτικές ίνες και τα συστήματα δεδομένων και AI επιτρέπουν τη διαχείριση τεράστιων όγκων πληροφορίας, οι οποίοι αυξάνονται εκθετικά. Ενδεικτικά, εκτιμάται ότι η παγκόσμια διακίνηση δεδομένων αυξάνεται με ρυθμούς άνω του 25–40% ετησίως, γεγονός που οδηγεί σε εκθετική αύξηση των απαιτήσεων για υποδομές και ενέργεια [1].

Η ταυτόχρονη ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών και η ανάγκη για βιωσιμότητα δημιουργούν μια σύνθετη σχέση αλληλεπίδρασης. Οι τηλεπικοινωνίες συμβάλλουν στη βιώσιμη ανάπτυξη μέσω της αποδοτικότερης χρήσης των πόρων, της μείωσης των μετακινήσεων και της υποστήριξης έξυπνων συστημάτων. Ωστόσο, η ίδια η λειτουργία τους συνεπάγεται σημαντική κατανάλωση ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη φάση λειτουργίας των δικτύων, η οποία αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών [2].

Η έννοια της αμφίδρομης σχέσης αναφέρεται ακριβώς σε αυτή τη δυναμική. Από τη μία πλευρά, οι τηλεπικοινωνίες λειτουργούν ως εργαλείο βιωσιμότητας, επιτρέποντας τη μείωση των εκπομπών σε άλλους τομείς. Από την άλλη πλευρά, οι απαιτήσεις της βιωσιμότητας επηρεάζουν τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, οδηγώντας σε νέες τεχνολογικές και ρυθμιστικές–κανονιστικές προσεγγίσεις. Αυτή ακριβώς η σχέση αναδεικνύει την ανάγκη ταυτόχρονης ανάπτυξης ψηφιακών τεχνολογιών και περιβαλλοντικά υπεύθυνων πρακτικών, καθώς μπορεί τόσο να επιβαρύνει όσο και να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ανθρώπινης δραστηριότητας [3].

1.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και ανάλυση της αμφίδρομης σχέσης μεταξύ τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας, με έμφαση τόσο στις θετικές επιδράσεις των τηλεπικοινωνιών στην περιβαλλοντική προστασία όσο και στις περιβαλλοντικές προκλήσεις που προκύπτουν από την ανάπτυξη των δικτύων.

Η εργασία επιδιώκει να αναδείξει τον ρόλο των τηλεπικοινωνιών ως βασικού παράγοντα που υποστηρίζει τη βιώσιμη ανάπτυξη, μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών όπως το Internet of Things, η τεχνητή νοημοσύνη και τα έξυπνα ενεργειακά συστήματα. Παράλληλα, εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο οι περιβαλλοντικές πολιτικές, οι κανονισμοί και οι απαιτήσεις βιωσιμότητας επηρεάζουν τον τηλεπικοινωνιακό τομέα, οδηγώντας σε αλλαγές στον σχεδιασμό των δικτύων, στη χρήση ενέργειας και στη διαχείριση πόρων.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην κατανόηση του ενεργειακού αποτυπώματος των τηλεπικοινωνιακών υποδομών, καθώς και στις προοπτικές μείωσής του μέσω τεχνολογικών καινοτομιών και πολιτικών παρεμβάσεων. Επιπλέον, εξετάζονται οι

προκλήσεις που προκύπτουν από την αυξανόμενη ζήτηση για δεδομένα και την ανάγκη για συνεχή αναβάθμιση των υποδομών.

1.2 Οργάνωση της Εργασίας

Η παρούσα εργασία είναι δομημένη σε διακριτά κεφάλαια, τα οποία αναπτύσσονται με στόχο τη συστηματική ανάλυση της σχέσης μεταξύ τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας.

Στην εισαγωγή της εργασίας, αναλύεται το γενικό πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης και της ψηφιακής μετάβασης, καθώς και η σημασία του τομέα των τηλεπικοινωνιών. Επιπλέον, διατυπώνεται ο σκοπός της εργασίας και περιγράφεται συνοπτικά η δομή της.

Το Κεφάλαιο 1 παρέχει το θεωρητικό υπόβαθρο της μελέτης, εστιάζοντας στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες και τη βιωσιμότητα. Ειδικότερα, αναλύεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ΤΠΕ, ο ρόλος τους ως καταλύτη βιώσιμης ανάπτυξης, τα βασικά θεωρητικά μοντέλα που περιγράφουν τη σχέση τεχνολογίας και περιβάλλοντος, καθώς και η έννοια των πράσινων δικτύων, με έμφαση στις ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες και στα οπτικά δίκτυα.

Στο Κεφάλαιο 2 εξετάζεται η αμφίδρομη σχέση μεταξύ ΤΠΕ και βιωσιμότητας. Αναλύονται τόσο οι θετικές επιδράσεις των ΤΠΕ στη βιώσιμη ανάπτυξη όσο και οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την ανάπτυξή τους. Παράλληλα, διερευνάται η επίδραση των αρχών βιωσιμότητας στον μετασχηματισμό του τηλεπικοινωνιακού τομέα, συμπεριλαμβανομένων των πρακτικών ESG, της κυκλικής οικονομίας και της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Το Κεφάλαιο 3 επικεντρώνεται στις βασικές προκλήσεις και τα σύνθετα ζητήματα που ανακύπτουν από την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας, στο φαινόμενο rebound, στη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων και στις απαιτήσεις που προκύπτουν από τη συνεχή αύξηση της ζήτησης για δεδομένα και ψηφιακές υπηρεσίες.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι μελλοντικές τάσεις και οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, με έμφαση στα δίκτυα 5G και 6G, στην ανάπτυξη πράσινων δικτύων και στον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης. Αναλύεται η συμβολή των νέων τεχνολογιών στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, καθώς και οι προοπτικές για τη μετάβαση σε ένα βιώσιμο ψηφιακό οικοσύστημα.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας, όπου συνοψίζονται τα βασικά ευρήματα και αναδεικνύονται οι κύριες προκλήσεις και προοπτικές για το μέλλον του τομέα των τηλεπικοινωνιών σε σχέση με τη βιώσιμη ανάπτυξη.

2 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

Με τον όρο «σύγχρονες τηλεπικοινωνίες», δεν αναφερόμαστε μόνο στην παραδοσιακή μετάδοση φωνής και δεδομένων, αλλά σε ένα ευρύτερο ψηφιακό οικοσύστημα που περιλαμβάνει σταθερά και κινητά δίκτυα, δίκτυα οπτικών ινών, 5G και μελλοντικά 6G, δορυφορικές επικοινωνίες, data centers, cloud υποδομές, Internet of Things και ευφυή συστήματα διαχείρισης δικτύων. Σήμερα οι τηλεπικοινωνίες αντιμετωπίζονται ως κρίσιμη υποδομή της ψηφιακής οικονομίας και της κοινωνικής λειτουργίας [2].

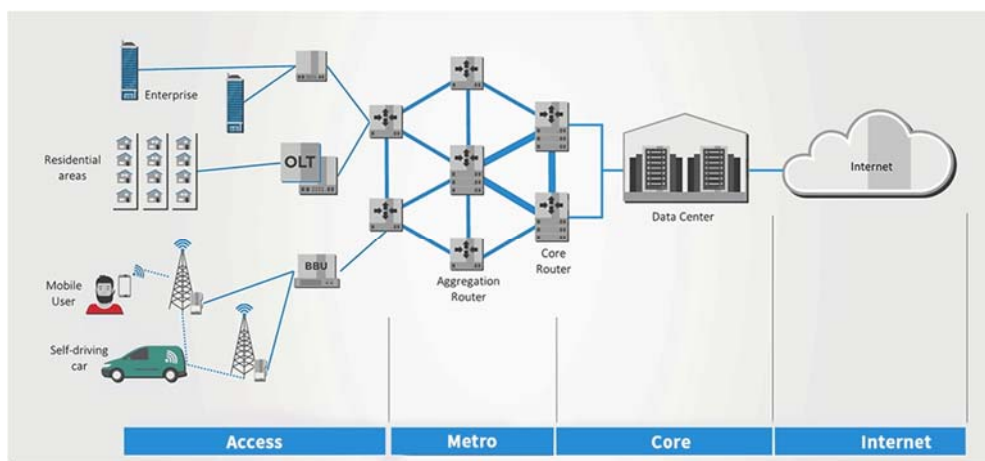
Η βιώσιμη ανάπτυξη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες που εξετάζονται όπως για παράδειγμα η ενεργειακή απόδοση, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ανακύκλωση (κυκλική οικονομία) και η χρήση βιώσιμων υλικών κλπ. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε όλο το φάσμα των τηλεπικοινωνιακών υποδομών, συμπεριλαμβανομένων των κέντρων δεδομένων και των κινητών δικτύων, κρίνεται κρίσιμη για την βιωσιμότητα των δικτύων, για τον λόγο αυτό, η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την κίνηση των δικτύων είναι σημαντική για τη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος [4].

Βιωσιμότητα δεν σημαίνει μόνο περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Περιλαμβάνει επίσης τη διαχείριση πρώτων υλών, ακόμη και ζητήματα νερού, βιοποικιλότητας και εφοδιαστικής αλυσίδας. Ακόμη, η αναβάθμιση των υποδομών για την αποφυγή σπατάλης ενέργειας και την αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου είναι παράγοντες, που θα συμβάλλουν καθοριστικά στην ανάπτυξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών [5].

2.1 Οι Σύγχρονες Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών

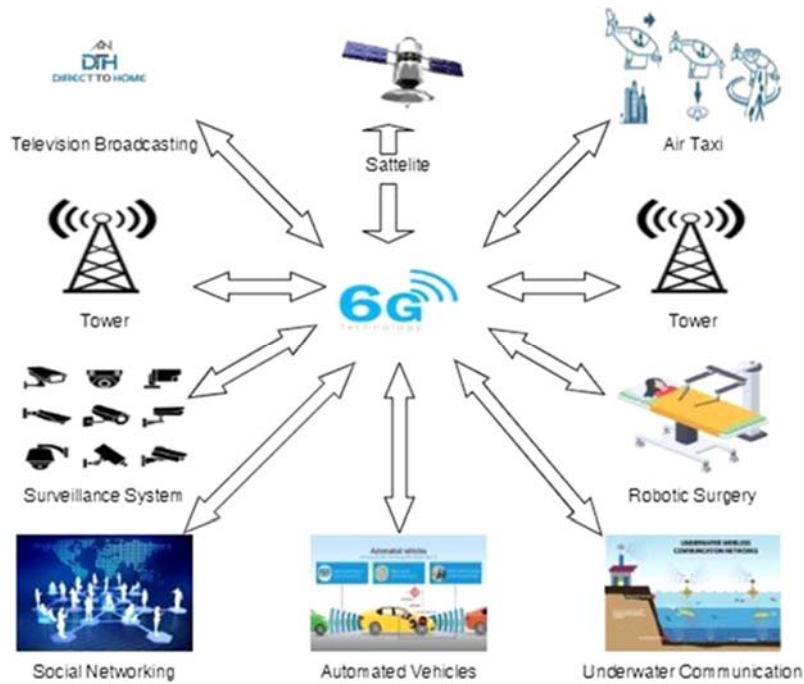
Οι σύγχρονες τηλεπικοινωνίες αποτελούν έναν από τους βασικότερους πυλώνες της ψηφιακής οικονομίας και της κοινωνίας της πληροφορίας. Ο όρος «σύγχρονες τηλεπικοινωνίες» περιλαμβάνει ένα ευρύ και δυναμικά εξελισσόμενο οικοσύστημα τεχνολογιών, υποδομών και υπηρεσιών που επιτρέπουν τη διασύνδεση ανθρώπων, συσκευών και συστημάτων σε παγκόσμια κλίμακα.

Στο επίκεντρο των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών βρίσκονται τα δίκτυα υψηλής ταχύτητας και μεγάλης χωρητικότητας, όπως τα δίκτυα οπτικών ινών και τα κινητά δίκτυα νέας γενιάς όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



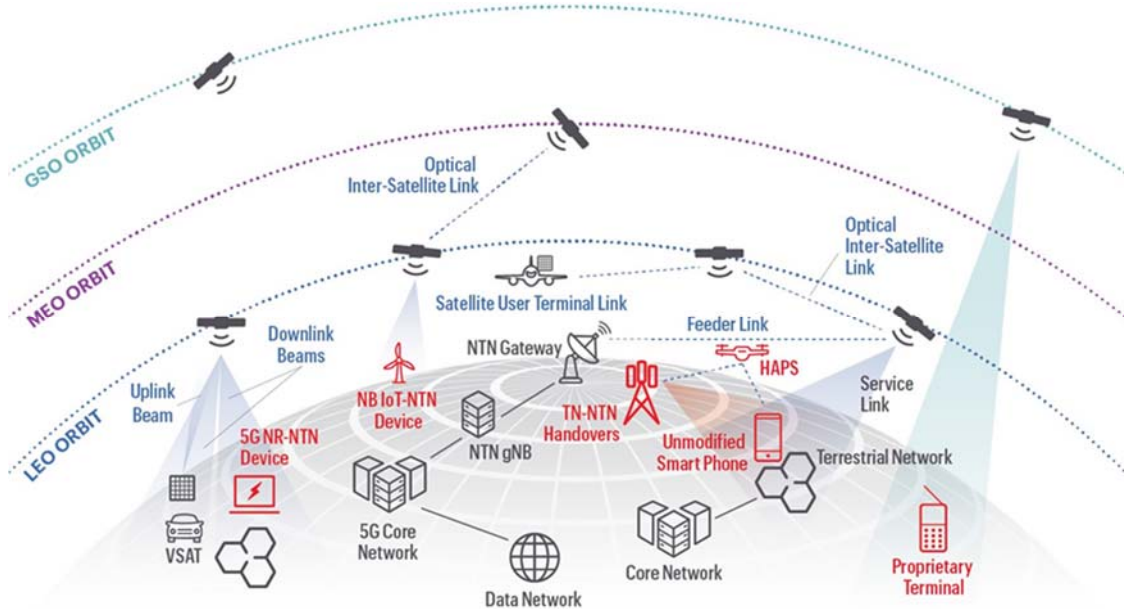
Σχήμα 1. Δίκτυα οπτικών ινών κορμού και πρόσβασης

Στα δίκτυα υψηλής ταχύτητας συμπεριλαμβάνονται πλέον τα κινητά (mobile) δίκτυα 5G και τα υπό ανάπτυξη 6G. Τα δίκτυα αυτά υποστηρίζουν πληθώρα εφαρμογών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



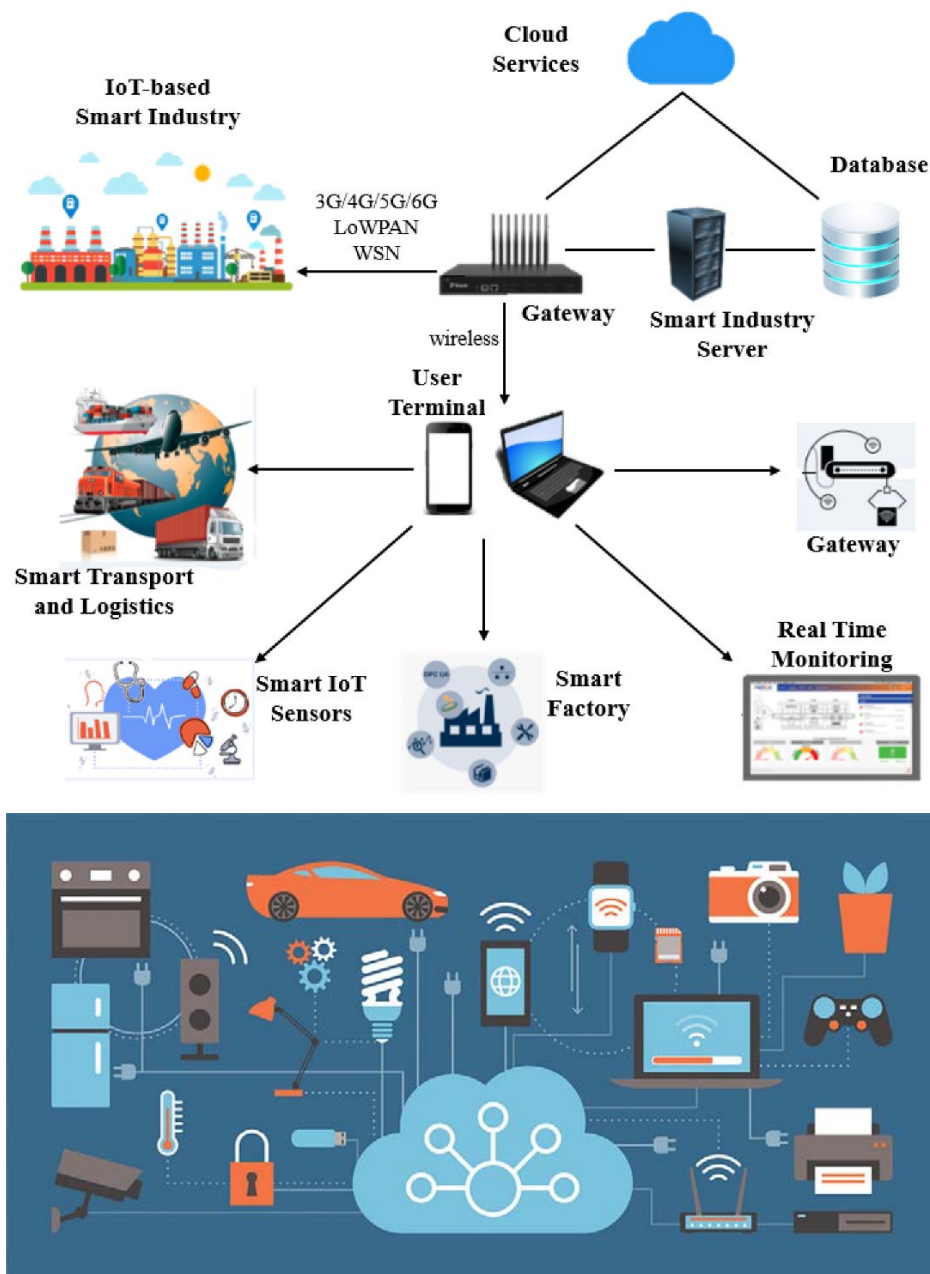
Σχήμα 2. Δίκτυο 6G και οι παρεχόμενες υπηρεσίες [6]

Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και δυνατότητα υποστήριξης τεράστιου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών. Παράλληλα, η ανάπτυξη νέας γενιάς ολοκληρωμένων επίγειων και μη δικτύων και δορυφορικών συστημάτων (Non-Terrestrial Networks - Σχήμα 3) συμβάλλει στην παγκόσμια κάλυψη και στη μείωση του ψηφιακού χάσματος.



Σχήμα 3. Σύγχρονο ολοκληρωμένο Δίκτυο Τηλεπικοινωνιών [7]

Στα παραπάνω δίκτυα στηρίζονται οι εφαρμογές IoT (Internet of Things) όπου συσκευές (things) συνδέονται στο διαδίκτυο, συλλέγουν δεδομένα και επικοινωνούν μεταξύ τους ή με κεντρικά συστήματα (Σχήμα 4). Είναι «έξυπνες» συσκευές που αισθάνονται, επικοινωνούν και δρουν. Από τους ανιχνευτές καλής φυσικής κατάστασης έως τα έξυπνα συστήματα θέρμανσης, το (IoT) περιγράφει το αναπτυσσόμενο δίκτυο συσκευών με δυνατότητα σύνδεσης των μέσω διαδικτύου.



Σχήμα 4, IoT εφαρμογές

Το IoT επιτρέπει επίσης τη δημιουργία έξυπνων πόλεων και στο μέλλον την ύπαρξη αυτοκίνητων χωρίς οδηγό. Μαζί με άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες όπως το AI, το IoT είναι μέρος της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, οι τηλεπικοινωνίες δεν λειτουργούν πλέον ως αυτόνομες υποδομές, αλλά ως μέρος ενός ευρύτερου ψηφιακού οικοσυστήματος που περιλαμβάνει τα data centres, τις πλατφόρμες cloud, τις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και το Internet of Things. Οι υποδομές αυτές επιτρέπουν τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία τεράστιων όγκων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, δημιουργώντας νέες δυνατότητες για την αυτοματοποίηση, τη βελτιστοποίηση και τη λήψη αποφάσεων.

Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών έχει οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται οι κοινωνικές και οικονομικές δραστηριότητες. Η δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας και πρόσβασης στην πληροφορία έχει επιτρέψει την ανάπτυξη

νέων μορφών εργασίας, όπως η τηλεργασία, καθώς και νέων επιχειρηματικών μοντέλων, όπως το ηλεκτρονικό εμπόριο και οι ψηφιακές πλατφόρμες. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των τηλεπικοινωνιών σε άλλους τομείς, όπως η ενέργεια, οι μεταφορές και η υγεία, έχει δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων και υπηρεσιών.

Ωστόσο, η ραγδαία ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης για δεδομένα οδηγεί σε εκθετική αύξηση της κίνησης δικτύου, γεγονός που απαιτεί συνεχή επέκταση και αναβάθμιση των υποδομών. Η εξέλιξη αυτή έχει άμεσες επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας και στη χρήση φυσικών πόρων, καθιστώντας τις τηλεπικοινωνίες έναν από τους βασικούς τομείς που πρέπει να ενσωματώσουν αρχές βιωσιμότητας στον σχεδιασμό και τη λειτουργία τους.

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, η κατανάλωση ενέργειας των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και των συναφών υποδομών αυξάνεται λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για ψηφιακές υπηρεσίες, παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα των τεχνολογιών. Το γεγονός αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για ανάπτυξη πιο αποδοτικών και βιώσιμων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Συνολικά, οι σύγχρονες τηλεπικοινωνίες αποτελούν θεμελιώδη υποδομή της σύγχρονης κοινωνίας, με καθοριστικό ρόλο τόσο στην οικονομική ανάπτυξη όσο και στη βιωσιμότητα. Η κατανόηση της φύσης και της λειτουργίας τους είναι απαραίτητη για την ανάλυση της σχέσης τους με το περιβάλλον και για τη διαμόρφωση στρατηγικών που θα επιτρέψουν την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης.

2.2 Βιωσιμότητα και Κυκλική Οικονομία

Η έννοια της βιωσιμότητας (sustainability) αναφέρεται στην ικανότητα των σύγχρονων κοινωνιών να ικανοποιούν τις ανάγκες τους χωρίς να υπονομεύουν τις δυνατότητες των μελλοντικών γενεών. Η έννοια της βιωσιμότητας, αν και αρχικά συνδέθηκε κυρίως με την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και τη διαχείριση των φυσικών πόρων, έχει εξελιχθεί σε μια πολυδιάστατη προσέγγιση που περιλαμβάνει περιβαλλοντικές (προστασία φυσικών πόρων), κοινωνικές (ισότητα και ευημερία) και οικονομικές διαστάσεις (βιώσιμη ανάπτυξη).

Η κυκλική οικονομία (circular economy) αποτελεί ένα εναλλακτικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης που αντικαθιστά το γραμμικό μοντέλο: “παράγω – χρησιμοποιώ - απορρίπτω”. Οι Βασικές της αρχές περιλαμβάνουν την επαναχρησιμοποίηση και την παράταση ζωής των προϊόντων, την ανακύκλωση υλικών, και τη μείωση των αποβλήτων. Στόχος είναι η διατήρηση των πόρων μέσα στην οικονομία για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η κυκλική οικονομία μειώνει την πίεση στους φυσικούς πόρους, συμβάλλει στη μείωση εκπομπών CO₂ και ενισχύει την ενεργειακή αποδοτικότητα. Κατά συνέπεια αποτελεί βασικό εργαλείο για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας.

2.2.1 Η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη βιωσιμότητα διαμορφώνεται μέσα από ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο πολιτικών, που συνδέει την περιβαλλοντική προστασία με την οικονομική ανάπτυξη και την τεχνολογική καινοτομία. Κεντρικός πυλώνας αυτής της στρατηγικής είναι η μετάβαση σε ένα βιώσιμο και αποδοτικό σύστημα, το οποίο βασίζεται στις αρχές της κυκλικής οικονομίας και της αποδοτικής χρήσης πόρων.

Η ευρωπαϊκή προσέγγιση ενσωματώνει τους στόχους της Ατζέντας 2030 του ΟΗΕ και υλοποιείται κυρίως μέσω της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, η οποία θέτει ως βασικό στόχο την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Παράλληλα, προβλέπεται ενδιάμεσος στόχος για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990,

στόχοι που έχουν θεσμοθετηθεί μέσω της Ευρωπαϊκής Κλιματικής Νομοθεσίας [8], [10].

Στο πλαίσιο αυτό, η κυκλική οικονομία αποτελεί βασικό εργαλείο υλοποίησης της στρατηγικής της ΕΕ, καθώς προωθεί τη μείωση των αποβλήτων, την επαναχρησιμοποίηση υλικών και την επέκταση του κύκλου ζωής των προϊόντων. Η μετάβαση αυτή δεν περιορίζεται μόνο στη διαχείριση αποβλήτων, αλλά απαιτεί αλλαγές σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, από τον σχεδιασμό προϊόντων έως τα καταναλωτικά πρότυπα. Παράλληλα, η κυκλική οικονομία στοχεύει στη διατήρηση της αξίας των πόρων μέσα στην οικονομία για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, συμβάλλοντας τόσο στη μείωση των εκπομπών όσο και στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής οικονομίας [9].

Η στρατηγική της ΕΕ δεν περιορίζεται μόνο σε περιβαλλοντικούς στόχους, αλλά συνδέεται άμεσα με την οικονομική ανάπτυξη και την καινοτομία. Μέσα από πολιτικές όπως το Circular Economy Action Plan και την Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal), η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει να δημιουργήσει νέες αγορές, να ενισχύσει την πράσινη βιομηχανία και να προωθήσει τεχνολογίες που υποστηρίζουν τη βιώσιμη μετάβαση. Η μετάβαση αυτή θεωρείται κρίσιμη όχι μόνο για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και για τη διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας και της στρατηγικής αυτονομίας της Ευρώπης [10].

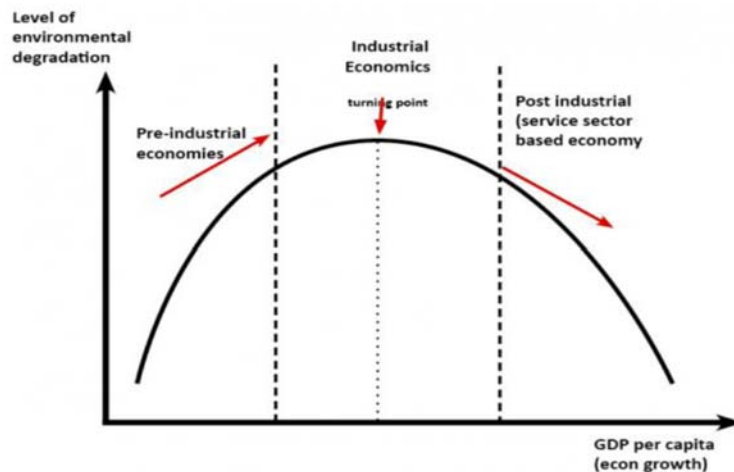
Ιδιαίτερη σημασία δίνεται επίσης στον ρόλο των ψηφιακών τεχνολογιών, οι οποίες λειτουργούν ως καταλύτης για την υλοποίηση της κυκλικής οικονομίας. Τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το IoT και τα ψηφιακά δίδυμα (Digital twins) επιτρέπουν την καλύτερη παρακολούθηση των πόρων και τη βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, ενισχύοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Ωστόσο, η ίδια η ψηφιακή μετάβαση δημιουργεί νέες προκλήσεις, όπως η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και η ανάγκη για βιώσιμη διαχείριση των ψηφιακών υποδομών.

2.2.2 Θεωρητικά Μοντέλα Βιωσιμότητας: EMT, EKC και Rebound Effect

Η ανάλυση της σχέσης μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης, τεχνολογικής πρόοδου και περιβαλλοντικής επίδρασης βασίζεται σε μια σειρά θεωρητικών προσεγγίσεων που επιχειρούν να ερμηνεύσουν τη δυναμική της βιωσιμότητας. Μεταξύ αυτών, ιδιαίτερη σημασία έχουν η Θεωρία Οικολογικού Εκσυγχρονισμού (Ecological Modernization Theory – EMT), η Περιβαλλοντική Καμπύλη Kuznets (Environmental Kuznets Curve – EKC) και το φαινόμενο Rebound Effect. Τα μοντέλα αυτά παρέχουν διαφορετικές αλλά συμπληρωματικές οπτικές για τον ρόλο της τεχνολογίας και της οικονομικής ανάπτυξης στη διαμόρφωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η **Θεωρία Οικολογικού Εκσυγχρονισμού** υποστηρίζει ότι η τεχνολογική πρόοδος και η καινοτομία μπορούν να λειτουργήσουν ως βασικοί μηχανισμοί για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, χωρίς να απαιτείται περιορισμός της οικονομικής ανάπτυξης. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, οι σύγχρονες κοινωνίες έχουν τη δυνατότητα να αναδιαρθρώσουν τα παραγωγικά τους συστήματα μέσω της υιοθέτησης καθαρών τεχνολογιών, αποδοτικότερων διαδικασιών και βιώσιμων πρακτικών. Στο πλαίσιο των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών, η προσέγγιση αυτή εκφράζεται μέσα από την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών δικτύων, πράσινων κέντρων δεδομένων και εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, η θεωρία αυτή δεν λαμβάνει πάντοτε υπόψη κοινωνικούς και καταναλωτικούς παράγοντες [12].

Αντίθετα, η **Περιβαλλοντική Καμπύλη Kuznets** προσεγγίζει τη σχέση μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής υποβάθμισης με πιο εξελικτικό τρόπο. Η βασική υπόθεση είναι ότι στα αρχικά στάδια της οικονομικής ανάπτυξης η περιβαλλοντική πίεση αυξάνεται, λόγω βιομηχανικής δραστηριότητας και αυξημένης κατανάλωσης πόρων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Η Περιβαλλοντική Καμπύλη Kuznets [13]

Ωστόσο, μετά από ένα συγκεκριμένο επίπεδο εισοδήματος, η τάση αυτή αντιστρέφεται, καθώς οι κοινωνίες επενδύουν σε καθαρότερες τεχνολογίες, περιβαλλοντικές πολιτικές και αποδοτικότερη χρήση πόρων [12].

Το **Rebound Effect** εισάγει μια πιο κριτική διάσταση στη συζήτηση περί βιωσιμότητας, επισημαίνοντας ότι οι βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα δεν οδηγούν απαραίτητα σε μείωση της συνολικής κατανάλωσης. Αντιθέτως, η αύξηση της αποδοτικότητας μπορεί να μειώσει το κόστος χρήσης ενός πόρου, οδηγώντας σε αυξημένη ζήτηση και, τελικά, σε υψηλότερη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στον τομέα των ΤΠΕ, όπου η βελτίωση της απόδοσης των δικτύων και των υπολογιστικών συστημάτων συνοδεύεται από εκθετική αύξηση της χρήσης δεδομένων και υπηρεσιών [12], [13].

Τα τρία αυτά θεωρητικά μοντέλα αναδεικνύουν τη σύνθετη και πολυδιάστατη φύση της βιωσιμότητας. Η Θεωρία Οικολογικού Εκσυγχρονισμού αναδεικνύει τον θετικό ρόλο της τεχνολογίας, η Καμπύλη Kuznets προσφέρει μια μακροοικονομική οπτική της περιβαλλοντικής εξέλιξης, ενώ το Rebound Effect υπενθυμίζει τους περιορισμούς των τεχνολογικών λύσεων όταν δεν συνοδεύονται από κατάλληλες πολιτικές και αλλαγές στη συμπεριφορά. Η κατανόηση και ο συνδυασμός αυτών των προσεγγίσεων είναι κρίσιμος για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών στρατηγικών βιωσιμότητας, ιδιαίτερα σε τομείς υψηλής τεχνολογίας όπως οι τηλεπικοινωνίες και τα δίκτυα δεδομένων.

2.2.3 Η έννοια της βιωσιμότητας στο περιβάλλον των τηλεπικοινωνιών

Στο πλαίσιο των τηλεπικοινωνιών, η βιωσιμότητα δεν περιορίζεται μόνο στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά επεκτείνεται σε ένα ευρύτερο σύνολο ζητημάτων που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής των τεχνολογιών, την κατανάλωση ενέργειας, τη χρήση πρώτων υλών και τις επιπτώσεις στην κοινωνία.

Πέρα από την ενέργεια, η βιωσιμότητα στις τηλεπικοινωνίες σχετίζεται και με τη διαχείριση των φυσικών πόρων και των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξοπλισμού. Οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές και συσκευές βασίζονται σε σπάνιες πρώτες ύλες και πολύτιμα μέταλλα, των οποίων η εξόρυξη και επεξεργασία έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπλέον, η ταχεία τεχνολογική εξέλιξη οδηγεί σε συχνή αντικατάσταση εξοπλισμού, γεγονός που αυξάνει την παραγωγή ηλεκτρονικών αποβλήτων και δημιουργεί ανάγκη για αποτελεσματικά συστήματα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης.



Σχήμα 6. Οι ΤΠΕ ως μοχλός βιωσιμότητας για ενεργειακή αποδοτικότητα, περιβαλλοντική προστασία και πράσινη ανάπτυξη

Επίσης η προσέγγιση της βιωσιμότητας στον τομέα των τηλεπικοινωνιών βασίζεται ολοένα και περισσότερο στην έννοια του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment – LCA), η οποία λαμβάνει υπόψη όλες τις φάσεις ενός προϊόντος ή μιας υποδομής, από την εξόρυξη πρώτων υλών και την παραγωγή έως τη χρήση και την τελική απόρριψη. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την πιο ολοκληρωμένη αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ανάπτυξη στρατηγικών μείωσής τους .

Παράλληλα, η βιωσιμότητα περιλαμβάνει και σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις. Η πρόσβαση σε τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες αποτελεί βασική προϋπόθεση για την κοινωνική ένταξη και την οικονομική ανάπτυξη, ενώ η έλλειψη πρόσβασης δημιουργεί το λεγόμενο ψηφιακό χάσμα. Η βιώσιμη ανάπτυξη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών συνεπάγεται, επομένως, όχι μόνο περιβαλλοντική προστασία, αλλά και την εξασφάλιση καθολικής πρόσβασης σε ψηφιακές υπηρεσίες.

3 Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (ΤΠΕ) ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η βιωσιμότητα στις τηλεπικοινωνίες και γενικότερα στις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών - ΤΠΕ (Information Communication Technologies – ICT) και αποτελεί ένα σύνθετο και πολυδιάστατο ζήτημα, το οποίο απαιτεί τη συνδυασμένη εφαρμογή τεχνολογικών, οικονομικών και πολιτικών εργαλείων.

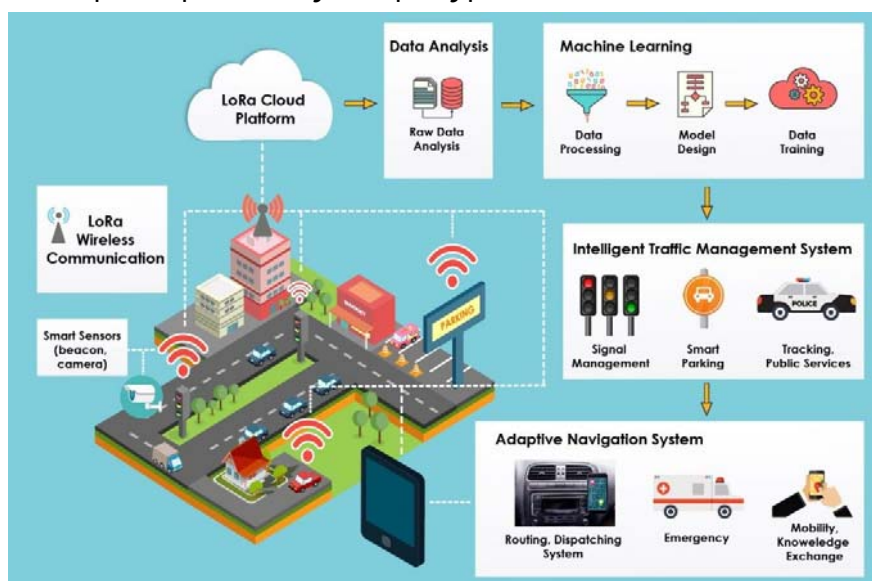
Όπως θα τεκμηριωθεί στις παρακάτω ενότητες, η επίδραση των τηλεπικοινωνιών στη βιωσιμότητα δεν είναι μονοσήμαντη. Αν και οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών μέσω της βελτιστοποίησης των πόρων και της αντικατάστασης φυσικών δραστηριοτήτων με ψηφιακές, ενδέχεται ταυτόχρονα να οδηγήσουν σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω της αυξημένης ζήτησης για δεδομένα και υπηρεσίες. Η δυναμική αυτή σχέση καθιστά αναγκαία μια ισορροπημένη και ολιστική προσέγγιση στη μελέτη της βιωσιμότητας στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Η κατανόηση αυτού του χαρακτηριστικού είναι απαραίτητη για την ανάλυση της αμφίδρομης σχέσης μεταξύ τηλεπικοινωνιών - ΤΠΕ και περιβάλλοντος, η οποία θα εξεταστεί στις επόμενες ενότητες.

3.1 Η καταλυτική επίδραση των ΤΠΕ στη Βιωσιμότητα

Παρά το σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα που συνδέεται με την ανάπτυξη και λειτουργία των τηλεπικοινωνιακών υποδομών, ο τομέας των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών αναγνωρίζεται ευρέως ως βασικός καταλύτης για τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο μοντέλο ανάπτυξης. Η δυνατότητα των ψηφιακών τεχνολογιών να βελτιστοποιούν τη χρήση των πόρων, να μειώνουν τις ανάγκες για φυσική μετακίνηση και να υποστηρίζουν την αυτοματοποίηση και την αποδοτικότητα σε πολλούς τομείς της οικονομίας καθιστά το ICT έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες μείωσης εκπομπών CO₂. Η συμβολή των τηλεπικοινωνιών στη βιωσιμότητα εκδηλώνεται κυρίως μέσω των έμμεσων επιδράσεων που έχουν σε άλλους τομείς, ειδικά όσων μετασχηματίζονται ψηφιακά. Οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές επιτρέπουν τη μετάβαση από φυσικές σε ψηφιακές δραστηριότητες, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας και υλικών πόρων.

3.1.1 Μεταφορές και Logistics

Οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) συμβάλλουν ουσιαστικά στο να γίνουν οι μεταφορές πιο «πράσινες», καθώς επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση των διαδρομών μέσω συστημάτων πλοήγησης και ανάλυσης δεδομένων, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων.



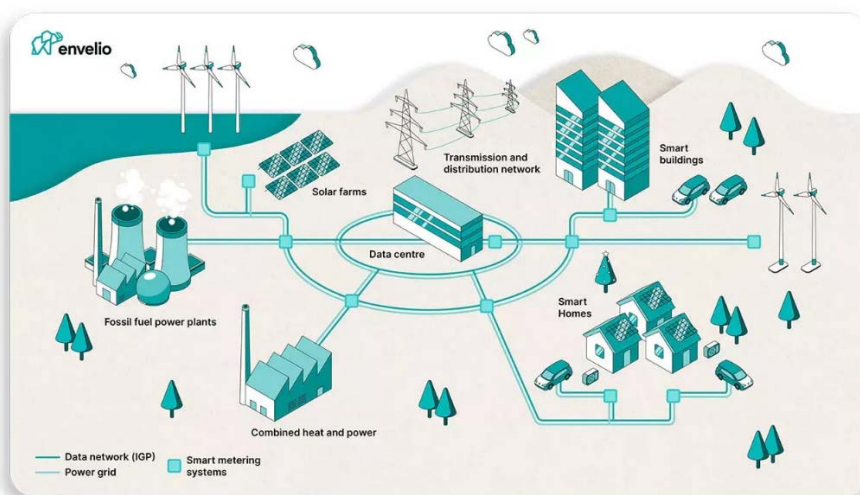
Σχήμα 7. Τα έξυπνα συστήματα μεταφορών (ITS) αξιοποιούν τις ΤΠΕ

Παράλληλα, βοηθούν στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης μέσω έξυπνων συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας, στη βελτιστοποίηση των διαδρομών και στην ενημέρωση των χρηστών σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα πιο αποδοτικές και λιγότερο ρυπογόνες μετακινήσεις και μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Υποστηρίζουν ακόμη, την ανάπτυξη και ενσωμάτωση της ηλεκτροκίνησης και των αυτόνομων οχημάτων (Σχήμα 7).

Επιπλέον, οι ΤΠΕ βελτιώνουν τη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω της έξυπνης διαχείρισης και παρακολούθησης των μεταφορών, οδηγώντας σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα και μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

3.1.2 Περιβάλλον και Ενέργεια

Οι τηλεπικοινωνίες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία έξυπνων ενεργειακών συστημάτων (smart grids). Μέσω της χρήσης αισθητήρων, δικτύων επικοινωνίας και συστημάτων ανάλυσης δεδομένων, είναι δυνατή η βελτιστοποίηση της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο (Σχήμα 8). Τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπουν την καλύτερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη μείωση των απωλειών και την πιο αποδοτική διαχείριση της ζήτησης.

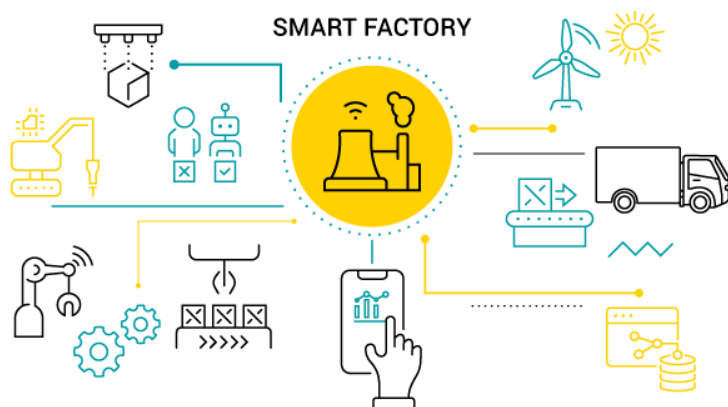


Σχήμα 8. Έξυπνα ενεργειακά συστήματα (smart grids) και ΤΠΕ

Επιπλέον, μέσω αυτοματοποιημένων συστημάτων και «έξυπνων» εφαρμογών επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στη βιώσιμη ανάπτυξη και στην προστασία του περιβάλλοντος.

3.1.3 Βιομηχανία και Παραγωγή (Industry 4.0)

Οι ΤΠΕ μετασχηματίζουν την παραγωγή δίνοντάς της μια πιο βιώσιμη κατεύθυνση, συμβάλλοντας στη βελτίωση της αποδοτικότητας και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μέσω της χρήσης ψηφιακών συστημάτων και αισθητήρων επιτυγχάνεται η μείωση των αποβλήτων και η πιο ορθολογική αξιοποίηση των πρώτων υλών, ενώ παράλληλα αυξάνεται η ενεργειακή αποδοτικότητα των παραγωγικών διαδικασιών.



Σχήμα 9. ΤΠΕ και τα έξυπνα εργοστάσια

Οι αυτοματισμοί και τα έξυπνα εργοστάσια (smart factories) επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας το κόστος και τις απώλειες. Επιπλέον, η προγνωστική συντήρηση, μέσω ανάλυσης δεδομένων και των ψηφιακών δίδυμων (digital Twins), συμβάλλει στον έγκαιρο εντοπισμό πιθανών βλαβών, περιορίζοντας τις διακοπές λειτουργίας και ενισχύοντας τη βιωσιμότητα της βιομηχανικής δραστηριότητας και τη μείωση των αποβλήτων.

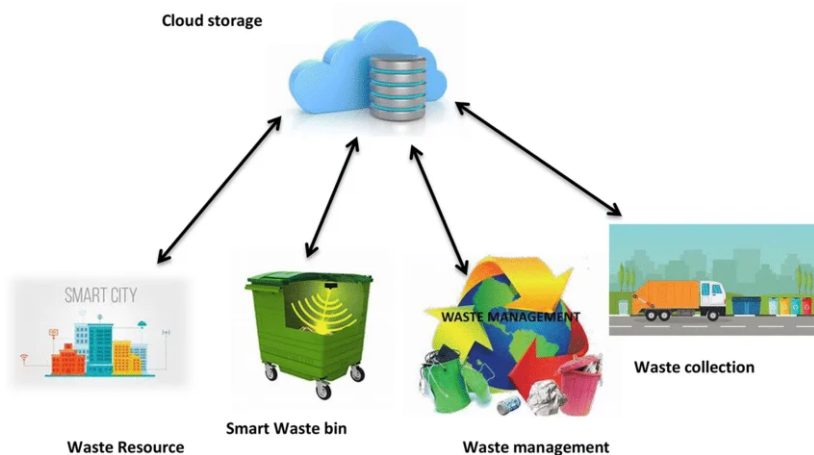
3.1.4 Τηλεργασία και Ψηφιακή Οικονομία

Η αντικατάσταση της φυσικής μετακίνησης με ψηφιακές υπηρεσίες, όπως η τηλεργασία, οι τηλεδιασκέψεις και το ηλεκτρονικό εμπόριο, οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών που σχετίζονται με το περιβαλλοντικό αποτυπώμα της εργασίας. Η δυνατότητα εργασίας από απόσταση περιορίζει σημαντικά τις καθημερινές μετακινήσεις, οδηγώντας σε μείωση των εκπομπών ρύπων και της κυκλοφοριακής επιβάρυνσης. Παράλληλα, μειώνεται η ανάγκη για μεγάλους γραφειακούς χώρους και η αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό, θέρμανση και ψύξη.

Επιπλέον, η ανάπτυξη ψηφιακών υπηρεσιών και εργαλείων ενισχύει την αποδοτικότητα των επιχειρήσεων και υποστηρίζει νέες, πιο βιώσιμες μορφές οικονομικής δραστηριότητας.

3.1.5 Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities)

Οι Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities) βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις ΤΠΕ, οι οποίες αποτελούν τον πυρήνα της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Μέσω ψηφιακών υποδομών και αισθητήρων καθίσταται δυνατή η έξυπνη διαχείριση απορριμμάτων, με στόχο τη μείωση των αποβλήτων και τη βελτιστοποίηση της συλλογής τους.



Σχήμα 10. Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities)

Ακόμη οι τηλεπικοινωνίες συμβάλλουν στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μέσω της ανάπτυξης «έξυπνων» κτιρίων. Η ενσωμάτωση αισθητήρων και συστημάτων αυτοματισμού επιτρέπει τον έλεγχο του φωτισμού, της θέρμανσης και της ψύξης με βάση τις πραγματικές ανάγκες, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και ενισχύοντας τη βιωσιμότητα των αστικών περιοχών. Συνεπώς, οι ΤΠΕ συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, προσφέροντας πιο καθαρές, αποδοτικές και λειτουργικές αστικές συνθήκες.

3.1.6 Οι ψηφιακές τεχνολογίες είναι παντού

Οι ψηφιακές τεχνολογίες υποστηρίζουν τη βιώσιμη ανάπτυξη και σε άλλους τομείς, όπως η γεωργία, η εκπαίδευση η δημόσια διοίκηση και η υγεία, όπως παραστατικά φαίνεται στο Σχήμα 11. Η γεωργία ακριβείας, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί αισθητήρες και δεδομένα για τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού και λιπασμάτων. Στην εκπαίδευση, η εξ αποστάσεως μάθηση και τα ψηφιακά εργαλεία διευρύνουν την πρόσβαση στη γνώση, μειώνοντας παράλληλα την ανάγκη για μετακινήσεις και έντυπο υλικό. Στη δημόσια διοίκηση, οι ψηφιακές υπηρεσίες συμβάλλουν στη μείωση της γραφειοκρατίας, στην εξοικονόμηση πόρων και στη βελτίωση της διαφάνειας. Τέλος, στον τομέα της υγείας, οι ΤΠΕ επιτρέπουν την τηλεϊατρική, την ηλεκτρονική διαχείριση ιατρικών δεδομένων και την απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, οδηγώντας σε καλύτερη παροχή υπηρεσιών και μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Ωστόσο, η επίδραση των τηλεπικοινωνιών στη βιωσιμότητα δεν είναι αποκλειστικά θετική. Η αποτελεσματικότητα των ΤΠΕ ως εργαλείου βιωσιμότητας εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται, υλοποιούνται και χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες.



Σχήμα 11. Οι ψηφιακές τεχνολογίες στη γεωργία, εκπαίδευση, δημόσια διοίκηση και την υγεία

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αύξηση της αποδοτικότητας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συνολικής κατανάλωσης, λόγω της ευκολότερης πρόσβασης και χρήσης των υπηρεσιών. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως rebound effect, μπορεί να περιορίσει τα περιβαλλοντικά οφέλη της ψηφιοποίησης.

Συνεπώς, ο ρόλος των τηλεπικοινωνιών ως καταλύτη βιωσιμότητας πρέπει να εξετάζεται στο πλαίσιο μιας ολιστικής προσέγγισης, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τις

άμεσες όσο και τις έμμεσες επιπτώσεις των τεχνολογιών. Η ενσωμάτωση της βιωσιμότητας στον σχεδιασμό των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και η ανάπτυξη κατάλληλων πολιτικών και κανονισμών αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του τηλεπικοινωνιών και γενικά των ΤΠΕ προς όφελος του περιβάλλοντος.

Οι τηλεπικοινωνίες μπορούν να λειτουργήσουν ως ισχυρός μοχλός βιώσιμης ανάπτυξης, υπό την προϋπόθεση ότι η ανάπτυξή τους συνοδεύεται από στρατηγικές που διασφαλίζουν τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων.

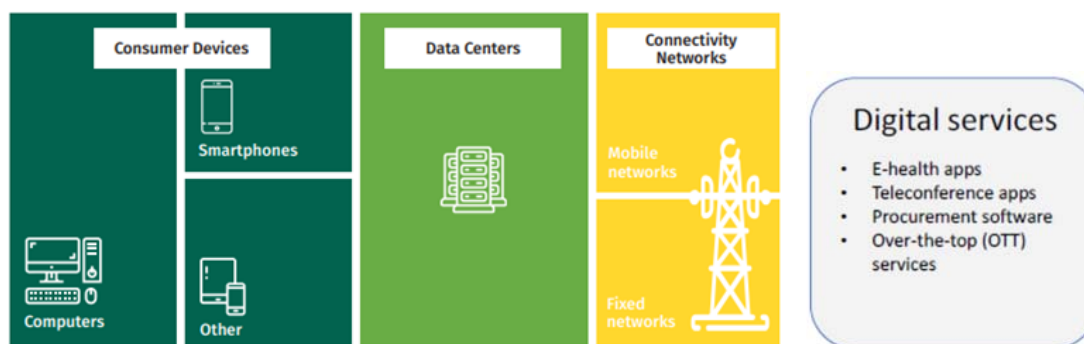
3.2 Το Περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ΤΠΕ

Η ανάπτυξη του τομέα των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ - ICT) συνοδεύεται από αυξανόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συστηματική μελέτη του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των τηλεπικοινωνιών.

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ΤΠΕ περιλαμβάνει το σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της κατανάλωσης ενέργειας που συνδέονται με τον κύκλο ζωής των τηλεπικοινωνιακών υποδομών και υπηρεσιών. Αυτό περιλαμβάνει την παραγωγή εξοπλισμού, τη λειτουργία δικτύων και data centers, καθώς και τη χρήση συσκευών από τους τελικούς χρήστες.

3.2.1 Επίδραση των ΤΠΕ στο περιβάλλον ανά κατηγορία

Η κατηγοριοποίηση του τομέα των ΤΠΕ όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 12, βασίζεται σε μια συστηματική προσέγγιση που διαχωρίζει τις βασικές συνιστώσες του σε τέσσερις κύριες κατηγορίες [15]: τις συσκευές τελικού χρήστη, τα σταθερά (fixed) και τα κινητά (mobile) τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, τα κέντρα δεδομένων και τις ψηφιακές υπηρεσίες. Στην κατηγορία των συσκευών περιλαμβάνονται υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και έξυπνες συσκευές, ενώ τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα καλύπτουν τόσο τα σταθερά όσο και τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών.

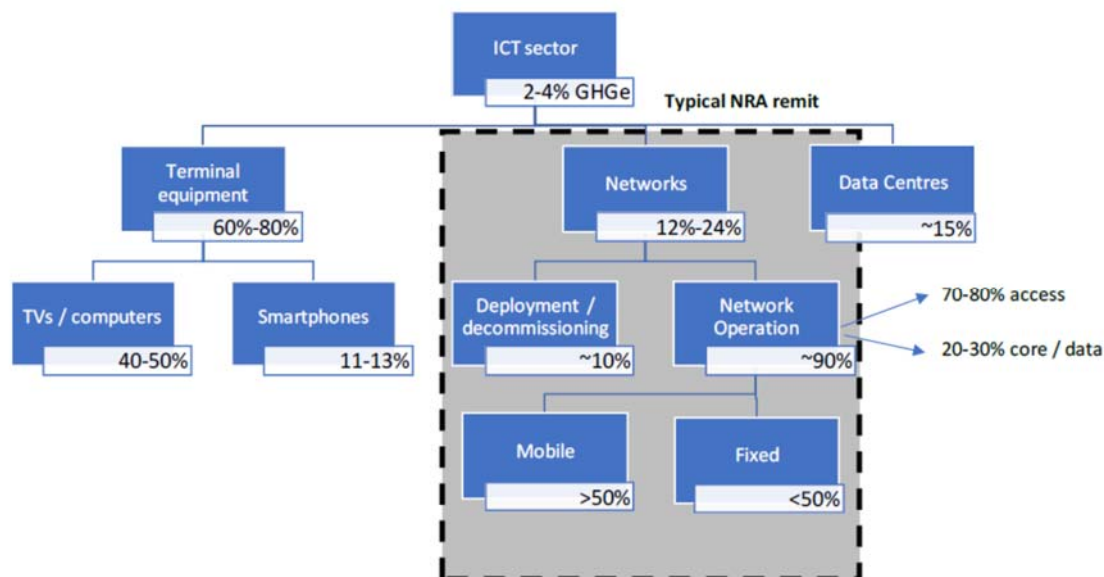


Σχήμα 12. Sources of ICT sector emissions [15]

Τα κέντρα δεδομένων αποτελούν κρίσιμη υποδομή για την αποθήκευση και επεξεργασία πληροφοριών, υποστηρίζοντας τη λειτουργία των ψηφιακών εφαρμογών. Παράλληλα, οι ψηφιακές υπηρεσίες, όπως οι εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας (e-health), οι πλατφόρμες τηλεδιάσκεψης, τα συστήματα προμηθειών και οι υπηρεσίες over-the-top (OTT), αποτελούν το λειτουργικό επίπεδο του ICT οικοσυστήματος, μέσω του οποίου οι χρήστες αξιοποιούν τις υποδομές και τα δίκτυα. Η ολοκληρωμένη αυτή προσέγγιση επιτρέπει την πληρέστερη κατανόηση του τομέα και τη συστηματική αξιολόγηση του περιβαλλοντικού του αποτυπώματος.

Στο Σχήμα 13 [2] αναδεικνύεται ότι, παρά τη σημαντική ενεργειακή κατανάλωση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του τομέα των ΤΠΕ προέρχεται από τις συσκευές τελικού χρήστη. Η διαπίστωση αυτή έχει

ιδιαίτερη σημασία για τη διαμόρφωση πολιτικών βιωσιμότητας, καθώς υποδεικνύει την ανάγκη για παρεμβάσεις όχι μόνο στις υποδομές, αλλά και στον κύκλο ζωής των συσκευών.



Σχήμα 13. Συνεισφορά στις εκπομπές GHG των ΤΠΕ ανά κατηγορία [2]

Συνολικά, ο τομέας ICT εκτιμάται ότι ευθύνεται για περίπου 2–4% των παγκόσμιων εκπομπών, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία του στο πλαίσιο της παγκόσμιας ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η μεγαλύτερη συνεισφορά στις εκπομπές προέρχεται από τον εξοπλισμό τελικού χρήστη (terminal equipment), ο οποίος αντιστοιχεί περίπου στο 60–80% του συνολικού αποτυπώματος. Ειδικότερα, οι συσκευές όπως τηλεοράσεις και υπολογιστές αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος αυτής της κατηγορίας, με ποσοστό περίπου 40–50%, ενώ τα smartphones συνεισφέρουν μικρότερο αλλά σημαντικό ποσοστό, της τάξης του 11–13%.

Αντίθετα, τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα συμβάλλουν σε μικρότερο βαθμό, περίπου 12–24% των συνολικών εκπομπών των ΤΠΕ. Εντός των δικτύων, η φάση λειτουργικίας (network operation) αποτελεί τη βασική πηγή εκπομπών, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 90% των εκπομπών των δικτύων, ενώ οι φάσεις ανάπτυξης και απόσυρσης εξοπλισμού έχουν σαφώς μικρότερη συμβολή (~10%). Επιπλέον, παρατηρείται ότι τα κινητά δίκτυα ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών εντός της κατηγορίας των δικτύων (άνω του 50%), σε σύγκριση με τα σταθερά δίκτυα.

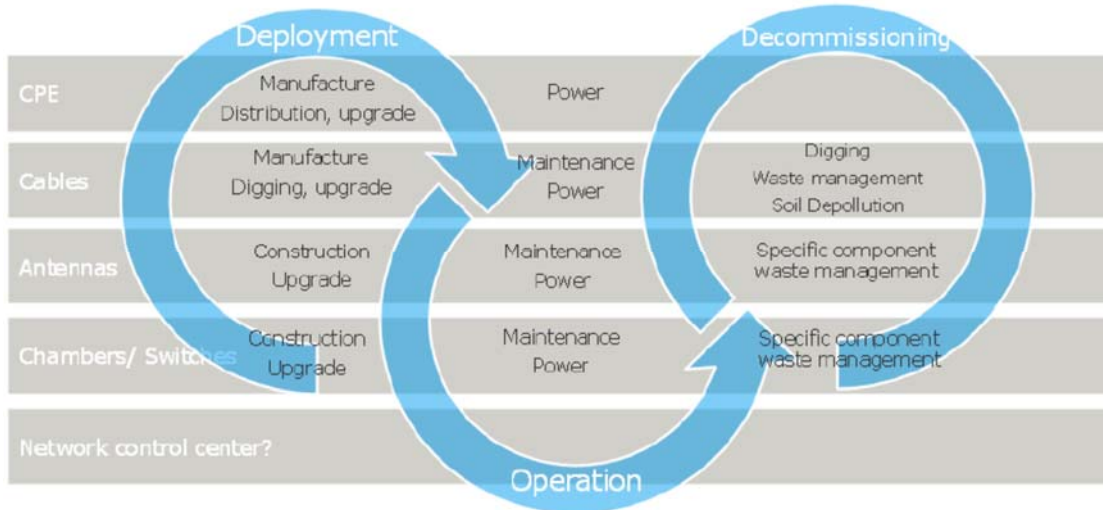
Τα κέντρα δεδομένων (data centers) αντιστοιχούν περίπου στο 15% των συνολικών εκπομπών, αποτελώντας έναν σημαντικό αλλά όχι κυρίαρχο παράγοντα. Παράλληλα, το σχήμα επισημαίνει ότι στο πλαίσιο των ρυθμιστικών αρμοδιοτήτων (typical NRA remit), η κύρια εστίαση αφορά τα δίκτυα και μέρος των data centers, με ιδιαίτερη έμφαση στα δίκτυα πρόσβασης, τα οποία αντιστοιχούν στο 70–80% της ενεργειακής κατανάλωσης των δικτύων, ενώ το υπόλοιπο 20–30% σχετίζεται με το δίκτυο κορμού (core) και τη μεταφορά δεδομένων.

3.2.2 Επίδραση των ΤΠΕ στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια ζωής τους

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των τηλεπικοινωνιών είναι η κατανομή του κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των τεχνολογιών. Μελέτες δείχνουν ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών προέρχεται από τη φάση χρήσης, δηλαδή από τη λειτουργία των δικτύων και των συσκευών, ενώ η παραγωγή εξοπλισμού και η απόσυρσή του συμβάλλουν επίσης σημαντικά στο συνολικό

αποτύπωμα . Η προσέγγιση του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment) αποτελεί βασικό εργαλείο για την κατανόηση και τη μείωση αυτών των επιπτώσεων.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο κύκλος ζωής (lifecycle) των τηλεπικοινωνιακών υποδομών, που διαχωρίζεται σε τρεις βασικές φάσεις: ανάπτυξη (deployment), λειτουργία (operation) και απόσυρση (decommissioning).



Σχήμα 14. Κύκλος ζωής τηλεπικοινωνιακών υποδομών και σχετικές δραστηριότητες ανά φάση (κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση και διαχείριση αποβλήτων)

Στη φάση της ανάπτυξης περιλαμβάνονται δραστηριότητες όπως η κατασκευή εξοπλισμού (manufacture), η μεταφορά και διανομή, οι εκσκαφές για καλώδια, καθώς και η εγκατάσταση υποδομών όπως κεραίες και δίκτυα. Η φάση αυτή συνδέεται κυρίως με την κατανάλωση υλικών και τις αρχικές εκπομπές λόγω παραγωγής και κατασκευής. Στη συνέχεια, η φάση λειτουργίας αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου ζωής και περιλαμβάνει την κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία του δικτύου (power) και τη συντήρηση (maintenance). Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η λειτουργία επηρεάζει όλα τα επιμέρους στοιχεία του δικτύου (CPE, καλώδια, κεραίες, switches), γεγονός που εξηγεί γιατί αυτή η φάση είναι συνήθως η πιο ενεργοβόρα.

Η τελική φάση, της απόσυρσης, αφορά τη διακοπή λειτουργίας του εξοπλισμού και τη διαχείριση των αποβλήτων. Περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως εκσκαφές, απομάκρυνση υποδομών, διαχείριση αποβλήτων και αποκατάσταση του περιβάλλοντος (π.χ. απορρύπανση εδάφους). Το σημαντικό στοιχείο του σχήματος είναι ότι παρουσιάζει τον κύκλο ζωής ως μια συνεχή και κυκλική διαδικασία, όπου κάθε φάση συνδέεται με τις άλλες και συμβάλλει στο συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Έτσι, γίνεται σαφές ότι η βιωσιμότητα των τηλεπικοινωνιών δεν εξαρτάται μόνο από τη λειτουργία των δικτύων, αλλά από το σύνολο των σταδίων, από την παραγωγή έως και την τελική απόσυρση του εξοπλισμού.

3.2.3 Επίδραση των ψηφιακών υπηρεσιών των ΤΠΕ στο περιβάλλον

Η συνεχής αύξηση της ζήτησης για δεδομένα αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες αύξησης του ενεργειακού αποτυπώματος. Η διάδοση υπηρεσιών όπως το streaming, το cloud computing και το Internet of Things οδηγεί σε εκθετική αύξηση της κίνησης δεδομένων, γεγονός που απαιτεί την επέκταση και αναβάθμιση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα των τεχνολογιών, η συνολική κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται λόγω του όγκου χρήσης, δημιουργώντας το λεγόμενο φαινόμενο rebound effect [15], [16], [17].

3.2.4 Άλλες επιπτώσεις των ΤΠΕ στο περιβάλλον

Επιπλέον, η περιβαλλοντική επίδραση των ΤΠΕ δεν περιορίζεται στην κατανάλωση ενέργειας. Η παραγωγή τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού απαιτεί τη χρήση σπάνιων πρώτων υλών και μετάλλων, των οποίων η εξόρυξη και επεξεργασία συνδέονται με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παράλληλα, η ταχεία τεχνολογική εξέλιξη οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή ηλεκτρονικών αποβλήτων, τα οποία αποτελούν μία από τις ταχύτερα αυξανόμενες κατηγορίες αποβλήτων παγκοσμίως.

Η επίδραση της ψηφιοποίησης στο περιβάλλον παρουσιάζει επίσης σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεων. Σύμφωνα με πρόσφατες εμπειρικές μελέτες, η επίδραση του τομέα των ΤΠΕ στις εκπομπές μπορεί να είναι περιορισμένη ή ακόμη και μη σημαντική σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο, ενώ σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα εμφανίζεται αρνητική συσχέτιση με το ανθρακικό αποτύπωμα, υποδηλώνοντας ότι η ψηφιοποίηση μπορεί τελικά να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών.

Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των τηλεπικοινωνιών χαρακτηρίζεται από μια δυναμική ισορροπία μεταξύ αυξανόμενης ζήτησης και βελτιούμενης αποδοτικότητας. Η κατανόηση αυτής της ισορροπίας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη στρατηγικών που θα επιτρέψουν τη βιώσιμη εξέλιξη του τομέα.

3.3 Η επίδραση της Βιωσιμότητας στον τομέα των ΤΠΕ

Η αυξανόμενη σημασία της βιωσιμότητας σε παγκόσμιο επίπεδο έχει επιφέρει ουσιαστικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται, αναπτύσσονται και λειτουργούν τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Ενώ στο παρελθόν ο βασικός στόχος των τηλεπικοινωνιών ήταν η μεγιστοποίηση της χωρητικότητας και της απόδοσης, σήμερα οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές παράμετροι αποτελούν εξίσου κρίσιμα κριτήρια για τη λήψη αποφάσεων.

3.3.1 ΤΠΕ και Ενεργειακή κατανάλωση

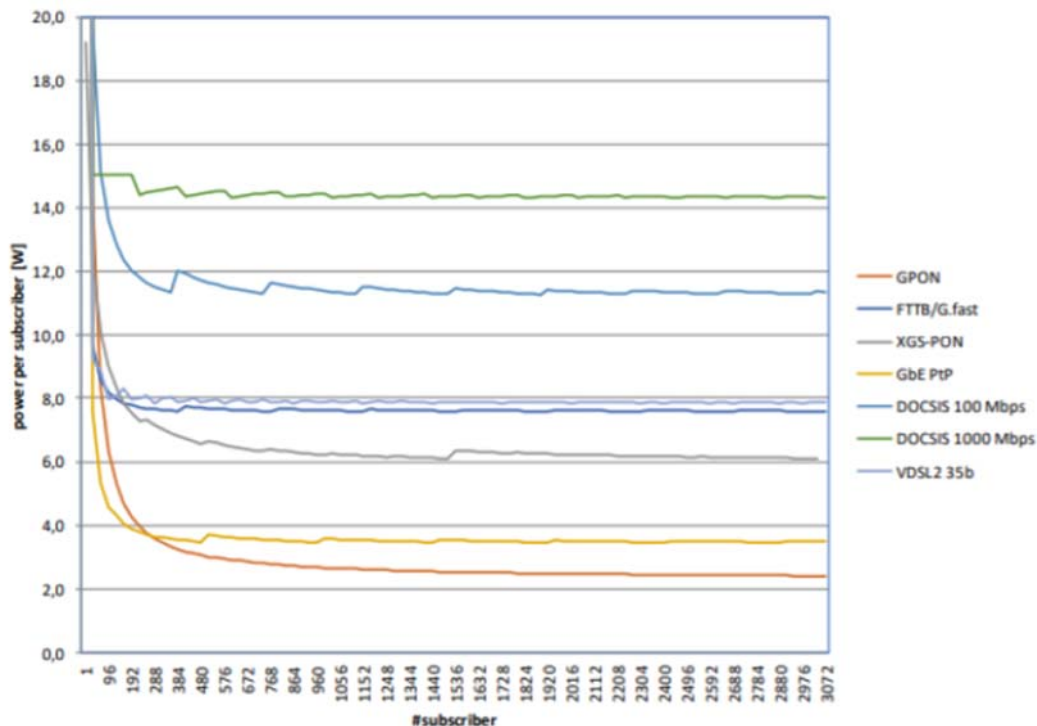
Ένας από τους σημαντικότερους τομείς μετασχηματισμού αφορά την ενεργειακή κατανάλωση. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι αντιμετωπίζουν αυξανόμενη πίεση να μειώσουν το ενεργειακό τους αποτύπωμα, τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς λόγους. Η ενέργεια αποτελεί σημαντικό μέρος των λειτουργικών δαπανών, γεγονός που ενισχύει τα κίνητρα για επενδύσεις σε ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες και σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και γενικότερα των ΤΠΕ αποτυπώνεται μέσα από συγκεκριμένες πρακτικές εφαρμογές. Ενδεικτικά, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι επενδύουν στη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και άλλων μορφών πράσινης ενέργειας για τη λειτουργία σταθμών βάσης και κέντρων δεδομένων. Έμφαση δίνεται στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των data centres, τα οποία αποτελούν έναν από τους πιο ενεργοβόρους τομείς του τομέα των ΤΠΕ. Η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών ψύξης, όπως τα υγρά συστήματα ψύξης (liquid cooling), μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, δεδομένου ότι τα συστήματα ψύξης αντιστοιχούν σε μεγάλο ποσοστό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης [18].

Η μετάβαση σε οπτικά δίκτυα, όπως για παράδειγμα στις τεχνολογίες GPON και XGS-PON για την πρόσβαση, λόγω της χαμηλής τους ενεργειακής κατανάλωσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 15, ενισχύει περαιτέρω την ενεργειακή αποδοτικότητα, και αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη των πράσινων δικτύων (Green Networks).

Η εφαρμογή τεχνικών όπως η δυναμική διαχείριση φορτίου και οι λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας (sleep mode) μειώνουν σημαντικά την κατανάλωση

ενέργειας των δικτύων. Σύγχρονες προσεγγίσεις περιλαμβάνουν τη διενέργεια ενεργειακών ελέγχων, τη συνεχή παρακολούθηση της κατανάλωσης και τη χρήση έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, τα οποία επιτρέπουν την προσαρμογή της λειτουργίας των υποδομών σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 15 Κατανάλωση ισχύος ανά συνδρομητή για διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης σε συνάρτηση με τον αριθμό των συνδρομητών [2]

Επιπλέον, η αξιοποίηση τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των υποδομών σε πραγματικό χρόνο, συμβάλλοντας στη μείωση του συνολικού ενεργειακού αποτυπώματος.

3.3.2 ΤΠΕ και Κυκλική Οικονομία

Η βιωσιμότητα οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές στη διαχείριση των πόρων και των υλικών. Η αυξανόμενη ανησυχία για τα ηλεκτρονικά απόβλητα και τη χρήση σπάνιων πρώτων υλών έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση πρακτικών κυκλικής οικονομίας. Οι τηλεπικοινωνιακές εταιρείες αναπτύσσουν προγράμματα επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης εξοπλισμού, ενώ παράλληλα επιδιώκουν τη σχεδίαση προϊόντων με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ευκολότερη αποσυναρμολόγηση.

3.3.3 ΤΠΕ και μείωση των εκπομπών του πεδίου εφαρμογής 3 (Scope 3)

Σημαντική είναι επίσης η επίδραση της βιωσιμότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα του τηλεπικοινωνιακού τομέα. Οι εταιρείες καλούνται πλέον να λαμβάνουν υπόψη τις εκπομπές που προκύπτουν όχι μόνο από τη δική τους λειτουργία, αλλά και από τους προμηθευτές και τους συνεργάτες τους. Οι λεγόμενες εκπομπές Scope 3¹ αποτελούν σημαντικό μέρος του συνολικού αποτυπώματος και απαιτούν συνεργασία σε όλη την αλυσίδα αξίας για τη μείωσή τους [19].

¹Οι πηγές εκπομπών εύρους 1 είναι άμεσες εκπομπές από πηγές, που κατέχει ή ελέγχει ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος. Οι εκπομπές Εύρους 2 είναι έμμεσες εκπομπές ως αποτέλεσμα των αγορών του, και οι εκπομπές εύρους 3 είναι όλες οι άλλες έμμεσες εκπομπές που προκύπτουν από τις δραστηριότητες του.

3.3.4 Ο ρόλος των ρυθμιστικών Αρχών και των καταναλωτών

Επιπλέον, η ρυθμιστική πίεση από κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμούς διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον μετασχηματισμό του τομέα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί πολιτικές, που συνδέουν την ψηφιακή ανάπτυξη με τη βιωσιμότητα, ενθαρρύνοντας τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και την ανάπτυξη πράσινων υποδομών. Οι πολιτικές αυτές επηρεάζουν τόσο τον σχεδιασμό των δικτύων όσο και τις επενδυτικές αποφάσεις των εταιρειών.

Παράλληλα, αυξάνεται η πίεση από τους καταναλωτές και την κοινωνία για πιο βιώσιμες υπηρεσίες. Οι χρήστες δίνουν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν, γεγονός που ωθεί τις εταιρείες να υιοθετούν πιο υπεύθυνες πρακτικές και να αναπτύσσουν «πράσινα» προϊόντα και υπηρεσίες.

Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της βιωσιμότητας στον τηλεπικοινωνιακό τομέα διαδραματίζουν και τα πρότυπα ESG (Environmental, Social, Governance), τα οποία χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και κοινωνικής επίδοσης των εταιρειών. Οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί καλούνται πλέον να ενσωματώσουν τη βιωσιμότητα στη στρατηγική τους, υιοθετώντας πρακτικές που μειώνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και ενισχύουν τη διαφάνεια και την εταιρική υπευθυνότητα [14].

3.4 Τηλεπικοινωνίες και βιώσιμη ανάπτυξη: Μια αμφίδρομη σχέση

Η ανάλυση που προηγήθηκε καταδεικνύει ότι η σχέση μεταξύ τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας δεν μπορεί να προσεγγιστεί μονοδιάστατα, αλλά αποτελεί ένα δυναμικό και αλληλεξαρτώμενο σύστημα επιδράσεων. Οι τηλεπικοινωνίες λειτουργούν ταυτόχρονα ως πηγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ως βασικός μοχλός για τη μείωση τους, δημιουργώντας ένα πλαίσιο αμφίδρομης σχέσης που χαρακτηρίζεται από συνέργειες αλλά και αντιφάσεις.

Από τη μία πλευρά, οι τηλεπικοινωνίες συμβάλλουν ουσιαστικά στη βιωσιμότητα μέσω της δυνατότητας αποϋλοποίησης (dematerialization) των οικονομικών δραστηριοτήτων. Η μετάβαση από φυσικές σε ψηφιακές διαδικασίες, όπως η τηλεργασία, η ηλεκτρονική διακυβέρνηση και το ηλεκτρονικό εμπόριο, οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών που σχετίζονται με τις μεταφορές και τη χρήση υλικών πόρων. Επιπλέον, η ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων, όπως τα smart grids και τα ευφυή δίκτυα μεταφορών, επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων και την αύξηση της αποδοτικότητας σε κρίσιμους τομείς της οικονομίας.

Πίνακας 1: Η αμφίδρομη σχέση τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας

Τομέας	Επίδραση των ΤΠΕ στη βιώσιμη ανάπτυξη	Επίδραση της βιωσιμότητας στις τηλεπικοινωνίες
Ενέργεια	Βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων (smart grids), μείωση εκπομπών	Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ηλιακή, αιολική), ενεργειακή αποδοτικότητα δικτύων
Μεταφορές	Μείωση μετακινήσεων μέσω τηλεργασίας και ψηφιακών υπηρεσιών	Ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών υποδομών για υποστήριξη αυξημένης ζήτησης

Πόροι	Αποϋλοποίηση (dematerialization) και μείωση χρήσης φυσικών πόρων ²	Υιοθέτηση κυκλικής οικονομίας (ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση εξοπλισμού)
Περιβάλλον	Μείωση εκπομπών σε άλλους τομείς της οικονομίας	Μείωση ανθρακικού αποτυπώματος δικτύων και data centres
Τεχνολογία	Ανάπτυξη αποδοτικών τεχνολογιών (IoT, smart systems)	Σχεδιασμός green networks, χρήση optical τεχνολογιών και AI για εξοικονόμηση ενέργειας
Απόβλητα	Δημιουργία ηλεκτρονικών αποβλήτων (e-waste)	Ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης αποβλήτων και βιώσιμου σχεδιασμού συσκευών
Κοινωνία	Ψηφιακή ένταξη και πρόσβαση σε υπηρεσίες	Πίεση για ESG πολιτικές και υπεύθυνες πρακτικές
Οικονομία	Αύξηση αποδοτικότητας και παραγωγικότητας	Επενδύσεις σε πράσινες υποδομές και βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα

Από την άλλη πλευρά, η ίδια η ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών υποδομών δημιουργεί σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η λειτουργία δικτύων, data centers και συσκευών απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας, ενώ η παραγωγή και απόσυρση εξοπλισμού συνδέεται με τη χρήση φυσικών πόρων και την παραγωγή αποβλήτων. Η εκθετική αύξηση της ζήτησης για δεδομένα εντείνει αυτές τις επιπτώσεις, δημιουργώντας προκλήσεις για τη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα.

Οι ΤΠΕ λοιπόν επηρεάζουν τη βιώσιμη ανάπτυξη μέσω της βελτιστοποίησης των πόρων και της μείωσης των εκπομπών, ενώ ταυτόχρονα οι απαιτήσεις βιωσιμότητας μετασχηματίζουν τον ίδιο τον τηλεπικοινωνιακό τομέα. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει αυτή τη διττή σχέση, που μπορεί να ερμηνευτεί ως μια διαδικασία συνεχούς ισορροπίας μεταξύ δύο αντίρροπων δυνάμεων: της τεχνολογικής επέκτασης και της περιβαλλοντικής προσαρμογής. Από τη μία πλευρά, η τεχνολογική πρόοδος οδηγεί σε αύξηση της χρήσης και της ζήτησης για ψηφιακές υπηρεσίες. Από την άλλη πλευρά, οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις επιβάλλουν τη βελτίωση της αποδοτικότητας, τη μείωση των εκπομπών και την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών.

Η ισορροπία αυτή επηρεάζεται βέβαια από πολλούς παράγοντες, όπως η εξέλιξη της τεχνολογίας, οι πολιτικές και κανονιστικές παρεμβάσεις, η συμπεριφορά των χρηστών και η δομή της αγοράς. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικότερων τεχνολογιών μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ανά μονάδα δεδομένων, αλλά η αύξηση της ζήτησης μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συνολικής κατανάλωσης. Αντίστοιχα, οι πολιτικές που προωθούν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την κυκλική οικονομία μπορούν να περιορίσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των τηλεπικοινωνιών.

Η έννοια της «καθαρής επίδρασης» (net impact) αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την κατανόηση της σχέσης ΤΠΕ και βιωσιμότητας. Το τελικό περιβαλλοντικό αποτέλεσμα των τηλεπικοινωνιών εξαρτάται από το κατά πόσο τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση τους σε άλλους τομείς υπερβαίνουν τις επιπτώσεις που σχετίζονται με τη

²Αποϋλοποίηση (dematerialization): αντικατάσταση υλικών προϊόντων και φυσικών δραστηριοτήτων με ψηφιακές υπηρεσίες, συμβάλλοντας στη μείωση της χρήσης φυσικών πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

λειτουργία τους. Στο πλαίσιο αυτό, οι τηλεπικοινωνίες μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των συνολικών εκπομπών, υπό την προϋπόθεση ότι η ανάπτυξή τους συνοδεύεται από κατάλληλες στρατηγικές βιωσιμότητας

Επιπλέον, η αμφίδρομη σχέση αναδεικνύει τη σημασία της ολιστικής προσέγγισης στη μελέτη των τηλεπικοινωνιών. Η απομόνωση των επιμέρους επιπτώσεων δεν επαρκεί για την κατανόηση του συνολικού φαινομένου. Αντίθετα, απαιτείται η εξέταση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τεχνολογικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων, καθώς και η αξιολόγηση των επιπτώσεων σε διαφορετικά χρονικά και χωρικά επίπεδα.

Συνοψίζοντας, η σχέση μεταξύ τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας αποτελεί ένα σύνθετο και δυναμικό σύστημα, στο οποίο οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις συνδιαμορφώνουν την πορεία του τομέα. Η κατανόηση αυτής της σχέσης είναι κρίσιμη για τη διαμόρφωση πολιτικών και στρατηγικών που θα επιτρέψουν την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των τηλεπικοινωνιών προς όφελος της βιώσιμης ανάπτυξης.

3.5 Προκλήσεις και Περιορισμοί στη Βιώσιμη Ανάπτυξη των Τηλεπικοινωνιών

Η ανάλυση της αμφίδρομης σχέσης μεταξύ τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας αναδεικνύει όχι μόνο τις δυνατότητες του τομέα, αλλά και ένα σύνολο σημαντικών προκλήσεων και περιορισμών που επηρεάζουν τη βιώσιμη εξέλιξή του. Οι προκλήσεις αυτές σχετίζονται κυρίως με την ενεργειακή κατανάλωση, τη διαχείριση πόρων, τις κοινωνικές ανισότητες και τις αντιφάσεις που προκύπτουν από την ίδια την τεχνολογική πρόοδο.

3.5.1 Αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και της ζήτησης δεδομένων

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αντιμετωπίζει ο τηλεπικοινωνιακός τομέας είναι η συνεχής αύξηση της ζήτησης για δεδομένα. Η εξάπλωση υπηρεσιών όπως το streaming, το cloud computing, το Internet of Things και οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης οδηγεί σε εκθετική αύξηση της κίνησης δικτύου. Η εξέλιξη αυτή απαιτεί την ανάπτυξη νέων υποδομών και την ενίσχυση των υφιστάμενων, γεγονός που συνεπάγεται αυξημένη κατανάλωση ενέργειας.

Παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα των τεχνολογιών, η συνολική κατανάλωση ενέργειας του τομέα παραμένει αυξητική. Η τάση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση της ζήτησης υπερκαλύπτει τα οφέλη από την τεχνολογική βελτίωση. Η πρόκληση για τον τομέα είναι, επομένως, να επιτύχει την αποσύνδεση της αύξησης της ζήτησης από την κατανάλωση ενέργειας.

3.5.2 Ηλεκτρονικά απόβλητα και διαχείριση πόρων

Η ταχεία τεχνολογική εξέλιξη οδηγεί σε συχνή αντικατάσταση τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού και συσκευών, γεγονός που συμβάλλει στην αύξηση των ηλεκτρονικών αποβλήτων. Τα απόβλητα αυτά περιέχουν πολύτιμα αλλά και επικίνδυνα υλικά, τα οποία απαιτούν ειδική διαχείριση.

Η παραγωγή τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού βασίζεται σε σπάνιες πρώτες ύλες, όπως τα σπάνια μέταλλα, η εξόρυξη των οποίων έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα αυτών των πόρων και η αυξανόμενη ζήτηση δημιουργούν πρόσθετες πιέσεις στον τομέα.

Η ανάπτυξη πρακτικών κυκλικής οικονομίας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, ωστόσο η εφαρμογή τους σε μεγάλη κλίμακα παραμένει περιορισμένη.

3.5.3 Το ψηφιακό χάσμα και οι κοινωνικές ανισότητες

Παρά την ευρεία διάδοση των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, σημαντικό μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού εξακολουθεί να μην έχει πρόσβαση σε αξιόπιστες ψηφιακές υποδομές. Το ψηφιακό χάσμα αποτελεί μία από τις βασικές κοινωνικές προκλήσεις που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα.

Η άνιση πρόσβαση σε τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες περιορίζει τη δυνατότητα αξιοποίησης των ψηφιακών τεχνολογιών για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και την ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης. Επιπλέον, δημιουργεί ανισότητες μεταξύ περιοχών και κοινωνικών ομάδων, οι οποίες μπορεί να ενταθούν με την περαιτέρω ψηφιοποίηση της οικονομίας.

3.5.4 Το φαινόμενο rebound και οι αντιφάσεις της αποδοτικότητας

Ένα από τα σημαντικότερα θεωρητικά και πρακτικά ζητήματα που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα των τηλεπικοινωνιών είναι το rebound effect. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συνολικής κατανάλωσης, λόγω της αύξησης της χρήσης.

Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, η μείωση του κόστους μετάδοσης δεδομένων και η αύξηση της ταχύτητας έχουν οδηγήσει σε εκρηκτική αύξηση της χρήσης ψηφιακών υπηρεσιών. Η εξέλιξη αυτή περιορίζει τα περιβαλλοντικά οφέλη της τεχνολογικής προόδου και δημιουργεί την ανάγκη για πιο σύνθετες προσεγγίσεις πολιτικής.

3.5.5 Ρυθμιστικές και τεχνολογικές προκλήσεις

Η ενσωμάτωση της βιωσιμότητας στον τηλεπικοινωνιακό τομέα απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλων ρυθμιστικών πλαισίων και τεχνολογικών λύσεων. Ωστόσο, η ταχύτητα της τεχνολογικής εξέλιξης συχνά υπερβαίνει την ικανότητα των ρυθμιστικών αρχών να προσαρμοστούν.

Η έλλειψη ενιαίων προτύπων και μεθοδολογιών για τη μέτρηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των τηλεπικοινωνιών αποτελεί επίσης σημαντικό εμπόδιο. Παράλληλα, η ανάγκη για επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες και υποδομές δημιουργεί οικονομικές προκλήσεις για τους παρόχους.

3.5.6 Συνολική αποτίμηση των προκλήσεων και των περιορισμών

Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο τηλεπικοινωνιακός τομέας στη μετάβαση προς τη βιωσιμότητα είναι πολυδιάστατες και αλληλένδετες. Η αντιμετώπισή τους απαιτεί συντονισμένη δράση σε τεχνολογικό, οικονομικό και πολιτικό επίπεδο.

Η βιώσιμη ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω τεχνολογικών βελτιώσεων, αλλά απαιτεί και αλλαγές στη συμπεριφορά των χρηστών, στην οργάνωση των αγορών και στη διαμόρφωση των πολιτικών. Η κατανόηση των περιορισμών αυτών είναι κρίσιμη για τη διαμόρφωση αποτελεσματικών στρατηγικών που θα επιτρέψουν την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του τομέα χωρίς να επιβαρύνεται το περιβάλλον.

Η βιώσιμη ανάπτυξη εντάσσεται πλέον στη στρατηγική των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών και αποτυπώνεται και στη διάδοση των προτύπων ESG (Environmental, Social, Governance). Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και κοινωνικής επίδοσης των εταιρειών και επηρεάζουν άμεσα την πρόσβαση σε χρηματοδότηση και επενδύσεις. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι καλούνται να δημοσιοποιούν στοιχεία σχετικά με τις εκπομπές τους, την κατανάλωση ενέργειας και τις πρακτικές βιωσιμότητας, ενισχύοντας τη διαφάνεια και την εταιρική υπευθυνότητα.

Συνολικά, η βιωσιμότητα λειτουργεί ως βασικός παράγοντας μετασχηματισμού των τηλεπικοινωνιών, επηρεάζοντας τον σχεδιασμό, τη λειτουργία και την εξέλιξη των οργανισμών. Η κατανόηση αυτής της επίδρασης είναι κρίσιμη για την ανάλυση της

αμφίδρομης σχέσης μεταξύ τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας, καθώς αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις διαμορφώνουν το μέλλον του κλάδου.

4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΙΣ ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Η συνεχής εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών και η αυξανόμενη ανάγκη για βιωσιμότητα διαμορφώνουν ένα δυναμικό περιβάλλον, στο οποίο η τεχνολογική καινοτομία συνδέεται άμεσα με περιβαλλοντικούς στόχους. Οι μελλοντικές τάσεις στον τομέα των τηλεπικοινωνιών δεν περιορίζονται πλέον μόνο στην αύξηση της ταχύτητας και της χωρητικότητας των δικτύων, αλλά επικεντρώνονται ολοένα και περισσότερο στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

4.1 Δίκτυα 5G και 6G και ενεργειακή αποδοτικότητα

Η ανάπτυξη των δικτύων πέμπτης γενιάς αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα βήματα στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών. Τα δίκτυα 5G προσφέρουν σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες, χαμηλότερη καθυστέρηση και δυνατότητα σύνδεσης μεγάλου αριθμού συσκευών. Παράλληλα, έχουν σχεδιαστεί με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας σε σύγκριση με προηγούμενες τεχνολογίες.

Ωστόσο, η συνολική ενεργειακή κατανάλωση των δικτύων 5G εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο ανάπτυξης και χρήσης τους. Η αυξημένη πυκνότητα σταθμών βάσης και η εκθετική αύξηση της κίνησης δεδομένων ενδέχεται να οδηγήσουν σε αύξηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, παρά τις βελτιώσεις στην αποδοτικότητα. Η πρόκληση για τον τομέα είναι να αξιοποιήσει τα πλεονεκτήματα του 5G χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον.

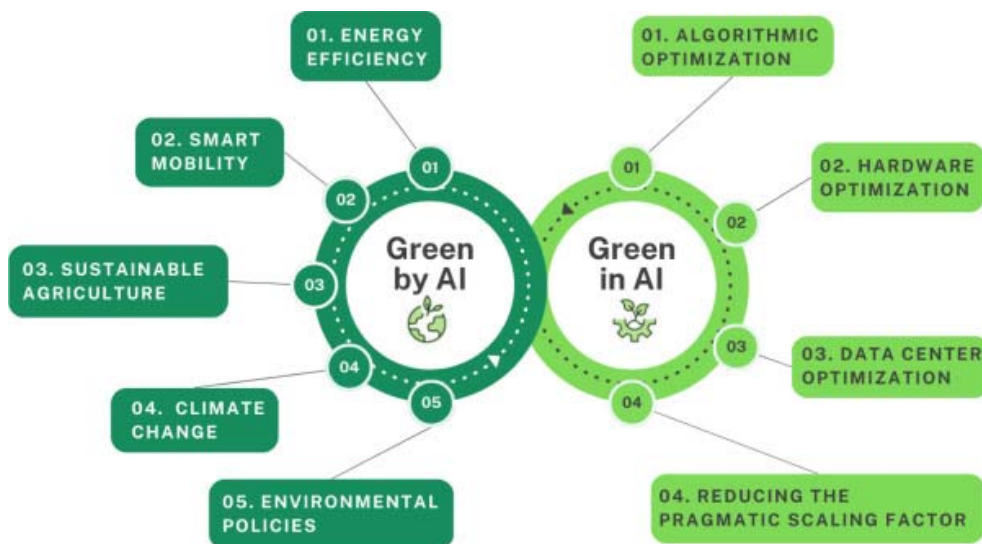
Η έρευνα για τα δίκτυα έκτης γενιάς βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη, με ιδιαίτερη έμφαση στη βιωσιμότητα ως βασικό σχεδιαστικό στόχο. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές, όπου η βιωσιμότητα αποτελούσε δευτερεύον ζήτημα, τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώνουν εξ αρχής αρχές ενεργειακής αποδοτικότητας και περιβαλλοντικής υπευθυνότητας.

Η έννοια των «πράσινων δικτύων» αναμένεται να αποτελέσει κεντρικό στοιχείο του 6G, με στόχο τη δραστική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών. Οι τεχνολογίες που εξετάζονται περιλαμβάνουν προηγμένες αρχιτεκτονικές δικτύων, χρήση τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και αξιοποίηση νέων υλικών και συστημάτων μετάδοσης.

4.2 Ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence AI)

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών αποτελούν βασικούς καταλύτες για τη βιώσιμη ανάπτυξη, καθώς συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας, στη μείωση των εκπομπών και στην αποδοτικότερη διαχείριση των φυσικών πόρων. Η αξιοποίηση της AI σε συνδυασμό με τις υποδομές ΤΠΕ επιτρέπει την ανάπτυξη «έξυπνων» συστημάτων, όπως τα smart grids και οι ψηφιακές αλυσίδες εφοδιασμού, τα οποία οδηγούν σε σημαντική μείωση της ενεργειακής σπατάλης και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Ειδικότερα, η AI συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την πρόβλεψη και προσαρμογή της ζήτησης σε τομείς όπως τα κέντρα δεδομένων και η βιομηχανική παραγωγή. Παράλληλα, η ενσωμάτωση τεχνολογιών AI και IoT καθιστά δυνατή την παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων για τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων. Επιπλέον, η AI ενισχύει την ανάπτυξη «πράσινων» τεχνολογιών και τη βελτιστοποίηση των μεταφορών και της εφοδιαστικής αλυσίδας, μειώνοντας τις εκπομπές που σχετίζονται με τις μετακινήσεις και τη διανομή προϊόντων. Αυτό αποτελεί την έννοια του “Green by AI”[22].



Σχήμα 16 Η διττή προσέγγιση της τεχνητής νοημοσύνης στη βιωσιμότητα: “Green by AI” και “Green in AI”

Ωστόσο, η συμβολή της AI στη βιωσιμότητα συνοδεύεται από μια σημαντική αντίφαση, γνωστή ως «παράδοξο της βιωσιμότητας». Η εκπαίδευση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης και η λειτουργία των υποδομών που τα υποστηρίζουν, όπως τα data centers, απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συνολικής κατανάλωσης. Στο πλαίσιο αυτό, αναδεικνύεται η ανάγκη για την ανάπτυξη «βιώσιμης τεχνητής νοημοσύνης» (sustainable AI). Η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ίδιας της τεχνητής νοημοσύνης αποτελεί την έννοια του “Green in AI”. Οι δύο αυτές όψεις της σχέσης AI και βιωσιμότητας παρουσιάζονται στο παραπάνω Σχήμα 16 [22].

Η ισορροπία μεταξύ των δύο αυτών διαστάσεων είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση μιας πραγματικά βιώσιμης ψηφιακής μετάβασης. Η ενσωμάτωση της βιωσιμότητας στον σχεδιασμό των συστημάτων AI και ΤΠΕ αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη διασφάλιση ότι η τεχνολογική πρόοδος θα λειτουργήσει τελικά προς όφελος του περιβάλλοντος [20],[21], [22].

Το φαινόμενο αυτό επιβεβαιώνει τη γενικότερη αμφίδρομη σχέση μεταξύ ΤΠΕ και περιβάλλοντος, όπου η τεχνολογία λειτουργεί ταυτόχρονα ως λύση και ως πηγή περιβαλλοντικών πιέσεων.

4.3 Net-Zero και ολιστικές στρατηγικές και πράσινη ενέργεια

Ένα από τα βασικά ζητήματα για το μέλλον των τηλεπικοινωνιών είναι η επίτευξη στόχων μηδενικών εκπομπών (net-zero). Πολλοί τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί έχουν ήδη θέσει στόχους για τη μείωση των εκπομπών τους, επενδύοντας σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και σε ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες.

Η χρήση πράσινης ενέργειας για τη λειτουργία δικτύων και data centres αποτελεί βασική στρατηγική για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Παράλληλα, η ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών υποδομών και η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας.

Η μελλοντική εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών απαιτεί την υιοθέτηση ολοκληρωμένων στρατηγικών που συνδυάζουν τεχνολογική καινοτομία, πολιτικές παρεμβάσεις και αλλαγές στη συμπεριφορά των χρηστών. Η βιωσιμότητα δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω τεχνολογικών λύσεων, αλλά απαιτεί και την ενεργή συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων.

Η συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, επιχειρήσεων και ερευνητικών οργανισμών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη βιώσιμων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Παράλληλα, η

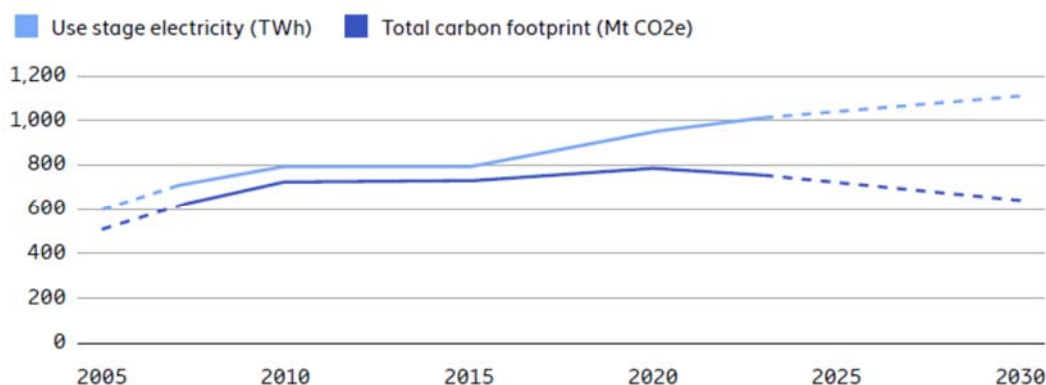
ευαισθητοποίηση των χρηστών και η προώθηση βιώσιμων πρακτικών αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων.

4.4 Πράσινες Δικτυακές Υποδομές- Green Networks

Η έννοια των «πράσινων τηλεπικοινωνιών» (Green Telecommunications) αναφέρεται στη συστηματική προσπάθεια μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του τηλεπικοινωνιακού τομέα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εφαρμογής πρακτικών κυκλικής οικονομίας. Στο σύγχρονο ψηφιακό περιβάλλον, η ανάγκη για πράσινα δίκτυα καθίσταται ολοένα και πιο επιτακτική, καθώς η εκθετική αύξηση της ζήτησης για δεδομένα οδηγεί σε αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις.

Τα πράσινα δίκτυα (green networks) είναι εκείνα που ενσωματώνουν την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού. Ο κύριος στόχος τους είναι η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τη μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα και βελτιστοποίηση της λειτουργίας. Η υιοθέτηση πράσινων δικτύων δεν αποτελεί μόνο ηθική επιταγή, αλλά και οικονομική αναγκαιότητα, καθώς το ενεργειακό κόστος αντιστοιχεί σήμερα περίπου στο 20–40% των λειτουργικών δαπανών (OPEX) των τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Η μείωση αυτού του κόστους μέσω της ανάπτυξης πράσινων κινητών δικτύων αποτελεί τόσο περιβαλλοντική όσο και επιχειρηματική προτεραιότητα.

Επιπλέον, τα πράσινα δίκτυα είναι εκείνα που ελαχιστοποιούν το ενσωματωμένο ανθρακικό αποτύπωμα (embodied carbon) που σχετίζεται με την κατασκευή, την προμήθεια και την ανάπτυξη των υποδομών. Όπως φαίνεται στο παρατηρείται ότι η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει σταθερά αυξητική τάση, με ιδιαίτερα έντονη άνοδο μετά το 2015, αντανακλώντας την αυξανόμενη ζήτηση για ψηφιακές υπηρεσίες, την ανάπτυξη των δικτύων και την επέκταση των κέντρων δεδομένων. Αντίθετα, το συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα ακολουθεί διαφορετική πορεία. Αν και αυξάνεται μέχρι περίπου το 2020, στη συνέχεια παρουσιάζει σταδιακή μείωση, παρά τη συνεχιζόμενη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Η απόκλιση αυτή υποδηλώνει τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και τη μετάβαση στα πράσινα δίκτυα [23].



Σχήμα 17 Εξέλιξη κατανάλωσης ενέργειας και ανθρακικού αποτυπώματος στον τομέα ICT (2005–2030) [23]

Τα πράσινα δίκτυα σχεδιάζονται με βασικό στόχο την βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών, χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η βασική αρχή που τα διέπει είναι η επίτευξη μέγιστης αποδοτικότητας ανά μεταδιδόμενο bit, δηλαδή η μετάδοση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων με μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση. Όπως επισημαίνεται στη σύγχρονη βιβλιογραφία, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η βελτιστοποίηση αποτελούν τον πυρήνα της έννοιας των green networks.

Η ανάπτυξη πράσινων τηλεπικοινωνιακών υποδομών βασίζεται σε έναν συνδυασμό τεχνολογικών και λειτουργικών παρεμβάσεων. Μία από τις σημαντικότερες κατευθύνσεις είναι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική, για την τροφοδοσία σταθμών βάσης και data centres. Πολλοί τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι επενδύουν ήδη σε τέτοιες λύσεις, μειώνοντας σημαντικά το ανθρακικό τους αποτύπωμα και το λειτουργικό κόστος.

Παράλληλα, η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των δικτύων μέσω τεχνητής νοημοσύνης αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τη δυναμική διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας, προσαρμόζοντας τη λειτουργία των δικτύων στη ζήτηση και απενεργοποιώντας μη απαραίτητα στοιχεία σε περιόδους χαμηλής χρήσης. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας και παρατείνεται η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού.

Ένα ακόμη βασικό στοιχείο των πράσινων τηλεπικοινωνιών είναι η ενσωμάτωση πρακτικών κυκλικής οικονομίας. Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση εξοπλισμού, η μείωση των ηλεκτρονικών αποβλήτων και η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον υλικών αποτελούν κρίσιμες στρατηγικές για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η προσέγγιση αυτή επεκτείνεται σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, από την παραγωγή έως τη διάθεση των προϊόντων.

Ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο των πράσινων δικτύων έχουν οι οπτικές υποδομές, οι οποίες θεωρούνται από τις πιο ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων. Τα δίκτυα οπτικών ινών επιτρέπουν τη μεταφορά μεγάλων όγκων δεδομένων με πολύ χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας ανά bit σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες. Η ανάπτυξη «all-optical networks» αποτελεί βασική κατεύθυνση για τη μελλοντική βιώσιμη εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών, καθώς μειώνει την ανάγκη για ενεργοβόρες ηλεκτρονικές μετατροπές και βελτιώνει τη συνολική αποδοτικότητα του δικτύου.

Η σημασία των πράσινων δικτύων ενισχύεται από την πρόκληση της εκθετικής αύξησης της κίνησης δεδομένων, ιδιαίτερα με την ανάπτυξη των δικτύων 5G και 6G. Η ανάγκη για ταυτόχρονη αύξηση της χωρητικότητας και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας δημιουργεί ένα σύνθετο τεχνολογικό πρόβλημα, το οποίο αντιμετωπίζεται μέσω καινοτόμων αρχιτεκτονικών δικτύων, προηγμένων αλγορίθμων και νέων υλικών.

Ταυτόχρονα, τα πράσινα δίκτυα δεν αποτελούν μόνο περιβαλλοντική επιλογή, αλλά και οικονομική αναγκαιότητα. Η ενέργεια αποτελεί σημαντικό μέρος του λειτουργικού κόστους των τηλεπικοινωνιακών παρόχων, με εκτιμήσεις να δείχνουν ότι μπορεί να φτάνει έως και το 20–40% των λειτουργικών δαπανών. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας συνδέεται άμεσα με τη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων.

Τέλος, τα πράσινα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα εντάσσονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο πολιτικών και στρατηγικών που συνδέουν την ψηφιακή και την πράσινη μετάβαση. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η ανάπτυξη βιώσιμων τηλεπικοινωνιακών υποδομών θεωρείται βασικός παράγοντας για την επίτευξη των κλιματικών στόχων, καθώς τα δίκτυα επικοινωνιών συμβάλλουν τόσο στη μείωση των εκπομπών σε άλλους τομείς όσο και στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της οικονομίας.

Συνολικά, τα πράσινα δίκτυα και ιδιαίτερα τα οπτικά δίκτυα αποτελούν θεμελιώδη στοιχείο για τη βιώσιμη εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών. Η επιτυχής ανάπτυξή τους προϋποθέτει τον συνδυασμό τεχνολογικής καινοτομίας, κατάλληλων πολιτικών και υπεύθυνης διαχείρισης των πόρων, ώστε να επιτευχθεί η ισορροπία μεταξύ ψηφιακής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής προστασίας.

4.5 Συνολική αποτίμηση των μελλοντικών τάσεων

Οι μελλοντικές τάσεις στις τηλεπικοινωνίες δείχνουν ότι η βιωσιμότητα θα αποτελέσει βασικό κριτήριο για την ανάπτυξη του τομέα. Η πρόκληση δεν είναι μόνο η ανάπτυξη

νέων τεχνολογιών, αλλά και η διασφάλιση ότι αυτές οι τεχνολογίες θα συμβάλλουν στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Η επιτυχής μετάβαση σε βιώσιμα τηλεπικοινωνιακά συστήματα εξαρτάται από την ικανότητα του τομέα να συνδυάσει την καινοτομία με την περιβαλλοντική υπευθυνότητα. Η κατανόηση των τάσεων αυτών είναι κρίσιμη για τη διαμόρφωση στρατηγικών που θα επιτρέψουν την επίτευξη ενός βιώσιμου ψηφιακού μέλλοντος.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση που προηγήθηκε ανέδειξε ότι η σχέση μεταξύ τηλεπικοινωνιών και βιωσιμότητας δεν είναι απλή ούτε γραμμική, αλλά χαρακτηρίζεται από μια δυναμική και συχνά αντιφατική αλληλεπίδραση. Οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αποτελούν αναμφίβολα έναν από τους βασικότερους παράγοντες που μπορούν να υποστηρίξουν τη βιώσιμη ανάπτυξη, ωστόσο η ίδια τους η ανάπτυξη δημιουργεί νέες προκλήσεις που δεν μπορούν να αγνοηθούν.

Από τη μία πλευρά, είναι σαφές ότι οι ΤΠΕ συμβάλλουν ουσιαστικά στη βελτίωση της αποδοτικότητας σε πολλούς τομείς της οικονομίας. Η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως το Internet of Things, η τεχνητή νοημοσύνη και τα έξυπνα ενεργειακά συστήματα επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων και τη μείωση των εκπομπών, ενισχύοντας τον ρόλο των τηλεπικοινωνιών ως βασικού καταλύτη της βιώσιμης μετάβασης. Παράλληλα, η απούλοποίηση δραστηριοτήτων οδηγεί σε περιορισμό της χρήσης φυσικών πόρων και μετακινήσεων. Ωστόσο, η εικόνα δεν είναι μονοδιάστατη. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης για δεδομένα, η εξάπλωση των ψηφιακών υπηρεσιών και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως τα δίκτυα 5G και οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης, οδηγούν σε αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι οι τεχνολογικές βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα δεν επαρκούν από μόνες τους, καθώς συχνά αντισταθμίζονται από την αύξηση της χρήσης, επιβεβαιώνοντας την ύπαρξη του φαινομένου rebound.

Η εξέταση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των ΤΠΕ κατέδειξε επίσης ότι οι επιπτώσεις του τομέα δεν περιορίζονται στη λειτουργία των δικτύων, αλλά εκτείνονται σε όλο τον κύκλο ζωής των τεχνολογιών, από την παραγωγή έως την απόσυρση του εξοπλισμού. Αυτό καθιστά αναγκαία μια πιο ολιστική προσέγγιση, η οποία θα λαμβάνει υπόψη τόσο την κατανάλωση ενέργειας όσο και το ενσωματωμένο ανθρακικό αποτύπωμα.

Στο πλαίσιο αυτό, γίνεται εμφανές ότι η βιωσιμότητα δεν αποτελεί πλέον μια εξωτερική απαίτηση προς τον τομέα των τηλεπικοινωνιών, αλλά έναν παράγοντα που επηρεάζει άμεσα τον τρόπο σχεδιασμού και λειτουργίας του. Η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, η εφαρμογή αρχών κυκλικής οικονομίας και η ενσωμάτωση κριτηρίων ESG συνιστούν βασικές κατευθύνσεις προς αυτήν την κατεύθυνση.

Παράλληλα, οι μελλοντικές εξελίξεις δείχνουν ότι η βιωσιμότητα θα αποτελέσει κεντρικό άξονα της τεχνολογικής ανάπτυξης. Τα δίκτυα 5G και 6G, τα πράσινα δίκτυα και η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης δημιουργούν σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Παρ' όλα αυτά, η επιτυχία αυτής της μετάβασης δεν είναι δεδομένη και εξαρτάται από το κατά πόσο η βιωσιμότητα θα ενσωματωθεί ουσιαστικά στον σχεδιασμό των τεχνολογιών και όχι απλώς ως δευτερεύουσα παράμετρος.

Αν τεθεί δε ως βασική προτεραιότητα ο άνθρωπος, δηλαδή η ποιότητα ζωής, η κοινωνική ευημερία και η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα, τότε η τεχνολογία από μόνη της δεν μπορεί να θεωρηθεί ούτε «σωτήρας» ούτε «απειλή». Το κρίσιμο ζήτημα είναι ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάζεται, χρησιμοποιείται και εντάσσεται στην κοινωνία. Οι τηλεπικοινωνίες και οι ψηφιακές τεχνολογίες προσφέρουν τεράστια οφέλη. Διευκολύνουν την πρόσβαση στη γνώση, στην υγεία, στην εργασία και στην επικοινωνία. Χωρίς αυτές, έννοιες όπως η τηλεργασία, η τηλεϊατρική, τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα ή η διαχείριση κρίσεων θα ήταν εξαιρετικά περιορισμένες. Σε αυτό το επίπεδο, οι ΤΠΕ μπορούν πράγματι να λειτουργήσουν υπέρ του ανθρώπου και της βιώσιμης ανάπτυξης.

Το πρόβλημα αρχίζει όταν η τεχνολογική ανάπτυξη αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως αυτοσκοπός και χρησιμοποιείται ως μέσο συνεχούς κατανάλωσης. Η αύξηση της ταχύτητας, των δεδομένων και των ψηφιακών υπηρεσιών δεν σημαίνει απαραίτητα και

βελτίωση της ανθρώπινης ζωής. Αντίθετα, πολλές φορές οδηγεί σε υπερκατανάλωση ενέργειας, εξάντληση φυσικών πόρων, αύξηση ηλεκτρονικών αποβλήτων και ενίσχυση κοινωνικών ανισοτήτων.

Το γεγονός ότι μια τεχνολογία είναι τεχνικά εφικτή δεν σημαίνει αυτόματα ότι είναι και κοινωνικά ή περιβαλλοντικά ωφέλιμη. Ωστόσο η πραγματική πρόκληση δεν είναι να σταματήσει η τεχνολογική εξέλιξη, αλλά να αλλάξει η φιλοσοφία της ανάπτυξης. Η τεχνολογία πρέπει να σχεδιάζεται με επίκεντρο τον άνθρωπο και όχι μόνο την απόδοση, την κατανάλωση ή το κέρδος. Αυτό σημαίνει: ενεργειακά αποδοτικά δίκτυα, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συσκευών, υπεύθυνη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης, μείωση του ψηφιακού αποκλεισμού, αι ενσωμάτωση της βιωσιμότητας ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού (sustainability by design). Ιδιαίτερα στην εποχή της AI και των 6G δικτύων, υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθεί η ψευδαίσθηση ότι κάθε νέο τεχνολογικό άλμα είναι αυτόματα και πρόοδος. Όμως, αν η τεχνολογία αυξάνει την κατανάλωση πόρων ταχύτερα από όσο βελτιώνει την ποιότητα ζωής, τότε το ισοζύγιο γίνεται προβληματικό.

Είναι φανερό ότι οι τηλεπικοινωνίες μπορούν να αποτελέσουν ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για ένα πιο βιώσιμο μέλλον, μόνο όμως όταν η ανάπτυξή τους υπηρετεί ξεκάθαρα τις ανθρώπινες ανάγκες και σέβεται το περιβάλλον. Η τεχνολογική πρόοδος δεν πρέπει να μετριέται αποκλειστικά σε Gbps, αριθμό συσκευών ή όγκο δεδομένων, αλλά στο κατά πόσο βελτιώνει ουσιαστικά τη ζωή των ανθρώπων χωρίς να υπονομεύει το μέλλον των επόμενων γενεών.

Τελικά, το ζήτημα δεν είναι αν οι τηλεπικοινωνίες και οι ψηφιακές τεχνολογίες θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται, αυτό θεωρείται πλέον δεδομένο. Το πραγματικό ερώτημα είναι προς ποια κατεύθυνση θα εξελιχθούν και με ποια κριτήρια θα αξιολογείται η πρόοδος. Σε μια εποχή όπου η συνδεσιμότητα, η τεχνητή νοημοσύνη και η συνεχής ροή δεδομένων μετασχηματίζουν κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας, η βιωσιμότητα δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται ως συμπληρωματική απαίτηση, αλλά ως θεμελιώδης αρχή σχεδιασμού και ανάπτυξης. Η πραγματική πρόκληση είναι η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της ψηφιακής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής προστασίας, σε ένα πλαίσιο όπου η τεχνολογία λειτουργεί τελικά ως μέρος της λύσης και όχι του προβλήματος.

Το μέλλον των τηλεπικοινωνιών δεν θα κριθεί μόνο από την ταχύτητα, την υπολογιστική ισχύ ή τον όγκο των δεδομένων, που μπορούν να διαχειριστούν τα δίκτυα, αλλά κυρίως από την ικανότητά τους να υποστηρίξουν ένα μοντέλο ανάπτυξης, που θα είναι ταυτόχρονα ψηφιακά προηγμένο, κοινωνικά δίκαιο και περιβαλλοντικά βιώσιμο.

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Συντομογραφία	Πλήρης Όρος (Αγγλικά)	Απόδοση (Ελληνικά)
AI	Artificial Intelligence	Τεχνητή Νοημοσύνη
ML	Machine Learning	Μηχανική Μάθηση
ICT	Information and Communication Technologies	Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών ΤΠΕ
IoT	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
ESG	Environmental, Social, Governance	Περιβαλλοντική, Κοινωνική και Εταιρική Διακυβέρνηση
SDGs	Sustainable Development Goals	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης
CO₂	Carbon Dioxide	Διοξείδιο του Άνθρακα
CO₂e	Carbon Dioxide Equivalent	Ισοδύναμο Διοξειδίου του Άνθρακα
GHG	Greenhouse Gases	Αέρια του Θερμοκηπίου
LCA	Life Cycle Assessment	Ανάλυση Κύκλου Ζωής
PUE	Power Usage Effectiveness	Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Data Center
DC	Data Center	Κέντρο Δεδομένων
OPEX	Operational Expenditure	Λειτουργικές Δαπάνες
CAPEX	Capital Expenditure	Κεφαλαιουχικές Δαπάνες
KPI	Key Performance Indicator	Δείκτης Απόδοσης
5G	Fifth Generation Mobile Network	Δίκτυο 5ης Γενιάς
6G	Sixth Generation Mobile Network	Δίκτυο 6ης Γενιάς
NSA	Non-Standalone	Μη Αυτόνομο Δίκτυο
SA	Standalone	Αυτόνομο Δίκτυο
SDN	Software Defined Networking	Δίκτυα Οριζόμενα μέσω Λογισμικού

FTTH	Fiber To The Home	Οπτική Ίνα μέχρι το Σπίτι
FTTx	Fiber To The x	Οπτική Ίνα μέχρι το Σημείο x
GPON	Gigabit Passive Optical Network	Παθητικό Οπτικό Δίκτυο Gigabit
XGS-PON	10 Gigabit Symmetrical Passive Optical Network	Συμμετρικό Παθητικό Οπτικό Δίκτυο 10 Gbps
VDSL	Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line	Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή Υψηλής Ταχύτητας
DSL	Digital Subscriber Line	Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή
ITU	International Telecommunication Union	Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης
EU	European Union	Ευρωπαϊκή Ένωση

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Anders S.G., Future trends of Green All Optical Networks and ICT Infrastructure in a large context – trends to 2050, Huawei Technologies Sweden AB.mAt Optical Connections Webinar series, 29 March 2023
- [2] Ilsa Godlovitch, Matthias Wissner, Sustainability of ECN in the Greek market, WIK-Consult • Final report, Study for EETT, 7 October 2024
- [3] Environmental Sustainability Of Communication Networks, OECD DIGITAL ECONOMY PAPERS, February 2025, No. 372
- [4] Bin Jiang, Yingchun Yan, Jingjing Zhao, Xiang Xiao, Li You, Di Zhang, Jizhao Lei, Kezhi Wang, Wenjin Wang, Xiqi Gao, (2023), Total and Minimum Energy Efficiency Tradeoff in Robust Multigroup Multicast Satellite Communications. Space Sci Technol. 2023
- [5] Zanella A., N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista and M. Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, Feb., 2014
- [6] Waqas Ahmadr et al, Unveiling 6G Networks: Innovations, Challenges, and Future Research, Journal of Computing & Biomedical Informatics, 2025
- [7] Non-Terrestrial Network Advantages, Challenges, and Applications, διαθέσιμο στο: <https://www.keysight.com/us/en/cmp/topics/non-terrestrial-network-basics-advantages-and-challenges.html>
- [8] Ilsa Godlovitch et al, Sustainability of ECN in the Greek market, White paper (2024), WIK-Consult Final report, Study for EET διαθέσιμο στο: https://www.eett.gr/wp-content/uploads/2024/12/EETT_sustainability_white_paper.pdf
- [9] EFPIA, White Paper on Circular Economy , October 2016
- [10] European Commission (2023). The European Green, διαθέσιμο στο: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [11] United Nations (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. διαθέσιμο στο: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- [12] Manar Mohamed et al, Digitalization and Carbon Footprint: Does ICT Reduce Carbon Foot-print?. Digital Technologies Research and Applications, vol 04, Npv. 2025
- [13] Γ. Χάλκος, Οικονομική φυσικών πόρων και περιβάλλοντος, Εκδόσεις ΔΙΣΙΓΜΑ, 2016
- [14] Environmental, Social, and Governance: What Is ESG and Why Is It Important?, διαθέσιμο στο: <https://www.globalcitizen.org/en/content/environmental-social-governance-what-iesg/>
- [15] Jens Malmmodin et al, ICT sector electricity consumption and greenhouse gas emissions –2020 outcome, Telecommunications Policy, 48 (2024)
- [16] International Telecommunication Union (ITU) and World Bank, Measuring the Environmental Footprint of the ICT Sector, 2023.
- [17] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Environmentally Sustainable ICT: Strategies and Policies, 2022
- [18] Strategies for Reducing Energy Consumption in ICT Infrastructure, ADC Technologies, Nov 2023, διαθέσιμο στο: <https://www.linkedin.com/pulse/strategies-reducing-energy-consumption-ict-infrastructure-wkhjf>
- [19] Τι είναι οι εκπομπές εύρους 1, 2 και 3, SAP, OCT 2024, διαθέσιμο στο:

[https://www.sap.com/greece/resources/what-are-scope-1-2-3-emissions\](https://www.sap.com/greece/resources/what-are-scope-1-2-3-emissions/)

- [20] 12 Key Principles for Sustainable AI, Article by Accesss Partnership, February, 2025, διαθέσιμο στο: <https://accesspartnership.com/opinion/12-key-principles-for-sustainableai/#:~:text=Sustainability%20is%20the%20responsibility%20of,Data%20Efficiency%20&%20Minimisation>
- [21] D. Balsalobre-Lorente et al, Tourism, urbanization and natural resources rents matter for environmental sustainability: The leading role of AI and ICT on sustainable development goals in the digital era, Resources Policy 82 (2023)
- [22] V. Bolón-Canedo et al., A review of green artificial intelligence: Towards a more sustainable future, Neurocomputing 599 (2024)
- [23] ICT's carbon footprint continuing to decrease, Ericsson Mobility Report | November 2024, διαθέσιμο στο: <https://www.ericsson.com/4acd55/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents /2024/emr-november-2024-ict-sustainability-article.pdf>