



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**  
**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΕ ΑΓΡΟΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΜΕ**  
**ΜΕΓΑΛΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ**

Δημήτριος Κατόπης

ΑΜ:2124

Επιβλέπων: Ανδρέας Τσορμπατζόγλου

Επίκουρος Καθηγητής

Άρτα , 2024

**FIBRE OPTIC DISTRIBUTION IN RURAL ENVIRONMENTS WITH  
A LARGE GEOGRAPHICAL AREA**

**Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Άρτα, Σεπτέμβριος 2024

## **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Επιβλέπων καθηγητής  
Τσορμπατζόγλου Ανδρέας,
2. Μέλος επιτροπής  
Αγγέλης Κωνσταντίνος,
3. Μέλος επιτροπής  
Γιαννακέας Νικόλαος,

© Κατόπης Δημήτριος, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## **Δήλωση μη λογοκλοπής**

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Κατόπης Δημήτριος

Υπογραφή

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες η ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς και όλο και μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Πλέον όλοι μπορούν να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες που προσφέρει το Διαδίκτυο και στις υπηρεσίες που προσφέρονται ψηφιακά από το κράτος για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πολιτών.

Αυτό που αποτελεί πρόκληση είναι η αναβάθμιση των δικτύων σε δίκτυα με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες σύνδεσης ώστε να καλυφθούν οι ολοένα και μεγαλύτερες απαιτήσεις των χρηστών. Σε αυτό έρχεται να συμβάλει η έννοια της ευρυζωνικότητας η οποία εγγυάται γρήγορες διαδικτυακές συνδέσεις. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει στόχους για την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας και η Ελλάδα ως μέλος αυτής καλείται να ακολουθήσει.

Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι είναι απαραίτητη η χρήση οπτικών ινών ως μέσο μετάδοσης πληροφοριών. Οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών έχουν εγκαταστήσει ήδη οπτικές ίνες στα δίκτυα πολλών ελληνικών αστικών και ημιαστικών περιοχών. Πρόβλημα αποτελεί η κατανομή των οπτικών ινών σε αγροτικές περιοχές εκεί όπου η μορφολογία του εδάφους είναι ένας σημαντικός παράγοντας της δυσκολίας που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι εταιρείες που έχουν αναλάβει αυτό το έργο.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση του Εθνικού Ευρυζωνικού Σχεδίου της Ελλάδας, η χρήση των οπτικών ινών στα δίκτυα και μια μέθοδος κατανομής αυτών σε αγροτικές περιοχές. Η μέθοδος αυτή αποτελεί έργο μελέτης που έχει γίνει για κάποια αγροτική περιοχή του Μεξικού και επιλύει το ζήτημα της σειράς προτεραιότητας με την οποία πρέπει να συνδεθούν οι αγροτικές κοινότητες. Αυτό το μοντέλο μπορεί να υιοθετηθεί από τις εταιρείες που θα αναλάβουν την κατανομή των οπτικών ινών στις αγροτικές περιοχές.

**Λέξεις-κλειδιά:** Ευρυζωνικότητα, οπτικές ίνες, αγροτικές περιοχές, κατανομή οπτικών ινών

# Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
Κατάλογος εικόνων .....	9
Κατάλογος σχημάτων.....	10
Κατάλογος πινάκων .....	11
1. Ευρυζωνικότητα .....	11
1.1 Ορισμός .....	11
1.2 Η ανάγκη για Ευρυζωνικότητα.....	12
1.3 Τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης.....	13
1.4 Πλεονεκτήματα ευρυζωνικότητας .....	13
1.4.1 Οικονομικά οφέλη .....	13
1.4.2 Κοινωνικά οφέλη.....	14
1.4.3 Οφέλη για τον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα .....	15
1.5 Το Ευρωπαϊκό πλαίσιο.....	16
1.6 Η κατάσταση στην Ευρώπη και στην Ελλάδα .....	16
1.7 Εθνικό Ευρυζωνικό Σχέδιο 2021-2027 .....	17
1.8 Οι τάσεις στην Ευρώπη .....	18
1.8.1 Κατάταξη συνδεσιμότητας «DESI» της Ελλάδας.....	19
2. Οπτικές Ίνες.....	19
2.1 Εισαγωγή .....	19
2.2 Δομή οπτικής ίνας.....	20
2.3 Τύποι οπτικών ινών .....	21
2.4 Βασικές αρχές λειτουργίας .....	24
2.5 Πλεονεκτήματα οπτικών ινών.....	27
3. Δίκτυα Οπτικών ινών.....	28
3.1 Η τεχνολογία FTTx.....	28
3.2 Αρχιτεκτονικές FTTx δικτύων .....	29
3.3 Μέθοδοι εγκατάστασης καλωδίων σωλήνων .....	30
3.4 Τύποι καλωδίων και σωλήνων .....	31
4. Στρατηγικές ανάπτυξης καλωδίων οπτικών ινών.....	31
4.1 Εναέρια εγκατάσταση.....	32
4.2 Υπόγεια εγκατάσταση .....	33

4.2.1 Άμεση ταφή .....	33
4.2.2 Εγκατάσταση σε αγωγό .....	34
5. Κατανομή οπτικών ινών σε αγροτικά περιβάλλοντα .....	34
5.1 Η ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών σε αγροτικές περιοχές της Ελλάδας.....	34
5.2 Το παράδειγμα της Ολλανδίας .....	36
5.3 Το παράδειγμα της Γκάνας .....	39
5.3.1 Τεχνικές προκλήσεις στην ανάπτυξη οπτικών ινών.....	40
5.3.2 Διαχείριση μετά την ανάπτυξη οπτικών ινών.....	41
5.3.3 Πρότυπα και βέλτιστες πρακτικές για την ανάπτυξη και διαχείριση καλωδίων οπτικών ινών .....	42
5.3.4 Στρατηγικές ανάπτυξης και διαχείρισης ινών .....	42
5.3.5 Διαχείριση μετά την ανάπτυξη .....	45
5.4 Η περίπτωση του Μεξικού: Ανάγκη προσιτής πρόσβασης στο διαδίκτυο για αγροτικές κοινότητες .....	47
5.4.1 Προσεγγίσεις για την υπέρβαση της ψηφιακής υποβάθμισης στις αγροτικές περιοχές .....	48
5.4.2 Διεύρυνση του δικτύου οπτικών ινών στην πράξη για την αγροτική συνδεσιμότητα .....	48
Συσχέτιση με τον Ελλαδικό χώρο .....	59
Βιβλιογραφία.....	61



## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.8.1: Δείκτης Ψηφιακής Οικονομίας & Κοινωνίας (DESI) – Επίδοση κρατών μελών σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο (2020).....	18
Εικόνα 1.8.1.1: Εξέλιξη των επιδόσεων της Ελλάδας στις διαστάσεις DESI (πορτοκαλί γραμμή) και απόσταση από τον μέσο όρο της ΕΕ (γκρίζα γραμμή).....	19
Εικόνα 2.2.1: Δομή οπτικής ίνας.....	21
Εικόνα 2.3.1: Μονότροπη οπτική ίνα .....	22
Εικόνα 2.3.2: Πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης.....	22
Εικόνα 2.3.3: Πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης .....	23
Εικόνα 2.4.1: Κρίσιμη γωνία για εμφάνιση φαινομένου ολικής ανάκλασης .....	24
Εικόνα 2.4.2: Σύζευξη φωτός και κώνος αποδοχής στην οπτική ίνα .....	25
Εικόνα 2.4.3: Εξασθένιση σήματος οπτικής ίνα λόγω μακροσκοπικής κάμψης .....	26
Εικόνα 2.4.4: Απώλειες σήματος σε οπτικές ίνες .....	27
Εικόνα 5.4.2.1: Περιγραφή αλγόριθμου Kruskal.....	52
Εικόνα 5.4.2.2: Περιγραφή αλγορίθμου κατανομής οπτικών ινών .....	55
Εικόνα 5.4.2.3: Ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών με αφετηρία το «Puente de Ixtla» με κριτήριο P - NL.....	57

## Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Διαχρονική ανάπτυξη των ευρυζωνικών τεχνολογιών στην Ολλανδία από το 2008 έως το 2019.....	36
Σχήμα 2: Τεχνικές εγκατάστασης που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση καλωδίων οπτικών ινών .....	43
Σχήμα 3: Ποιος τύπος εγκατάστασης χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση των καλωδίων οπτικών ινών .....	44
Σχήμα 4: Ποιες είναι οι αιτίες των συχνών περικοπών των ινών .....	45
Σχήμα 5: Ποιο διαχειριστικό πλαίσιο θα πρέπει να προσαρμόσουν οι Telecom για να ελαχιστοποιήσουν τις περικοπές οπτικών ινών .....	46
Σχήμα 6: Τι πρέπει να γίνει για να μειωθεί ο αντίκτυπος στους πελάτες .....	47
Σχήμα 7: Γραφική αναπαράσταση του προβλήματος που επιλύει η εφαρμογή .....	49
Σχήμα 8: Κατανομή του πληθυσμού σε μια αγροτική περιοχή του Μεξικού.....	56
Σχήμα 9: Αριθμός συνολικών κοινοτήτων σύμφωνα με το διατεταγμένο σχέδιο Ο .....	58
Σχήμα 10: Συνολικό μήκος δικτύου σύμφωνα με το διατεταγμένο σχέδιο Ο. ....	58
Σχήμα 11: Καλυπτόμενος πληθυσμός ανά χιλιόμετρο οπτικών ινών σύμφωνα με το ταξινομημένο σχέδιο Ο.....	59

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Οι πέντε διαστάσεις του δείκτη DESI.....	17
Πίνακας 2: Διαβουλεύσεις με την υπηρεσία οδοποιίας κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ....	43
Πίνακας 3: Η άποψη του φορέα εκμετάλλευσης δικτύου για τις βέλτιστες πρακτικές στην ανάπτυξη οπτικών ινών.....	43
Πίνακας 4: Επιπτώσεις των βλαβών των ινών στο δίκτυο .....	46
Πίνακας 5: Σύνοψη των αποτελεσμάτων για διαφορετικά ποσοστά του καλυπτόμενου πληθυσμού. ....	59

## 1. Ευρυζωνικότητα

### 1.1 Ορισμός

Η έννοια της ευρυζωνικότητας δεν είναι κατανοητή από τους περισσότερους ανθρώπους καθώς θεωρούν ότι είναι κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα σύνδεσης ή κάποιες συγκεκριμένες υπηρεσίες. Ο όρος της ευρυζωνικότητας συνδυάζει το εύρος ζώνης με την ταχύτητα μιας σύνδεσης.

Γρήγορες διαδικτυακές συνδέσεις και κατάλληλες δικτυακές υποδομές αποτελούν ένα καινοτόμο και προηγμένο περιβάλλον το οποίο συγκροτεί την έννοια της ευρυζωνικότητας. Λόγω της συνεχόμενης εξέλιξης των ευρυζωνικών τεχνολογιών, η έννοια της ευρυζωνικότητας συνεχώς εξελίσσεται. Οι ευρυζωνικές τεχνολογίες αποτελούν την εξέλιξη των δικτύων ISDN που υπάρχουν με αυτά των ISDN στενού εύρους ζώνης (narrow band ISDN).

Η ευρυζωνικότητα είναι ένα περιβάλλον το οποίο προσφέρει γρήγορες συνδέσεις στο Διαδίκτυο στο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού με τιμές ανταγωνιστικές. Αποτελείται από κατάλληλη δικτυακή υποδομή η οποία επιτρέπει την ανάπτυξη των εφαρμογών και των υπηρεσιών που υπάρχουν αλλά και αυτών των οποίων αναμένεται να εμφανιστούν. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες για σταθερή σύνδεση χωρίς διακοπές ικανοποιώντας τις εκάστοτε ανάγκες των εφαρμογών σε εύρος ζώνης, αναδραστικότητα και διαθεσιμότητα. Έχει την ικανότητα να αναβαθμίζεται συνέχεια με μικρό επιπλέον κόστος ώστε να ικανοποιεί τις ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες. Ο πολίτης μπορεί να επιλέγει ανάμεσα σε διαφορετικές

προσφορές σύνδεσης που ταιριάζουν στον εξοπλισμό του, να επιλέγει μεταξύ διαφόρων δικτυακών εφαρμογών και μεταξύ διαφόρων υπηρεσιών πληροφόρησης και ψυχαγωγίας στις οποίες μπορεί και ο ίδιος να παρέχει αντίστοιχο περιεχόμενο. Επίσης, το περιβάλλον της ευρυζωνικότητας αποτελείται από το κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο πολιτικών, μέτρων, πρωτοβουλιών, άμεσων και έμμεσων παρεμβάσεων, αναγκαίων για την ενδυνάμωση της καινοτομίας, την προστασία του ανταγωνισμού και την εγγύηση ισορροπημένης οικονομικής ανάπτυξης η οποία μπορεί να προέλθει από την γενικευμένη συμμετοχή στην ευρυζωνικότητα και την Κοινωνία της Πληροφορίας.(Ζαφειρης & Λαζανης, 2023)

## 1.2 Η ανάγκη για Ευρυζωνικότητα

Οι συνεχόμενες αλλαγές στις ανάγκες και τις απαιτήσεις των χρηστών αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την ανάγκη των ευρυζωνικών επικοινωνιών. Οι χρήστες του διαδικτύου περιβάλλονται από μια πληθώρα εφαρμογών και υπηρεσιών οι οποίες αναπτύσσονται ραγδαία και απαιτούν την διακίνηση μεγάλου όγκου δεδομένων με ταχύτατους ρυθμούς. Πλέον όλοι διαθέτουν έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή με πρόσβαση στο διαδίκτυο και ο κάθε χρήστης έχει τις δικές του ανάγκες και απαιτήσεις από αυτό. Σε αυτό συντελεί το χαμηλό κόστος των υπολογιστών και η αυξανόμενη χρήση τους από εκατομμύρια ανθρώπους. Απάντηση σε αυτή την πρόκληση δύναται να δώσει η ευρυζωνικότητα μέσω ενός μεγάλου πλήθους υπηρεσιών.

Τα ευρυζωνικά δίκτυα μπορούν να υλοποιηθούν μέσω μίας ποικιλίας ενσύρματων και ασύρματων υπηρεσιών, οι οποίες προσφέρουν μοναδικά πλεονεκτήματα στην ταχύτητα, την αξιοπιστία και το κόστος. Παρέχεται η δυνατότητα στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε ευρυζωνικές υπηρεσίες και εφαρμογές όπως οι τηλεδιασκέψεις μέσω μιας μεγάλης ποικιλίας εξοπλισμού, όπως επιτραπέζιοι και φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και smartphones.

Ο ανταγωνισμός μεταξύ των εταιρειών παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αυξάνεται συνέχεια και αυτό έχει ως συνέπεια την ανάγκη για ευρυζωνικότητα. Σήμερα, στις ανταγωνιστικές αγορές, οι εταιρείες προσπαθούν να αποκτήσουν όσο το δυνατόν περισσότερους πελάτες ώστε να αυξήσουν τα κέρδη τους. Αυτό τους οδηγεί στο να προσφέρουν σύγχρονες υπηρεσίες, οι οποίες έρχονται σε σύγκρουση με τα παλαιά δίκτυα επικοινωνιών με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ανταποκριθούν. Για αυτό το λόγο οι Πάροχοι Υπηρεσιών Διαδικτύου καλούνται να σχεδιάσουν τις στρατηγικές τους με τρόπο που να μπορούν να παρέχουν τις υπηρεσίες τους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. (Ζαφειρης & Λαζανης, 2023)

Τέλος, παρατηρείται ότι το κόστος του εξοπλισμού για την επεξεργασία και τη διακίνηση των πληροφοριών συνεχώς μειώνεται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δίνει τη δυνατότητα σε όλο και μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να αποκτήσει πρόσβαση στις διαδικτυακές συνδέσεις. Συνεπώς, τα υπάρχοντα δίκτυα υπερφορτώνονται και υπάρχει συμφόρηση προκαλώντας αδυναμία στο να καλυφθούν οι νέες και αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών καθώς και η ανάγκη για δίκτυα με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με τα αρχικά ψηφιακά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών(ISDN). (Ζαφειρης & Λαζανης, 2023)

### 1.3 Τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης

DSL(Digital subscriber line)

Είναι η πιο συνηθισμένη ευρυζωνική πλατφόρμα στον κόσμο. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί την ίδια τηλεφωνική γραμμή για να μεταφέρει δεδομένα και φωνή ταυτόχρονα κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφορετικών συχνοτήτων για το διαχωρισμό τους. Η DSL προσφέρει υψηλές ταχύτητες και καλύτερη ποιότητα μετάδοσης της φωνής, των δεδομένων και των εικόνων. Είναι μια υπηρεσία που αντιστοιχεί σε κάθε χρήστη ένα μοναδικό κύκλωμα προς το τηλεφωνικό κέντρο που σημαίνει ότι το διαθέσιμο εύρος ζώνης και η ταχύτητα της σύνδεσης δεν διαφέρουν ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

xDSL

Το “x” υποδηλώνει την ύπαρξη πολλών και διαφορετικών προδιαγραφών DSL που καλύπτουν, η καθεμία, διαφορετικές ανάγκες. Με αυτές τις τεχνολογίες η επικοινωνία γίνεται ψηφιακά με τη χρήση εξελιγμένων τεχνικών διαμόρφωσης σήματος και με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η χρήση πολύ μεγαλύτερου εύρους ζώνης πετυχαίνοντας μεγαλύτερες ταχύτητες για τις ανάγκες που καλύπτει η κάθε “x” τεχνολογία. Μερικές από τις πιο συχνές xDSL τεχνολογίες είναι οι ADSL (Asymmetric DSL), HDSL (High Speed DSL), IDSL (ISDN – DSL), RADSL (Rate – adaptive DSL), SDSL (Symmetric DSL) και VDSL (Very High Speed DSL).

#### Καλώδια οπτικών ινών

Οι DSL και οι καλωδιακές τεχνολογίες χρησιμοποιούν συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων ενώ η τεχνολογία των οπτικών ινών χρησιμοποιεί λέιζερ για να μεταδώσει παλμούς φωτός. Το φως χρησιμοποιεί υψηλές συχνότητες και επομένως οι οπτικές ίνες αποτελούν ένα μέσο διάδοσης μέσω του οποίου μπορούν να μεταφερθούν πολλά δεδομένα. Έτσι, οι οπτικές ίνες είναι ικανές να παρέχουν σχεδόν απεριόριστο δυναμικό εύρους ζώνης και για αυτό χρησιμοποιούνται για συνδέσεις μεταξύ πόλεων που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης. Στο παρελθόν η εγκατάσταση οπτικών ινών είχε υψηλό κόστος και ήταν δύσκολο να χρησιμοποιηθούν για διασύνδεση σπιτιών και μικρών κοινωνιών. Τώρα, όμως, οι τιμές έχουν πέσει αρκετά και οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, πολύ μεγαλύτερες από αυτές των τεχνολογιών DSL.(Ζαφειρης & Λαζανης, 2023)

### 1.4 Πλεονεκτήματα ευρυζωνικότητας

#### 1.4.1 Οικονομικά οφέλη

Οι περισσότερες χώρες παγκοσμίως επιδιώκουν την ανάπτυξη της ευρυζωνικής πρόσβασης σε μεγάλη κλίμακα και την παροχή αυτής σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της και των επιχειρήσεων που εδρεύουν σε αυτήν. Το γεγονός αυτό, αποτελεί σημαντική ένδειξη για τη σημασία της ευρυζωνικότητας στην ανάπτυξη της οικονομίας και της Κοινωνίας της Πληροφορίας.

Η ευρυζωνικότητα μπορεί να βοηθήσει μια χώρα να προσελκύσει μια τάξη εργαζομένων, να τους εκπαιδεύσει και να τους διατηρήσει. Μπορεί να οδηγήσει σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα και νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Ακόμη, μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία και τη διευκόλυνση του εμπορίου, τη μείωση του κόστους με τις επικοινωνίες και πρόσβαση στις διεθνείς αγορές.

Η ανάπτυξη των υποδομών των ευρυζωνικών δικτύων προωθεί την καινοτομία στην παροχή δικτυακών υπηρεσιών και εφαρμογών, βελτιώνει τις συνθήκες αγοράς και αυξάνει την επιχειρηματικότητα. Παρέχουν μοναδικά πλεονεκτήματα σε αναδυόμενες οικονομίες να εισχωρήσουν στις διεθνείς αγορές με ανταγωνιστικό τρόπο.

Ενδεικτικά οφέλη των ευρυζωνικών συνδέσεων:

- Είναι πάντα σε λειτουργία και διαθέσιμα για χρήση
- Οι υψηλές ταχύτητες αυτών, επιτρέπουν την εύκολη πρόσβαση σε online βίντεο, παιχνίδια, διαδραστικές εφαρμογές και άλλων πληθώρα εφαρμογών.
- Μείωση κόστους: η πρόσβαση στο διαδίκτυο και οι διάφορες δραστηριότητες σε αυτό μπορούν να αυξήσουν την παραγωγικότητα της εργασίας και να μειώσουν το κόστος συλλογής πληροφοριών.
- Επιτρέπουν την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, έτσι οι επιχειρήσεις μπορούν να επικοινωνούν συχνά και με μικρό κόστος με πελάτες, προμηθευτές και συνεργάτες σε όλο τον κόσμο.
- Η ευρυζωνικότητα οδηγεί σε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα καθώς μειώνει τις μετακινήσεις και συντελεί σε μεγαλύτερη συνολική ενεργειακή απόδοση.

#### **1.4.2 Κοινωνικά οφέλη**

Αν και δύσκολο να αποτυπωθούν τα κοινωνικά οφέλη της ευρυζωνικότητας, μπορούν έως ένα βαθμό να γίνουν αντιληπτά με την παρουσίαση των τομέων στους οποίους εφαρμόζονται οι ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Τηλε-υπηρεσίες όπως η τηλεργασία, τηλε-εκπαίδευση, τηλε-ιατρική, τηλε-συνεδρίαση, κλπ., δικτυακές υπηρεσίες τύπου peer to peer, παιχνίδια αλληλεπίδρασης, μεγάλο σύνολο υπηρεσιών που αφορούν την παροχή πληροφοριών, ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων και εμπορικών συναλλαγών αποτελούν μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών στις οποίες οι χρήστες έχουν πρόσβαση μέσω των ευρυζωνικών δικτύων. Αυτό συμβαίνει γιατί η χρήση του δικτύου επιτρέπει τον εντοπισμό νέων προϊόντων, την ευκολότερη επικοινωνία με πελάτες και συνεργάτες, την αμεσότερη προβολή προϊόντων και υπηρεσιών χωρίς να αποτελεί πρόβλημα η γεωγραφική τοποθεσία, καθώς και ευκολότερη πραγματοποίηση χρηματικών συναλλαγών. Επίσης τα ευρυζωνικά δίκτυα μπορούν να προσφέρουν βασικές δημόσιες υπηρεσίες, όπως η εκπαίδευση, υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης όπως η παροχή ιατρικών συμβουλών από απόσταση σε απομακρυσμένα ιατρεία ή κέντρα υγείας, μειώνοντας τις δαπάνες και το ψηφιακό χάσμα.

Έτσι γίνεται κατανοητό ότι η ζωή των πολιτών επηρεάζεται σε απλές καθημερινές συνήθειες όπως η εργασία, η επικοινωνία, η εκπαίδευση αλλά και σε δραστηριότητες όπως το εμπόριο,

τις συναλλαγές αλλά και η πρόσβαση σε ένα διαφορετικό και σύγχρονο σύστημα υγείας. Οι ευρυζωνικές υπηρεσίες συμβάλλουν στο να γίνουν οι άνθρωποι πιο ενημερωμένοι και πιο ενεργοί οδηγώντας τους σε καλύτερη ποιότητα ζωής και περισσότερες ευκαιρίες τόσο προσωπικά όσο και επαγγελματικά.

Επιπλέον, η ευρυζωνικότητα μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση των οικονομικών ευκαιριών στις αγροτικές περιοχές δίνοντας στους πολίτες απομακρυσμένων περιοχών την δυνατότητα να εργάζονται από το σπίτι. Μπορεί να βελτιώσει την εκπαίδευση αφού οι πολίτες της υπαίθρου δε χρειάζεται να μετακινηθούν σε αστικές περιοχές και μπορεί να βελτιώσει την αστική ζωή αφού βελτιώνει την παραγωγικότητα και μειώνει τις απαιτήσεις σε ενέργεια και εκπομπή καυσαερίων.

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη του ευρυζωνικού δικτύου είναι ένα γεγονός ικανό να βελτιώσει σημαντικά την καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη της Κοινωνίας της Πληροφορίας, η οποία θα είναι σε θέση να αντιμετωπίζει τις ανάγκες των πολιτών με αποτελεσματικότητα και θα γεφυρώσει το ψηφιακό χάσμα που αντιμετωπίζουν κοινωνικές και γεωγραφικά αποκλεισμένες ομάδες. (Ζαφειρης & Λαζανης, 2023)

#### **1.4.3 Οφέλη για τον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα**

Η διάδοση των ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών μπορεί να φέρει αλλαγές στην αποτελεσματικότητα, τη λειτουργία και την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται από τον δημόσιο τομέα, καθώς παρέχει τη δυνατότητα μιας αποδοτικότερης αλληλεπίδρασης μεταξύ δημόσιων υπηρεσιών και πολιτών μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών (e-government). Η εξασφάλιση των κατάλληλων υποδομών παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης νέων εφαρμογών και υπηρεσιών, έχοντας σημαντικές επιπτώσεις στις εκπαιδευτικές και ερευνητικές δραστηριότητες. Οι δημόσιες υπηρεσίες είναι τις περισσότερες φορές ο μεγαλύτερος πελάτης για τις εταιρείες τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και καταβάλλουν σημαντικά τέλη. Η μείωση αυτού του κόστους μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση και την ανάπτυξη των ευρυζωνικών υποδομών ενώ παράλληλα βελτιώνονται και οι τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

Τα πλεονεκτήματα του Δημοσίου Τομέα από την χρήση της ευρυζωνικότητας είναι:

- Η εξοικονόμηση χρόνου με τη χρήση αυτόματων διαδικασιών
- Μείωση ανάγκης για εργασίες διαχείρισης
- Βελτίωση της εικόνας της Δημόσιας Διοίκησης
- Μείωση γραφειοκρατίας με παράλληλη αύξηση της ικανοποίησης των εργαζομένων
- Ενίσχυση της ομαδικότητας και συνεργασίας
- Καλύτερα εκπαιδευμένοι υπάλληλοι
- Ευκολότερη και ταχύτερη διάχυση της πληροφορίας.

Στον ιδιωτικό τομέα, οι επιχειρήσεις μπορούν να πετύχουν μεγάλη οικονομική ανάπτυξη. Με τις νέες υπηρεσίες και εφαρμογές της ευρυζωνικότητας μπορούν να προωθούν τα προϊόντα και τις υπηρεσίες ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές. Επιπλέον, μπορεί να γίνει ανατροπή

των σημερινών δεδομένων σχετικά με την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων μέσα από την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων στο ηλεκτρονικό εμπόριο.

Η ανάπτυξη του ιδιωτικού τομέα μπορεί να κινήσει την ανάπτυξη και του δημόσιου τομέα και το αντίστροφο. Δηλαδή, η ευρυζωνική υποδομή συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη και μπορεί να προκαλέσει την βελτίωση της παραγωγικότητας του δημόσιου τομέα και παροχή βελτιωμένων ηλεκτρονικών υπηρεσιών στους πολίτες. Για παράδειγμα, μπορεί να έχει θετική επίδραση στον Τουρισμό, τις μεταφορές κ.λπ. (Ζαφειρης & Λαζανης, 2023)

## 1.5 Το Ευρωπαϊκό πλαίσιο

Η ανάπτυξη των Ευρυζωνικών Δικτύων και οι δυνατότητες που αυτή μπορεί να παρέχει στους πολίτες και στις επιχειρήσεις έχει ιδιαίτερη σημασία, για αυτό η Ευρωπαϊκή Ένωση επενδύει σε τεχνικό, οικονομικό και γνωσιακό επίπεδο ώστε να μπορέσει να επιτύχει στόχους όπως η παροχή υψηλής ποιότητας πρόσβασης στο διαδίκτυο και η ανάπτυξη των υποδομών. (*Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού, χ.χ.*)

Συγκεκριμένα οι στόχοι που έχουν τεθεί από την Ε.Ε είναι:

- Η βασική ευρυζωνική σύνδεση για όλους τους πολίτες μέχρι το 2013, κάτι το οποίο έχει επιτευχθεί αφού υπάρχει 100% δορυφορική κάλυψη.
- Η κάλυψη των Δικτύων Νέας Γενιάς (Next Generation Networks-NGN): έχει ως στόχο τα 30 Mbps για όλους μέχρι το 2023
- Χρήση των Δικτύων Νέας Γενιάς: 100 Mbps για το 50% των νοικοκυριών μέχρι το 2023

Η στρατηγική που ακολουθεί η Ε.Ε προέρχεται ύστερα από απόφαση του Σεπτεμβρίου του 2016 «Connectivity for a European Gigabit Society». Συγκεκριμένα μερικοί στόχοι που πρέπει να υλοποιηθούν έως το 2025:

- Ευρυζωνική πρόσβαση έως 1 Gbps για σχολεία, σταθμούς Μαζικής Μεταφοράς(αεροδρόμια , σταθμούς τρένων κλπ.), Δημόσιες Υπηρεσίες, καθώς και για μεγάλες επιχειρήσεις με μεγάλες ψηφιακές ανάγκες.
- Αναβάθμιση των καθοδικών ρυθμών μετάδοσης (download) κάθε νοικοκυριού από 100 Mbps σε 1Gbps.
- Ασύρματη πρόσβαση σε 5G δίκτυο σε όλες τις αστικές περιοχές, καθώς και σε σιδηροδρόμους και σε εθνικά οδικά δίκτυα.

## 1.6 Η κατάσταση στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

Η ευρυζωνικότητα μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για την αποτελεσματική διακυβέρνηση και την εύρυθμη λειτουργία του κράτους, την βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας, τη μείωση της ανεργίας μέσω νέων επιχειρηματικών μοντέλων και ευκαιριών. Συμβάλει στην βελτίωση της ποιότητας της ζωής των πολιτών αφού μπορούν να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες ψυχαγωγίας και υγείας.



Όμως η Ευρώπη και ακόμη περισσότερο η Ελλάδα υστερούν σημαντικά στο να μπορούν να παρέχουν στους πολίτες και τις επιχειρήσεις τους, τεχνολογίες και υπηρεσίες μέσω της αξιοποίησης ευρυζωνικών συνδέσεων και όλων τους των δυνατοτήτων. Για να μπορεί η Ελλάδα να συντονιστεί με την ανάπτυξη και την εξέλιξη των ευρυζωνικών δικτύων των υπολοίπων Ευρωπαϊκών χωρών, έχουν δημιουργηθεί διαχρονικά σχέδια και δράσεις καθώς χρειάζεται και συντονισμένη προσπάθεια δημοσίου και ιδιωτικού τομέα για την υλοποίηση των υποδομών και τη χρήση τους από πολίτες και επιχειρήσεις. Η πιο πρόσφατη και ενεργή δραστηριότητα, από το 2014, περιγράφεται στο Εθνικό Ευρυζωνικό Σχέδιο και τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη προσπάθεια για να συγκλίνει η χώρα προς αυτή την κατεύθυνση. Η πρώτη κατοικία που συνδέθηκε με οπτική ίνα σε Δίκτυο πρόσβασης Οπτικών Ινών πραγματοποιήθηκε στην Αττική την Τρίτη 10 Ιουλίου 2018.

## 1.7 Εθνικό Ευρυζωνικό Σχέδιο 2021-2027

Ως εργαλείο για την καταγραφή των ψηφιακών επιδόσεων των κρατών-μελών της Ε.Ε, η Ευρωπαϊκή επιτροπή έχει δημιουργήσει το δείκτη της Ψηφιακής Οικονομίας και Κοινωνίας (Digital Economy and Society Index- DESI), ο οποίος συντίθεται από σύνολο ποσοτικών και ποιοτικών διαστάσεων που δείχνουν την ψηφιακή εξέλιξη του κάθε κράτους της Ε.Ε.

Να σημειωθεί ότι ο δείκτης DESI είναι δείκτης κατάταξης και δεν φανερώνει της επίδοση μιας χώρας σε απόλυτο βαθμό αλλά δείχνει την επίδοσή της σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες. Άρα η πτώση μιας χώρας στην κατάταξη δεν σημαίνει ότι δεν σημείωσε πρόοδο αλλά πιθανόν άλλες χώρες σημείωσαν ταχύτερη πρόοδο. Ο δείκτης DESI βασίζεται σε πέντε διαστάσεις.

<b>Συνδεσιμότητα</b>	Η διάσταση της <b>Συνδεσιμότητας</b> μετράει το βαθμό ανάπτυξης και την ποιότητα των ευρυζωνικών υποδομών μιας χώρας. η πρόσβαση των πολιτών σε ταχείες και υπερταχείες υπηρεσίες ευρυζωνικών δικτύων αποτελεί αναγκαία συνθήκη ανταγωνιστικότητας.
<b>Ανθρώπινο Κεφάλαιο</b>	Η διάσταση του <b>Ανθρώπινου Κεφαλαίου</b> προσμετρά τις απαραίτητες δεξιότητες που κατέχουν οι πολίτες μιας χώρας και οι οποίες απαιτούνται ώστε να αξιοποιηθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι δυνατότητες που προσφέρει ο ψηφιακός κόσμος.
<b>Χρήση Διαδικτυακών Υπηρεσιών</b>	Η διάσταση της <b>Χρήσης Διαδικτυακών Υπηρεσιών</b> αποτυπώνει το εύρος της χρήσης από τους πολίτες πληθώρας υπηρεσιών που προσφέρονται μέσω του διαδικτύου, όπως η «εκατονάδωση» οπτικο-ακουστικού περιεχομένου, παιχνιδιών, διαδικτυακών αγορών και διατραπεζικών συναλλαγών.
<b>Ενσωμάτωση της Ψηφιακής Τεχνολογίας</b>	Η <b>Ενσωμάτωση της Ψηφιακής Τεχνολογίας</b> αντικατοπτρίζει το βαθμό διείσδυσης ομώνυμων τεχνολογιών στις επιχειρήσεις και στο ηλεκτρονικό εμπόριο. Καθώς οι επιχειρήσεις υιοθετούν ψηφιακές τεχνολογίες αποκτούν πολυδιάστατα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα, τόσο ως προς την αποδοτικότητά τους και τις μειώσεις κόστους όσο και ως προς την παροχή καλύτερων και πιο ολοκληρωμένων υπηρεσιών/προϊόντων προς τους πελάτες ή/και συνεργάτες.
<b>Ψηφιακές Δημόσιες Υπηρεσίες</b>	Η διάσταση των <b>Ψηφιακών Δημόσιων Υπηρεσιών</b> μετράει τον βαθμό ψηφιοποίησης των Δημόσιων Υπηρεσιών, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στους τομείς της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης και της Υγείας. ο Εκμοντερνισμός και η ψηφιοποίηση κομβικών, και όχι μόνο, Δημόσιων Υπηρεσιών οδηγούν με μαθηματική ακρίβεια σε ανταποδοτικά οφέλη μεταξύ της Δημόσιας Διοίκησης, των πολιτών και των επιχειρήσεων.

Πίνακας 1: Οι πέντε διαστάσεις του δείκτη DESI

Σύμφωνα με το δείκτη η Ευρώπη παρουσιάζει ψηφιακή πρόοδο, ειδικότερα τα τελευταία χρόνια ο μέσος όρος του δείκτη έχει βελτιωθεί κατά 13 ποσοστιαίες μονάδες. (Γενική Γραμματεία Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων | Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης, 2019)

## 1.8 Οι τάσεις στην Ευρώπη

Ενώ ο δείκτης εξελίσσεται θετικά, οι πολίτες δεν διαθέτουν ακόμα επαρκείς ψηφιακές δεξιότητες. Ενώ υπάρχει η τάση για χρήση του διαδικτύου από του πολίτες, η χρήση των διαδικτυακών υπηρεσιών από πολίτες μεγαλύτερης ηλικίας παραμένει αρκετά χαμηλή. Βελτίωση παρατηρείται και στις επιχειρήσεις, το οποίο οφείλεται στην ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων και στη χρήση τεχνολογιών υπολογιστικού νέφους (cloud). Στο ηλεκτρονικό εμπόριο, οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις έχουν αυξήσει τις ψηφιακές πρακτικές αλλά στις εγχώριες αγορές κατά κύριο λόγο. Στον τομέα των ευρωπαϊκών ψηφιακών δημόσιων υπηρεσιών παρατηρείται μια ολοένα και αυξανόμενη βελτίωση.

Το 2020 το ψηφιακό «χάσμα» μεταξύ των οικονομιών με την υψηλότερη και την χαμηλότερη ψηφιακή απόδοση έφτασε τις 35 ποσοστιαίες μονάδες. Αυτά τα αποτελέσματα καταγράφουν τον σαφή διαχωρισμό των κρατών της Ε.Ε σε σχέση με τις ψηφιακές τους επιδόσεις. Από την μια πλευρά, οι χώρες που έχουν ξεκινήσει εδώ και χρόνια τον ψηφιακό μετασχηματισμό τους (Φινλανδία, Σουηδία, Ολλανδία, Δανία), και από την άλλη πλευρά χώρες με χαμηλή ψηφιακή βαθμολογία (Κύπρος, Ουγγαρία, Ελλάδα, Ρουμανία).

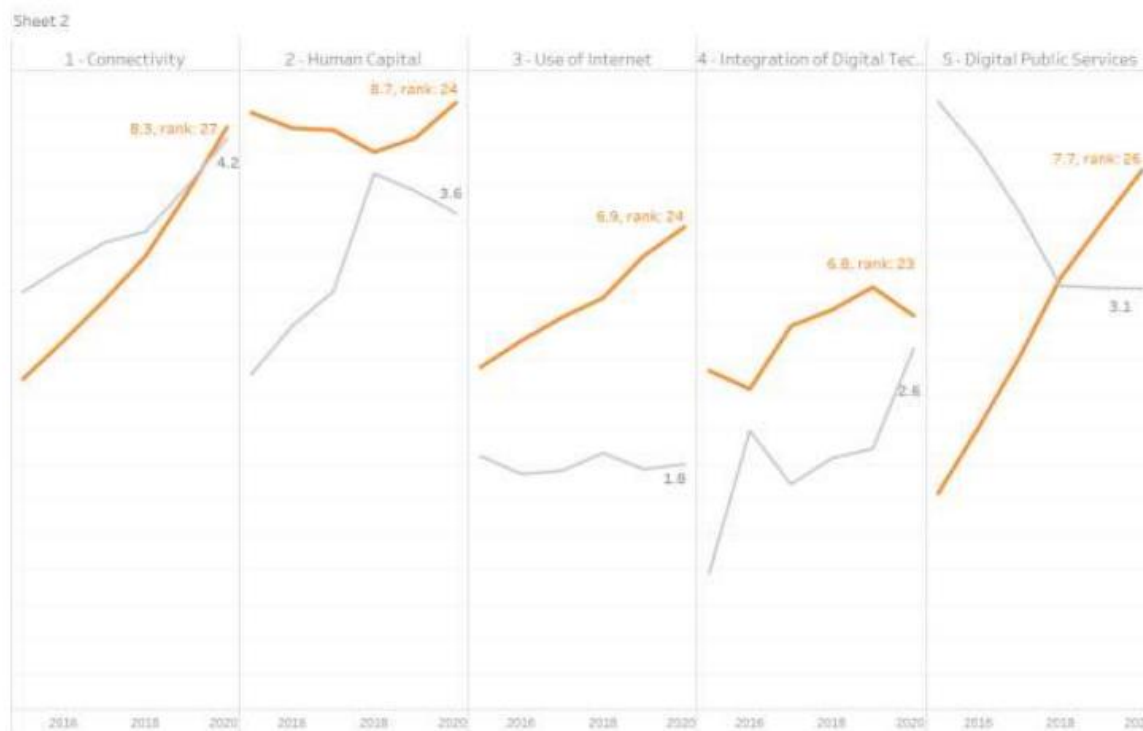
Παρατηρούμε στο παρακάτω διάγραμμα ότι η Ελλάδα βρίσκεται στην 27<sup>η</sup> θέση μεταξύ των 28 χωρών στο δείκτη DESI για το 2019. Παρακάτω παρουσιάζεται μια ανάλυση της επίδοσης κάθε χώρας σε κάθε διάσταση του δείκτη DESI και επισημαίνονται βασικά προβλήματα και προκλήσεις οι οποίες καθορίζουν τις βασικές κατευθύνσεις για το σχεδιασμό και την υλοποίηση του ψηφιακού μετασχηματισμού. (Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού, χ.χ.)



Εικόνα 1.8.1: Δείκτης Ψηφιακής Οικονομίας & Κοινωνίας (DESI) – Επίδοση κρατών μελών σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο (2020).

### 1.8.1 Κατάταξη συνδεσιμότητας «DESI» της Ελλάδας

Παρά την αύξηση της συνολικής βαθμολογίας της Ελλάδας, υπάρχει περιορισμένη βελτίωση της συγκριτικής επίδοσής της στις διαστάσεις του δείκτη DESI. Το έτος 2020 κατατάσσεται στην 26<sup>η</sup> θέση μεταξύ των 27 μελών της Ε.Ε, βελτιώνοντας τη θέση της κατά μία θέση από το 2018. Η απόσταση από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο αυξάνεται συνεχώς, ενώ παραμένει σταθερή για τη χρήση του Internet και τις ψηφιακές δημόσιες υπηρεσίες.



Εικόνα 1.8.1.1: Εξέλιξη των επιδόσεων της Ελλάδας στις διαστάσεις DESI (πορτοκαλί γραμμή) και απόσταση από τον μέσο όρο της ΕΕ (γκρίζα γραμμή).

## 2. Οπτικές Ίνες

### 2.1 Εισαγωγή

Οι οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες από γυαλί, δηλαδή από άμμο η οποία σαν πρώτη ύλη είναι φθηνή και διαθέσιμη σε απεριόριστες ποσότητες. Στην εποχή της Αναγέννησης αναπτύχθηκε γυαλί τόσο διαφανές ώστε να κατασκευαστούν παράθυρα. Το γυαλί των οπτικών ινών που αποτελούν το μέσο διάδοσης των σύγχρονων ευρυζωνικών δικτύων, είναι διαφανές σε τέτοιο βαθμό όπου αν γεμίσουμε έναν ωκεανό, με αυτό το γυαλί, θα μπορούμε να βλέπουμε το βυθό της θάλασσας.

Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά γυάλινα νήματα μέσα στα οποία διαδίδονται τα σήματα με τη μορφή του φωτός. Τα καλώδια των οπτικών ινών μπορεί να περιέχουν από 10άδες μέχρι 100άδες ίνες, οι οποίες έχουν διάμετρο μικρότερη από μια ανθρώπινη τρίχα. Η ταχύτητα

μετάδοσης των δεδομένων μέσα από τις οπτικές ίνες είναι τεράστια αφού αυτά ταξιδεύουν με τη μορφή του φωτός.

Η σημερινή ίνα γυαλιού είναι υψηλής καθαρότητας και σε συνδυασμό με τα βελτιωμένα ηλεκτρονικά συστήματα, μπορεί να μεταφέρει τα σήματα αρκετά μακριά (100 χλμ. χωρίς ενίσχυση). Έχει χαμηλό θόρυβο, λίγες απώλειες μετάδοσης και δίνει τη δυνατότητα υψηλού εύρους ζώνης.

Η κατασκευή γυαλιού με τόσο μεγάλη καθαρότητα ήταν και η πρόκληση που αντιμετώπισαν οι επιστήμονες στην προσπάθεια τους να αναπτύξουν την τεχνολογία των οπτικών ινών. Συγκεκριμένα έπρεπε τουλάχιστον 1% του φωτός να διατηρούνταν μετά από μετάδοση 1 χιλιομέτρου (km). Μιλώντας για εξασθένηση, το 1% διατήρησης του φωτός ισοδυναμεί με 20 decibels ανά χιλιόμετρο της ίνας. Αυτή η πρόκληση επικράτησε την δεκαετία του 1960 ώσπου το 1970 οι επιστήμονες Corning, Δρς Robert Maurer, Donald Keck και Peter Schultz κατασκεύασαν μια ίνα με εξασθένηση μικρότερη από 20 dB ανά χιλιόμετρο αποτελώντας το καθαρότερο γυαλί που είχε κατασκευαστεί ποτέ.

Αυτό ήταν η αρχή, και η τεχνολογία από τότε εξελίσσεται σημαντικά από άποψη απόδοσης, ποιότητας, αξιοπιστίας και εφαρμογών. Η συνεργασία επιστημόνων και εταιρειών παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών βοήθησε στην καταγραφή των τροποποιήσεων που απαιτούνται για να βελτιωθεί το προϊόν μέσω σχεδιασμού και κατασκευής, ενώ συντέλεσε και στην ανάπτυξη αυτών των προτύπων σε βιομηχανικό επίπεδο.

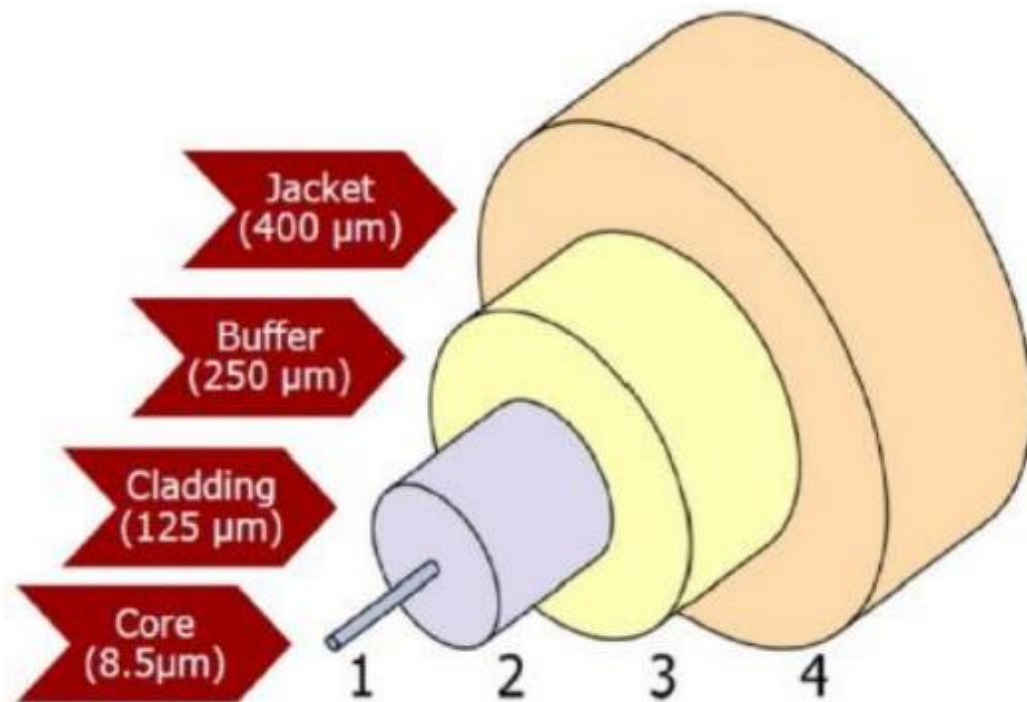
Οι οπτικές ίνες έχουν εδραιωθεί για περισσότερο από 30 χρόνια και η προσπάθεια για την αντιμετώπιση των σημερινών προκλήσεων, των μελλοντικών εφαρμογών και περιορισμών σε αυτήν την τεχνολογία, συνεχίζεται ακόμη και σήμερα. Τα αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών έχουν φέρει ένα υψηλό και ικανοποιητικό επίπεδο καθαρότητας γυαλιού.

Στη σημερινή εποχή, οι οπτικές ίνες και τα βελτιωμένα ηλεκτρονικά συστήματα επιτρέπουν τη μετάδοση σημάτων πέρα από 100 χλμ. χωρίς ενίσχυση και με εξασθένηση λιγότερη των 0,35 dB ανά χλμ. στα 1310 νανόμετρα (nm) μήκους κύματος και 0,25 dB ανά χλμ. στα 1550 nm. Αυτό είναι αποτέλεσμα της εξαιρετικής δουλειάς σε ερευνητικό επίπεδο για την εξέλιξη και τη βελτίωση αυτής της τεχνολογίας. (Γιόρτσιος & Τσορμπατζόγλου, 2019)

## 2.2 Δομή οπτικής ίνας

Οι οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες από ένα διηλεκτρικό υλικό. Έχουν κυλινδρικό σχήμα και αποτελούνται από τρεις ομόκεντρους κυλίνδρους. Εξωτερικά χρησιμοποιείται ένας τέταρτος κύλινδρος για την προστασία της ίνας, ονομάζεται περίβλημα (jacket). Ο εσωτερικός κύλινδρος, ο πρώτος, ονομάζεται πυρήνας (core). Ο πυρήνας είναι κατασκευασμένος από γυαλί υψηλού δείκτη διάθλασης, υψηλής καθαρότητας. Ο δεύτερος κύλινδρος καλύπτει τον πυρήνα και ονομάζεται μανδύας (cladding). Είναι και αυτός κατασκευασμένος από γυαλί υψηλής καθαρότητας. Υπάρχουν και οπτικές ίνες με πυρήνα και μανδύα κατασκευασμένους από πολυμερή αλλά δε χρησιμοποιούνται συχνά λόγω υψηλών απωλειών, αυτό τις καθιστά ικανές μόνο για ζεύξεις μικρών αποστάσεων. Ο τρίτος κύλινδρος ονομάζεται απομονωτής

(buffer) είναι κατασκευασμένος από πλαστικό υλικό και βρίσκεται εξωτερικά πριν το περίβλημα. Η οπτική ίνα έχει εξωτερική διάμετρο 4 δέκατα του χιλιοστού.



Εικόνα 2.2.1: Δομή οπτικής ίνας

## 2.3 Τύποι οπτικών ινών

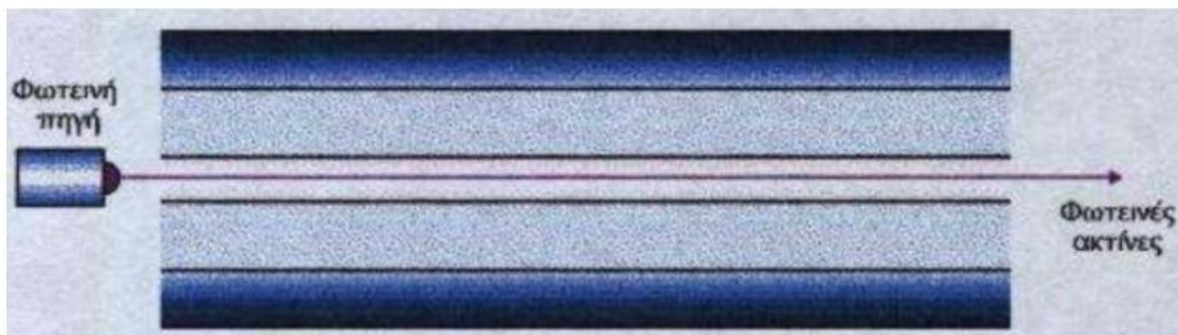
Οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες και τα κριτήρια με τα οποία διαχωρίζονται είναι είτε ο τρόπος μετάδοσης του φωτός είτε το υλικό κατασκευής.

### Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης του φωτός

Οι οπτικές ίνες σε σχέση με τον τρόπο διάδοσης του φωτός χωρίζονται σε μονότροπες ή πολύτροπες. Στις μονότροπες οπτικές ίνες υπάρχει μόνο ένας τρόπος διάδοσης του φωτός ενώ στις πολύτροπες υπάρχουν πολλοί τρόποι διάδοσης. Επίσης οι πολύτροπες οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες. Είναι οι ίνες βηματικού δείκτη μεταβολής και οι ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.

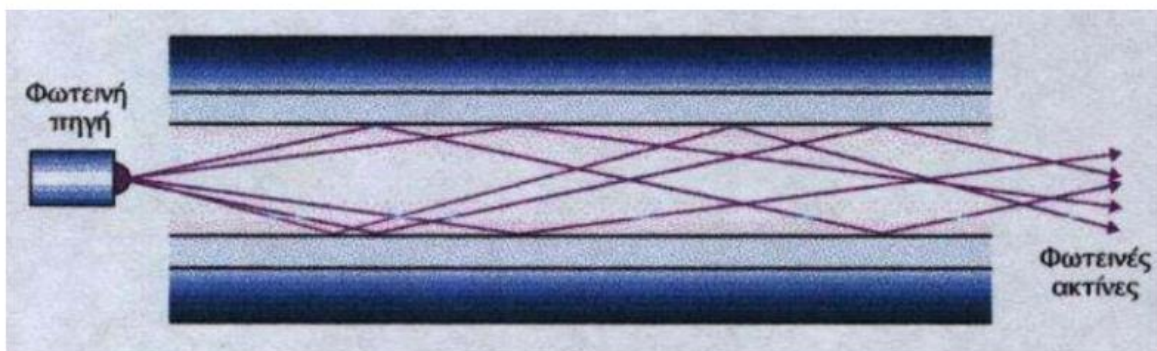
Στις μονότροπες οπτικές ίνες το φως έχει μια ευθεία πορεία κατά μήκος του πυρήνα. Για να είναι δυνατή αυτή η μετάδοση του φωτός, οι μονότροπες ίνες έχουν πολύ μικρές διαστάσεις πυρήνα, της τάξεως μικρότερης των 10 μm. Οι ίνες του εμπορίου τη σήμερον εποχή, έχουν διάμετρο 9 μm και συνδυάζονται μόνο με πηγές laser λόγω της μικρής τους διαμέτρου. Χρησιμοποιούνται τα μήκη κύματος των 1310 nm στο αστικό δίκτυο και των 1550 nm στο υπεραστικό και υποβρύχιο δίκτυο και προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.





Εικόνα 2.3.1: Μονότροπη οπτική ίνα

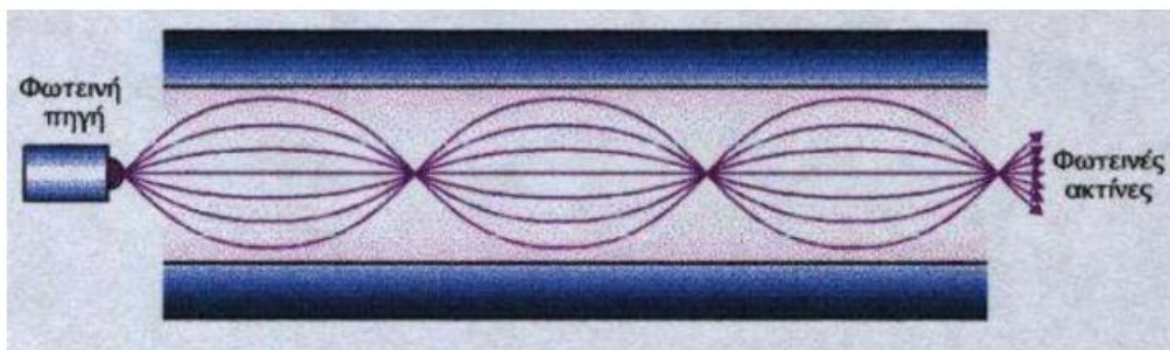
Από την άλλη, υπάρχουν οι πολύτροπες οπτικές ίνες βηματικού δείκτη μετάδοσης και είναι οι απλούστερες οπτικές ίνες που υπάρχουν. Το φως μπορεί να μεταδοθεί μέσα από αυτές με διάφορους τρόπους, με την μικρότερη διαδρομή να γίνεται με την κίνηση του φωτός στο κέντρο της οπτικής ίνας χωρίς να υπάρχει ανάκλαση και αποτελεί τον βασικό τρόπο μετάδοσης. Οι υπόλοιπες ακτίνες του φωτός ακολουθούν άλλες διαδρομές, ανακλώμενες στην διεπιφάνεια μανδύα – πυρήνα. Όλες αυτές οι ακτίνες έχουν διαφορετικό μήκος στη διαδρομή την οποία ακολουθούν με αποτέλεσμα να φτάνουν στην έξοδο της ίνας σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Αυτό προκαλεί παραμόρφωση του σήματος στον δέκτη και ονομάζεται διασπορά τρόπου μετάδοσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά τόσο μειώνεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης της οπτικής ίνας. Η διάμετρος των πολύτροπων ινών κυμαίνεται από 100 έως 970 nm. Κατασκευάζονται από γυαλί στον πυρήνα και από πλαστικό στον μανδύα ή μπορεί να είναι πλαστικές. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης εξαιτίας της μεγάλης διασποράς που εμφανίζουν χρησιμοποιούνται σε απλές εφαρμογές. Για μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιούνται οι ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.



Εικόνα 2.3.2: Πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης

Για την μείωση της διασποράς χρησιμοποιούνται οι πολύτροπες οπτικές ίνες με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης. Αυτές οι ίνες είναι διαφορετικά κατασκευασμένες για να έχουν βαθμιαίο δείκτη. Ο πυρήνας τους δεν είναι ενιαίος. Αποτελείται από στρώσεις με διαφορετική πυκνότητα ή καθεμία άρα και διαφορετικό δείκτη διάθλασης. Με αυτή την τροποποίηση υπάρχει διάθλαση σε κάθε στρώση και όχι μόνο στη διεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα με αποτέλεσμα οι ακτίνες του φωτός να έχουν καμπύλες διαδρομές εξαιτίας των συνεχόμενων διαθλάσεων. Αυτό το φαινόμενο δεν περιορίζει το μήκος της διαδρομής, κάτι το οποίο έχει ως συνέπεια οι ακτίνες του φωτός να φτάνουν με μικρότερη διασπορά στο τέλος της διαδρομής.

Για αυτό το λόγο ο πυρήνας έχει στρώσεις με διαφορετική πυκνότητα. Οι στρώσεις προς το κέντρο του πυρήνα έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα ενώ οι στρώσεις που είναι πιο κοντά στον μανδύα έχουν μικρότερη πυκνότητα. Οι ακτίνες του φωτός, μέσα σε υλικά με μικρότερη πυκνότητα κινούνται πιο γρήγορα σε αντίθεση με υλικά μεγαλύτερης πυκνότητας. Έτσι εκτελούν μεγαλύτερη διαδρομή για να φτάσουν στο άκρο της οπτικής ίνας αλλά το κάνουν με γρηγορότερη ταχύτητα. Το χρονικό εύρος μεταξύ των ακτινών που κινούνται στο κέντρο του πυρήνα και αυτών που κινούνται στα άκρα του πυρήνα είναι μικρότερο σε σχέση με τις οπτικές ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης κάτι το οποίο οδηγεί σε μείωση της διασποράς. Για παράδειγμα, μια ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης μπορεί να παρουσιάζει διασπορά που κυμαίνεται μεταξύ 20-30ns/km, ενώ μια ίνα βαθμιαίου δείκτη παρουσιάζει διασπορά 1ns/km. Πλέον οι μόνες πολύτροπες οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται είναι αυτές με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης και υπάρχουν στην αγορά με διάμετρο πυρήνα 50μm, 62,5μm και 85μm. Συνήθως βρίσκουν εφαρμογή σε οπτικές συνδέσεις με μικρό μήκος, σε καλωδιώσεις τοπικών δικτύων και σε δίκτυα δομημένης καλωδίωσης.



Εικόνα 2.3.3: Πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης

#### Ανάλογα με το υλικό κατασκευής

Οι οπτικές ίνες κατασκευάζονται από γυαλί ή πλαστικό. Έτσι προκύπτουν τρεις κατηγορίες οπτικών ινών με βάση το υλικό κατασκευής τους. Υπάρχουν οι γυάλινες οπτικές ίνες, οι πλαστικές οπτικές ίνες και οπτικές ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα.

Οι γυάλινες οπτικές ίνες έχουν γυαλί στον πυρήνα και στον μανδύα τους. Χρησιμοποιείται συνθετικό γυαλί, οξείδιο του πυριτίου, με υψηλή καθαρότητα. Συνήθως στο οξείδιο του πυριτίου προστίθενται προσμίξεις όπως φώσφορο ή γερμάνιο στον πυρήνα για να αυξηθεί η διάθλαση ή φθόριο και βόριο στον μανδύα για να μειωθεί η διάθλαση. Οι γυάλινες οπτικές ίνες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο στις τηλεπικοινωνίες.

Οι πλαστικές οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες από πλαστικό τόσο στον πυρήνα όσο και στον μανδύα. Έχουν χαμηλό κόστος αλλά παρουσιάζουν μεγάλη μείωση της απόδοσης καθώς έχουν μικρό εύρος ζώνης, υψηλή ελάχιστη εξασθένηση και είναι ευαίσθητες στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Βρίσκουν χρήση σε εφαρμογές χαμηλών απαιτήσεων όπως τα τοπικά δίκτυα και σε εσωτερικές καλωδιώσεις κτιρίων.

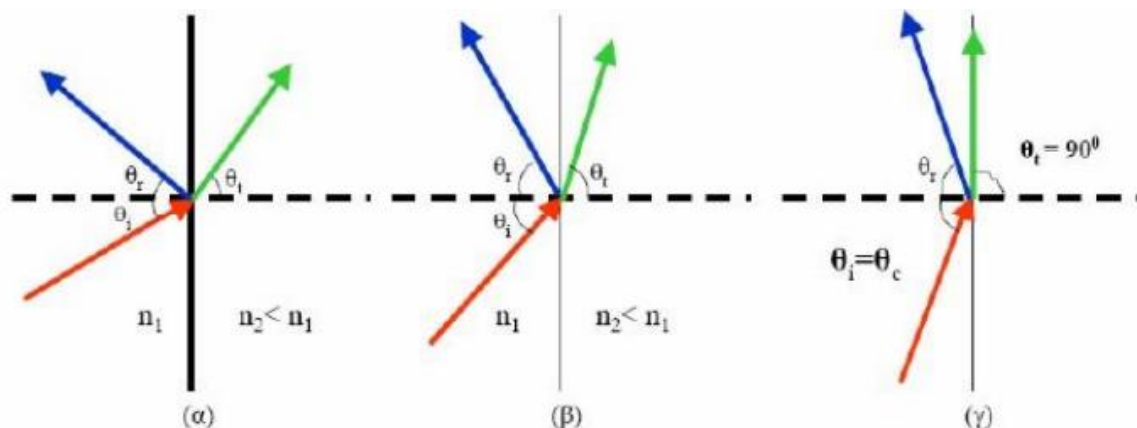
Οι οπτικές ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα εμφανίστηκαν πριν τις πλαστικές ίνες και ο στόχος τους ήταν η μείωση του κόστους των οπτικών ινών. Με την χρήση πλαστικού

στον μανδύα υπάρχει περιορισμός στην απόδοση τους αλλά η χρήση τους είναι ιδανική σε εφαρμογές χαμηλότερων απαιτήσεων. Με την εμφάνιση πλαστικών οπτικών ινών στον πυρήνα και τον μανδύα τους οδήγησε στον περιορισμό της χρήσης αυτών των οπτικών ινών λόγω του ακόμη χαμηλότερου κόστους. Βρίσκουν εφαρμογή μόνο σε εξειδικευμένες χρήσεις όπως οι ενδοσκοπήσεις.(Γιόρτσιος & Τσορμπατζόγλου, 2019)

## 2.4 Βασικές αρχές λειτουργίας

Στην οπτική ίνα το φως διαδίδεται στο γαλί του πυρήνα. Ο μανδύας ανακλά τις ακτίνες του φωτός πίσω στον πυρήνα με αποτέλεσμα να μην επιτρέπει σε αυτές να φύγουν από αυτόν. Ο απομονωτής χρησιμοποιείται για να παρέχει προστασία και να αυξάνει τις αντοχές του πυρήνα, του γυαλιού της οπτικής ίνας. Ο απομονωτής δεν είναι απαραίτητος για τη λειτουργία της αλλά βελτιώνει την αντοχή της και περιορίζει τις απώλειές της.

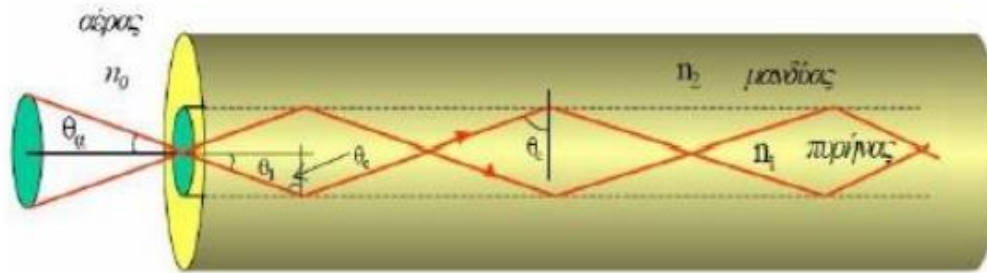
Το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης περιγράφει πλήρως την λειτουργία της οπτικής ίνας. Για να εμφανιστεί το φαινόμενο αυτό, υπάρχει μια κρίσιμη γωνία. Η γωνία προκύπτει από τον νόμο του Snell και είναι η ελάχιστη γωνία  $\theta_c$  για την οποία εμφανίζεται η ολική ανάκλαση. Γωνίες μικρότερες από αυτήν δεν επιτρέπουν την εμφάνιση της ανάκλασης. Η κρίσιμη γωνία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στα δυο πρώτα σχήματα που η εικόνα είναι μικρότερη της κρίσιμης βλέπουμε ότι μέρος της ακτινοβολίας περνάει στο δεύτερο σώμα, στον μανδύα. Στην τρίτη εικόνα βλέπουμε ότι υπάρχει ολική ανάκλαση.



Εικόνα 2.4.1: Κρίσιμη γωνία για εμφάνιση φαινομένου ολικής ανάκλασης



Η γωνία  $\theta_c$  ορίζει ένα κώνο μέσα στον οποίο η ακτινοβολία μπορεί να ανακλαστεί στην διεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα. Ο κώνος αυτός ονομάζεται κώνος αποδοχής, έχει γωνία κορυφής την  $\theta_a$  και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

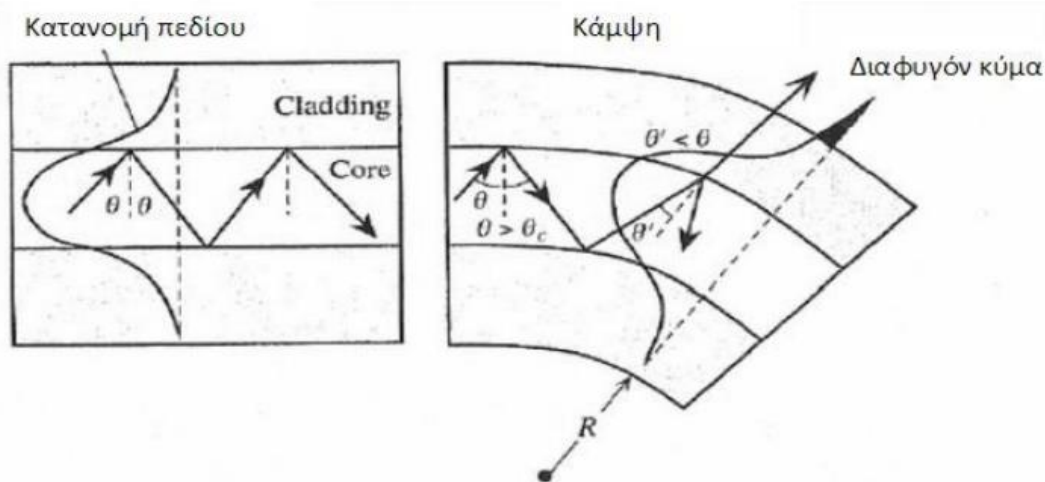


Εικόνα 2.4.2: Σύζευξη φωτός και κώνος αποδοχής στην οπτική ίνα

#### Απώλεια σήματος στις οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν σήματα, με τη χρήση του φωτός, από το ένα άκρο τους στο άλλο τους άκρο. Στις οπτικές ίνες, όπως και σε κάθε άλλο μέσο μεταφοράς σημάτων, υπάρχουν απώλειες. Αυτές οι απώλειες οφείλονται σε πολλές αιτίες. Οι σημαντικότερες είναι η εξασθένηση, η διασπορά και η απορρόφηση.

Η εξασθένηση αποτελεί τη σημαντικότερη αιτία απώλειας σήματος σε μια οπτική ίνα ειδικά όσο αυξάνεται το μήκος της. Εκφράζει την μείωση της οπτικής ισχύος μεταξύ της αρχής και του τέλους της ίνας. Άρα εκφράζει και την απώλεια σήματος. Η σχέση αυτή είναι εκθετική, δηλαδή η αύξηση του μήκους της οπτικής ίνας πολλαπλασιάζει την εξασθένηση. Οι αιτίες της εξασθένησης είναι ενδογενείς και εξωγενείς. Πιο σημαντική αιτία είναι η σκέδαση του φωτός, μια ενδογενής αιτία, και συγκεκριμένα η σκέδαση Rayleigh. Σύμφωνα με την θεωρία του Rayleigh, κατά την κίνηση του φωτός στην οπτική ίνα υπάρχουν πιθανότητες κάποιες ακτίνες να προσκρούσουν σε ανωμαλίες, κατασκευαστικές, έχοντας ως αποτέλεσμα αυτές να μην συνεχίζουν την πορεία τους κατά μήκος της οπτικής ίνας αλλά να χάνονται. Η σκέδαση είναι πιο συχνή σε ακτινοβολίες μεγάλου μήκους κύματος αλλά είναι αισθητή και σε ακτινοβολίες μικρού μήκους κύματος. Η κάμψη (μικροκάμψεις ή μακροκάμψεις) της οπτικής ίνας είναι από τις σημαντικότερες εξωγενείς αιτίες. Η κάμψη δεν επιτρέπει στο φως να συνεχίσει την ομαλή του πορεία και χάνεται. Μετά από χρόνια μελέτης έχουν προκύψει ότι οι χαμηλότερες εξασθενίσεις εμφανίζονται σε τρία μήκη κύματος, σε τρία «παράθυρα» ακτινοβολίας φωτός. Αυτά τα μήκη είναι τα 850nm, τα 1300nm και τα 1550nm. Στην εικόνα βλέπουμε την εξασθένηση της ακτινοβολίας λόγω της κάμψης της ίνας.

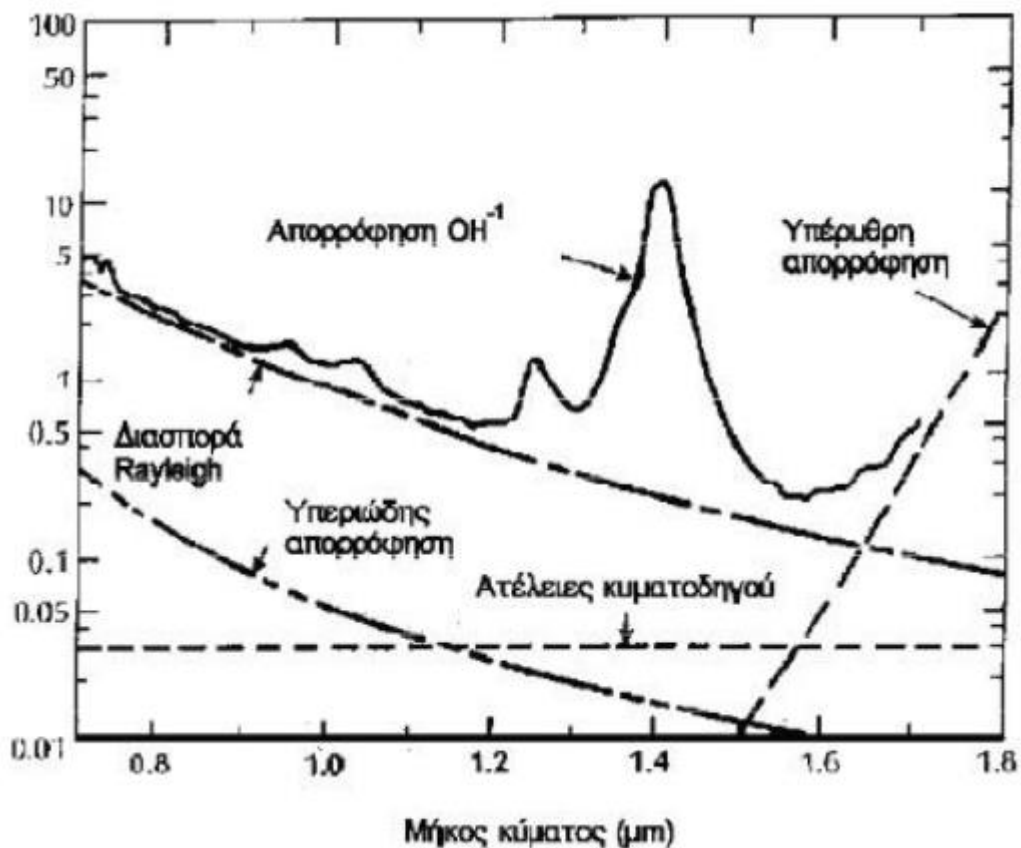


Εικόνα 2.4.3: Εξασθένιση σήματος οπτικής ίνας λόγω μακροσκοπικής κάμψης

Η διασπορά είναι η δεύτερη αιτία απώλειας σήματος στις οπτικές ίνες. Το φαινόμενο της διασποράς συμβαίνει με τρεις τρόπους. Ο πρώτος τρόπος διασποράς σχετίζεται με τον τρόπο μετάδοσης στις πολύτροπες ίνες ο οποίος έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα και οφείλεται στην αρχή λειτουργίας της οπτικής ίνας. Η διασπορά αυτή μπορεί να μειωθεί με χρήση πολύτροπων ινών βαθμιαίας διασποράς ή με την χρήση μονότροπων οπτικών ινών. Ο δεύτερος τρόπος διασποράς είναι η διασπορά υλικού. Φωτεινή ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος, μεταδίδεται με διαφορετικές ταχύτητες ακόμη και στην ίδια διαδρομή κίνησης, στο ίδιο υλικό κίνησης, προκαλώντας απώλεια σήματος. Ο τρίτος τρόπος είναι η διασπορά κυματοδηγού. Η κίνηση του φωτός και η διάθλασή του στα όρια πυρήνα-μανδύα είναι η αρχή λειτουργίας της ίνας. Αναλόγως της κατασκευής αυτής της περιοχής υπάρχουν ορισμένες ακτινοβολίες, ορισμένα μήκη κύματος τα οποία διασπείρονται. Τα μήκη κύματος είναι διαφορετικά ανά περίπτωση και εξαρτώνται από τον σχεδιασμό της περιοχής. Πολλές φορές η διασπορά κυματοδηγού και η διασπορά υλικού, λόγω του ότι εξαρτώνται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, αθροίζονται και ονομάζονται χρωματική διασπορά.

Η απορρόφηση είναι η τρίτη αιτία απώλειας σήματος στις οπτικές ίνες. Καθώς η ακτινοβολία κινείται μέσα στην ίνα απορροφάται από αυτήν με αποτέλεσμα να χάνεται. Αυτή η απορρόφηση οφείλεται σε προσμίξεις που υπάρχουν στο οξείδιο του πυριτίου, στο γυαλί. Όσο μεγαλύτερης καθαρότητας και αν είναι η ίνα, κάποιες προσμίξεις όπως ιόντα σιδήρου, χαλκού, νικελίου και υδροξύλια θα υπάρχουν. Εκτός των προσμίξεων, απορρόφηση ακτινοβολίας μπορεί να υπάρξει και εξαιτίας ταλάντωσης των μορίων του οξειδίου του πυριτίου λόγω συντονισμού με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Τα φαινόμενα αυτά είναι μεγαλύτερα για μήκη κύματος από 1700nm, για αυτό το τρίτο παράθυρο εμφανίζεται στα 1550nm.

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται οι κυριότερες απώλειες όπως η σκέδαση Rayleigh, η απορρόφηση και η διασπορά κυματοδηγού.



Εικόνα 2.4.4: Απώλειες σήματος σε οπτικές ίνες

## 2.5 Πλεονεκτήματα οπτικών ινών

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- Οι οπτικές ίνες εμφανίζουν μεγάλες χωρητικότητες πληροφορίας.
- Οι οπτικές ίνες έχουν μικρότερο κόστος σε σχέση με τα χάλκινα καλώδια. Το γυαλί από το οποίο αποτελούνται οι οπτικές ίνες έχει πρώτη ύλη κατασκευής το οξείδιο του πυριτίου, δηλαδή την άμμο η οποία συναντάται εν αφθονία. Αντίθετα ο χαλκός είναι περιορισμένος και το κόστος εξόρυξης μεγάλο.
- Οι οπτικές ίνες έχουν μικρό βάρος και μέγεθος. Το γυαλί είναι πιο ελαφρύ εν αντιθέσει με τον χαλκό και οι διάμετροι που απαιτούνται είναι μικρότερες. Ένα τυπικό καλώδιο οπτικής ίνας έχει την μισή διάμετρο σε σχέση με ένα αντίστοιχο χάλκινο καλώδιο και το ένα τέταρτο του βάρους.
- Οι οπτικές ίνες δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, δεν δέχονται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές γιατί το γυαλί ή το πλαστικό δεν είναι διηλεκτρικά υλικά, έτσι δεν εμφανίζουν ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.
- Οι οπτικές ίνες είναι πιο ασφαλή συστήματα μετάδοσης πληροφοριών. Δεν μπορεί να γίνει υποκλοπή της πληροφορίας με κανένα τρόπο από μια οπτική ίνα.

- Οι οπτικές ίνες εμφανίζουν πολύ μικρότερη εξασθένηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα οπτικά σήματα να διατρέχουν μεγαλύτερες αποστάσεις και ταυτόχρονα να έχουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων λόγω του μεγαλύτερου διαθέσιμου εύρους ζώνης. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων.
- Οι οπτικές ίνες απαιτούν λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα χάλκινα καλώδια. Επειδή εμφανίζουν πολύ μικρότερες απώλειες σήματος, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έχουν πολύ μικρότερες απώλειες ενέργειας. Η χρήση δέσμης φωτός καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε αντίθεση με το ηλεκτρικό σήμα το οποίο απαιτεί περισσότερη ενέργεια για να παραχθεί.

### 3. Δίκτυα Οπτικών ινών

#### 3.1 Η τεχνολογία FTTx

Με τον όρο Fiber to the x περιγράφεται η κάθε αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί οπτικές ίνες για να αντικαταστήσει ολόκληρο ή μέρος του χάλκινου τοπικού βρόχου (ή άλλης τεχνολογίας) που χρησιμοποιείται για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Η κατάληξη x υποδεικνύει το σημείο στο οποίο καταλήγει η οπτική ίνα από την πλευρά του τελικού χρήστη, του πελάτη. Το σημείο αυτό είναι μια οπτικο-ηλεκτρονική διασύνδεση και συνήθως βρίσκεται μέσα σε κάποιο εξοπλισμό μετάδοσης, που ονομάζεται Οπτική Μονάδα Δικτύου (Optical Network Unit – ONU) ή Οπτικό Τερματικό Δικτύου (Optical Network Terminal – ONT).

Το ONU χρησιμοποιείται όταν οι η οπτική ίνα καταλήγει σε τηλεπικοινωνιακές καμπίνες (cabinets), ενώ το ONT όταν η ίνα φτάνει μέσα στο κτήριο. Το σημείο έναρξης για όλες τις αρχιτεκτονικές οπτικών δικτύων βρίσκεται μέσα στο Κεντρικό Γραφείο (CO), που ονομάζεται και σημείο παρουσίας του FTTx (POP).

Παρακάτω αναφέρονται τα διαφορετικά είδη του όρου FTTx. Οι πιο διαδεδομένοι όροι στην αγορά των τηλεπικοινωνιών για την περιγραφή των διαφόρων FTTx αρχιτεκτονικών, είναι:

- FTTN: Fiber to the Node ή Fiber to the Neighborhood
- FTTC: Fiber to the Curb or Cabinet
- FTTB: Fiber to the Building
- FTTH: Fiber to the Home
- FFTB: Fiber to the Business
- FFTLA: Fiber to the Last Amplifier
- FFTO: Fiber to the Office
- FFTP: Fiber to the Premises
- FFTU: Fiber to the User
- FTTDp: fiber to the Distribution point

### 3.2 Αρχιτεκτονικές FTTx δικτύων

- FTTB (Fiber To The Business) – Οπτική ίνα στην επιχείρηση. Η οπτική ίνα τερματίζει σε μια επιχείρηση με τον αντίστοιχο εξοπλισμό τερματισμού ( ONT- Optical Network Termination ή OLT- Optical Line Termination).
- FTTB ( Fiber To The Building) – Οπτική ίνα στο κτήριο. Η οπτική ίνα τερματίζει στο σημείο εισαγωγής ενός κτηρίου, όπως το υπόγειο μιας πολυκατοικίας και εκεί εγκαθίσταται και το DSLAM για την παροχή υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες αφού από εκεί και έπειτα η πληροφορία θα μεταδοθεί με τη χρήση του δικτύου χαλκού προς τα διαμερίσματα.
- FTTC (Fiber To The Cabinet) – Οπτική ίνα στην καμπίνα. Η οπτική ίνα τερματίζει σε μια καμπίνα στο δρόμο, όπου υπάρχει εγκατεστημένη οπτική μονάδα δικτύου (ONU) ή DSLAM για σύνδεση των πελατών μέσω χάλκινου δικτύου, ή οπτικοί διαχωριστές και δρομολογητές για σύνδεση των πελατών μέσω οπτικών ινών. Οι καμπίνες αυτές υποστηρίζουν πελάτες σε ακτίνα μέχρι 300 μέτρα.
- FTTH ( Fiber To The Home) – Οπτική ίνα στο σπίτι. Η οπτική ίνα τερματίζει μέσα στο σπίτι του πελάτη. Πιο πριν, η ίνα μπορεί να διακλαδίζεται εντός μιας καμπίνας. Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες FTTH. Στην πρώτη κατηγορία η ίνα από το σπίτι φτάνει μέχρι το κεντρικό γραφείο (CO). Στην δεύτερη κατηγορία πολλά σπίτια μπορούν να μοιράζονται την ίδια οπτική ίνα τροφοδοσίας από το κεντρικό γραφείο μέχρι ένα σημείο (αρχιτεκτονικές αστέρα), στο οποίο γίνεται η μεταγωγή, η πολυπλεξία ή ο διαχωρισμός. Το σημείο αυτό είναι ανάμεσα από το κεντρικό γραφείο και τα σπίτια των πελατών. Η αρχιτεκτονική αστέρα μπορεί να είναι είτε ενεργή είτε παθητική. Αυτό σχετίζεται με το αν ο απομακρυσμένος κόμβος τροφοδοτείται από ρεύμα ή όχι. Μπορεί να είναι είτε απλά συστήματα στα οποία όλα τα σπίτια συνδέονται στο ίδιο μήκος κύματος ή συστήματα με πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (WDM).
- FTTLA (Fiber To The Last Amplifier) – οπτική ίνα στον τελευταίο ενισχυτή. Η οπτική ίνα φτάνει μέχρι τον τελευταίο ενισχυτή σήματος στην τεχνολογία CATV για να αντικαταστήσει τα ομοαξονικά καλώδια.
- FTTN (Fiber To The Node or Neighborhood) -Οπτική ίνα σε κόμβο. Μπορεί να παρομοιαστεί με το FTTC. Σε αυτή την περίπτωση η καμπίνα καλύπτει ακτίνα πελατών αρκετών χιλιομέτρων. Αυτή η αρχιτεκτονική είναι κατάλληλη για ημιαστικές και αγροτικές περιοχές.
- FTTO (Fiber To The Office) -Οπτική ίνα στο γραφείο. Είναι ίδια αρχιτεκτονική με το FTTB με την διαφορά ότι εδώ η ίνα καταλήγει σε γραφείο.
- FTTP (Fiber To The Premises) – Οπτική ίνα στο όριο κτίσματος. Παρόμοιο με το FTTH.
- FTTU (Fiber To The User) – Οπτική ίνα στο χρήστη. Παρόμοιο με το FTTH.

Οι πιο συνηθισμένες αρχιτεκτονικές δικτύων FTTx είναι τα FTTC και FTTH. Η διαφορά μεταξύ των FTTH και FTTB σχετίζεται με το αν ο τελικός χρήστης στον οποίο καταλήγει η ίνα είναι μεμονωμένος χρήστης ή επαγγελματική μονάδα. (‘ΔΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ’, χ.χ.)

### 3.3 Μέθοδοι εγκατάστασης καλωδίων σωλήνων

Η συμβατική υποδομή των σωλήνων/αγωγών περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός δικτύου από σωλήνες ώστε να υπάρχει η δυνατότητα μελλοντικά να εγκατασταθούν καλώδια οπτικών ινών με τεχνικές έλξης, εμφύσησης και επίπλευσης. Για να υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης μεγάλου μήκους καλωδίου, το καλώδιο θα πρέπει να έχει επαρκή αντοχή για το πρόσθετο απαιτούμενο φορτίο έλξης ή να υπάρχουν ενδιάμεσα σημεία πρόσβασης στο καλώδιο κατά την εγκατάσταση, από όπου θα γίνεται βοηθητική έλξη ή θα υπάρχουν ενδιάμεσες βοηθητικές διατάξεις έλξης, όπως π.χ. κασάνιες ή προωθητές καλωδίων. Η εγκατάσταση καλωδίων με τη μέθοδος της εμφύσησης μπορεί να είναι γρηγορότερη από την έλξη και να επιτρέπει μεγαλύτερα μήκη. Επίσης το δίκτυο των σωλήνων θα πρέπει να είναι αεροστεγές σε όλο το μήκος, ειδικά αν πρόκειται για μια νέα κατασκευή αυτό θα πρέπει να θεωρείται δεδομένο, αλλά μπορεί να χρειάζεται έλεγχο σε ήδη υπάρχουσες σωληνώσεις, ειδικά αν είναι παλιές κατασκευής.

Η υποδομή περιλαμβάνει μια μεγάλη κύρια σωλήνωση η οποία περιέχει μικρότερες υποσωληνώσεις για την μεμονωμένη εγκατάσταση καλωδίων. Η εγκατάσταση των σωληνώσεων θα πρέπει να λάβει υπόψη της τη μελλοντική επέκταση του δικτύου, κάτι το οποίο πρέπει να γίνει με ασφάλεια. Η αποδοτικότητα στην εγκατάσταση των καλωδίων στις σωληνώσεις βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σημαντικότητας στην ποιότητα της τοποθέτησης των ίδιων των σωληνώσεων. Τα σημαντικά στοιχεία αυτής της υποδομής είναι οι σωληνώσεις και οι πιθανές υποσωληνώσεις, τα καλώδια εντός των σωληνώσεων και τα κιβώτια διακλαδώσεων (branch-off closures). Η συμβατική υποδομή των σωληνώσεων είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί σε όλο το μήκος ενός FTTx δικτύου, όσον αφορά την υπόγεια διάταξή του. Στις κύριες σωληνώσεις τροφοδοσίας που κατευθύνονται από το κεντρικό γραφείο (CO) μέχρι το τοπικό σημείο σύγκλισης, το πλήθος αυτών θα πρέπει να καθορίζεται από το μέγεθος της περιοχής του δικτύου, αλλά και το πλήθος των καλωδίων που χρησιμοποιούνται. Θα πρέπει να υπάρχει μια εκτίμηση για χρήση μίας σωλήνωσης με τη δυνατότητα εγκατάστασης καλωδίων περισσότερων του ενός ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής χωρητικότητα.

Η συστηματική χρήση μικρο-σωληνώσεων εφαρμόζεται στο σημείο του δικτύου στο οποίο υπάρχει η προοπτική για ικανοποίηση άμεσα ή μελλοντικά μιας αύξησης των συνδέσεων μεταξύ κύριων κόμβων, κόμβων διανομής και πρόσβασης αλλά και μεμονωμένων χρηστών. Χρησιμοποιείται η μέθοδος της εμφύσησης καλωδίων οπτικών ινών μικρής διαμέτρου μέσω δικτύου σωληνώσεων προς τους τελικούς χρήστες. Με αυτή τη μέθοδο ελαχιστοποιείται ο αριθμός των συνδέσεων καλωδίων οπτικών ινών. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με υποδομή σωλήνα, άμεσου ενταφιασμού ή εναέρια. Αντίθετα με τη συμβατική σωλήνωση, η μικροσωλήνωση πρέπει να ταιριάζει με τα καλώδια των χρησιμοποιούμενων οπτικών ινών προκειμένου να είναι συμβατά κατά την εγκατάσταση.

Η συστοιχία μικροσωληνώσεων με πολλούς σωληνίσκους έχει το πλεονέκτημα ότι κάθε σωληνίσκος μπορεί να φιλοξενήσει μικροκαλώδιο που περιέχει από 4 μέχρι 96 ίνες και είναι κατάλληλη για χρήση χωρίς προστατευτικό σωλήνα, για άμεσο ενταφιασμό. Τα μικροκαλώδια έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να περιέχουν μεγάλο αριθμό οπτικών ινών, έχουν μικρό βάρος (14kg/km για μικροκαλώδιο 24, 28 kg/km για μικρο-καλώδιο 72 ινών και 40 kg/km για μικρο-καλώδιο 96 ινών), έχουν άριστη θερμική συμπεριφορά και εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση. Αυτά τα χαρακτηριστικά κάνουν εύκολη, οικονομική και γρήγορη την εγκατάσταση, δίνουν μεγάλη διάρκεια ζωής με άριστη θερμική και μηχανική συμπεριφορά και μεγάλη πυκνότητα οπτικών ινών, για να καλύπτουν άνετα τις μελλοντικές ανάγκες.(Χριστοδουλοπούλου & Christodouloupoulou, 2021)

### **3.4 Τύποι καλωδίων και σωλήνων**

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία καλωδίων για χρήση δίκτυο με σωλήνες ενός οπτικού δικτύου, με τους πιο σημαντικούς να είναι οι εξής:

A) Τύποι καλωδίων για υποδομή με σωλήνες: τα καλώδια που χρησιμοποιούνται μέσα στις σωληνώσεις θα πρέπει όταν τα καλώδια έλκονται να είναι πιο ανθεκτικά από τα καλώδια που εμφυσούνται, λόγω της μεγαλύτερης πίεσης που ασκείται. Τα εμφυσημένα καλώδια πρέπει να είναι ελαφριά και να έχουν κατάλληλη ακαμψία, ώστε να εμφυσούνται με ευκολία. Τα καλώδια που τοποθετούνται εντός του σωλήνα συνήθως έχουν μη μεταλλικό περίβλημα, αλλά μπορεί να περιέχουν μεταλλικά στοιχεία που προσφέρουν καλύτερη αντοχή και προστατεύουν από υγρασία. Αυτά τα καλώδια σχεδιάζονται για να έχουν αντοχή σε μακροχρόνιο πλημμύρισμα με νερό και σποραδικό πάγωμα. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά καλώδια αλλά όλα βασίζονται σε συγκεκριμένους τύπους. Ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι ο θάλαμος ελεύθερης τοποθέτησης αποτελούμενος από έναν πλαστικό θάλαμο με τον απαιτούμενο αριθμό οπτικών ινών μαζί με μια προστατευτική επίστρωση η οποία τις βοηθά να κινούνται εντός θαλάμου καθώς το καλώδιο διαστέλλεται ή συστέλλεται επηρεαζόμενο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.(Χριστοδουλοπούλου & Christodouloupoulou, 2021)

B) Τύποι καλωδίων για υποδομή σε μικροσωλήνες: οι τύποι των καλωδίων που τοποθετούνται μέσα στους μικροσωλήνες, πρέπει να είναι μικρά και ελαφριά και να έχουν για προστασία τον σωλήνα. Για αυτό ο σωλήνας και το καλώδιο θα πρέπει να συμπεριφέρονται ως ένα ενιαίο σύστημα και ο σωλήνας που επιλέγεται θα πρέπει να έχει μέγεθος που να ταιριάζει με το καλώδιο και τον απαιτούμενο αριθμό των ινών. Τα καλώδια τοποθετούνται με τη μέθοδο της εμψύσεως.(Χριστοδουλοπούλου & Christodouloupoulou, 2021)

## **4.Στρατηγικές ανάπτυξης καλωδίων οπτικών ινών**

Γενικά, υπάρχουν πολλές μέθοδοι ανάπτυξης καλωδίων οπτικών ινών. Η επιλογή του τύπου εγκατάστασης εξαρτάται κυρίως από το περιβάλλον, την ανάπτυξη της περιοχής, την

επιχειρηματική προοπτική και την πυκνότητα του πληθυσμού. Αυτοί οι βασικοί παράγοντες εξετάζονται προσεκτικά για να εξασφαλιστεί η επιτυχής ανάπτυξη και η εύκολη συντήρηση μετά την εγκατάσταση του καλωδίου. Υπάρχουν τρεις τεχνικές εγκατάστασης καλωδίων οπτικών ινών: αυτές είναι η εναέρια, η υπόγεια και η υποθαλάσσια. Ενώ η εναέρια είναι η εγκατάσταση των καλωδίων σε πυλώνες ή στύλους (στύλοι κοινής ωφέλειας), η υπόγεια είναι η εγκατάσταση των καλωδίων κάτω από την επιφάνεια της γης σε συγκεκριμένο βάθος και η υποθαλάσσια εγκατάσταση μεταδίδεται κάτω από τη θάλασσα.

#### **4.1 Εναέρια εγκατάσταση**

Τα εναέρια καλώδια οπτικών ινών υπόκεινται σε συνεχή τάση καθώς και σε πρόσθετη τάση που προκαλείται από τις αλλαγές της θερμοκρασίας, τον άνεμο και, σε ορισμένες ψυχρές περιοχές, από το βάρος του πάγου. Τα περισσότερα καλώδια οπτικών ινών δεν έχουν επαρκή αντοχή για να επιτρέψουν την απευθείας εναέρια εγκατάσταση, αλλά υπάρχουν τεχνικές εγκατάστασης για την εγκατάσταση τέτοιων ειδικών καλωδίων που έχουν σχεδιαστεί για εναέρια εγκατάσταση.

Η απλούστερη λύση είναι η πρόσδεση ενός κανονικού καλωδίου οπτικών ινών συνήθως ενός μεταλλικού πολύκλωνου καλωδίου που χρησιμοποιείται για τη στήριξη του καλωδίου, αλλά μερικές φορές απαιτείται άλλο καλώδιο εάν δεν έχει επαρκή αντοχή. Το καλώδιο στήριξης πρέπει να έχει επαρκή αντοχή για να στηρίζει το καλώδιο οπτικών ινών κατά τη διάρκεια του ανοίγματος μεταξύ των κατασκευών στήριξης.

Πρέπει να δίνεται προσοχή κατά την εγκατάσταση καλωδίων οπτικών ινών με το καλώδιο στήριξης, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές του μήκους, για παράδειγμα, λόγω τεντώματος στον άνεμο ή λόγω μεταβολών της θερμοκρασίας. Δεδομένου ότι τα καλώδια οπτικών ινών έχουν σχεδιαστεί για να μην τεντώνονται, καθώς αυτό θα καταπονούσε το καλώδιο οπτικών ινών, πρέπει να παρέχεται χαλαρότητα, συνήθως στα στηρίγματα, για να μειωθεί η τάση στο καλώδιο οπτικών ινών.

Υπάρχει επίσης μια κατηγορία καλωδίων, στιβαρά σχεδιασμένα με παχύτερο μανδύα για να έχουν επαρκή αντοχή ώστε να αντέχουν στις κακουχίες της εναέριας εγκατάστασης κατά την εγκατάσταση με ειδικό υλικό σχεδιασμένο για να συγκρατεί το καλώδιο στο μανδύα σωστά χωρίς να προκαλεί ζημιά στο καλώδιο κατά τη μακροχρόνια φόρτιση υψηλής τάσης. Ένας άλλος τύπος εναέριου καλωδίου είναι το οπτικό καλώδιο γείωσης ισχύος (OPGW). Το OPGW είναι ένας αγωγός υψηλής τάσης με έναν ερμητικά σφραγισμένο σωλήνα στο κέντρο ο οποίος περιέχει καλώδιο οπτικών ινών. Το καλώδιο χρησιμοποιείται ευρέως σε όλο τον κόσμο για την παροχή επικοινωνιών καθώς και ισχύος. Το OPGW εγκαθίσταται με παρόμοιο τρόπο όπως το καλώδιο υψηλής τάσης, αλλά τα άκρα του φέρονται στο έδαφος και ενώνονται ή τερματίζονται, και στη συνέχεια τυλίγονται στον πύργο. Εάν απαιτείται εξοπλισμός επικοινωνιών στη θέση αυτή, τα καλώδια οπτικών ινών οδηγούνται από τις συνδέσεις στο δωμάτιο εξοπλισμού. Σε όλες τις εγκαταστάσεις εναέριων καλωδίων όπου απαιτείται σύνδεση ή τερματισμός, πρέπει να αφήνονται επιπλέον 30-60 πόδια (10-20 m) καλωδίου για τη σύνδεση. Μπορεί να απαιτηθούν ακόμη περισσότερα καλώδια οπτικών ινών εάν η σύνδεση



γίνεται στο έδαφος σε καλώδια που είναι εγκατεστημένα σε ψηλούς στύλους.(Nyarko-Boateng κ.ά., 2020)

## **4.2 Υπόγεια εγκατάσταση**

Τα υπόγεια καλώδια οπτικών ινών διαδραματίζουν τεράστιο ρόλο στην καλωδίωση σε διάφορες χώρες, σε αστικές περιοχές, ακόμη και σε συγκεκριμένες περιοχές όπου τα καλώδια πρέπει να προστατεύονται από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Τα υπόγεια καλώδια μπορούν να εγκατασταθούν με την ταφή τους απευθείας στο έδαφος ή με την τοποθέτηση των οπτικών ινών μέσα σε αγωγό που θάβεται υπόγεια. Για εφαρμογές όπως η εγκατάσταση σε όλη τη χώρα, επικρατεί η απευθείας ταφή των καλωδίων. Συνήθως κατασκευασμένα από χαλύβδινη θωράκιση, τα καλώδια οπτικών ινών θάβονται μέσα σε μια τάφρο που σκάβεται σε ορισμένο βάθος. Η χαλύβδινη θωράκιση έχει σκοπό να προστατεύσει το καλώδιο οπτικών ινών από το σκληρό περιβάλλον και τα ζώα που σκάβουν.(Nyarko-Boateng κ.ά., 2020)

### **4.2.1 Άμεση ταφή**

Το πιο απευθείας θαμμένο καλώδιο είναι κατασκευασμένο με συγκεκριμένες ανοχές στη θερμότητα, την υγρασία, την αγωγιμότητα και την οξύτητα του εδάφους. Σε αντίθεση με τα τυποποιημένα καλώδια τηλεπικοινωνιών και τα καλώδια ρεύματος, τα οποία έχουν μόνο ένα λεπτό στρώμα μόνωσης και ένα αδιάβροχο εξωτερικό κάλυμμα, τα απευθείας θαμμένα καλώδια αποτελούνται από πολλαπλά στρώματα σημαντικού περιβλήματος με μεταλλική ταινία, ενισχυμένα με βαριά ελαστικά καλύμματα, γέλη(τζελ) απορρόφησης κραδασμών, τυλιγμένη με ενισχυμένη με νήμα αδιάβροχη ταινία και ενισχυμένα με βαρύ μεταλλικό πυρήνα. Τα καλώδια άμεσης ταφής είναι φθηνότερα και ευκολότερα στην εγκατάσταση από άλλα είδη καλωδίων που απαιτούν προστασία από τη γη.

Ωστόσο, το καλώδιο άμεσης τοποθέτησης κόβεται επίσης εύκολα κατά τη διάρκεια εκσκαφών ή άλλων εκσκαφών.

Ως αποτέλεσμα, τα περισσότερα καλώδια άμεσης τοποθέτησης βρίσκονται σε παράπλευρους δρόμους και όχι σε κύριες οδικές αρτηρίες. Το πλεονέκτημα του απευθείας θαμμένου καλωδίου είναι ότι αυτή η λύση μπορεί να εγκατασταθεί με σχετικά μικρή προσπάθεια, καθώς δεν χρειάζεται να προετοιμαστεί το έδαφος όπου τοποθετείται το καλώδιο με την εγκατάσταση σωληνώσεων ή άλλες προσαρμογές. Ουσιαστικά, το απευθείας θαμμένο καλώδιο όταν το καλώδιο θάβεται απευθείας στη γη κάτω από το επίπεδο του εδάφους που καλύπτεται είναι έτοιμο για χρήση σε μεταδόσεις φωνής και δεδομένων. Δεδομένου ότι το καλώδιο οπτικών ινών είναι αυτόνομο και ικανό να αντέξει πολλά από τα στοιχεία που επιταχύνουν τη φθορά άλλων μορφών καλωδίων, τα απευθείας θαμμένα καλώδια προσφέρουν επίσης τα πλεονεκτήματα της λιγότερης επαναλαμβανόμενης αντικατάστασης και της μεγαλύτερης πιθανότητας διατήρησης της ακεραιότητας ακόμη και σε περίπτωση φυσικής καταστροφής.(Nyarko-Boateng κ.ά., 2020)

#### **4.2.2 Εγκατάσταση σε αγωγό**

Σε ιδιαίτερα αστικοποιημένες περιοχές, η συνήθης υπόγεια εφαρμογή γίνεται με την εγκατάσταση αγωγών, καθώς η εκσκαφή του εδάφους γίνεται πιο δύσκολη. Τα καλώδια οπτικών ινών που τοποθετούνται σε εγκατεστημένους αγωγούς είναι ακόμη πιο εύκολο να τοποθετηθούν, καθώς είναι δυνατή η χρήση καλωδίων οπτικών ινών που δεν καλύπτονται από χαλύβδινη θωράκιση. Ο αγωγός προστατεύει τα καλώδια οπτικών ινών καθώς εκτίθενται στο σκληρό περιβάλλον. Η επέκταση της καλωδίωσης οπτικών ινών είναι εύκολη στην εφαρμογή, καθώς δεν χρειάζεται να σκάψουν τάφρους για την εγκατάσταση.

Τα πλεονεκτήματα της υπόγειας εγκατάστασης οπτικών ινών, που είναι λιγότερο εκτεθειμένα σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, θα βοηθήσουν περαιτέρω στην υιοθέτηση της υπόγειας εγκατάστασης οπτικών ινών. Αυτοί οι τύποι καλωδίων χρειάζονται προστασία πιο κρίσιμη, καθώς τα υλικά τους είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην υγρασία και τη μηχανική καταπόνηση. Οι ζημιές μπορεί να είναι δαπανηρές όσον αφορά τη διακοπή της υπηρεσίας και το κόστος αντικατάστασης. Επίσης, αυτά τα καλώδια εγκαθίστανται σε πολύ μεγάλες, συνεχείς διαδρομές, οι οποίες απαιτούν μια σαφή, προστατευμένη διαδρομή, καθώς και ένα σύστημα χωρίς διαρροές.

Τα καλώδια τοποθετούνται μέσα στον αγωγό που θάβεται υπόγεια, συνήθως σε βάθος 1-1,2 m, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα να ανασκαφούν κατά λάθος. Η διαδικασία ξεκινά τακτικά με την εκσκαφή μιας τάφρου για την ταφή του αγωγού, ο οποίος είναι γενικά πλαστικός σωλήνας 4 ιντσών, μερικές φορές με προεγκατεστημένο εσωτερικό αγωγό με ταινία έλξης για τη διευκόλυνση του πραγματικού τραβήγματος των καλωδίων. Το τράβηγμα ενός καλωδίου σε έναν αγωγό που έχει ήδη πολλά καλώδια μπορεί να προκαλέσει εμπλοκή, αύξηση της τάσης έλξης και πιθανή καταστροφή των καλωδίων. Πολλαπλά καλώδια μπορούν να τραβηχτούν ταυτόχρονα, εάν η συνολική πλήρωση καλωδίων και η τάση έλξης δεν υπερβαίνει τις συστάσεις.

### **5. Κατανομή οπτικών ινών σε αγροτικά περιβάλλοντα**

#### **5.1 Η ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών σε αγροτικές περιοχές της Ελλάδας**

Στην Ελλάδα το έργο UFBB (UltraFast BroadBand), ανάπτυξη υποδομών υπερυψηλής ταχύτητας, πρόκειται να φέρει την οπτική ίνα σε περιοχές εκτός των αστικών περιοχών. Στοχεύει να μειώσει το χάσμα μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών της χώρας και την απόσταση που χωρίζει την Ελλάδα με την ΕΕ στον τομέα της ανάπτυξης των ευρυζωνικών δικτύων.

Το έργο ΣΔΙΤ (Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα), προκηρύχθηκε το 2021 και έχει αναδόχους τον ΟΤΕ και το σχήμα ΤΕΡΝΑ – Grid Telecom. Ήδη έχει συναντήσει πολλές καθυστερήσεις και δυσκολίες στην εκκίνησή του, καθώς έπρεπε να φτάσει Ιούνιος του 2023 για να υπογράψει τη σύμβαση ανάθεσης ο ΟΤΕ. Η ΤΕΡΝΑ Fiber δεν έχει υπογράψει την αντίστοιχη δική της σύμβαση για το υπόλοιπο μέρος του έργου.

Οι δύο εταιρείες φαίνεται να κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Ο ΟΤΕ έχει ξεκινήσει ήδη την υλοποίηση του έργου μετά την υπογραφή της σύμβασης του Ιουνίου (2023). Ο όμιλος ΟΤΕ έχει αρχίσει τις εργασίες στη Δράμα, ενώ μέχρι το τέλος του έτους 2024 θα ολοκληρωθεί η κατασκευή FTTH σε περιοχές των Νομών Αττικής, Εύβοιας, Κορινθίας, Μεσσηνίας, Ηρακλείου και Χανίων. Βάσει της σύμβασης-σύμπραξης με το υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης, η εμπορική διάθεση του δικτύου θα ξεκινήσει με την ολοκλήρωση του 15% του έργου.

Αντίθετα, η TEPNA Fiber δεν έχει ακόμη υπογράψει τη σύμβαση ανάθεσης λόγω εκκρεμών ρυθμιστικών ζητημάτων που πρέπει να επιλύσει το υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης.

Παρόλα αυτά η TEPNA Fiber έχει ήδη προχωρήσει σε σύναψη δύο ομολογιακών δανείων ύψους 405,2 εκατ. ευρώ και 75 εκατ. ευρώ. Τονίζεται ότι η TEPNA Fiber έχει λάβει έγκριση από το Ταμείο Ανάκαμψης, για δάνειο 129.602.605 ευρώ τα οποία προορίζονται για το έργο που έχει συνολικό προϋπολογισμό 868 εκατ. ευρώ. Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η TEPNA Fiber είναι το ζήτημα των τιμών χονδρικής, οι οποίες ακόμη βρίσκονται υπό διαμόρφωση. Σύμφωνα με το UFBB, οι χονδρικές τιμές προβλέπεται να είναι αυξημένες σε σχέση με το μοντέλο της Επιτροπής που καθορίζει τις τιμές χονδρικής.

Το έργο UFBB που φέρνει την οπτική ίνα στις λευκές περιοχές

Το έργο ΣΔΙΤ, διάρκειας 26 ετών, αποτελεί μια μεγάλης κλίμακας δημόσια παρέμβαση για την επιτάχυνση του ψηφιακού μετασχηματισμού της χώρας. Προβλέπει τη δημιουργία τηλεπικοινωνιακών υποδομών που θα εξασφαλίζουν τη δυνατότητα υψηλών ταχυτήτων Internet σε ημι-αστικές και αγροτικές περιοχές που δεν είχαν συμπεριληφθεί στον σχεδιασμό των ιδιωτικών επενδύσεων, καθώς δεν έχουν έντονο εμπορικό ενδιαφέρον, και κατατάσσονται στις λεγόμενες «λευκές περιοχές» στις οποίες η πρόσβαση στο διαδίκτυο είναι εξαιρετικά αργή.

Θεωρείται από τα πιο σημαντικά έργα για την τηλεπικοινωνιακή πορεία της χώρας και την επίτευξη των ψηφιακών στόχων που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι το 2030 για την καθολική κάλυψη με δίκτυα οπτικών ινών με ταχύτητες σύνδεσης 1 Gbps, για όλους τους Ευρωπαίους πολίτες.

Εκτιμάται ότι θα αυξήσει τη μέση ταχύτητα σύνδεσης για το 20% των νοικοκυριών ακόμη και σε αραιοκατοικημένες περιοχές ή περιοχές που δεν έχουν εμπορικό ενδιαφέρον για τους παρόχους. Επίσης αποτελεί ευκαιρία για να κλείσει το χάσμα που χωρίζει την Ελλάδα με την Ευρώπη.

Περίπου 830.000 νοικοκυριά και επιχειρήσεις (άνω του 18% του συνόλου της χώρας) και 10.000 δημόσια κτίρια (σχολεία, κέντρα υγείας κ.λπ.), στις περιοχές που περιλαμβάνονται θα επωφεληθούν, με το έργο να χωρίζεται σε 7 γεωγραφικές ζώνες. Τις τρεις έχει αναλάβει ο ΟΤΕ και τις υπόλοιπες τέσσερις η Terna Fiber, στην οποία συμμετέχουν η Τέρνα Ενεργειακή και η Grid Telecoms.

Ο ΟΤΕ έχει αναλάβει τις γεωγραφικές ζώνες 1, 3 και 7. Ειδικότερα, η ζώνη 1, αφορά 124.000 νοικοκυριά και επιχειρήσεις σε 9 Περιφερειακές Ενότητες (Ροδόπης, Δράμας, Έβρου, Ξάνθης, Ζακύνθου, Ηλείας, Αρκαδίας, Κορινθίας, Μεσσηνίας).

Η ζώνη 3 έχει 122.000 νοικοκυριά και επιχειρήσεις σε 13 Περιφερειακές Ενότητες (Εύβοιας, Σύρου, Άνδρου, Θήρας, Κέας - Κύθνου, Μήλου, Μυκόνου, Νάξου, Πάρου Τήνου, Ηρακλείου, Ρεθύμνου, Χανίων) και η ζώνη 7, 101.000 νοικοκυριά και επιχειρήσεις σε 14 Περιφερειακές Ενότητες (Βοιωτίας, Φθιώτιδας, Κ.Τ. Αθηνών, Β.Τ. Αθηνών, Δ.Τ. Αθηνών, Ν.Τ. Αθηνών, Αν. Αττικής, Δ. Αττικής, Πειραιώς και Νήσων, Καλύμνου, Καρπάθου, Κω, Ρόδου, Λασιθίου).

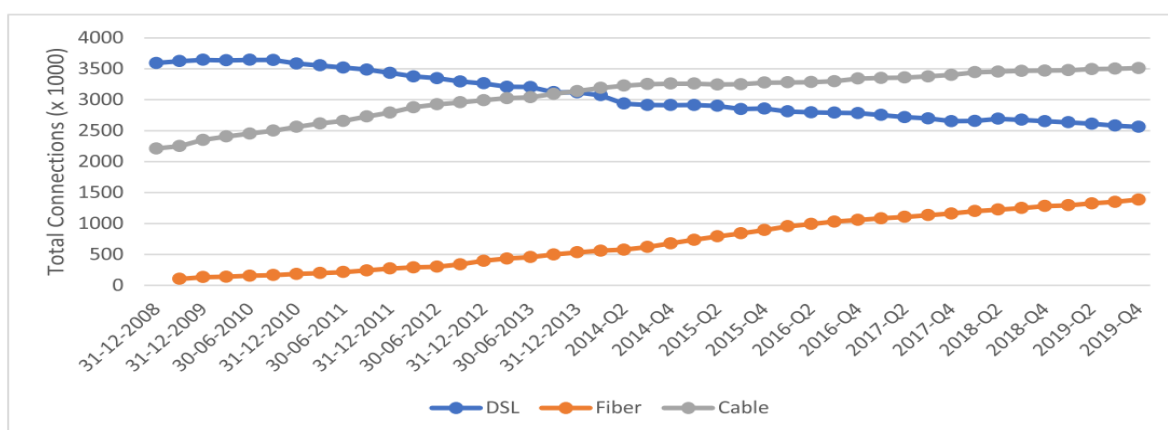
Η Terna Fiber από την πλευρά της έχει αναλάβει τη γεωγραφική ζώνη 2 του έργου με 137.000 νοικοκυριά / επιχειρήσεις σε 11 Περιφερειακές Ενότητες (Πέλλας, Πιερίας, Καστοριάς, Φλώρινας, Ιωαννίνων, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Λάρισας, Μαγνησίας, Σποράδων, Κέρκυρας).

Τη γεωγραφική ζώνη 4, με 110.000 νοικοκυριά / επιχειρήσεις σε 9 Περιφερειακές Ενότητες (Χαλκιδικής, Θάσου, Καβάλας, Σερρών, Λέσβου, Ικαρίας, Λήμνου, Σάμου, Χίου), τη ζώνη 5 με 127.000 νοικοκυριά / επιχειρήσεις σε 9 Περιφερειακές Ενότητες (Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Ευρυτανίας, Φωκίδας, Ιθάκης, Κεφαλληνίας, Λευκάδας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας) και τη ζώνη 6, 117.000 νοικοκυριά / επιχειρήσεις σε 8 Περιφερειακές Ενότητες (Κοζάνης, Γρεβενών, Άρτας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Ημαθίας, Αργολίδας, Λακωνίας). (Με δύο ταχύτητες η ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών σε αγροτικές περιοχές, 2024)

## 5.2 Το παράδειγμα της Ολλανδίας

Σε αντίθεση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες, ο μετασχηματισμός της ευρυζωνικής υποδομής προς την κατεύθυνση της πολύ υψηλής χωρητικότητας οφείλεται στην ανάπτυξη δικτύων οπτικών ινών και στον ανταγωνισμό από τα υψηλής ποιότητας δίκτυα xDSL και τα καλωδιακά δίκτυα. Η ανάπτυξη των οπτικών ινών βασίστηκε κυρίως στην εισαγωγή τεχνολογιών Fiber-to-the-Home (FttH). Με την πρώτη εισαγωγή ενός δικτύου FttH το 2005, το 2019 τέθηκε σε λειτουργία το πρώτο παθητικό οπτικό δίκτυο (PON) στην Ολλανδία.

Η ευρυζωνική υποδομή πολύ υψηλής χωρητικότητας στην Ολλανδία αποτελείται κυρίως από συνδέσεις xDSL, ευρυζωνικές συνδέσεις με ομοαξονικό μόντεμ και συνδέσεις οπτικών ινών. Το Σχήμα 1 δείχνει τις αλλαγές στη διαθεσιμότητα αυτών των διαφορετικών ευρυζωνικών



Σχήμα 1: Διαχρονική ανάπτυξη των ευρυζωνικών τεχνολογιών στην Ολλανδία από το 2008 έως το 2019.

συνδέσεων, με μείωση των τεχνολογιών xDSL από το 2009 και σταθερή αύξηση των συνδέσεων οπτικών ινών και καλωδιακών μόντεμ με την πάροδο του χρόνου. Η διείσδυση των τεχνολογιών οπτικών ινών όσον αφορά τα συνδεδεμένα νοικοκυριά αυξήθηκε μεταξύ 2010 και 2014 από 0,5 εκατομμύρια σε 2 εκατομμύρια. Επί του παρόντος, η διείσδυση των οπτικών ινών είναι περίπου 29% με πάνω από 2,5 εκατομμύρια συνδεδεμένα νοικοκυριά.

Καθώς η ραχοκοκαλιά του ευρυζωνικού δικτύου στην Ολλανδία βασίζεται κυρίως σε τεχνολογίες οπτικών ινών, ένα βασικό ζήτημα ήταν πώς μπορούν να εξηγηθούν οι διαφορές όσον αφορά την ταχύτητα του διαδικτύου, για παράδειγμα στις αγροτικές περιοχές. Ένας βασικός παράγοντας που εξηγεί τις διαφορές μεταξύ των περιοχών ήταν η απουσία καλωδιακών δικτύων και η μεγάλη απόσταση από τις κεντρικές γραμμές και τα γραφεία. Είναι ενδιαφέρον ότι οι συνδέσεις οπτικών ινών μπορούν στην πραγματικότητα να βρεθούν περισσότερο σε αγροτικές περιοχές και στο δυτικό τμήμα της χώρας. Επιπλέον, αυτές οι τεχνολογίες είναι προφανώς μάλλον απύσυχες στα κέντρα των μεγάλων πόλεων και επικρατούν περισσότερο στις μεσαίου μεγέθους πόλεις της Ολλανδίας.

Οι πάροχοι οπτικών ινών είναι οι KPN, Ziggo, Tele2, Eurofiber, BT και περιφερειακοί πάροχοι FttX . Στις ευρυζωνικές αγορές, η KPN και η Ziggo έχουν περίπου ίσα μερίδια αγοράς από περίπου 40% έως 45%. Αυτό αφήνει ένα υπόλοιπο 10%-20% σε άλλα μέρη, όπως η Tele2, ιδιοκτήτες τοπικών δικτύων και ιδιοκτήτες δικτύων με τους δικούς τους ειδικούς τύπους ευρυζωνικών συνδέσεων δίκτυα, όπως οι οπτικές ίνες. Όσον αφορά την ανάπτυξη οπτικών ινών, υπάρχουν μόνο τρεις επιλογές: Πρώτον, υπάρχουν έργα ανάπτυξης οπτικών ινών υπό την καθοδήγηση κατεστημένων επιχειρήσεων. Δεύτερον, ποικίλες συμπράξεις μεταξύ καλωδιακών εταιρειών, περιφερειακών φορέων εκμετάλλευσης δικτύων διανομής και επενδυτικών κεφαλαίων. Τρίτον, οι πολίτες μπορούν να ξεκινήσουν δικές τους τοπικές πρωτοβουλίες από κάτω προς τα πάνω.

Υπάρχουν διάφοροι παίκτες στην αγορά των ευρυζωνικών επιχειρήσεων. Ένας άλλος παίκτης στην αγορά ήταν η εταιρεία Eurofiber που αναπτύσσει ευρυζωνική υποδομή η οποία επιτρέπει σε άλλους παρόχους να προσφέρουν ευρυζωνικές υπηρεσίες μέσω του δικτύου. Επιπλέον, υπάρχουν και πρωτοβουλίες από άλλους παρόχους σε επιχειρηματικά πάρκα που συνεργάζονται με τοπικούς εταίρους για τη σύνδεση ενός επιχειρηματικού πάρκου σε δίκτυο οπτικών ινών. Σε περιοχές όπου δεν υπάρχει επιχειρηματική προοπτική για οπτικές ίνες ή όπου οι ενσύρματες ευρυζωνικές υποδομές δεν φαίνονται εφικτές, έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικές τεχνολογίες όπως η ασύρματη ευρυζωνικότητα. Επί του παρόντος, οι ασύρματες τεχνολογίες όπως η τέταρτη γενιά ευρυζωνικών κυψελών τεχνολογίες (4G) θεωρούνται ως υποκατάστατο μόνο εάν δεν υπάρχουν σταθερές ευρυζωνικές εναλλακτικές λύσεις υψηλής χωρητικότητας λόγω του υψηλού κόστους και των περιορισμών στη διαθέσιμη χωρητικότητα για τους καταναλωτές. Ωστόσο, αυτό ενδέχεται να αλλάξει με την εμφάνιση των τεχνολογιών 5G, οι οποίες έγιναν διαθέσιμες στην Ολλανδία το 2020.

Από το 2010, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αναλάβει διάφορες πρωτοβουλίες πολιτικής για την προώθηση της διαθεσιμότητας ευρυζωνικών συνδέσεων πολύ υψηλής χωρητικότητας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), προκειμένου να προωθηθεί η οικονομική ανάπτυξη και να επιτευχθούν κοινωνικοί στόχοι. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, οι περισσότερες χώρες

της ΕΕ ακολούθησαν μια πορεία ανάπτυξης ευρυζωνικών συνδέσεων πολύ υψηλής χωρητικότητας, κατά την οποία οι πάροχοι ευρυζωνικών συνδέσεων απευθύνονταν πρώτα σε αστικές περιοχές, ενώ οι αγροτικές και ενδιάμεσες περιοχές υστερούσαν. Στην Ολλανδία, η ευρυζωνικότητα πολύ υψηλής χωρητικότητας ακολούθησε διαφορετική πορεία για την ανάπτυξη οπτικών ινών τα τελευταία 15 χρόνια, κατά την οποία οι περιφερειακές πρωτοβουλίες σε ομάδες σε ενδιάμεσες περιοχές, π.χ. στο Βόρειο Brabant, ήταν πιο σημαντικές από την παροχή οπτικών ινών στις μεγαλύτερες πόλεις (π.χ. Άμστερνταμ, Ρότερνταμ, Ντεν Χάαγκ). Αναλύοντας τη διαδικασία ανάπτυξης του δικτύου στην Ολλανδία, η εργασία έδειξε ότι η αβεβαιότητα της αγοράς και τα τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά της ευρυζωνικότητας πολύ υψηλής χωρητικότητας ήταν σημαντικές μεταβλητές που εξηγούν τη διαφορετική πορεία προς τη διαθεσιμότητα οπτικών ινών.

Σε αντίθεση με άλλες χώρες της ΕΕ, η διαδικασία επέκτασης των οπτικών ινών ξεκίνησε στην πραγματικότητα στις ενδιάμεσες περιοχές, ενώ οι μεγαλύτερες πόλεις εξακολουθούν να υστερούν στην εφαρμογή των οπτικών ινών στην ευρυζωνική υποδομή. Αυτή η ομαδοποίηση ήταν πιο διαδεδομένη στις αστικές περιοχές απ' ό,τι στις αγροτικές, γεγονός που δείχνει ότι υπάρχει περισσότερη τυχαιότητα και μεταβλητότητα στις αγροτικές γειτονίες. Τα αποτελέσματα σχετικά με το τοπικό Moran's I και την κατηγοριοποίηση LISA δείχνουν επίσης ότι οι περιφέρειες μπορούν να μαθαίνουν η μία από την άλλη και ότι τα έργα επεκτείνονται σε γεωγραφικές ομάδες. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα και σημαντικές πολιτικές μπορούν να εξαχθούν διαχειριστικά συμπεράσματα: Πρώτον, δεδομένου ότι ο χωρικός ανταγωνισμός μεταξύ των παρόχων ευρυζωνικών υπηρεσιών αποτέλεσε βασικό μοχλό για την ανάπτυξη ευρυζωνικών υπηρεσιών πολύ υψηλής χωρητικότητας, οι τοπικές ευρυζωνικές πρωτοβουλίες και οι τοπικές συμπράξεις ιδιωτικού και δημόσιου τομέα είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αυτών των δικτύων. Αυτές μπορεί να είναι ακόμη και πιο αποτελεσματικές σε σύγκριση με ευρύτερες πρωτοβουλίες από πάνω προς τα κάτω σε εθνικό ή ευρωπαϊκό επίπεδο, καθώς αντιμετωπίζουν καλύτερα την υπάρχουσα υπερβάλλουσα ζήτηση για δίκτυα πολύ υψηλής χωρητικότητας σε μια συγκεκριμένη υποεξυπηρετούμενη περιοχή. Δεύτερον, καθώς τα τεχνικοοικονομικά στοιχεία των ευρυζωνικών δικτύων πολύ υψηλής χωρητικότητας και η αβεβαιότητα της αγοράς αποφασίζουν κυρίως για την υλοποίηση των δικτύων αυτών υπό συνθήκες χωρικού ανταγωνισμού, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι διευθυντές των ευρυζωνικών εταιρειών θα πρέπει να λαμβάνουν καλύτερα υπόψη τους αυτές τις μεταβλητές κατά την αντιμετώπιση των υποεξυπηρετούμενων περιοχών. Κρατικές επιδοτήσεις απαιτούνται μόνο σε περιοχές όπου οι μεταβλητές αυτές οδηγούν στην ανάπτυξη ευρυζωνικών δικτύων πολύ υψηλής χωρητικότητας.(Saheebali κ.ά., 2021)

Το μοντέλο μπόρεσε να εντοπίσει τις περιοχές στις οποίες είναι χωρικά πιο αποδοτικό να αναπτυχθούν οπτικές ίνες στο μέλλον. Ωστόσο, ακόμη πιο σημαντικό, δείχνει ποιες περιοχές δεν θα επηρεαστούν από την ανάπτυξη στο μέλλον, ειδικά αν δεν υπάρχει κίνητρο για την ανάπτυξη οπτικών ινών στην ύπαιθρο.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε στην εργασία προχώρησε τα αποτελέσματα αυτά ένα βήμα παραπέρα. Ενώ η χωρική ανάλυση μπόρεσε να εντοπίσει διαφορετικούς τύπους περιφερειακών συστάδων σε σχέση με τη διαθεσιμότητα ινών, το εμπειρικό μοντέλο έδειξε με τη συμπερίληψη μεταβλητών που αντιμετωπίζουν διαφορετικές αβεβαιότητες γύρω από την εφαρμογή των

ινών. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν, επιπλέον, πώς οι περιοχές κάλυψης χαρακτηρίζονται από διαφορετικές τεχνοοικονομικές δομές κόστους. Τα αποτελέσματα αυτά επιτρέπουν να εξηγηθεί καλύτερα πώς αυτές οι αβεβαιότητες έχουν διαμορφώσει ορισμένες περιοχές κατά τρόπο ώστε να ανήκουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή συστάδας. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να διαπιστωθεί μια διαφορετική δομή κόστους στις περιφερειακές περιοχές σε σύγκριση με τις περιοχές του πυρήνα, επειδή είναι γενικά απομακρυσμένες και βρίσκονται σε βιομηχανικά πάρκα ή σε αγροτικές περιοχές. Οι νησίδες ανισότητας δεν έχουν το ίδιο επίπεδο διείσδυσης των οπτικών ινών με τις γειτονικές τους περιοχές, επειδή αντιπροσωπεύουν περιοχές κοντά στον πυρήνα, όπου οι διευθύνσεις είναι πιο διάσπαρτες. Τα νησιά της διαθεσιμότητας χαρακτηρίζονται περισσότερο κατά τρόπο που να παρουσιάζουν καλά αναπτυγμένα χωριά. (Sahebalι κ.ά., 2021)

### 5.3 Το παράδειγμα της Γκάνας

Η απελευθέρωση του τομέα των τηλεπικοινωνιών στην Γκάνα επέτρεψε σε πολλούς ιδιωτικούς φορείς να επενδύσουν, να αποκτήσουν και να λειτουργήσουν τηλεπικοινωνιακές υποδομές για την παροχή υπηρεσιών επικοινωνίας στους χρήστες. Η εμπορική ανάπτυξη της οπτικής υποδομής στην Γκάνα άρχισε στα τέλη του 2000. Η εξέλιξη αυτή είδε την ανάπτυξη οπτικών ινών να αντικαθιστά το μεγαλύτερο μέρος του υφιστάμενου συστήματος μετάδοσης ραδιοκυμάτων. Η ανάπτυξη καλωδίων οπτικών ινών έχει λάβει προσοχή 10 χρόνια αργότερα, όπου ιδιώτες και δημόσιοι φορείς έχουν πρόσβαση στην κατανεμημένη υποδομή οπτικών ινών.

Τέσσερα υποβρύχια καλώδια διαφορετικής χωρητικότητας είναι εγκατεστημένα σήμερα στη Γκάνα. Το καλώδιο SAT-3 είναι το πρώτο που προσγειώνεται στις ακτές της Γκάνας με συνολική απόσταση 28.800 χλμ. που συνδέει την Πορτογαλία με τη Νότια Αφρική και διασχίζει τον Ινδικό Ωκεανό με χωρητικότητα 340 Gigabits/s. Το υποθαλάσσιο καλώδιο Main One με χωρητικότητα 1,92 Terabits/s και το υποθαλάσσιο καλώδιο GLO-1 με χωρητικότητα 640 Gigabits/s είναι το δεύτερο και το τρίτο υποθαλάσσιο καλώδιο που τίθενται σε λειτουργία στη Γκάνα. Επιπλέον, το σύστημα καλωδίων Δυτικής Αφρικής (WACS) με προγραμματισμένη χωρητικότητα 5,12 Terabits/s τέθηκε σε εμπορική λειτουργία το 2012. Τα καλώδια αυτά μεταφέρουν τόσο το διαδίκτυο όσο και τη φωνητική κίνηση από τη Γκάνα σε άλλα μέρη του κόσμου. Το Main one έχει συνολικά 7.000 χιλιόμετρα καλωδίου κατά μήκος της ακτής της Δυτικής Αφρικής που συνδέει τη Γκάνα, τη Νιγηρία και την Πορτογαλία.

Το GLO-1 διαθέτει υποβρύχιο καλώδιο μήκους 9.800 χιλιομέτρων, με χωρητικότητα έως 2,5 terabytes ανά δευτερόλεπτο, που συνδέει τρεις ευρωπαϊκές χώρες, δηλαδή το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ισπανία και την Πορτογαλία και 13 άλλες αφρικανικές χώρες, με ειδική σύνδεση με τις ΗΠΑ. Το σύστημα WACS διαθέτει 15 τερματικούς σταθμούς κατά μήκος της διαδρομής του. Είναι η πρώτη υποδομή υποβρυχίων καλωδίων υπερυψηλής χωρητικότητας που αναπτύσσει την τεχνολογία επόμενης γενιάς, η οποία συνδέει τη Γκάνα με την Ευρώπη μέσω της Νότιας Αφρικής. Το WACS, που εκτείνεται σε απόσταση άνω των 14.500 χιλιομέτρων, χρησιμοποιεί τεχνολογία επόμενης γενιάς για τη μετάδοση οπτικού σήματος υψηλής χωρητικότητας 5,12 Terabits/s.

Και οι πέντε εταιρείες τηλεπικοινωνιών (MTN, Tigo, Glo, Vodafone και Airtel) που έχουν άδεια παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στη Γκάνα έχουν αναπτύξει καλώδιο οπτικών ινών είτε ως εφεδρικό δίκτυο κορμού στην ήδη υπάρχουσα υποδομή μικροκυματικής μετάδοσης ή/και δίκτυο οπτικών ινών μετρό για να παρέχουν την απαραίτητη χωρητικότητα δεδομένων και φωνητική κίνηση στον τελικό χρήστη.<sup>34</sup> Η Vodacom, θυγατρική της Volta River Authority, εγκατέστησε το πρώτο δίκτυο οπτικών ινών κορμού στη Γκάνα. Εκμεταλλευόμενη τους ήδη υπάρχοντες πυλώνες, η Vodacom ανέπτυξε ένα εναέριο καλώδιο οπτικών ινών το οποίο εκτείνεται στους πυλώνες. Το καλώδιο οπτικών ινών έχει εγκατασταθεί στο νότιο και μεσαίο τμήμα του εθνικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εταιρεία τηλεπικοινωνιών (MTN) στην προσπάθειά της να ενισχύσει την κίνηση δεδομένων και φωνής έχει αναπτύξει οπτικό δίκτυο σε όλη τη χώρα χρησιμοποιώντας στρατηγική υπόγειας ανάπτυξης για να συνδέσει και τις 16 περιφέρειες της Γκάνας. Εκτός από τις διασυνδέσεις κορμού, η MTN και η Vodafone Ghana έχουν αναπτύξει υπόγεια δίκτυα οπτικών ινών (FTTx) σε περίπου 38 πόλεις και κωμοπόλεις. Η Airtel Ghana, η Tigo και η Glo έχουν εγκαταστήσει όλα τα καλώδια οπτικών ινών υπόγεια για να παρέχουν επαρκή χωρητικότητα στη διαδρομή κορμού και επίσης να παρέχουν διαδρομή εφεδρείας για τις υπάρχουσες συνδέσεις. (Nyarko-Boateng κ.ά., 2020)

### **5.3.1 Τεχνικές προκλήσεις στην ανάπτυξη οπτικών ινών**

Η ανάπτυξη υπόγειων οπτικών ινών σε μια αναπτυσσόμενη χώρα όπως η Γκάνα συνεπάγεται αρκετές τεχνικές προκλήσεις. Τα υπόγεια καλώδια οπτικών ινών τοποθετούνται κυρίως κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων και των δρόμων της πόλης. Ωστόσο, σε ένα περιβάλλον όπου κτίρια ανοικοδομούνται χωρίς άδεια, ο σχεδιασμός της διαδρομής της ίνας και η τήρηση των προγραμματισμένων διαδρομών καθίσταται δύσκολη. Η κοινή χρήση του υφιστάμενου δικαιώματος διέλευσης (ROW) από πολλούς παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών συνοδεύεται από τις προκλήσεις των συχνών περικοπών καλωδίων οπτικών ινών. Στην περίπτωση που ένας άλλος πάροχος ζητήσει να αναπτύξει το καλώδιο οπτικών ινών του με κοινή χρήση του ROW με έναν υφιστάμενο πάροχο, το καλώδιο οπτικών ινών του υφιστάμενου παρόχου έχει αναμφισβήτητο υψηλότερο κίνδυνο να κοπεί κατά την εκσκαφή. Η κύρια αιτία της αποκοπής καλωδίων οπτικών ινών οφείλεται στο μικρό βάθος ταφής του καλωδίου, ιδίως όταν μοιράζεται ένα συμφορημένο ROW.

Το ισχύον καθεστώς αδειοδότησης είναι αρκετά προβληματικό για την υλοποίηση ενός έργου οπτικών ινών. Οι γραφειοκρατικές διαδικασίες εντός των τοπικών αρχών και η έλλειψη διαδικαστικών κατευθυντήριων γραμμών για τη ρύθμιση των δραστηριοτήτων αυτών των αρχών υπονομεύουν την προσπάθεια ανάπτυξης οπτικών υποδομών. Πολλές τοπικές αρχές έχουν αναγνωρίσει την ανάγκη εναρμόνισης της περιόδου επεξεργασίας ROW μεταξύ της αρχικής υποβολής αίτησης για άδεια και της τελικής εγκατάστασης των εγκαταστάσεων. Στις ΗΠΑ, για παράδειγμα, για να μειωθεί ο χρόνος εγκατάστασης, ορισμένες πόλεις έχουν επιβάλει αυστηρή καταληκτική ημερομηνία για την έγκριση ή την απόρριψη των εγγραφών. Άλλες πόλεις έχουν εγκρίνει γενικές άδειες, εξαλείφοντας την ανάγκη να απαιτείται εγγραφή για κάθε ξεχωριστή εγκατάσταση εγκαταστάσεων. Πολιτείες όπως το Κάνσας, η Ιντιάνα, το



Οχάιο και η Φλόριντα όρισαν προθεσμίες 30 ημερών για την επεξεργασία των αδειών, ενώ το Μίσιγκαν και η Βιρτζίνια καθιέρωσαν προθεσμίες 45 ημερών.

Άλλες διοικητικές προκλήσεις είναι τα τέλη που χρεώνονται για τη διεκπεραίωση των αδειών και οι αδικαιολόγητες καθυστερήσεις που συνδέονται με τη διεκπεραίωση των εγκρίσεων. Γενικά, οι διάφορες διοικητικές περιοχές έχουν διαφορετικές τιμές για τις ίδιες υπηρεσίες σε ολόκληρη τη χώρα, γεγονός που εμποδίζει την πρόοδο των διαδικασιών ανάπτυξης οπτικών υποδομών. Η έλλειψη τυποποιημένης δομής τελών και βέλτιστων πρακτικών οδηγεί σε μη εγκεκριμένες χρεώσεις τελών και καθυστερήσεις, γεγονός που επηρεάζει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του έργου. Σε χώρες που προηγούνται, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρώπη, η Αυστραλία και μέρος της Ασίας, υπάρχει μια ποικιλία δομών τελών που σχετίζονται με τη χρήση του ROW και άλλων εγκαταστάσεων. Οι κυβερνητικές υπηρεσίες υποχρεούνται να χρησιμοποιούν την εγκεκριμένη δομή τελών που είναι γνωστή στους αιτούντες.

Σε μέρη της Αφρικής, όπως η Νιγηρία, η Αίγυπτος, η Κένυα, η Νότια Αφρική και η Ρουάντα, οι διαδικασίες αποκέντρωσης που αφορούν την απόκτηση αδειών δεν έχουν υιοθετηθεί πλήρως. Η κεντρική κυβέρνηση ελέγχει συνήθως τη διαχείριση όλων των τελών επεξεργασίας. Δεν υπάρχουν κατάλληλες δομές για τη ρύθμιση της υλοποίησης των οπτικών έργων. Ειδικότερα, στη Γκάνα και τη Νιγηρία, η υλοποίηση οπτικών έργων κατέστρεψε αρκετά οδικά δίκτυα και το αντίστροφο. Η καταστροφή των δρόμων αποτελεί κίνδυνο για τους χρήστες των δρόμων. Αυτό εξηγεί αρκετά οδικά ατυχήματα σε μέρος των αφρικανικών χωρών, όπου η αναποτελεσματικότητα των διοικητικών μέτρων έχει ως αποτέλεσμα την κακή υλοποίηση των οπτικών έργων. (Nyarko-Boateng κ.ά., 2020)

Τέλος, η ανεπαρκής διαχείριση των πληροφοριών είναι ένα άλλο σημαντικό διοικητικό σφάλμα, το οποίο επηρεάζει το έργο της οπτικής ανάπτυξης. Οι απαραίτητες πληροφορίες για την πορεία των υφιστάμενων υποδομών κοινής ωφέλειας συνοδεύονται από ορισμένες δυσκολίες. Η γνώση του τι υπάρχει σήμερα υπόγεια βοηθάει στο να γνωρίζουμε τι πρέπει να προσθέσουμε και πώς και πού να το κάνουμε. Η επίμονη διακοπή των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας ως αποτέλεσμα της διάνοιξης τάφρων οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) σχετικά με την υπάρχουσα υποδομή.

### **5.3.2 Διαχείριση μετά την ανάπτυξη οπτικών ινών**

Η διαχείριση των οπτικών ινών είναι ένα πλαίσιο που βασίζεται σε αρχές μηχανικής με στόχους τη διατήρηση, λειτουργία, συντήρηση, επισκευή και ανανέωση της γηρασμένης υποδομής οπτικών ινών με περιορισμένη χρηματοδότηση. Τα δίκτυα οπτικών ινών είναι αποτελεσματικά συστήματα επικοινωνίας για τη μετάδοση φωνής, δεδομένων και βίντεο. Η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση αυτής της υποδομής είναι ουσιαστική για τους παρόχους και τον τελικό χρήστη. Η έρευνα αποκάλυψε ότι οι βλάβες των υπόγειων καλωδίων στη Γκάνα μείωσαν σημαντικά τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι στη Γκάνα υπέστησαν εσκεμμένες ζημιές στα καλώδια οπτικών ινών τους σε διάφορες τοποθεσίες, με αποτέλεσμα την απώλεια υπηρεσιών σε δεκάδες χιλιάδες χρήστες. Τα δίκτυα οπτικών ινών πρέπει να προστατεύονται από σκόπιμες ή ακούσιες πράξεις ζημιών, κοψίματα, κάμψεις και κάθε είδους δραστηριότητα που θα μπορούσε δυνητικά να καταστρέψει το καλώδιο.

### **5.3.3 Πρότυπα και βέλτιστες πρακτικές για την ανάπτυξη και διαχείριση καλωδίων οπτικών ινών**

Μέχρι τα τέλη του 1998, δεν υπήρχε πρότυπο εγκατάστασης για τα οπτικά καλώδια. Ωστόσο, λόγω των προκλήσεων που αντιμετώπιζαν οι πάροχοι κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης καλωδίων οπτικών ινών, υπήρχε η ανάγκη να υιοθετηθεί ένα πρότυπο. Δημιουργήθηκε ένας τύπος πολιτικής μεταξύ της Εθνικής Ένωσης Ηλεκτρολόγων Εργολάβων (NECA) και της Ένωσης Οπτικών Ινών (FOA) για την ανάπτυξη ενός μέτρου που θα ρύθμιζε την ανάπτυξη υποδομών οπτικών δικτύων. Τα μέτρα αυτά αποτελούσαν μέρος του προγράμματος του Αμερικανικού Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων (ANSI) και των Εθνικών Προτύπων Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων. Το πρότυπο NECA/FOA-301 είναι το μοναδικό που καλύπτει την εγκατάσταση και τη δοκιμή των καλωδίων οπτικών ινών. Η Fiber optic Industry Association (FIA), το συμβούλιο που τυποποίησε τη διαδικασία ανάπτυξης καλωδίων οπτικών ινών στο Ηνωμένο Βασίλειο, ανέπτυξε πρότυπα για την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση των καλωδίων οπτικών ινών.

Στην Ινδία, οι Τεχνικές Προδιαγραφές για την καλωδίωση οπτικών ινών περιγράφουν τις διαδικασίες και τις μεθόδους εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένης της έρευνας, των αποστάσεων, της εκσκαφής τάφρων και λάκκων, της εκσκαφής χωρίς τάφρους, της εγκατάστασης μόνιμων σωλήνων λίπανσης - σωλήνων πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (PLB HDPE), της εγκατάστασης σωλήνων Hume από οπλισμένο τσιμέντο και σωλήνων από γαλβανισμένο σίδηρο (GI), της σήμανσης, της επανεπίχωσης, της εγκατάστασης υπόγειου καλωδίου, της κατασκευής οπών κοινής ωφέλειας, της σύνδεσης, του τερματισμού και των απαιτήσεων δοκιμών αποδοχής του υπόγειου συστήματος καλωδίωσης οπτικών ινών. Ομοίως, στην Ιαπωνία, ο νόμος και η πολιτική για την ανάπτυξη υποδομών οπτικών δικτύων εστιάζουν στην απόδοση του δικτύου, την προσβασιμότητα, την τιμή και την αξιοπιστία.

### **5.3.4 Στρατηγικές ανάπτυξης και διαχείρισης ινών**

Στην παρούσα ενότητα αναλύονται οι διάφορες στρατηγικές που υιοθετούν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι για την ανάπτυξη υπόγειων καλωδίων οπτικών ινών. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, το 20,0% των ερωτηθέντων συμφωνεί απόλυτα ότι οι πάροχοι ενημερώνουν την Αρχή Οδών και Αυτοκινητοδρόμων κατά το σχεδιασμό της όδευσης του καλωδίου οπτικών ινών, το 30,0% συμφωνεί, το 13% διαφωνεί, ενώ το 21,0% των ερωτηθέντων είχε ουδέτερη άποψη και το 15% διαφωνεί απόλυτα, αντίστοιχα.

Οι πάροχοι συμφωνούν ότι ένας σημαντικός αριθμός έργων καλωδίων οπτικών ινών έχει αναπτυχθεί χωρίς τις βέλτιστες βιομηχανικές πρακτικές. Το 52% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι η ανάπτυξη καλωδίων οπτικών ινών έγινε χωρίς τις βέλτιστες πρακτικές, το 20% συμφωνεί απόλυτα, το 15% ούτε συμφωνεί ούτε διαφωνεί, το 12% συμφωνεί και το 2% συμφωνεί απόλυτα. Επιπλέον, ο Πίνακας 3 παρουσιάζει την κατανομή των βέλτιστων πρακτικών όπως αποτυπώθηκαν από τους ερωτηθέντες. Και πάλι οι πάροχοι είναι της άποψης ότι η απόκτηση του δικαιώματος διέλευσης (ROW) παραμένει η πιο δύσκολη πτυχή της διαδικασίας ανάπτυξης οπτικών ινών. Το 50% των ερωτηθέντων επιβεβαίωσε τις προκλήσεις

συμφωνώντας, ενώ το 18% συμφωνεί απόλυτα, το 15% είχε ουδέτερη άποψη, το 13% διαφωνεί και το 3% διαφωνεί απόλυτα.(Nyarko-Boateng κ.ά., 2020)

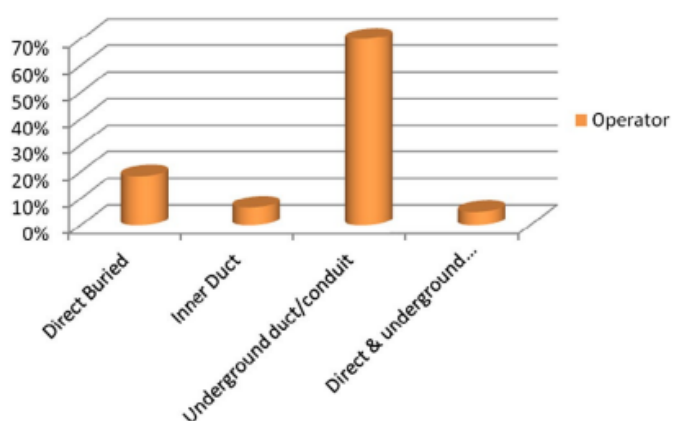
Φορείς κινητής τηλεφωνίας	Διαφωνώ απόλυτα	διαφωνώ	Ούτε διαφωνώ ούτε συμφωνώ	Συμφωνώ	Συμφωνώ απόλυτα
Scancom	9.0%	9.0%	10.0%	18.0%	9.0%
Tigo	3.0%	2.0%	0.0%	6.7%	2.0%
Airtel	1.0%	3.0%	5.0%	0.0%	5.0%
Vodafone	2.0%	0.0%	2.0%	5.0%	2.0%
Glo	0.0%	0.0%	3.0%	0.0%	3.0%
Σύνολο	15.0%	13.0%	22.0%	30.0%	20.0%

Πίνακας 2: Διαβουλεύσεις με την υπηρεσία οδοποιίας κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού

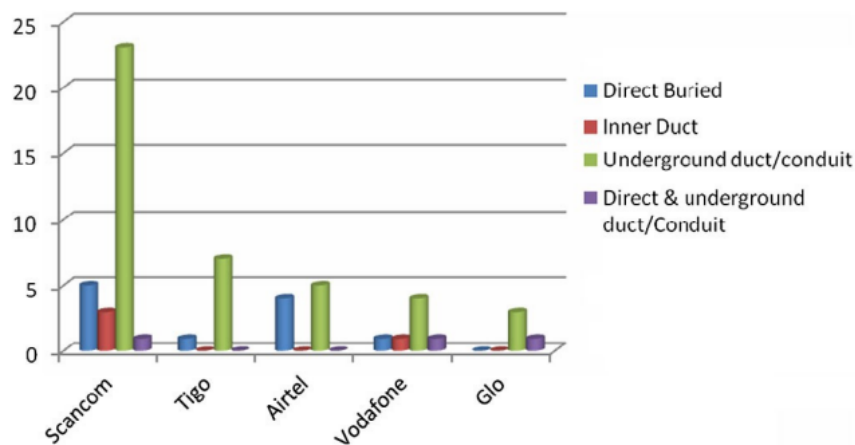
Φορέας εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας	Διαφωνώ απόλυτα	Διαφωνώ	Ούτε συμφωνώ ούτε διαφωνώ	Συμφωνώ	Συμφωνώ απόλυτα
Scancom	12%	28%	10%	3%	0%
Tigo	2%	8%	0%	3%	0%
Airtel	3%	5%	2%	3%	2%
Vodafone	2%	5%	3%	2%	0%
Glo	2%	5%	0%	0%	0%
Σύνολο	20%	52%	15%	12%	2%

Πίνακας 3: Η άποψη του φορέα εκμετάλλευσης δικτύου για τις βέλτιστες πρακτικές στην ανάπτυξη οπτικών ινών

Τα σχήματα 2 και 3 παρουσιάζουν τις στρατηγικές εγκατάστασης που χρησιμοποιούν οι πάροχοι στην Γκάνα. Το εβδομήντα τοις εκατό των παρόχων χρησιμοποιούν τον υπόγειο αγωγό / αγωγό, το 18% χρησιμοποιεί την απευθείας θαμμένη, το 7% τη μέθοδο εσωτερικού αγωγού και το 5% τον απευθείας και υπόγειο αγωγό / αγωγό. Η ανάλυση από τα παραπάνω, επομένως, δείχνει ότι οι περισσότεροι πάροχοι υιοθετούν τη μέθοδο υπόγειου αγωγού/αγωγού για την ανάπτυξη καλωδίων οπτικών ινών στη μετάδοση.



Σχήμα 2: Τεχνικές εγκατάστασης που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση καλωδίων οπτικών ινών

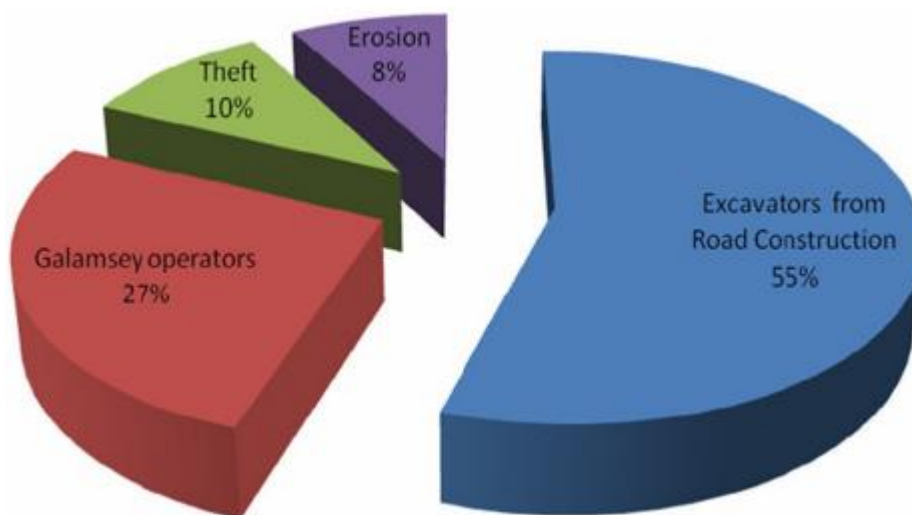


Σχήμα 3: Ποιος τύπος εγκατάστασης χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση των καλωδίων οπτικών ινών

Οι ερωτηθέντες κατηγόρησαν για πολλές περικοπές καλωδίων οπτικών ινών την εκσκαφή του δρόμου κατά τη διάρκεια της οδοποιίας και άλλων κατασκευαστικών δραστηριοτήτων κατά μήκος των πλευρών του δρόμου. Οι ερωτηθέντες ισχυρίστηκαν ότι παρά την παρουσία προειδοποιητικών ταινιών, οι εργολάβοι οδοποιίας έκαναν εκσκαφές και κατέστρεφαν τις υποδομές καλωδίων οπτικών ινών που ήταν θαμμένες στο υπέδαφος. Επί του παρόντος, το 55% όλων των περιστατικών αποκοπής καλωδίων οπτικών ινών οφείλεται σε εκσκαφές δρόμων, οι εργασίες της Galamsey (τοπικοί χρυσοθήρες) συμβάλλουν επίσης στο 27% όλων των αποκοπών καλωδίων οπτικών ινών, ενώ η κλοπή αντιπροσωπεύει το 10%. Η διάβρωση συμβαίνει ως αποτέλεσμα μιας καταρρακτώδους βροχής- αυτή και οι ανθρώπινες δραστηριότητες ευθύνονται επίσης για το 8%. Τα παραδοσιακά υπόγεια καλώδια για τη μεταφορά δεδομένων και ηλεκτρικής ενέργειας ήταν κυρίως χάλκινα.

Η πρακτική της κοπής και της πώλησης αυτών των χάλκινων καλωδίων ήταν η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετώπιζαν οι φορείς του κλάδου όλα αυτά τα χρόνια. Ωστόσο, τα καλώδια οπτικών ινών πάντα εκλαμβάνονταν λανθασμένα από αυτούς τους κλέφτες ως καλώδια χαλκού και, ως εκ τούτου, οι απόπειρες κλοπής των καλωδίων έχουν ως αποτέλεσμα τη διακοπή του δικτύου.

Ο βασικός παράγοντας που συμβάλλει στην αποκοπή των οπτικών ινών είναι ότι η εκσκαφή από τους εργολάβους οδοποιίας κατά την κατασκευή δρόμων αποτελεί σημαντική αιτία αποκοπής καλωδίων οπτικών ινών. Έγινε μια προσπάθεια ανάλυσης των λόγων που κρύβονται πίσω από τα υψηλά ποσοστά αποκοπών από τους εργολάβους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Οι ερωτηθέντες ήταν της άποψης ότι οι διαδρομές των καλωδίων οπτικών ινών δεν κοινοποιούνται στους εργολάβους οδοποιίας, και ως εκ τούτου αδυνατούν να προσδιορίσουν την παρουσία καλωδίων οπτικών ινών κατά μήκος της διαδρομής κατασκευής. (Nyarko-Boateng κ.ά., 2020)



Σχήμα 4: Ποιες είναι οι αιτίες των συχνών περικοπών των ινών

### 5.3.5 Διαχείριση μετά την ανάπτυξη

Οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών έχουν προσαρμοστεί στη διαχείριση των προκλήσεων μετά την εγκατάσταση. Το Σχήμα 4 αποκάλυψε ότι η διαχείριση των καλωδίων οπτικών ινών μετά την ανάπτυξη είναι άθλια, γεγονός που πιθανόν να είναι η αιτία για τις συχνές περικοπές στις οπτικές ίνες. Το 37% των ερωτηθέντων διαφωνεί, το 20% είχε ουδέτερη γνώμη, το 6% διαφωνεί απόλυτα, το 27% συμφωνεί, ενώ το 10% συμφωνεί απόλυτα. Ωστόσο, οι ερωτηθέντες συμφωνούν ότι υπάρχει αποτελεσματικό σύστημα εντοπισμού και αναφοράς βλαβών στα οπτικά δίκτυα. Το 50% των ερωτηθέντων συμφωνεί, το 23% συμφωνεί απόλυτα, το 12% διαφωνεί, το 10% ούτε συμφωνεί ούτε διαφωνεί, ενώ το 5% διαφωνεί απόλυτα. Το επιχείρημα που προκύπτει από τα Σχήματα 6 και 7 είναι ότι η διαχείριση μετά την εγκατάσταση γίνεται περισσότερο αντιδραστικά παρά με την υιοθέτηση προληπτικών μέτρων. Οι αντιδραστικές διαδικασίες διαχείρισης έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο δίκτυο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.

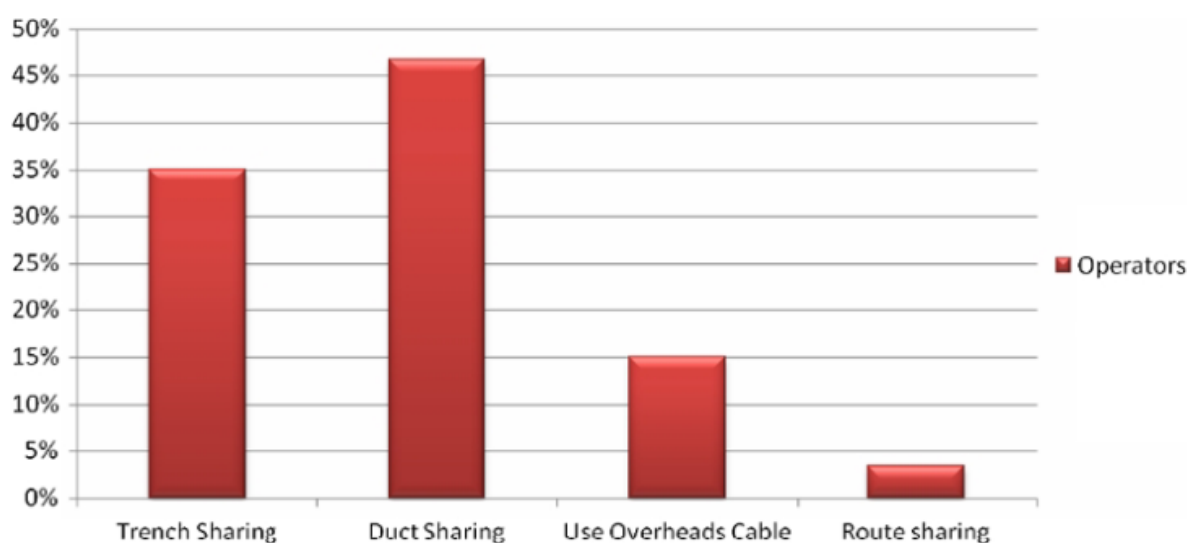
Στον πίνακα 4, και οι πέντε φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας συμφωνούν ότι οι περικοπές καλωδίων οπτικών ινών επηρεάζουν έντονα το δίκτυο με 41 ερωτηθέντες που αντιπροσωπεύουν το 68% να δηλώνουν ότι ο αντίκτυπος είναι πολύ υψηλός, 16 ερωτηθέντες που αντιπροσωπεύουν το 27% να δηλώνουν ότι ο αντίκτυπος είναι υψηλός, ενώ τρεις ερωτηθέντες που αντιπροσωπεύουν το 5% δήλωσαν ότι ο αντίκτυπος είναι μέτριος. Συλλογικά, οι απαντήσεις δείχνουν ένα υψηλό επίπεδο απωλειών που βιώνουν οι πάροχοι όταν υπάρχει διακοπή στην υποδομή του οπτικού δικτύου.

Φορέας εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας	Πολύ υψηλή		Υψηλή		Μεσαία	
	συχνότητα	%	συχνότητα	%	συχνότητα	%
Scancom	24	40%	6	10%	2	3%
Tigo	5	8%	3	5%	0	0%
Airtel	5	8%	4	7%	0	0%
Vodafone	5	8%	2	3%	0	0%
Glo	2	3%	1	2%	1	2%
Σύνολο	41	68%	16	27%	3	5%

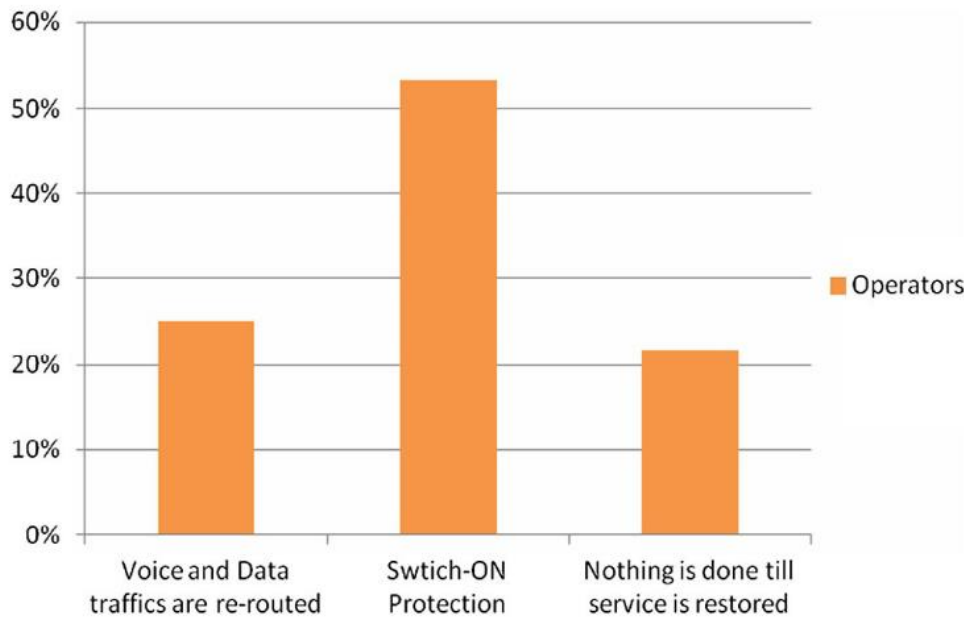
Πίνακας 4: Επιπτώσεις των βλαβών των ινών στο δίκτυο

Στο Σχήμα 5, οι φορείς ήταν της άποψης ότι η κοινή χρήση αγωγών θα βοηθούσε στη μείωση των επιπτώσεων από την αποκοπή καλωδίου οπτικών ινών. Εάν όλοι οι φορείς εκμετάλλευσης μοιράζονται έναν αγωγό, οι θέσεις των αγωγών θα κοινοποιούνταν στους φορείς του κλάδου των οποίων οι ενέργειες συμβάλλουν κυρίως στην αποκοπή καλωδίων οπτικών ινών. Η πρακτική διαχείρισης μετά την εγκατάσταση θα ενημερώνει όλα τα μέρη για κάθε απειλή αποκοπής καλωδίου οπτικών ινών. Το άρθρο μπορεί να συμπεράνει από την ανάλυση ότι οι φορείς του κλάδου πρέπει να ασχολούνται και να ενημερώνονται συνεχώς για τα δύσκολα ζητήματα που αντιμετωπίζει η υποδομή οπτικών δικτύων.

Η κύρια εντολή του παρόχου είναι να παρέχει στους πελάτες του αδιάλειπτες υπηρεσίες δικτύου ανά πάσα στιγμή. Στο Σχήμα 6, στο 53% των περιπτώσεων που συμβαίνει αυτό, το δίκτυο μεταβαίνει αυτόματα σε κατάσταση προστασίας, η κίνηση δεδομένων και φωνής ανακατευθύνεται σύμφωνα με το 25% των ερωτηθέντων, ενώ το 22% των ερωτηθέντων δηλώνει ότι δεν έγινε τίποτα μέχρι να αποκατασταθεί η υπηρεσία.



Σχήμα 5: Ποιο διαχειριστικό πλαίσιο θα πρέπει να προσαρμόσουν οι εταιρείες για να ελαχιστοποιήσουν τις περικοπές οπτικών ινών



Σχήμα 6: Τι πρέπει να γίνει για να μειωθεί ο αντίκτυπος στους πελάτες

#### 5.4 Η περίπτωση του Μεξικού: Ανάγκη προσιτής πρόσβασης στο διαδίκτυο για αγροτικές κοινότητες

Δυστυχώς οι κάτοικοι των αγροτικών περιοχών έχουν περιορισμένη πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Συνεπώς έχουν ελάχιστη πρόσβαση σε υπηρεσίες, όπως δημόσιες υπηρεσίες, τραπεζικές συναλλαγές κτλ. Η πρόσβαση στο Διαδίκτυο έχει αποδείξει ότι συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη της οικονομίας και έχει κοινωνικά οφέλη σε αναπτυσσόμενες περιοχές. Επίσης βελτιώνει τον τομέα της εκπαίδευσης, της επιχειρηματικότητας καθώς και το σύστημα υγείας. Ο δείκτης της ανεργίας είναι χαμηλότερος κατά 0.26 τοις εκατό σε χώρες με υψηλές ταχύτητες σύνδεσης και η οικονομία αναπτύσσεται κατά 1.5 τοις εκατό όταν η διείσδυση των τηλεπικοινωνιών είναι αυξημένη κατά 1.38 τοις εκατό σε χαμηλό-μεσαίες οικονομίες.

Σε αγροτικές περιοχές στις οποίες έχει αναπτυχθεί η πρόσβαση στο Διαδίκτυο έχουν επωφεληθεί όλες οι δραστηριότητες αγροτικές και μη, περιλαμβάνοντας και τις προσωπικές δραστηριότητες καθώς και την υγεία, την επικοινωνία και την εκπαίδευση.

Μια από τις βασικές δραστηριότητες στις αγροτικές περιοχές είναι η ενασχόληση με τη γεωργία. Η παραγωγικότητα σε αυτές τις περιοχές επηρεάζει ολόκληρη την κοινωνία. Επιπλέον, έρευνες έχουν δείξει ότι οι αγροτικές περιοχές με πρόσβαση στο Διαδίκτυο έχουν μεγαλύτερα επίπεδα ανάπτυξης στην εργασία και στον αριθμό των μικρών επιχειρήσεων.

Αν και υπάρχουν κοινωνικά και οικονομικά οφέλη, υπάρχουν τεχνικές και μη τεχνικές δυσκολίες οι οποίες καθιστούν δύσκολη την κατανομή των οπτικών ινών σε αγροτικές περιοχές. Στη μη τεχνικές δυσκολίες, η ζήτηση και το κόστος των υποδομών είναι σημαντικοί παράγοντες επιρροής. (Moncayo-Martínez & Salcedo, 2023)

#### **5.4.1 Προσεγγίσεις για την υπέρβαση της ψηφιακής υποβάθμισης στις αγροτικές περιοχές**

Το πρόβλημα της Δικτύωσης των αγροτικών περιοχών έχει μελετηθεί περεταίρω. Στις διάφορες μελέτες που έχουν γίνει, αυτό το ζήτημα έχει προσεγγιστεί με διάφορους τρόπους και διαφορετικές τεχνικές. Μία από αυτές τις μελέτες προτείνει την ανάπτυξη μιας αρχιτεκτονικής Fiber To The x χρησιμοποιώντας ενσύρματη και ασύρματη τεχνολογία. Η τοπολογία του δικτύου περιέχει κεντρικά γραφεία (CO), κόμβους Steiner, εγκαταστάσεις και τελικούς χρήστες. Σχεδιάστηκε ένα δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί οπτική ίνα, χαλκό και τεχνολογία οπτικής επικοινωνίας στον ελεύθερο χώρο για ασύρματη μετάδοση (Free Space optical communication – FSO). Με βάση αυτό το δίκτυο, σχεδιάστηκε αλγόριθμος ο οποίος ελαχιστοποιεί το κόστος σύνδεσης ενός χρήστη.

Μια ακόμη προσέγγιση, με βάση την βελτίωση του κόστους, έγινε σε μια άλλη έρευνα. Σε αυτή την περίπτωση σχεδιάστηκε ένα δίκτυο FTTx με διαδραστική επίλυση προβλημάτων όπως η συνδεσιμότητα, το πρόβλημα των κεντρικών γραφείων, του διαχωρισμού του σήματος, της εγκατάστασης κόμβων και προβλήματα εγκατάστασης καλωδίων και αγωγών. Οι συγγραφείς της έρευνας στήριζαν την προσέγγισή τους σε δυο πολύ γνωστά προβλήματα στη συνδυαστική βελτιστοποίηση: στο δέντρο Steiner και στη θέση της χωρητικοποιημένης εγκατάστασης.

Σε άλλη μελέτη, η μέθοδος που ακολουθήθηκε είχε ως στόχο την ελαχιστοποίηση των κεφαλαιουχικών δαπανών που σχετίζονται με την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικής πρόσβασης FTTHome. Η μελέτη, συγκεκριμένα στην Ισπανία, ανέφερε ξεκάθαρα ότι το κόστος καλωδίωσης θα μπορούσε να είναι έως και 22% του κόστους εγκατάστασης στα κτήρια.

Οι παραπάνω προσεγγίσεις εφαρμόστηκαν σε αστικές περιοχές. Η μελέτη για το Μεξικό στοχεύει στη σύνδεση κοινοτήτων αγροτικών περιοχών. Χρησιμοποιείται ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) για τη μοντελοποίηση του δικτύου και τον υπολογισμό ενός πίνακα με τις οδικές αποστάσεις.

#### **5.4.2 Διεύρυνση του δικτύου οπτικών ινών στην πράξη για την αγροτική συνδεσιμότητα**

Όπως και στις αστικές περιοχές, ένα σημαντικό στοιχείο για το κόστος των υποδομών στις αγροτικές περιοχές είναι οι οικοδομικές εργασίες, οι οποίες περιλαμβάνουν τη δημιουργία χαρακωμάτων, εγκατάσταση σωλήνων, εγκατάσταση προειδοποιητικής ταινίας και εργασίες επίχωσης. Επομένως, όσο μεγαλύτερο είναι το δίκτυο οπτικών ινών τόσο υψηλότερο είναι το κόστος υποδομής και το κόστος των οπτικών ινών. Έτσι η τοπολογία του δικτύου είναι ένα πρωταρχικό χαρακτηριστικό σχεδιασμού όχι μόνο για την μεθοδολογία της κοστολόγησης αλλά και για την απόδοση του δικτύου.(Moncayo-Martínez & Salcedo, 2023)

Η προσέγγιση για την περίπτωση αυτής της μελέτης προϋποθέτει ότι η μόνη τεχνολογία για την παροχή υπηρεσιών Διαδικτύου είναι η οπτική ίνα, η οποία εγκαθίσταται παράλληλα με μονοπάτια, δρόμους και αυτοκινητόδρομους.

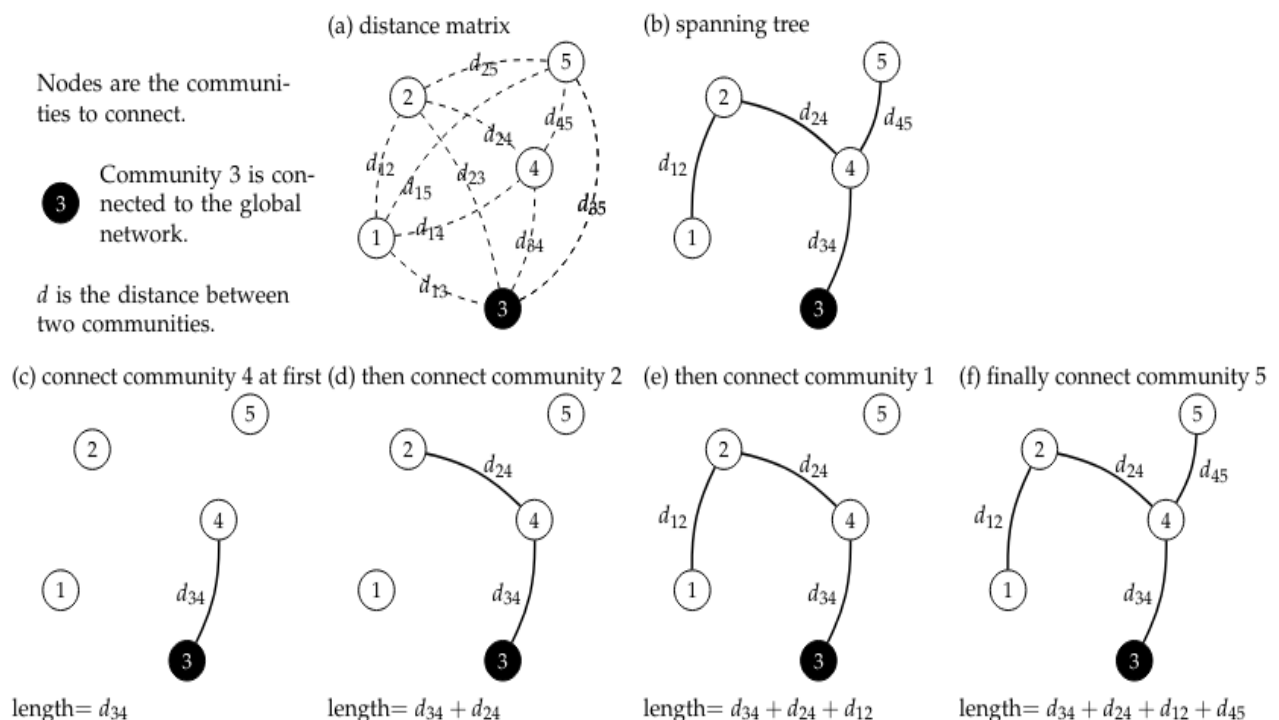
Αν και το δορυφορικό Internet είναι μια εναλλακτική λύση για την παροχή υπηρεσιών Διαδικτύου σε αγροτικές κοινότητες, λόγω της ταχύτητάς του, της γρήγορης εγκατάστασης και της ασφάλειας, η λύση δεν είναι ούτε προσιτή ούτε αξιόπιστη λόγω της εξάρτησης από τις καιρικές συνθήκες, την τιμή της παροχής υπηρεσίας, της εξειδικευμένης εγκατάστασης και της



καθυστέρησης μεταφοράς. Επομένως για να έχει ωφέλιμο αντίκτυπο στις αγροτικές κοινότητες, είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί οπτικό δίκτυο για να καλυφθεί η ζήτηση για υψηλές ταχύτητες σύνδεσης.

Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι δρόμοι γιατί αυτή είναι συνηθέστερη πρακτική εγκατάστασης ινών από τη μεριά των τηλεπικοινωνιακών εταιριών. Για αρχή υπολογίζεται η μικρότερη απόσταση όλων των κοινοτήτων κάνοντας χρήση του OpenStreetMap με βάση τους πραγματικούς δρόμους. Αφού έχει υπολογιστεί το ελάχιστο εκτεινόμενο δέντρο (spanning tree), θα πρέπει να αποφασιστεί με ποια σειρά θα συνδεθούν στο δίκτυο οι αγροτικές κοινότητες.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται το πρόβλημα το οποίο επιλύει η εφαρμογή που αναπτύχθηκε για την περίπτωση του Μεξικού. Πρώτα, έχουν υπολογιστεί όλες οι κοντινότερες διαδρομές μεταξύ των κοινοτήτων χρησιμοποιώντας το σύστημα GIS του OpenStreetMap, το ελάχιστο εκτεινόμενο δέντρο δημιουργείται από την επιλογή των κορυφών (κοινοτήτων) οι οποίες ελαχιστοποιούν το συνολικό μήκος του δικτύου. Έπειτα, ο χρήστης επιλέγει τη σειρά με την οποία θα πρέπει να συνδεθούν. Στο παράδειγμα αυτό, η κοινότητα 3 είναι ήδη συνδεδεμένη στο παγκόσμιο δίκτυο άρα το δίκτυο θα επεκταθεί χρησιμοποιώντας αυτή την κοινότητα πρώτα. Η πρώτη κοινότητα που θα συνδεθεί θα είναι η κοινότητα 4 η οποία προσθέτει  $d_{34}$  χιλιόμετρα στο συνολικό μήκος του δικτύου, όπως στο γράφημα 1c. Στο γράφημα 1d το δίκτυο μπορεί να επεκταθεί με τη σύνδεση της κοινότητας 2 ή 5 ανάλογα με την επιλογή κριτηρίου, τελικά επιλέγεται η κοινότητα 2. Στο 1e, οι κοινότητες 1 και 5 είναι υποψήφιες για να συνδεθούν. Τελικά η κοινότητα 5 συνδέεται στο δίκτυο όπως φαίνεται στο γράφημα 1f και το συνολικό μήκος του δικτύου είναι το άθροισμα των αποστάσεων στα σχήματα 1c-f.



Σχήμα 7: Γραφική αναπαράσταση του προβλήματος που επιλύει η εφαρμογή

Για να συνδεθεί μια κοινότητα στο δίκτυο, ο χρήστης της εφαρμογής μπορεί να επιλέξει τρία κριτήρια: σύνδεση της κοντινότερης κοινότητας, σύνδεση της πιο πολυπληθούς κοινότητας, η κοινότητα που αυξάνει την αναλογία μεταξύ του συνδεδεμένου πληθυσμού και του μήκους του δικτύου.

Για τις δοκιμές αυτής της μελέτης επιλέχθηκε μια αγροτική περιοχή στο νότιο Μεξικό, την πολιτεία του Morelos, της οποίας η κύρια δραστηριότητα είναι η γεωργία και ο τουρισμός. Αυτή η περιοχή συνεισφέρει 1.1% στο συνολικό ΑΕΠ του Μεξικού. Η μεξικανική κυβέρνηση τροποποίησε το σύνταγμά της για την εισαγωγή ατομικών δικαιωμάτων σε όλους τους μεξικανούς να έχουν πρόσβαση στις τεχνολογίες της επικοινωνίας και της πληροφορίας καθώς και τις υπηρεσίες ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένης της ευρυζωνικής πρόσβασης στο δίκτυο.

Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν ο σχεδιασμός ενός αλγορίθμου ο οποίος όχι μόνο υπολογίζει το ελάχιστο μήκος της οπτικής ίνας για να συνδεθούν οι αγροτικές κοινότητες, αλλά δημιουργεί και ένα πλάνο το οποίο δίνει προτεραιότητα στις κοινότητες, σχετικά με το ποια σειρά θα πρέπει να συνδεθούν.

Η περιοχή του Morelos μοντελοποιήθηκε ως ένας γράφημα  $G = \{V, E\}$ , όπου το  $V = \{1, \dots, j\}$  αντιπροσωπεύει τις κοινότητες και το  $E = \{(1,i), (i,j), \dots, (j,I)\}$  τις κοινότητες που συνδέονται μεταξύ τους. Η απόσταση μεταξύ των κοινοτήτων  $i$  και  $j$  είναι  $d_{ij}$ . Όλες οι αποστάσεις μεταξύ των κοινοτήτων αποθηκεύονται σε ένα πίνακα  $M$ . Για τον υπολογισμό του πίνακα  $M$ , γίνεται υπόθεση ότι οι οπτικές ίνες θα εγκατασταθούν κατά μήκος του οδικού δικτύου.

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο κοινοτήτων, η εφαρμογή χρησιμοποιεί δεδομένα από το OpenStreetMap και δημιουργεί ένα οδικό δίκτυο αποτελούμενο από τις γεωγραφικές συντεταγμένες  $P1 = (\varphi_{north}, \lambda_{west})$  και  $P2 = (\varphi_{south}, \lambda_{east})$ . Κάθε κοινότητα χαρακτηρίζεται από μια συντεταγμένη  $c$ , η οποία περιέχει το γεωγραφικό πλάτος ( $\varphi$ ) και το γεωγραφικό μήκος ( $\lambda$ ). Για να βρεθεί η οδική απόσταση  $d_{ij}$ , μεταξύ δύο κοινοτήτων, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος του Dijkstra.

Το πρόβλημα της σύνδεσης ορισμένων κοινοτήτων με οπτική ίνα μοντελοποιήθηκε ως το πρόβλημα βελτιστοποίησης, που ονομάζεται ελάχιστο εκτεινόμενο δέντρο. Ένα τέτοιο δέντρο αναφέρεται ως  $T = \{V_T, E_T\}$  και είναι ένα υπό-γράφημα του  $G$  το οποίο ικανοποιεί δύο συνθήκες: i) όλες οι κορυφές συνδέονται με  $|V| - 1$  άκρες, και ii) η επανεμφάνιση βρόχων δεν επιτρέπεται ως συνέπεια της πρώτης συνθήκης.

Ο παρακάτω τύπος διατυπώνει αυτό το πρόβλημα.

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } (i,j) \in T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

*Εξίσωση 1*

Δηλαδή αν δύο κοινότητες είναι συνδεδεμένες με οπτική ίνα , η μεταβλητή  $y_{ij}$  ισούται με 1.

Παρακάτω η εξίσωση 2a είναι συνάρτηση που ελαχιστοποιεί το μήκος της οπτικής ίνας του δικτύου. Έτσι αν οι κοινότητες  $i$  και  $j$  είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους, η απόσταση  $d_{ij}$  προστίθεται στο συνολικό μήκος. Η εξίσωση 2b διασφαλίζει ότι το εκτεινόμενο δέντρο (spanning tree) έχει ακριβώς  $|V|-1$  ακμές για να ικανοποιείται η πρώτη συνθήκη. Η εξίσωση 2c εγγυάται ότι το σύνολο  $T$  δεν περιέχει δύο φορές το ίδιο στοιχείο, δημιουργώντας υποσύνολα  $S \subseteq E$  με  $|S|-1$  ακμές. Το γεγονός ότι κάθε υποσύνολο έχει ακριβώς  $|S|-1$  ακμές εγγυάται ότι δεν υπάρχουν επαναλήψεις. Τέλος ο περιορισμός στην εξίσωση 2d εγγυάται ότι όλες οι μεταβλητές έχουν δυαδική μορφή, όπως ορίζεται στην εξίσωση 1.

$$\text{minimize} \quad \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} y_{ij} \quad (2a)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{(i,j) \in E} y_{ij} = |V| - 1 \quad (2b)$$

$$\sum_{\substack{(i,j) \in E \\ i,j \in S}} y_{ij} \leq |S| - 1, \forall S \subseteq V, |S| > 1 \quad (2c)$$

$$y_{ij} = (0,1), \forall (i,j) \in E \quad (2d)$$

*Εξισώσεις 2a, 2b, 2c, 2d*

Σε αυτή τη διατύπωση, όλα τα πιθανά υποσύνολα πρέπει να κατασκευαστούν για να διασφαλιστεί ότι όλα έχουν ακριβώς  $|S|-1$  ακμές, όπως αναφέρεται στη σχέση 2c.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την επίλυση αυτού το προβλήματος είναι ο αλγόριθμος Kruskal. Αυτός ο αλγόριθμος προσφέρει ευκολία και χαμηλό χρόνο επεξεργασίας για τον επεξεργαστή που χρησιμοποιεί ο υπολογιστής και τρέχει το πρόγραμμα, για τον υπολογισμό της λύσης.

Ο παρακάτω αλγόριθμος επιστρέφει την ελάχιστη απόσταση για τη σύνδεση όλων των κοινοτήτων, δηλαδή επιστρέφει τη βέλτιστη τιμή της εξίσωσης 2a και το σύνολο των ακμών του ελάχιστου δέντρου  $T$ .

---

**Algorithm 1:** Kruskal's algorithm.

---

**Data:** A graph  $G = \{V, E\}$  and  $M = [d_{ij}]$   
**Result:** A spanning tree  $T = \{V_T, E_T\}$  that minimises the network length.

```
1 set  $E_T = \{\}$  and  $V_T = \{\}$ ;  
2 set network_length = 0;  
3 sort  $(i, j) \in E$  in ascending order according to  $d_{ij}$ ;  
  /* While loop to solve Equation (2b) */  
4 while  $|E_T| \leq |V| - 1$  do  
5   get  $(i, j) \mid \min_{(i,j) \in E} \{d_{ij}\}$ ;  
6   if  $i$  or  $j \notin V_T$  then  
7      $E_T \leftarrow (i, j)$  and  $V_T \leftarrow i, j \mid i, j \notin V_T$ ;  
8     set  $y_{ij} = 1$  (Equation (2d)) and network_length +=  $d_{ij}y_{ij}$  (Equation (2a));  
9     go to 14;  
  /* Be sure not to cycle to solve Equation (2c) */  
10  if  $i, j \in V_T$  and  $(i, k), (k, l), (l, *) \dots (*, j) \notin E_T$  then  
11     $E_T \leftarrow (i, j)$ ;  
12    set  $y_{ij} = 1$  (Equation (2d)) and network_length +=  $d_{ij}y_{ij}$  (Equation (2a));  
13    go to 14;  
14  compute  $|E_T|$ ;
```

---

Εικόνα 5.4.2.1: Περιγραφή αλγόριθμου Kruskal

Σειρά με την οποία θα συνδεθούν οι κοινότητες.

Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω αλγόριθμο, υπολογίζεται το ελάχιστο εκτεινόμενο δέντρο (spanning tree) το οποίο αντιπροσωπεύει το δίκτυο ινών με το ελάχιστο μήκος. Έτσι λύνεται το μοντέλο στην εξίσωση 2.

Μαθηματικά, το εκτεινόμενο δέντρο είναι  $T = \{V_T, E_T\}$ , άρα οι άκρες  $(i, j)$  αυτού του δικτύου ινών που ελαχιστοποιούν το μήκος είναι σε  $E_T$ . Σε αυτό το σημείο, ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων γνωρίζει την τοπολογία και το μήκος του δικτύου, αλλά δεν ξέρει με ποια σειρά να συνδέσει τις κοινότητες. Η εφαρμογή επιστρέφει ένα σύνολο διατεταγμένων κοινοτήτων όπως  $O = \{k, \dots, \lambda, \dots, M, \dots, n\}$ .

Συνήθως, όταν μια εταιρεία επιθυμεί να αναπτύξει ένα δίκτυο οπτικών ινών σε αγροτικές περιοχές γνωρίζει δύο γεγονότα: α) υπάρχει ήδη μια κοινότητα που είναι συνδεδεμένη σε ένα ευρύτερο οπτικό δίκτυο και θα αποτελέσει τον συνδετικό κρίκο για τις υπόλοιπες κοινότητες, και β) δεν μπορεί να συνδέσει όλες τις αγροτικές κοινότητες μονομιάς εξαιτίας του ποσού της επένδυσης.

Το πρώτο γεγονός έχει γίνει γνωστό στην εταιρεία από κάποια αρμόδια αρχή του κράτους. Το δεύτερο, αποτελεί πιο περίπλοκη περίπτωση αφού η εταιρεία πρέπει να αποφασίσει πως να επεκτείνει την οπτική ίνα από την ήδη συνδεδεμένη κοινότητα με το διαθέσιμο κεφάλαιο. Για να αποφασίσει ποια κοινότητα θα συνδέει κάθε φορά, προτείνονται τρία κριτήρια.

### Σύνδεση της κοντινότερης κοινότητας

Αν η κοινότητα  $k$  είναι μια ήδη συνδεδεμένη κοινότητα, τότε η κοινότητα  $j$  που πρέπει να συνδεθεί, είναι αυτή η οποία βρίσκεται πιο κοντά στην  $k$ . Ο στόχος είναι να συνδεθεί η κοινότητα με την ελάχιστη απόσταση  $d_{kj}$ , όπως διατυπώνεται στην εξίσωση 3.

Σε αυτή την περίπτωση η εταιρεία θα απαιτήσει μικρά τμήματα ινών για την επέκταση του δικτύου. Οι άκρες που ανήκουν στο εκτεινόμενο δέντρο είναι οι μόνες που λαμβάνονται υπόψη.

$$i = \left\{ j \mid \min_{j:(k,j) \in E_T} \{d_{kj}\} \right\} \quad (3)$$

*Εξίσωση 3*

### Σύνδεση της πιο πολυπληθούς κοινότητας.

Ο στόχος αυτού του κριτηρίου είναι να συνδέσει όσο το δυνατόν περισσότερο πληθυσμό επιλέγοντας την πολυπληθέστερη κοινότητα  $j$  δεδομένου ότι υπάρχει η ακμή  $(k,j)$  στο εκτεινόμενο δέντρο με  $k$  την ήδη συνδεδεμένη κοινότητα. Επομένως, ο  $p_j$  είναι ο αριθμός των κατοίκων της κοινότητας  $j$  στην εξίσωση 4.

$$i = \left\{ j \mid \max_{j:(k,j) \in E_T} \{p_j\} \right\} \quad (4)$$

*Εξίσωση 4*

### Σύνδεση της κοινότητας που αυξάνει την αναλογία πληθυσμού/μήκος δικτύου.

Αυτό το κριτήριο έχει ως στόχο να συνδέσει όσο το δυνατόν περισσότερο κόσμο καθώς το μήκος του δικτύου δεν αυξάνεται. Οι κοινότητες που έχουν συνδεθεί αποθηκεύονται στο σύνολο  $O$ . Έτσι, ο συνδεδεμένος πληθυσμός είναι το άθροισμα των κατοίκων των κοινοτήτων που ανήκουν στο σύνολο  $O$  και το μήκος του δικτύου είναι το μήκος των στοιχείων που ανήκουν στο εκτεινόμενο δέντρο ( $E_T$ ), δεδομένου ότι οι δύο κοινότητες που σχηματίζουν ένα σύνδεσμο ανήκουν στο σύνολο  $O$ .

Η αναλογία πληθυσμού/μήκους δικτύου είναι ο λόγος τους αθροιστικού πληθυσμού των ήδη συνδεδεμένων κοινοτήτων προς το μήκος του δικτύου των κοινοτήτων που ανήκουν στο  $O$ . Επομένως η επόμενη κοινότητα που θα συνδεθεί επιλέγεται σύμφωνα με την εξίσωση 5 όπου  $k$  είναι οι ήδη συνδεδεμένες κοινότητες.

$$i = \left\{ j \mid \max_{j:(k,j) \in E_T} \left\{ \frac{\sum_{k \in O} p_k}{\sum_{k,l \in O} d_{kl}} + \frac{p_j}{d_{kj}} \right\} \right\} \quad (5)$$

#### Εξίσωση 5

#### Προτεινόμενος αλγόριθμος κατανομής της οπτικής ίνας

Ο δεύτερος αλγόριθμος περιλαμβάνει τρία μέρη: α) λήψη δεδομένων από το σύστημα GIS OSM και υπολογισμός της κοντινότερης οδικής απόστασης μεταξύ των κοινοτήτων ( στις γραμμές 1 έως 8), β) υπολογισμός του εκτεινόμενου δέντρου( spanning tree) που αντιπροσωπεύει το δίκτυο οπτικών ινών και το ελάχιστο μήκος του ( στις γραμμές από 9 έως 11 συμπεριλαμβανομένου και του αλγορίθμου 1), γ) καθορισμός της σειρά με την οποία οι κοινότητες πρέπει να συνδεθούν στο οπτικό δίκτυο (στις γραμμές 12 έως 21). Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου 2 είναι μια λίστα διατεταγμένων κοινοτήτων, που επρόκειτο να συνδεθούν στο δίκτυο, με βάση το κριτήριο που έχει επιλέξει ο χρήστης.

Στο πρώτο μέρος, ο αλγόριθμος κατεβάζει το οδικό δίκτυο από το OpenStreetMap μεταξύ δύο συντεταγμένων  $P1 = (\varphi_{north}, \lambda_{west})$  και  $P2 = (\varphi_{south}, \lambda_{east})$ , τα οποία καθορίζουν την υπό μελέτη περιοχή. Το οδικό δίκτυο αποθηκεύεται στον πίνακα OSM. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες για κάθε ενότητα  $i$   $c_i = (\varphi_i, \lambda_i)$ , είναι γνωστές και η εφαρμογή εντοπίζει κάθε  $c_i$  στην υπό μελέτη περιοχή.

Μετά, η μικρότερη απόσταση  $d_{ij}$  μεταξύ όλων των κοινοτήτων υπολογίζεται με τη χρήση του αλγορίθμου Dijkstra μέσω του OpenStreetMap (γραμμές 2 έως 7). Αυτές οι αποστάσεις αποθηκεύονται σε ένα πίνακα M (γραμμή 8).

Το επόμενο βήμα στον αλγόριθμο είναι να υπολογιστεί το εκτεινόμενο δέντρο, το οποίο αντιπροσωπεύει το ελάχιστο μήκος του δικτύου των οπτικών ινών. Στη γραμμή 9 ορίζεται το σύνολο των κορυφών V (δηλαδή των κοινοτήτων) και το σύνολο των άκρων E ( δηλαδή οι δρόμοι που συνδέουν τις κοινότητες μεταξύ τους).

---

**Algorithm 2:** Fibre optic deployment.

---

```
Data:  $P_1 = (\phi_{\text{north}}, \lambda_{\text{west}}), P_2 = (\phi_{\text{south}}, \lambda_{\text{east}}), c_i, p_i$ 
Result:  $O$ 
/* Section 2 modelling the geographic area */
1 download the road network OSM using  $P_1, P_2$  with driving distances;
2 foreach  $i \in V_T$  do
3   locate  $c_i = (\phi_i, \lambda_i)$  inside OSM;
4   foreach  $j = i + 1$  do
5     locate  $c_j = (\phi_j, \lambda_j)$  inside OSM;
6     // Using Dijkstra's algorithm
7     compute the shortest path  $d_{ij}$  from  $c_i$  to  $c_j$  in OSM;
8     // Suppose  $d_{ij} = d_{ji}$ 
9      $M[i, j] = d_{ij}$ 
10 return  $M$  // The driving distance matrix among all the communities
11 set  $G = \{V, E\}, V = \{1, \dots, i, \dots, j, \dots\}, E = \{\dots, (i, j), \dots\}$ ;
12 /* Section 2.1 build the optical fibre network */
13 run Algorithm 1 to find the  $T = \{V_T, E_T\}$  and total distance;
14 the minimal length of the network is  $\sum_{(i,j) \in E_T} d_{ij}$ ;
15 /* Section 2.2 set the order in which communities should be
   connected */
16 identify the first (already) connected community  $k$ ;
17 set  $O \leftarrow k$ ;
18 set a criterion to connect communities:  $NC$  (Equation (3)) or  $PC$  (Equation (4)) or
    $P - NL$  (5);
19 find  $\forall k : (k, j) \in E_T \mid k \in O$ ;
20 connect  $i = j$  according to the set criterion;
21 set  $O \leftarrow i$ ;
22 if  $|O| = |T|$  then
23   stop;
24 else
25   go to 15;
```

---

Εικόνα 5.4.2.2: Περιγραφή αλγόριθμου κατανομής οπτικών ινών

Στη γραμμή 10, εκτελείται ο αλγόριθμος 1 για την επίλυση της εξίσωσης 2. Έτσι το εκτεινόμενο δέντρο υπολογίζεται ως  $T = \{V_T, E_T\}$ . Από το σύνολο των άκρων  $E$  στο οδικό δίκτυο, το μοντέλο επιστρέφει το υποσύνολο των ακμών  $E_T \subset E$  που συνδέει όλες τις κοινότητες με το ελάχιστο μήκος του οπτικού δικτύου (γραμμή 11).

Μόλις υπολογιστεί η τοπολογία του δικτύου οπτικών ινών, το επόμενο βήμα είναι να καθοριστεί η σειρά με την οποία πρέπει να συνδεθούν οι κοινότητες (γραμμές 12 έως 21). Σε αυτό το σημείο η εφαρμογή γνωρίζει πώς πρέπει να συνδεθούν όλες οι κοινότητες για να ελαχιστοποιηθεί το μήκος του δικτύου αλλά η σειρά με την οποία πρέπει να γίνει αυτό είναι άγνωστη.

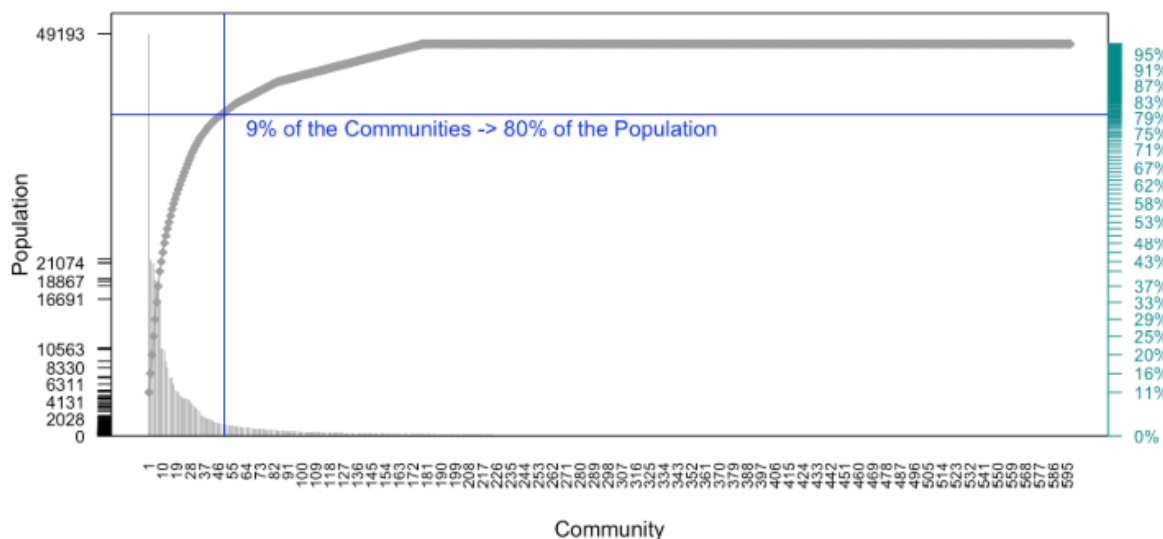
Ο αλγόριθμος εντοπίζει την πρώτη συνδεδεμένη κοινότητα  $k$ . Έτσι, σχηματίζεται  $O=\{k\}$  (γραμμές 12 και 13). Στη συνέχεια ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ένα από τα τρία κριτήρια για τη σύνδεση των κοινοτήτων στο δίκτυο των οπτικών ινών.

Μόλις επιλεγθεί το κριτήριο, ο αλγόριθμος βρίσκει όλες τις κοινότητες  $k$  που είναι ήδη συνδεδεμένες (γραμμή 15) και βρίσκονται στο σύνολο  $O$ . Στη γραμμή 16 η εξίσωση του επιλεγμένου κριτηρίου υλοποιείται για όλα τα  $k$  που ανήκουν στο  $O$  και στη συνέχεια επιλέγεται κάθε κοινότητα που συμφωνεί με το κριτήριο και αποθηκεύεται στο  $O$ . Εάν όλες οι κοινότητες έχουν συνδεθεί τότε ο αλγόριθμος σταματά αλλιώς η εφαρμογή επιλέγει όλες τις συνδεδεμένες κοινότητες και επιλέγει μία για προσθήκη στο  $O$ .

### Αποτελέσματα

Ο αλγόριθμος 2 δοκιμάστηκε για μια γεωγραφική περιοχή του Μεξικού και πραγματοποιήθηκε με χρήση MacBook Pro (2,8 GHz Quad-Core Intel Core i7 και 16 GB Μνήμη RAM) και Python 3.6.6 (Spyder 4.0.1).

Η υπό μελέτη περιοχή ήταν η πολιτεία του Morelos με 597 κοινότητες και 454.514 πληθυσμό. Σε μια τυπική αγροτική περιοχή του Μεξικού ο πληθυσμός κατανέμεται όπως φαίνεται στο σχήμα, δηλαδή πολλοί άνθρωποι ζουν σε μικρό αριθμό κοινοτήτων. Σε αυτή τη δοκιμαστική περίπτωση το 9% των κοινοτήτων κατέχει το 80% του πληθυσμού.

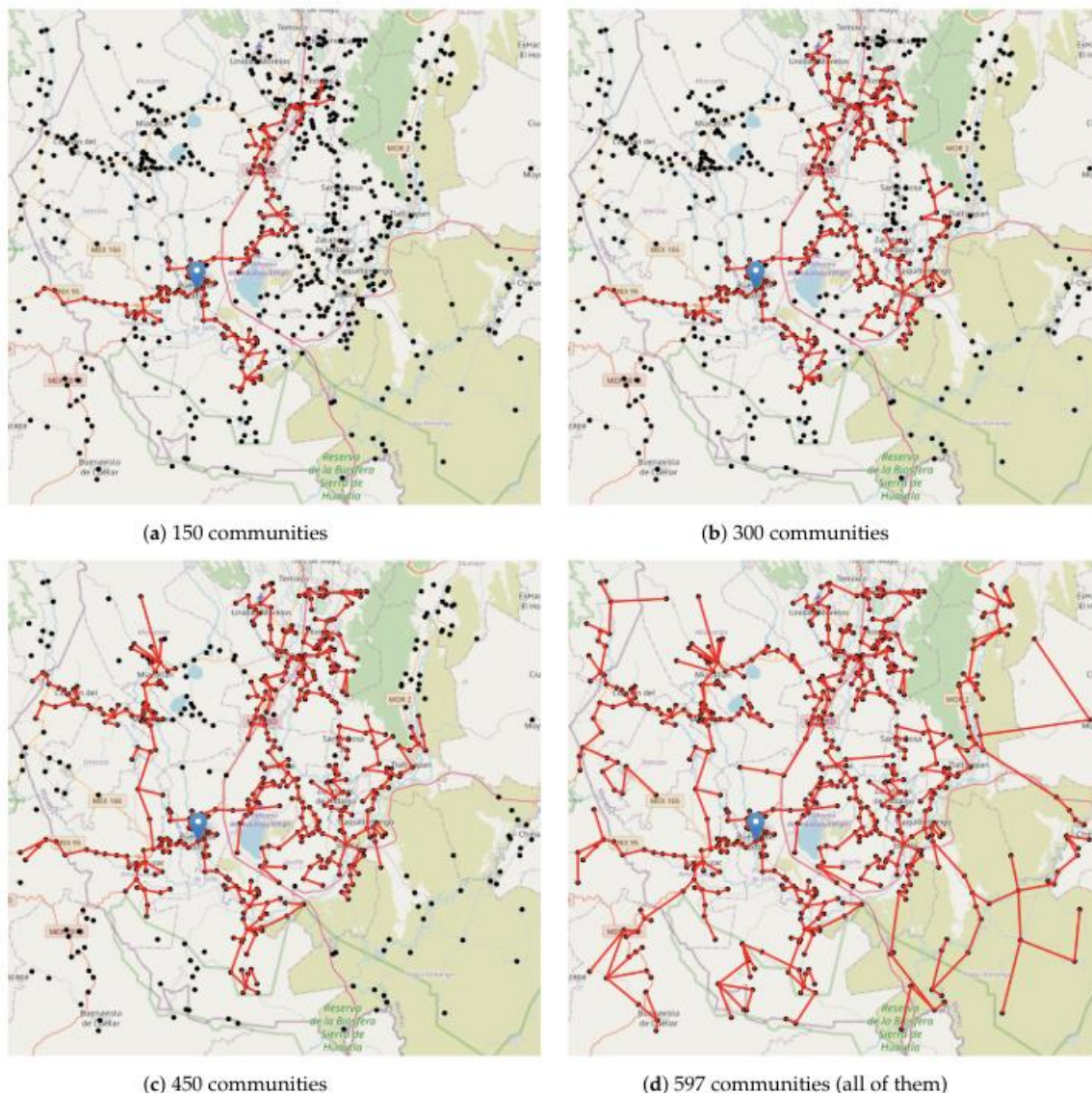


Σχήμα 8: Κατανομή του πληθυσμού σε μια αγροτική περιοχή του Μεξικού

Μόλις υπολογιστεί ο πίνακας των αποστάσεων, ο αλγόριθμος 1 επιστρέφει το ελάχιστο εκτεινόμενο δέντρο (spanning tree). Το μήκος της οπτικής ίνας για να συνδεθούν οι 597 κοινότητες φθάνει περίπου τα 949.09 χλμ. Αυτό είναι το ελάχιστο μήκος της ίνας αφού ο αλγόριθμος 1 εξάγει τη βέλτιστη λύση.

Σύμφωνα με το spanning tree  $T$ , μια εταιρεία πρέπει να αποφασίσει πως να κατασκευάσει το δίκτυο των οπτικών ινών, δεδομένου ότι δεν μπορεί να συνδέσει όλες τις κοινότητες σε μια μόνο χρονική περίοδο. Όσο περνάει ο καιρός, η εταιρεία συνδέει τις κοινότητες μέχρι εν τέλει να συνδεθούν όλες.





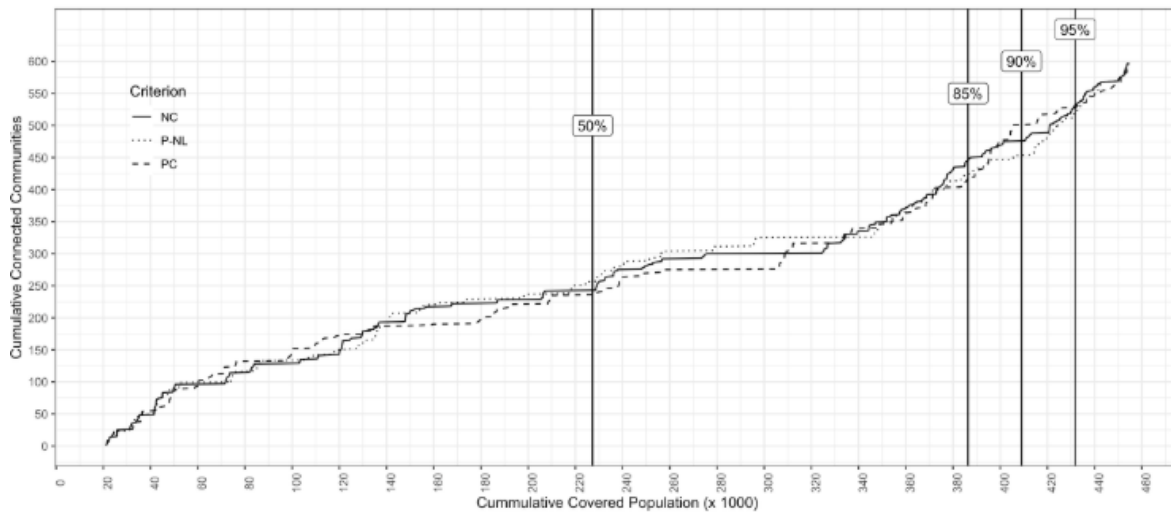
Εικόνα 5.4.2.3: Ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών με αφηρηρία το «Puente de Ixtla» με κριτήριο  $P - NL$ .

Υποτίθεται ότι η αρχική κοινότητα  $k$  που είναι ήδη συνδεδεμένη στο παγκόσμιο δίκτυο οπτικών ινών είναι η «Puente de Ixtla» με γεωγραφικές συντεταγμένες  $c_i = (18.61667, -99.31972)$ .

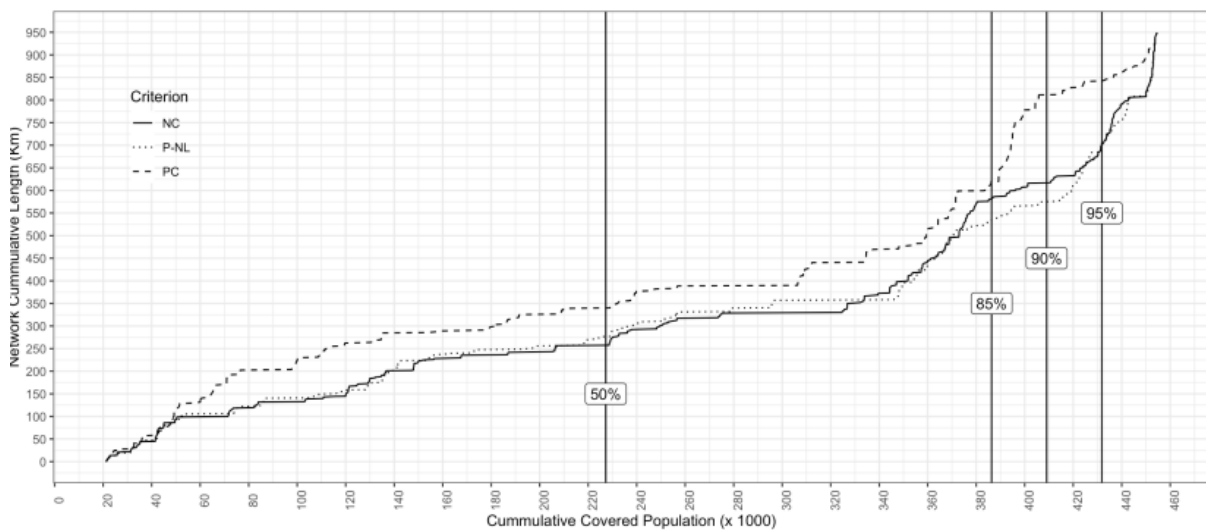
Οι κοινότητες που επρόκειτο να συνδεθούν στο δίκτυο υπολογίζονται ανάλογα με ένα από τα τρία κριτήρια που προαναφέρθηκαν. Οι μόνες συνδέσεις που είναι δυνατόν να γίνουν είναι αυτές στο εκτεινόμενο δέντρο για να εξασφαλιστεί ότι το μήκος του δικτύου είναι το μικρότερο. Αυτό είναι το τελευταίο μέρος του αλγορίθμου 2 και η έξοδος είναι η λίστα  $O$  των κοινοτήτων που πρέπει να συνδεθούν.

Στο σχήμα 9 φαίνεται η σχέση μεταξύ του καλυπτόμενου πληθυσμού και του αριθμού των συνδεδεμένων κοινοτήτων σύμφωνα με την ταξινομημένη λίστα  $O$ . Για παράδειγμα, αν η εταιρεία επιλέξει να κινηθεί με το κριτήριο της αναλογίας μεταξύ συνδεδεμένου πληθυσμού και μήκος δικτύου και επιδιώκει ποσοστό πληθυσμιακής κάλυψης της τάξεως του 90% τότε θα πρέπει να συνδέσει 450 κοινότητες. Ωστόσο αν ο υπεύθυνος θέλει να συνδέσει 500

κοινοότητες και να καλύψει το 90% του πληθυσμού, τότε το καλύτερο κριτήριο για την προσθήκη κοινοτήτων στο δίκτυο είναι η σύνδεση της πολυπληθέστερης κοινότητας.

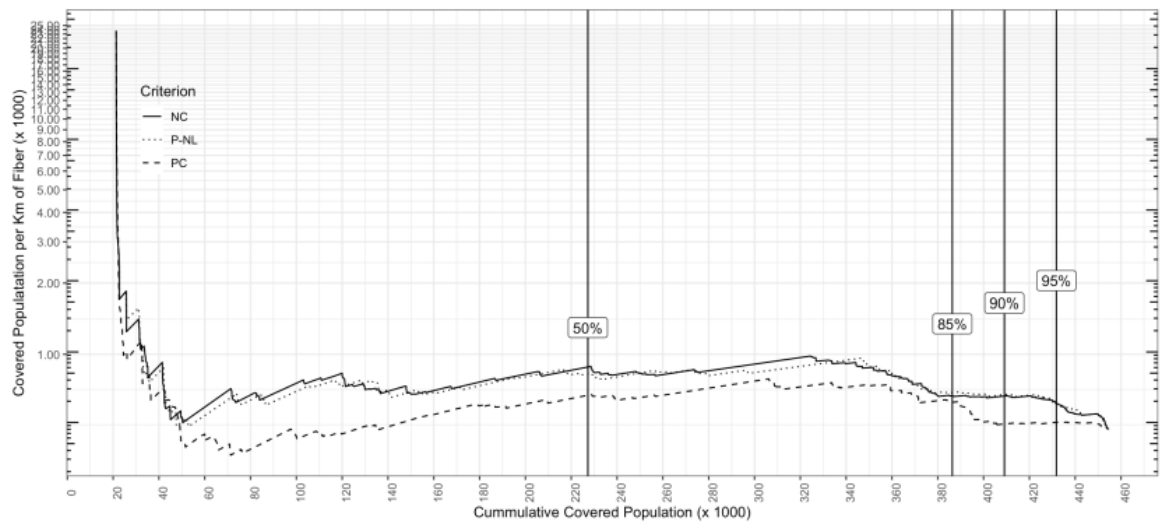


Σχήμα 9: Αριθμός συνολικών κοινοτήτων σύμφωνα με το διατεταγμένο σχέδιο O



Σχήμα 10: Συνολικό μήκος δικτύου σύμφωνα με το διατεταγμένο σχέδιο O.

Το σχήμα 10 δείχνει τα αποτελέσματα εάν ο χρήστης μετρήσει την αναλογία ( $\rho$ ) του αθροιστικά καλυμμένου πληθυσμού ανά χιλιόμετρο οπτικής ίνας. Η υψηλότερη τιμή του λόγου είναι  $\rho = 23.752,9$  συνδεδεμένα άτομα ανά χιλιόμετρο ίνας. Αν η εταιρεία θέλει να συνδέσει το 90% του πληθυσμού τότε η τιμή της αναλογίας ισούται με  $\rho = 500,2$  άτομα ανά χιλιόμετρα οπτικής ίνας. Χρησιμοποιώντας το κριτήριο NC ( Nearest Community- κοντινότερη κοινότητα) ο δείκτης  $\rho$  ισούται με 651,5 και για το P-NL ( Connected people per network length- αναλογία συνδεδεμένου πληθυσμού/ μήκος δικτύου) ο δείκτης  $\rho$  είναι 662,6. Εάν τα 454.514 άτομα καλύπτονται με το συνολικό μήκος του δικτύου στα 949,09 χλμ. τότε  $\rho = 454.514 / 949,09 = 479,9$  καλυμμένα άτομα ανά χιλιόμετρο οπτικής ίνας. (Moncayo-Martínez & Salcedo, 2023)



Σχήμα 11: Καλυπτόμενος πληθυσμός ανά χιλιόμετρο οπτικών ινών σύμφωνα με το ταξινομημένο σχέδιο Ο

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει μια περίληψη για διαφορετικά ποσοστά του καλυπτόμενου πληθυσμού σύμφωνα με τα τρία κριτήρια.

	50% of Population			85% of Population			90% of Population		
	PC	NC	P – NL	PC	NC	P – NL	PC	NC	P – NL
Connected communities	235	242	254	419	444	430	501	475	464
Cumulative length (km)	338.9	256.5	274.6	619.2	580.5	562.3	811.2	615.9	607.1
Covered population per km	618.8	806.9	817.3	623.5	663.8	684.1	500.2	651.5	662.6

Πίνακας 5: Σύνοψη των αποτελεσμάτων για διαφορετικά ποσοστά του καλυπτόμενου πληθυσμού.

## Συσχέτιση με τον Ελλαδικό χώρο

Στην Ελλάδα όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ανάπτυξη των ευρυζωνικών συνδέσεων δεν έχει ολοκληρωθεί πλήρως. Για την ελληνική οικονομία και κοινωνία, η ανάπτυξη των οπτικών δικτύων σε αστικές, ημιαστικές και ακόμη περισσότερο σε αγροτικές περιοχές, είναι μια πράξη η οποία συμβάλλει σημαντικά στην ανέγερση της οικονομίας, ειδικά την τωρινή εποχή κατά την οποία η χώρα είναι αντιμέτωπη με οικονομικές δυσκολίες.

Έχοντας τεθεί σε εφαρμογή το Εθνικό Ευρυζωνικό Σχέδιο, το οποίο συμφωνεί με το Ευρωπαϊκό Πλαίσιο, η ανάπτυξη των οπτικών δικτύων κατά μήκος όλης της χώρας βρίσκεται σε εξέλιξη. Αυτό το έργο, όμως, έρχεται αντιμέτωπο με δυσκολίες τεχνικές και μη, όπως τα ιδιόμορφα ηπειρωτικά αγροτικά εδάφη και η δυσκολία εγκατάστασης των οπτικών ινών και του εξοπλισμού σε αυτά. Εντός αυτών των δυσκολιών ανήκει και η μεθοδολογία κατανομής των οπτικών ινών στα αγροτικά περιβάλλοντα. Επειδή η Ελλάδα αντιμετωπίζει οικονομικές δυσκολίες, είναι φυσικό επακόλουθο και οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών να έρχονται αντιμέτωπες με αντίστοιχες δυσκολίες και προκλήσεις.

Για να κατανέμουν τις οπτικές ίνες στα αγροτικά περιβάλλοντα του Ελλαδικού χώρου, μπορούν να ακολουθήσουν το μοντέλο του Μεξικού. Μια εταιρεία πρέπει να δημιουργήσει ένα πλάνο με το οποίο θα τοποθετεί σε μια λίστα με σειρά προτεραιότητας τα χωριά τα οποία θα συνδεθούν στο οπτικό δίκτυο. Είναι λογικό να πρέπει να υπάρχει μια σειρά προτεραιότητας, αφού οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών δεν είναι σε θέση να δαπανήσουν τόσο μεγάλα χρηματικά ποσά συνδέοντας κάθε χωριό χωρίς κάποιο σχέδιο. Αν γίνει αυτό, θα είναι ανώφελο καθώς δεν θα υλοποιηθούν, όσο το δυνατόν πιο σύντομα, τα σχέδια για ευρυζωνικότητα και οι θετικές επιρροές τις οποίες θα φέρει μακροπρόθεσμα. Έτσι, αν ακολουθήσουν τη μελέτη η οποία βρίσκει εφαρμογή στο Μεξικό, μπορούν λύσουν το ζήτημα της προτεραιότητας. Θέτοντας τα τρία κριτήρια επιλογής της επόμενης κοινότητας προς σύνδεση, :α) σύνδεση της κοντινότερης κοινότητας στην ήδη συνδεδεμένη κοινότητα, β) σύνδεση της πολυπληθέστερης κοινότητας και γ) σύνδεση της κοινότητας που αυξάνει την αναλογία συνδεδεμένου πληθυσμού/ ελάχιστο μήκος δικτύου, οι εταιρείες θα διευκολύνουν το έργο τους και το σχέδιο της χώρας για ευρυζωνικότητα θα υλοποιείται με αποδοτικό τρόπο.

## Βιβλιογραφία

- Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού*. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 2 Ιούνιος 2024, από <https://digitalstrategy.gov.gr/>
- Γενική Γραμματεία Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων | Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης. (2019, Σεπτέμβριος 3). <https://mindigital.gr/to-ypourgeio/gg-tilepikoinonion-taxydromeion>
- Γιόρτσος, Α., & Τσορμπατζόγλου, Γ.-Χ. (2019). *Οπτικές ίνες*. <http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/handle/123456789/5234>
- Δάλατζης, Ν. (2023). *Ευρυζωνικά δίκτυα οπτικών ινών στην Ελλάδα*. <https://doi.org/10.26257/heal.duth.14609>
- ΔΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ: Τεχνολογίες και Εφαρμογές με Έμφαση στο Διαδίκτυο, 3η Βελτιωμένη Έκδοση. (χ.χ.). Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ. Ανακτήθηκε 31 Μάιος 2024, από <https://www.tziola.gr/book/diktya-evrias-zonis-3e-v/>
- Ζαφειρης, Α. (2814), & Λαζανης, Χ. (2856). (2023). *Ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης επόμενης γενιάς—Η περίπτωση της Ελλάδας*. <http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/handle/123456789/10806>
- Με δύο ταχύτητες η ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών σε αγροτικές περιοχές*. (2024, Απρίλιος 16). Business Daily. [https://www.businessdaily.gr/tehnologia/111320\\_me-dyo-tahytites-i-anaptyxi-diktyoy-optikon-inon-se-agrotikes-periohes](https://www.businessdaily.gr/tehnologia/111320_me-dyo-tahytites-i-anaptyxi-diktyoy-optikon-inon-se-agrotikes-periohes)
- Μπαζιάνα, Π., Baziana, P., Μπόγρης, Α., & Bogris, A. (2023). *Οπτικές Επικοινωνίες και Δίκτυα*. <https://doi.org/10.57713/kallipos-190>
- ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ. (χ.χ.). Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ. Ανακτήθηκε 31 Μάιος 2024, από <https://www.tziola.gr/book/agra/>
- Χριστοδουλοπούλου, Μ., & Christodouloupoulou, M. (2021). *Τεχνοοικονομική ανάλυση*

δικτύων *ftth*. <https://doi.org/10.26240/heal.ntua.21837>

Moncayo-Martínez, L. A., & Salcedo, A. (2023). Optimising the Optic Fibre Deployment in Small Rural Communities: The Case of Mexico. *Axioms*, 12(3), Article 3.

<https://doi.org/10.3390/axioms12030269>

Nyarko-Boateng, O., Xedagbui, F. E. B., Adekoya, A. F., & Weyori, B. A. (2020). Fiber optic deployment challenges and their management in a developing country: A tutorial and case study in Ghana. *Engineering Reports*, 2(2), e12121.

<https://doi.org/10.1002/eng2.12121>

Sahebali, M. W. W., Sadowski, B. M., Nomaler, O., & Brennenraedts, R. (2021). Rolling out of fibre optic networks in intermediate versus urban areas: An exploratory spatial analysis in the Netherlands. *Telecommunications Policy*, 45(5), 102080.

<https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102080>