



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΔΠΜΣ « ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ »**

**Σχεδιασμός δικτύων FTTH σε περιβάλλον GIS  
και βελτιστοποίηση ομαδοποίησης κτιρίων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

της

**ΜΟΥΡΑΤΙΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑΣ**

**Επιβλέπων : Κάβουρας Μαρίνος**

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**  
**ΔΠΜΣ « ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ »**

**Σχεδιασμός δικτύων FTTH σε περιβάλλον GIS  
και βελτιστοποίηση ομαδοποίησης κτιρίων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

της

**ΜΟΥΡΑΤΙΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑΣ**

**Επιβλέπων : Κάβουρας Μαρίνος**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή Οκτωβρίου 2023.

*(Υπογραφή)*

.....

*(Υπογραφή)*

.....

*(Υπογραφή)*

.....

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

(Υπογραφή)

.....

**ΜΟΥΡΑΤΙΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ**

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © 2023 – Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό.

Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται στο παρόν έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

## Περίληψη

Η τεχνολογία των οπτικών ινών έχει γίνει αποδεκτή εκτεταμένα σε διάφορους τομείς της κοινωνίας, λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων της έναντι των παραδοσιακών τεχνολογιών επικοινωνίας, όπως είναι το μεγαλύτερο εύρος ζώνης, η μετάδοση σήματος σε μεγαλύτερες αποστάσεις χωρίς υποβάθμιση της ποιότητας του σήματος, καθώς και η αντοχή σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Παράλληλα, αξιοσημείωτη είναι η αναγνώριση που έχουν αποκτήσει τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα FTTH. Τα δίκτυα αυτά αναφέρονται στην εγκατάσταση και χρήση οπτικών ινών απευθείας σε μεμονωμένα κτίρια, όπως κατοικίες, πολυκατοικίες και επιχειρήσεις, από ένα κεντρικό σημείο, παρέχοντας υπηρεσίες διαδικτύου υψηλής ταχύτητας απευθείας στον τελικό χρήστη.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, θα αναπτυχθεί ο σχεδιασμός ενός δικτύου FTTH, με την αξιοποίηση Γεωπληροφοριακών Συστημάτων (GIS). Τα εργαλεία GIS δίνουν τη δυνατότητα στους μηχανικούς και τους σχεδιαστές να απεικονίζουν, να αναλύουν και να βελτιστοποιούν την υποδομή του δικτύου στο πλαίσιο του φυσικού και του δομημένου περιβάλλοντος. Αυτό καθιστά την τεχνολογία GIS απαραίτητη στον τομέα του σχεδιασμού και της μελέτης τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Παρ' όλα αυτά, η έλλειψη αυτοματοποιημένων διαδικασιών κατά το στάδιο του σχεδιασμού καθιστά την εκπόνηση μιας μελέτης χρονοβόρα και ευάλωτη σε πιθανά σφάλματα. Έτσι, σκοπός της εργασίας είναι ο εντοπισμός διαδικασιών που μπορούν να υποστούν βελτιστοποίηση, καθώς και ο αυτοματισμός της ομαδοποίησης των κτιρίων που θα εξυπηρετούνται από μια καμπίνα.

**Λέξεις Κλειδιά:** οπτική ίνα, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, FTTH, σχεδιασμός, αυτοματοποίηση, ομαδοποίηση καμπινών

## **Abstract**

Fiber optic technology has been widely accepted in various sectors of society because of its significant advantages over traditional communication technologies, such as wider bandwidth, signal transmission over longer distances without degradation of signal quality, and resistance to electromagnetic interference. At the same time, the recognition of FTTH telecommunication networks is noteworthy. These networks refer to the installation and use of fibre optics directly to individual buildings, such as homes, apartment buildings and businesses, from a central point, providing high-speed internet services directly to the end user.

In this thesis, the design of an FTTH network will be developed using Geographic Information Systems (GIS). GIS tools enable engineers and planners to visualize, analyze and optimize the network infrastructure in the context of the physical and built environment. This makes GIS technology indispensable in the field of telecommunications infrastructure planning and design. However, the lack of automated procedures at the planning stage makes the preparation of a study time-consuming and vulnerable to potential errors. Thus, the purpose of this work is to identify processes that can be optimized and to automate the grouping of buildings to be served by a cabin.

Keywords: Optical fibre, telecommunication networks, FTTH, design, automation, cabinets clusterin

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Υφίσταμαι βαθιά συγκίνηση καθώς φθάνω στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία συνιστά ένα σημαντικό στάδιο προκειμένου να αποκτηθεί το Μεταπτυχιακό Δίπλωμα της Γεωπληροφορικής από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Το εν λόγω μεταπτυχιακό πρόγραμμα αποτελεί προϊόν της συνεργασίας των Σχολών Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών & Μηχανικών Γεωπληροφορικής (ΑΤΜ-ΜΓ), Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, και Μεταλλειολόγων Μεταλλουργών Μηχανικών. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης του Μεταπτυχιακού, επεκτάθηκε σημαντικά το πεδίο των γνώσεων μου, παρέχοντάς μου επαγγελματικές ευκαιρίες και εμβαθύνοντας την αγάπη μου για την επιστήμη και το επάγγελμα του Τοπογράφου Μηχανικού.

Εκφράζω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα μου καθηγητή, κ. Κάβουρα, ο οποίος μου επέτρεψε την επιλογή του θέματος αυτής της εργασίας και με καθοδήγησε με σοφία και επιμέλεια στη διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της.

Επιπλέον, θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον κ. Πανόπουλο και την κ. Τομαή, για την αξιόλογη και πολύτιμη συμβολή τους κατά τη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας. Οι συμβουλές τους αποδείχθηκαν καθοριστικές για την επίτευξη ενός σωστού και ακριβούς αποτελέσματος.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου προς την οικογένεια μου, η οποία μου παρείχε ακλόνητη στήριξη και συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Καταλήγοντας, θα ήθελα να εκφράσω τα βαθιά μου ευχαριστήρια προς τους συναδέλφους μου εντός του επαγγελματικού μου περιβάλλοντος, οι οποίοι, ως έμπειροι μηχανικοί στον τομέα των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, συνεχώς μεταλαμπαδεύουν με αλληλεγγύη και επαγγελματισμό πολύτιμες γνώσεις στον τομέα των οπτικών ινών. Η συμβολή τους είναι ανεκτίμητη και έχει συμβάλει σημαντικά στην περαιτέρω ακαδημαϊκή και επαγγελματική μου εξέλιξη.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	4
2. Η ανάπτυξη της οπτικής ίνας.....	6
2.1 Η τεχνολογία της οπτικής ίνας .....	6
2.1.1 Κατηγορίες οπτικών ινών.....	8
2.2 Πλεονεκτήματα οπτικής ίνας.....	10
2.3 Μειονεκτήματα οπτικής ίνας.....	12
2.4 Εφαρμογές της οπτικής ίνας.....	14
3. Δίκτυα οπτικών ινών .....	16
3.1 Δίκτυα οπτικών FTTx .....	16
3.1.1 Κατηγορίες δικτύων οπτικών FTTx .....	16
3.1.2 Ανάπτυξη των FTTx δικτύων.....	18
3.2 Αρχιτεκτονική δικτύων FTTH.....	20
3.2.1 Κύρια χαρακτηριστικά ενός δικτύου FTTH.....	20
3.2.2 Οπτικά στοιχεία δικτύου FTTH .....	22
3.2.3 Υποδομή δικτύου FTTH.....	25
3.2.4 Είδη αρχιτεκτονικών δικτύων FTTH.....	25
3.3 Φάσεις κατασκευής .....	28
3.3.1 Α φάση.....	28
3.3.2 Β φάση.....	28
3.3.3 Γ Φάση .....	31
4. Σχεδιασμός δικτύων FTTH .....	32
4.1 Εργαλεία και περιβάλλοντα σχεδίασης δικτύων .....	32
4.1.1 Λογισμικά GIS .....	32
4.1.2 Autocad.....	33
4.1.3 Επιλογή κατάλληλου σχεδιαστικού περιβάλλοντος.....	34
4.2 Παρόμοιες μελέτες .....	35
4.3 Στάδια σχεδιασμού .....	37

4.4 Γενικές αρχές σχεδιασμού .....	39
4.4.1 Κανόνες σχεδιασμού .....	39
4.4.2 Περιγραφικά στοιχεία βάσης ενός δικτύου FTTH σε περιβάλλον GIS .....	42
4.5 Δυσχέρειες στην σχεδιαστική διαδικασία .....	53
5. Ομαδοποίηση κτιρίων ανά καμπίνα .....	55
5.1 Ομαδοποίηση κτιρίων .....	55
5.1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο .....	55
5.1.2 Αυτοματοποίηση κτιρίων που ανήκουν στην ίδια καμπίνα.....	57
5.2 Σύγκριση αποτελέσματος του κώδικα σε υφιστάμενο δίκτυο.....	82
6. Συμπεράσματα.....	85

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 - Η υποδομή της οπτικής ίνας (Yuan and Cai, 2021).....	7
Εικόνα 2 - Διάγραμμα σύνθεσης συστήματος επικοινωνίας των οπτικών ινών .....	8
Εικόνα 3 - Λογική δικτύων FTTCab, FTTC, FTTB, FTTx ( <a href="https://hdv-fiber.com">https://hdv-fiber.com</a> ) .....	18
Εικόνα 4 - Διαφορά της διαδρομής κάλυψης της οπτικής ίνας στα αντίστοιχα δίκτυα ( <a href="https://hdv-fiber.com">https://hdv-fiber.com</a> ).....	18
Εικόνα 5 - Βασική δομή δικτύου FTTH (Σακελλαρόπουλος, 2021) .....	21
Εικόνα 6 - Δομή δικτύου FTTH (Σακελλαρόπουλος, 2021).....	25
Εικόνα 7 - Είδη αρχιτεκτονικής εγκατάστασης δικτύου οπτικών ινών ( <a href="http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya_ypolog_G_2018_final/_ftth_.html">http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya_ypolog_G_2018_final/_ftth_.html</a> ) .....	26
Εικόνα 8 - Τεχνολογίες οπτικού δικτύου και ταχύτητες ( <a href="http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya_ypolog_G_2018_final/_ftth_.html">http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya_ypolog_G_2018_final/_ftth_.html</a> ) .....	27
Εικόνα 9 - Φυσική Υποδομή .....	41
Εικόνα 10 - Δημιουργία conduit shp σε περιβάλλον GIS .....	44
Εικόνα 11 - Δημιουργία manhole shp σε περιβάλλον GIS .....	46
Εικόνα 12 - Δημιουργία building shp σε περιβάλλον GIS .....	48
Εικόνα 13 - Δημιουργία cabinet shp σε περιβάλλον GIS.....	50
Εικόνα 14 - Δημιουργία boundary shp σε περιβάλλον GIS .....	51
Εικόνα 15 - Δημιουργία leg shp σε περιβάλλον GIS .....	52
Εικόνα 16: Περιοχή μελέτης. Basemap: Google maps. ....	58



Εικόνα 17: Ομαδοποίηση σημείων σε περιοχές φραγμένες από το οδικό δίκτυο.....	59
Εικόνα 18: Ομαδοποίηση σημείων με την μέθοδο k-means για $k=5$ .....	62
Εικόνα 19: Περιβάλλον διεπαφής του script Constrained k-Means. Παρατηρείτε πως το περιβάλλον είναι ίδιο απλά έχει προστεθεί και η εισαγωγή ελάχιστου αριθμού σημείων ανά κλάση.....	73
Εικόνα 20: Ομαδοποίηση σημείων με την μέθοδο k-means για $k=5$ και Cluster size = 45....	74
Εικόνα 21: Πλήρης μεθοδολογία εξαγωγής πολυγώνων με σταθερό αριθμό κτηρίων .....	76
Εικόνα 22: Απόκομμα οθόνης από τον Attribute table του τελικού πολυγώνου. Ο αριθμός CLUSTER_SIZE και ο αριθμός NUMPOINTS είναι ίδιοι. ....	78
Εικόνα 23: Τελική δημιουργία πολυγώνων στην οποία ο μέγιστος αριθμός σημείων εσωτερικά αυτών είναι 45 .....	79
Εικόνα 24: Ομαδοποίηση με την εφαρμογή του αλγορίθμου CK-Means, για $k = 6$ .....	80
Εικόνα 25: Τελική δημιουργία πολυγώνων στην οποία ο μέγιστος αριθμός σημείων εσωτερικά αυτών είναι 40 και ο ελάχιστος 37. Ο αριθμός των πολυγώνων είναι 6. ....	81
Εικόνα 26: Δημιουργία πολυγώνων από μηχανικούς.....	82
Εικόνα 27: Τελική δημιουργία πολυγώνων στην οποία ο μέγιστος αριθμός σημείων εσωτερικά αυτών είναι 41 και ο ελάχιστος 38. Ο αριθμός των πολυγώνων είναι 13. ....	83
Εικόνα 28: Εισαγωγή υλοποιημένων καμπινών και οδικού δικτύου στο παραγόμενο δίκτυο	84

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας αριθμού σημείων ανά κλάση.....	61
Πίνακας 2: Πίνακας αριθμού σημείων ανά κλάση μετά την εφαρμογή του Constrained k-Means. ....	74
Πίνακας 3: Πίνακας αριθμού σημείων ανά κλάση μετά την εφαρμογή του Constrained k-Means ( $k=6$ ). ....	80

## 1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της οπτικής ίνας έρχεται να αντικαταστήσει τα τελευταία χρόνια προηγούμενες τεχνολογίες τηλεπικοινωνίας όπως είναι ο χαλκός, αλλά και να εγκατασταθεί σε περιοχές οι οποίες δεν έχουν αναπτυγμένα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, όπως για παράδειγμα απομακρυσμένα χωριά, ορεινές περιοχές και να δώσει τη δυνατότητα παροχής υψηλών και σταθερών ταχυτήτων με αποτέλεσμα την ευρεία χρήση τεχνολογιών που απαιτούν σύνδεση στο διαδίκτυο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, αναλύεται η τεχνολογία της οπτικής ίνας δηλαδή η δομή της και τα χαρακτηριστικά της. Ανάλογα με τη δομή της, τον τρόπο μετάδοσης του φωτός και τον δείκτη διάθλαση οι οπτικές ίνες διαχωρίζονται σε κατηγορίες. Επιπλέον, η δομή της οπτικής ίνας είναι η κάνει να πλεονεκτεί σε σχέση με άλλα μέσα μετάδοσης όπως είναι ο χαλκός. Η ηλεκτρική μόνωση, η ακεραιότητα στη θερμοκρασία και στο σήμα είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει. Ωστόσο, οι οπτικές ίνες όπως και όλα τα υλικά μειονεκτούν σε σημεία, όπως στη δεδομένη περίπτωση είναι το κόστος παραγωγής και εγκατάστασης αλλά και η ευθραστότητα της. Η παρουσία καλωδίων οπτικής είναι εμφανής σε πολλούς κλάδους όπως στις τηλεπικοινωνίες, στον ιατρικό και στον στρατιωτικό κλάδο, στον βιομηχανικό τομέα και σε πολλούς άλλους.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται τα δίκτυα οπτικών ινών FTTx και η αρχιτεκτονική τους. Οι κατηγορίες των δικτύων οπτικών ινών που παρουσιάζονται προκύπτουν από την αρχιτεκτονική τους όσο αφορά την συνδεσμολογία της οπτικής ίνας είτε σε υπάρχον δίκτυο χαλκού είτε όχι και στο σημείο που πραγματοποιείται η αλλαγή του μέσου. Τα δίκτυα FTTx παρουσιάζουν ποικίλα πλεονεκτήματα όμως η συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας, η αξιοπιστία, η μελλοντική βιωσιμότητα και η εξοικονόμηση κόστους, τα οποία αποτελούν βασικά στοιχεία για την ευρεία έκτασή τους. Το δίκτυο που επιλέγεται να αναλυθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το FTTH, το οποίο στηρίζεται στην αρχιτεκτονική όπου η διαδικασία εγκατάστασης και λειτουργίας των οπτικών ινών ξεκινάει από τον κεντρικό κατανομητή και φτάνει ως τον τελικό χρήστη (είτε κατοικία είτε η επιχείρηση). Ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο αποτελείται από τα οπτικά και από τα φυσικά στοιχεία. Σε αυτή την περίπτωση τα βασικά οπτικά στοιχεία ενός δικτύου FTTH είναι το κεντρικό σημείο (CO), το δίκτυο κορμού (Feeder cabling), το δίκτυο διανομής (Distribution cabling), το δίκτυο πρόσβασης (Drop cabling) και ο εξοπλισμός του πελάτη. Η φυσική υποδομή ενός δικτύου τέτοιου

επικεντρώνεται στα σκάμματα και στα φρεάτια. Οι διαθέσιμες αρχιτεκτονικές εγκαταστάσεις οπτικών δικτύων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες “το σημείο προς σημείο” και “το σημείο προς πολλαπλά σημεία”, τα οποία αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο. Τέλος, η εγκατάσταση οπτικών δικτύων χωρίζεται σε τρεις φάσεις.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η ανάλυση του σχεδιασμού δικτύων FTTH, που μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση διαφόρων λογισμικών όπως είναι τα γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα (GIS), είτε αμιγώς σχεδιαστικά συστήματα όπως το Autocad. Στο εν λόγω κεφάλαιο πραγματοποιούνται αναφορές σε μελέτες με παρόμοιο περιεχόμενο με την παρούσα διπλωματική εργασία, με σκοπό την άντληση ιδεών. Έπειτα αναφέρονται τα στάδια του σχεδιασμού της φυσικής υποδομής τα οποία αποτελούν και το αντικείμενο μελέτης. Τα πιο αξιοσημείωτα σχεδιαστικά στάδια είναι η ομαδοποίηση των κτηρίων (clustering), η επιλογή θέσης καμπίνας και ο σχεδιασμός του δικτύου διανομής από την καμπίνα προς τον τελικό χρήστη (κτίρια). Απαραίτητα στοιχεία για την έναρξη του σχεδιασμού αποτελούν τα κτίρια με τους συνδρομητές τους και ο άξονας των δρόμων. Στο κεφάλαιο αυτό επίσης παρουσιάζονται οι γενικές αρχές του σχεδιασμού της Α φάσης, f και αφορούν τις καμπίνες και τα τμήματά τους (boundaries, legs), τους αγωγούς και τα φρεάτια με τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται σε GIS περιβάλλον όσον αφορά τα περιγραφικά τους στοιχεία. Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσονται προβληματισμοί που προκύπτουν κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού όπως η έλλειψη αυτοματοποιημένων διαδικασιών, το οποίο αποτελεί και το μεγαλύτερο πλήγμα, καθώς χειροκίνητες διαδικασίες που πραγματοποιούνται βάσει κανόνων απαιτούν πολύ χρόνο και εφ όσον δύναται να προκύψουν σφάλματα τα οποία θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί.

Στο πέμπτο κεφάλαιο έρχεται να δοθεί λύση στο πρόβλημα της ομαδοποίησης των κτιρίων καθώς πραγματοποιούνται διάφορες προσεγγίσεις στηριζόμενες στον αλγόριθμο k-means. Τελικά, κρίνεται απαραίτητα η εξαγωγή ενός κώδικα python για την χρήση constrained k-means. Έπειτα με την συμβολή κάποιων επιπλέον εντολών στο QGIS, διεξάγεται ένα επιθυμητό και αποδεκτό αποτέλεσμα.

Ανακεφαλαιώνοντας, η επίλυση σχεδιαστικών δυσχερειών κρίνεται αναγκαία καθώς τα δίκτυα FTTH γνωρίζουν μεγάλη απήχηση. Ο αυτοματισμός αποτελεί απαραίτητο στοιχείο, χωρίς όμως να μπορεί να αντικαταστήσει έναν έμπειρο μηχανικό.

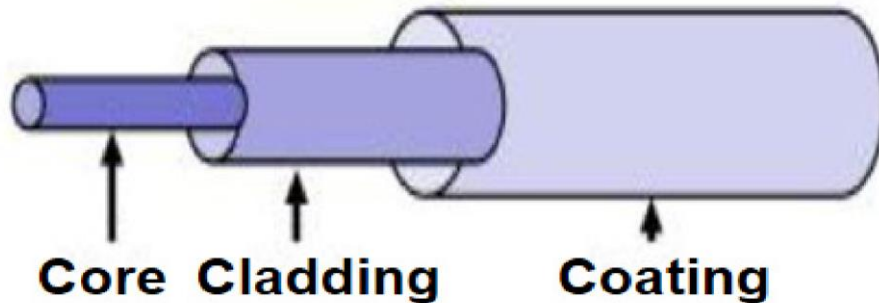
## 2. Η ανάπτυξη της οπτικής ίνας

### 2.1 Η τεχνολογία της οπτικής ίνας

Οι οπτικές ίνες αποτελούν ένα ιδανικό φυσικό μέσο και μια σημαντική επιστημονική ανακάλυψη του περασμένου αιώνα, συγκεντρώνοντας σημαντική προσοχή λόγω της ικανότητάς τους να μεταδίδουν αποτελεσματικά μεγάλο όγκο ψηφιακών δεδομένων με ελάχιστες απώλειες. Με τις απαιτήσεις για τέτοια μετάδοση δεδομένων αναμένεται να αυξηθούν σύντομα είναι σημείο του ότι οι οπτικές ίνες μεταφέρουν ήδη πάνω από 80% της παγκόσμιας διακίνησης πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις.

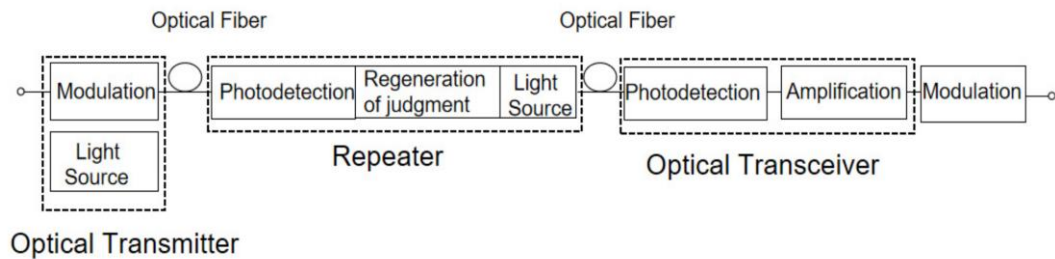
Μια οπτική ίνα, διαφορετικά ένα καλώδιο οπτικών ινών, είναι ένα λεπτό, εύκαμπτο νήμα γυαλιού που έχει διαμορφωθεί σε κυλινδρικό σχήμα και χρησιμεύει ως διηλεκτρικός κυματοδηγός. Κατασκευασμένη από υλικά που ελαχιστοποιούν τις απώλειες, η ίνα αυτή είναι θεωρητικά απεριόριστη σε μήκος κατά μήκος του άξονα διάδοσής της, με την ένδειξη OZ. Χαρακτηρίζεται από τη διαφάνεια και την ευελιξία της, διευκολύνοντας τη μεταφορά των φωτεινών κυμάτων σε εκτεταμένες αποστάσεις και υποστηρίζοντας ανώτερα εύρη ζώνης (ρυθμούς δεδομένων) σε σύγκριση με εναλλακτικές τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ακτινοβολίας από το υπέρυθρο έως το ορατό φάσμα. (Rezgui, 2022)

Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 1, η ίνα αποτελείται συνήθως από τρία συστατικά: τον πυρήνα, το περίβλημα και την επικάλυψη, διατεταγμένα από το εξωτερικό προς το εσωτερικό στρώμα. Η επικάλυψη όχι μόνο προστατεύει την οπτική ίνα από τη διάβρωση και από την υγρασία, αλλά αυξάνει επίσης την ευελιξία της, προσφέροντας κάποιο βαθμό προστασίας και παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής της ίνας. Το τμήμα του πυρήνα της ίνας, που περιλαμβάνει τόσο την επικάλυψη όσο και τον ίδιο τον πυρήνα, είναι ζωτικής σημασίας για τη μετάδοση του φωτός. Δεδομένου ότι ο πυρήνας παρουσιάζει μικρότερες απώλειες φωτός σε σύγκριση με το περίβλημα, είναι αυτός που μεταφέρει κυρίως τα κύματα φωτός. (Yuan and Cai, 2021)



Εικόνα 1 - Η υποδομή της οπτικής ίνας (Yuan and Cai, 2021)

Η επικοινωνία μέσω οπτικών ινών αντιπροσωπεύει έναν τρόπο επικοινωνίας όπου τα φωτεινά κύματα χρησιμεύουν ως φορείς για τη μεταφορά πληροφοριών, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένες οπτικές ίνες ως μέσο μετάδοσης- η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως "ενσύρματη" οπτική επικοινωνία. Κατά τη διαδικασία αυτή, στο άκρο μετάδοσης, τα σήματα δεδομένων (όπως τα σήματα φωνής) μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα. Αυτά τα ηλεκτρικά σήματα διαμορφώνουν τα φωτεινά κύματα που παράγονται από μια φωτεινή πηγή, προκαλώντας τη διακύμανση της έντασης του φωτός σύμφωνα με το πλάτος (συχνότητα) του ηλεκτρικού σήματος. Αυτά τα διαμορφωμένα κύματα φωτός αποστέλλονται στη συνέχεια μέσω του δικτύου οπτικών ινών. Φτάνοντας στον δέκτη, τα μεταδιδόμενα οπτικά σήματα μετατρέπονται ξανά σε ηλεκτρικά σήματα από έναν οπτικό ανιχνευτή. Αυτά τα λαμβανόμενα ασθενή ηλεκτρικά σήματα ενισχύονται στη συνέχεια σε επαρκή επίπεδα με τη χρήση κυκλωμάτων ενισχυτή για την αναπαραγωγή του αρχικού μεταδιδόμενου σήματος. Το σχήμα 2 απεικονίζει αυτή τη δομή, τονίζοντας τη χρήση επαναληπτών για την αντιστάθμιση της εξασθένησης του οπτικού σήματος και τη διόρθωση της παραμόρφωσης της κυματομορφής κατά τη μετάδοση.



Εικόνα 2 - Διάγραμμα σύνθεσης συστήματος επικοινωνίας των οπτικών ινών

### 2.1.1 Κατηγορίες οπτικών ινών

Τα οπτικά ινωτά καλώδια μπορούν να καταταχθούν ανάλογα με διάφορες χαρακτηριστικές προδιαγραφές, όπως ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζονται το φως, το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα και ο δείκτης τους διάθλασης. (“Fiber Optics - Parts, Types, Classification and Advantage,” n.d.)

#### Κατηγορίες οπτικών ινών βάσει του δείκτη διάθλασης:

1. Ίνα με ξαφνική μεταβολή δείκτη διάθλασης: Ο δείκτης της διάθλασης μειώνεται γρήγορα από τον πυρήνα προς την επιφάνειά του.
2. Ίνα με σταδιακή μεταβολή δείκτη διάθλασης: Στο κέντρο του πυρήνα ο δείκτης διάθλασης είναι στο μέγιστό του και μειώνεται προοδευτικά καθώς κινείται προς το εξωτερικό του περιβλήματος.

#### Κατηγορίες οπτικών ινών ανάλογα με το υλικό του πυρήνα:

1. Γυάλινες Ίνες: Τόσο ο πυρήνας όσο και το εξωτερικό της οπτικής ίνας είναι φτιαγμένα από γυαλί.
2. Πλαστικές Ίνες: Και ο πυρήνας και το περίβλημα της ίνας είναι φτιαγμένα από πλαστικό υλικό.

#### Κατηγορίες οπτικών ινών βασισμένες στη μέθοδο μετάδοσης φωτός:

1. Μονοτρόπια Ίνα: Αυτή η ίνα έχει στενό πυρήνα, επιτρέποντας στο φωτεινό κύμα να καλύπτει μεγαλύτερες αποστάσεις με ελάχιστες ανακλάσεις.
2. Πολυτρόπια Ίνα: Με ευρύτερο πυρήνα, αυτός ο τύπος έχει υψηλότερες απώλειες κατά τη μετάδοση του φωτός. Είναι ιδανικό για μεταφορά φωτός σε σύντομες αποστάσεις. (“Fiber Optics - Parts, Types, Classification and Advantage,” n.d.)

## Κατηγορίες οπτικών ινών με βάση τον τρόπο διάδοσης και τον δείκτη διάθλασης:

1. Βαθμιαίος δείκτης - μονοτροπικές ίνες (Step index-Singlemode fibres)  
Μια μονότροπη ίνα βαθμιδωτού δείκτη έχει μόνο μία διαδρομή για τη διάδοση του φωτός. Έχει πυρήνα μικρότερης διαμέτρου που συνήθως είναι περίπου 2 μm έως 15 μm. Λόγω αυτής της μικρής διαμέτρου του πυρήνα, είναι δυνατή μόνο μία διαδρομή για τη διάδοση του φωτός. Η διαδιδόμενη ακτίνα μέσω αυτής της ίνας δεν παραμορφώνεται επειδή διαδίδεται μια μόνο ακτίνα φωτός μέσω της ίνας. Το σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της ίνας είναι ότι έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, επιτρέποντας υψηλή ικανότητα μεταφοράς πληροφοριών. Είναι επίσης κατάλληλη για μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις λόγω της χαμηλής διαμορφικής διασποράς της. Το κόστος αυτής της ίνας είναι σχετικά υψηλότερο σε σύγκριση με την πολύτροπη ίνα.  
(<https://www.electricalvolt.com>)
2. Διαβαθμισμένος δείκτης - μονοτροπικές ίνες (Graded index-Singlemode fibres)  
Συνήθως, ο όρος ίνες διαβαθμισμένου δείκτη χρησιμοποιείται μόνο για τις πολύτροπες ίνες. Ωστόσο, οι μονότροπες ίνες έχουν επίσης συχνά διαβαθμισμένο (αλλά συνήθως μη παραβολικό) προφίλ δείκτη διάθλασης. Αυτό μπορεί μερικές φορές να προκύπτει απλώς από ορισμένες συνθήκες κατασκευής, ενώ σε άλλες περιπτώσεις προσαρμόζεται ενεργά για την απόκτηση ορισμένων ιδιοτήτων τρόπου λειτουργίας - κυρίως όσον αφορά τη χρωματική διασπορά. Για παράδειγμα, τριγωνικά, τραπεζοειδή ή γκαουσιανά προφίλ, ενδεχομένως εφοδιασμένα με πρόσθετα χαρακτηριστικά, χρησιμοποιούνται για ίνες με μετατόπιση διασποράς.  
(<https://www.electricalvolt.com>)
3. Βαθμιαίος δείκτης - πολύτροπικές ίνες (Step index-Multimode fibres)  
Η πολύτροπη ίνα βαθμιδωτού δείκτη έχει μεγάλο πυρήνα διαμέτρου έως 100 μm. Ως αποτέλεσμα αυτού, ορισμένες από τις ακτίνες φωτός που συνθέτουν τον ψηφιακό παλμό μπορεί να ταξιδέψουν σε απευθείας διαδρομή, ενώ άλλες σε τεθλασμένη διαδρομή καθώς αναπηδούν από το περίβλημα. Αυτές οι αντισυμβατικές διαδρομές προκαλούν τις διαφορετικές ομαδοποιήσεις των ακτίνων φωτός, που αναφέρονται ως τρόποι, να φτάνουν ξεχωριστά στο σημείο λήψης. Ο φωτεινός παλμός αποτελείται από διαφορετικούς τρόπους, γεγονός που προκαλεί την εξάπλωση του παλμού, χάνοντας έτσι το καλά καθορισμένο

σχήμα του. Η ανάγκη να αφήνεται απόσταση μεταξύ των παλμών για να αποφεύγεται η επικάλυψη περιορίζει το εύρος ζώνης. Συνεπώς, αυτός ο τύπος καλωδίου οπτικών ινών είναι καταλληλότερος για μετάδοση σε μικρές αποστάσεις. (Nyarko-Boateng et al., 2020)

4. Διαβαθμισμένος δείκτης - πολυτροπικές ίνες (Graded index-Multimode fibres)  
Η πολύτροπη ίνα διαβαθμισμένου δείκτη περιέχει έναν πυρήνα στον οποίο ο δείκτης διάθλασης μειώνεται σταδιακά από τον κεντρικό άξονα προς τον μανδύα. Ο υψηλότερος δείκτης διάθλασης κάνει τις φωτεινές ακτίνες που κινούνται προς τον άξονα να προχωρούν πιο αργά από ό,τι εκείνες που βρίσκονται κοντά στο περίβλημα. Αντί να ελίσσεται από το περίβλημα, το φως στον πυρήνα καμπυλώνει ελικοειδώς λόγω του διαβαθμισμένου δείκτη που μειώνει την απόσταση διαδρομής του. Η μειωμένη απόσταση και η υψηλή ταχύτητα επιτρέπουν στο φως στην περιφέρεια να φτάσει στον δέκτη ταυτόχρονα με τις αργές αλλά ευθείες ακτίνες στον κεντρικό άξονα του πυρήνα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα έναν ψηφιακό παλμό που υφίσταται λιγότερη διασπορά, οπότε ο τύπος καλωδίου οπτικών ινών είναι κατάλληλος για μεγαλύτερες αποστάσεις. (Nyarko-Boateng et al., 2020)

## 2.2 Πλεονεκτήματα οπτικής ίνας

Η εξέλιξη των τεχνολογιών που βασίζονται στην χρήση οπτικής ίνας αποδίδεται στην καθολική υπεροχή της οπτικής ίνας έναντι άλλων υλικών που εφαρμόζονται στον τομέα των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Ακολουθούν διάφορα στοιχεία που αποτυπώνουν τα πλεονεκτήματα της οπτικής ίνας: (Rezgui, 2022)

- Διηλεκτρικά πλεονεκτήματα:  
Μια οπτική ίνα εξασφαλίζει άψογη ηλεκτρική μόνωση μεταξύ πομπού και δέκτη. Παραμένει εντελώς ανεπηρέαστη από πολυάριθμα περιβαλλοντικά στοιχεία που συνήθως επηρεάζουν τα χάλκινα καλώδια. Με τον πυρήνα της κατασκευασμένο από γυαλί - ένα μονωτικό υλικό - η ίνα εμποδίζει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος
- Ακεραιότητα στη θερμοκρασία  
Οι οπτικές ίνες μπορούν να τοποθετηθούν δίπλα σε βιομηχανικό εξοπλισμό χωρίς κάποια επιρροή καθώς είναι πιο ανθεκτικές σε ακραίες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά καλώδια. Παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στις



διακυμάνσεις της θερμοκρασίας από ότι ο χαλκός και μπορούν να βυθιστούν στο νερό

- Ισχύς σήματος

Το διαδίκτυο μέσω οπτικών ινών παρουσιάζει ακεραιότητα σήματος σε μεγάλες αποστάσεις γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για την χρήση δικτύων από οργανισμούς, οι οποίοι καταλαμβάνουν εκτεταμένο χώρο, εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την ισχυρή ισχύ σήματος όλη την εγκατάσταση

- Ευελιξία

Η αξιοσημείωτη ευελιξία των οπτικών ινών, ικανή να εκπέμπει και να λαμβάνει φως, βρίσκει εφαρμογές σε πολυάριθμες ευέλικτες ψηφιακές κάμερες

- Ευκολία εγκατάστασης

Τα καλώδια οπτικών ινών, που κατασκευάζονται και εγκαθίστανται εύκολα, ευνοούν τις προσωρινές ή φορητές εγκαταστάσεις λόγω των εκτεταμένων μηκών τους. Μπορούν να εγκατασταθούν με συμβατικό εξοπλισμό χάλκινων και ομοαξονικών καλωδίων, αν και με μικρές προσαρμογές λόγω του μικροσκοπικού μεγέθους τους και των ειδικών απαιτήσεων χειρισμού τους

- Ταχύτητα

Το διαδίκτυο μέσω οπτικών ινών ξεπερνά σημαντικά την ταχύτητα που προσφέρουν οι ταχύτερες χάλκινες συνδέσεις διαδικτύου

- Πυκνότητα

Με διάμετρο μικρότερη από εκείνη των χάλκινων γραμμών, οι οπτικές ίνες είναι ιδιαίτερα συμπαγείς

- Μάζα

Η ελαφριά φύση των οπτικών ινών είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό

- Μη αναφλεξιμότητα

Η απουσία διέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των οπτικών ινών μηδενίζει τους κινδύνους πυρκαγιάς

- Ασφαλής μετάδοση

Απέναντι στις διαδεδομένες απειλές στον κυβερνοχώρο, οι οπτικές ίνες αποτελούν το κατεξοχήν ασφαλές μέσο για τη μετάδοση ευαίσθητων δεδομένων, αδιαπέραστο από την εύκολη υποκλοπή ή υποκλοπή λόγω της μη ακτινοβόλου φύσης τους και της δεξιότητας που απαιτείται για την

απαρατήρητη φυσική υποκλοπή. Σε περίπτωση υποκλοπής, η μετάδοση ορατού φωτός διευκολύνει τον εντοπισμό των παραβιασμένων καλωδίων

- Άμεση σύνδεση χωρίς ηχώ: Οι οπτικές ίνες επιτρέπουν άμεσες συνδέσεις χωρίς ηχώ, σε πλήρη αντίθεση με τις συνδέσεις που είναι επιρρεπείς στην ηχώ μέσω δορυφόρων επικοινωνίας.

### 2.3 Μειονεκτήματα οπτικής ίνας

Παρά τα πολλοστά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ένα καλώδιο οπτικών ινών, παρουσιάζει και μερικά μειονεκτήματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

#### Κόστος παραγωγής και εγκατάστασης

Το κόστος παραγωγής οπτικών ινών είναι υψηλότερο από αυτό του χαλκού. Ο ειδικός εξοπλισμός, καθώς επίσης και το καταρτισμένο ανθρώπινο δυναμικό που απαιτούνται για την ορθή εγκατάσταση του το καθιστούν την εγκατάσταση ακριβότερη από αυτή του χαλκού. Το κόστος εγκατάστασης της καλωδίωσης οπτικών ινών, αν και μειώνεται, παραμένει αυξημένο. Παρόλο που τα έξοδα εγκατάστασης οπτικών ινών μειώνονται με ρυθμό έως και 10% ετησίως, η εγκατάσταση της καλωδίωσης οπτικών ινών εξακολουθεί να έχει σχετικά υψηλή τιμή. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συνήθως για την παραδοσιακή δικτύωση με βάση τα ηλεκτρόνια δεν είναι κατάλληλος για τα δίκτυα οπτικών ινών. Απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός, όπως ένα OTDR (οπτικό ανακλασιόμετρο χρονικού πεδίου), και ακριβά οπτικά εργαλεία, όπως οπτικοί ανιχνευτές, είναι απαραίτητα στα περισσότερα τελικά σημεία και σημεία σύνδεσης οπτικών ινών για τη διεξαγωγή ακριβών δοκιμών ινών. (<https://www.cabits.com>)

#### Ευθραυστότητα

Καθώς είναι κατασκευασμένα από γυαλί, τα καλώδια οπτικών ινών είναι πιο εύθραυστα από τα ηλεκτρικά καλώδια όπως η καλωδίωση χαλκού. Εάν τα λυγίσετε πολύ, θα σπάσουν. (<https://www.cabits.com>)

### Ευαισθησία σε φυσικές ζημιές

Τα καλώδια οπτικών ινών είναι ευαίσθητα και συμπαγή, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτα σε κοπή ή ζημιά κατά την εγκατάσταση ή τις κατασκευαστικές δραστηριότητες. Οι σιδηρόδρομοι, οι οποίοι συχνά παραχωρούν δικαιώματα διέλευσης για την εγκατάσταση οπτικών ινών, ενέχουν σημαντικό κίνδυνο καταστροφής των καλωδίων σε περίπτωση εκτροχιασμού βαγονιών, γεγονός που ενδέχεται να προκαλέσει διακοπή της παροχής υπηρεσιών σε μεγάλους πληθυσμούς λόγω των τεράστιων δυνατοτήτων μετάδοσης δεδομένων των καλωδίων οπτικών ινών. Κατά συνέπεια, όταν επιλέγετε την καλωδίωση οπτικών ινών ως μέσο μετάδοσης, είναι ζωτικής σημασίας η αντιμετώπιση της αποκατάστασης, της εφεδρείας και της επιβιωσιμότητας. Επιπλέον, τα εναέρια καλώδια οπτικών ινών είναι επιρρεπή σε φωλιάσματα πουλιών, λόγω του Kevlar (φορέας στήριξης εναέριων καλωδίων), τα υποθαλάσσια καλώδια είναι επιρρεπή σε καταστροφές από ζώα της θάλασσας, καθώς επίσης και τα υπόγεια καλώδια σε φρεάτια είναι επιρρεπή σε καταστροφές από τρωκτικά. Τέλος, υπάρχει ένα φυτό που αναφέρεται ως χριστουγεννιάτικο δέντρο που αντιμετωπίζει το καλώδιο οπτικών ινών ως ρίζα δέντρου και τυλίγει γύρω από το καλώδιο τόσο σφιχτά που το τα φως που ταξιδεύει στην ίνα είναι παρεμποδίζεται. (Arumugam, 2001)

### Ευαισθησία σε χημικές ουσίες

Κυρίως αποτελεί πρόβλημα για τα υποβρύχια καλώδια, τα οποία εκτείνονται σε χημικές ουσίες, καθώς επίσης και σε αέριο με ατομικό αριθμό 1. (Arumugam, 2001)

### Αδιαφάνεια

Παρά την εντατική στρατιωτική χρήση είναι γνωστό ότι η πλειονότητα των ινών γίνεται αδιαφανής μόλις εκτεθούν σε ακτινοβολία. (Arumugam, 2001)

### Ειδική διαχείριση

Η οπτική ίνα διαφέρει από τον χαλκό στη διαχείριση της καθώς απαιτεί ειδικούς χειρισμούς και ιδιαίτερη προσοχή στις κολλήσεις ώστε να μην δημιουργούνται απώλειες. Συνεπώς, τα συνεργεία που απασχολούνται οφείλουν να έχουν ειδικά καταρτισμένο προσωπικό, το οποίο είναι δυσεύρετο.

## 2.4 Εφαρμογές της οπτικής ίνας

Οι οπτικές ίνες έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογών λόγω των πλεονεκτικών χαρακτηριστικών τους. Ακολουθούν ορισμένες εφαρμογές των οπτικών ινών:

### 1. Τηλεπικοινωνίες:

Διαδικτύου: Οι οπτικές ίνες υποστηρίζουν ευρυζωνικές υπηρεσίες διαδικτύου, επιτρέποντας τη μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας.

Τηλεφωνικά δίκτυα: Διευκολύνουν την καθαρή και αξιόπιστη επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς σημαντική απώλεια της ποιότητας του σήματος.

Καλωδιακή τηλεόραση: Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση καλωδιακών σημάτων με υψηλότερο εύρος ζώνης και χαμηλότερη εξασθένηση.

### 2. Ιατρική:

Ενδοσκόπια: Χρησιμοποιούνται σε ενδοσκοπικές διαδικασίες για την απεικόνιση εσωτερικών τμημάτων του σώματος.

Χειρουργικές επεμβάσεις με λέιζερ: Χρησιμοποιούνται για την παροχή ακτίνων λέιζερ για την κοπή, τον καυτηριασμό ή την καταστροφή ιστών.

Βιοϊατρική ανίχνευση: Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διαφόρων φυσιολογικών παραμέτρων.

### 3. Στρατιωτικές εφαρμογές:

Ασφαλείς επικοινωνίες: Χρησιμοποιείται για κρυπτογραφημένη, ασφαλή και υψηλού εύρους ζώνης επικοινωνία.

Αεροναυπηγική και πλοήγηση: Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα δεδομένων και επικοινωνίας εντός αεροσκαφών και σε συστήματα πλοήγησης.

### 4. Βιομηχανικός κλάδος:

Αισθητήρες: Αναπτύσσονται για μετρήσεις θερμοκρασίας, πίεσης και τάσεων σε σκληρά ή απομακρυσμένα περιβάλλοντα.

Επιθεώρηση: Χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά βυθοσκόπια για οπτική επιθεώρηση περιοχών στις οποίες είναι δύσκολη η πρόσβαση.

## 5. Έρευνα:

**Φασματοσκοπία:** Χρησιμοποιείται στην ανάλυση διαφόρων υλικών μέσω φασματοσκοπικών τεχνικών.

**Ιντερφερομετρία:** Χρησιμοποιείται για μετρήσεις και αναλύσεις ακριβείας σε διάφορες εφαρμογές έρευνας και ανάπτυξης.

## 6. Κέντρα δεδομένων:

**Δικτύωση:** Επιτρέπει την υψηλής ταχύτητας και αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ διακομιστών και άλλων συσκευών δικτύου.

**Φωτισμός και απεικόνιση:**

**Διακοσμητικός φωτισμός:** Χρησιμοποιούνται σε αρχιτεκτονικές και διακοσμητικές εφαρμογές λόγω της ικανότητάς τους να μεταδίδουν αποτελεσματικά το φως.

**Συστήματα νυχτερινής όρασης:** Χρησιμοποιούνται σε συσκευές που απαιτούν τη μετάδοση υπέρυθρου φωτός.

## 7. Ενεργειακός τομέας:

**Πετρέλαιο και φυσικό αέριο:** Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές ανίχνευσης και επικοινωνίας στα σκληρά περιβάλλοντα των κοιτασμάτων και εγκαταστάσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου.

## 3. Δίκτυα οπτικών ινών

### 3.1 Δίκτυα οπτικών FTTx

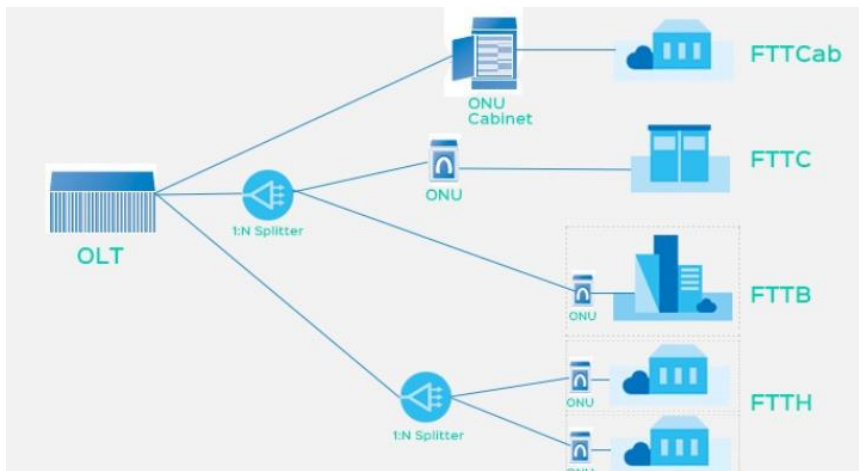
#### 3.1.1 Κατηγορίες δικτύων οπτικών FTTx

Τα δίκτυα FTTx, τα οποία αναφέρονται επίσης ως δίκτυα Fiber to the X, αποτελούν μια κατηγορία ευρυζωνικών συστημάτων επικοινωνίας που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες για την επέκταση της συνδεσιμότητας του "τελευταίου μιλίου" από το δίκτυο ενός παρόχου υπηρεσιών στην τοποθεσία του τελικού χρήστη. Το "X" στο FTTx μπορεί να υποδηλώνει διάφορα τελικά σημεία, ανάλογα με τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Ορισμένες διαδεδομένες παραλλαγές FTTx περιλαμβάνουν:

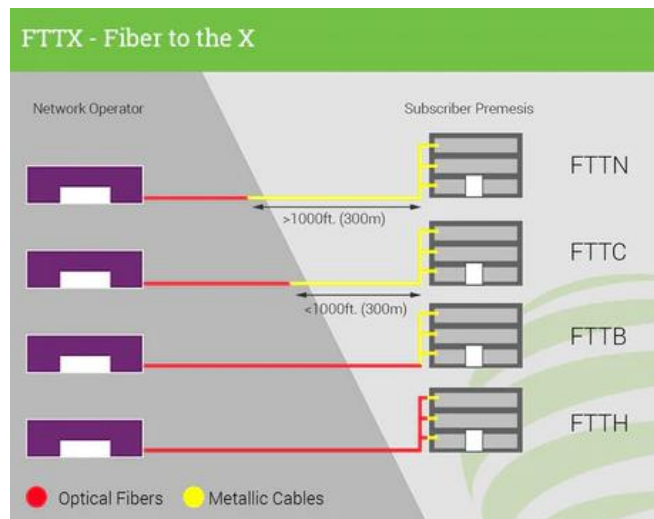
- **FTTH (Fiber to the Home):** Τα δίκτυα FTTH παρέχουν συνδέσεις οπτικών ινών υψηλής ταχύτητας απευθείας σε μεμονωμένες κατοικίες, παρέχοντας την ταχύτερη και πιο αξιόπιστη πρόσβαση στο διαδίκτυο. Αυτή η τεχνολογία παρέχει συμμετρικές ταχύτητες μεταφόρτωσης και λήψης και μπορεί να υποστηρίξει μια σειρά υπηρεσιών όπως το διαδίκτυο, η τηλεόραση και η τηλεφωνία.
- **FTTB (Fiber to the Building):** Τα δίκτυα FTTB εισάγουν συνδεσιμότητα οπτικών ινών σε πολυκατοικίες ή εμπορικές δομές, όπως συγκροτήματα διαμερισμάτων, κτίρια γραφείων ή εμπορικά κέντρα. Στη συνέχεια, η συμβατική καλωδίωση χαλκού ή Ethernet μπορεί να διανείμει το σήμα σε μεμονωμένες μονάδες.
- **FTTC (Fiber to the Curb ή Fiber to the Cabinet) :** Τα δίκτυα FTTC χρησιμοποιούν καλώδια οπτικών ινών για να φτάσουν σε ένα σημείο διανομής σε επίπεδο γειτονιάς ή δρόμου (πεζοδρόμιο ή γραφείο), αλλά χρησιμοποιούν τα υπάρχοντα χάλκινα ή ομοαξονικά καλώδια για τη σύνδεση σε μεμονωμένα σπίτια ή επιχειρήσεις. Αυτή η υβριδική προσέγγιση παρέχει ταχύτερες ταχύτητες σε σύγκριση με το παραδοσιακό DSL, αλλά μπορεί να μην φτάσει τις επιδόσεις του FTTH.

- **FTTN (Fiber to the Node):** Τα δίκτυα FTTN συνήθως επεκτείνουν την οπτική ίνα σε έναν κόμβο γειτονιάς, ο οποίος βρίσκεται πιο κοντά στα σπίτια ή τις επιχειρήσεις από ένα πεζοδρόμιο ή ένα ερμάριο. Η τελική σύνδεση από τον κόμβο στις εγκαταστάσεις γίνεται συνήθως με χάλκινο ή ομοαξονικό καλώδιο. Το FTTN μπορεί να παρέχει υψηλότερες ταχύτητες από το παραδοσιακό DSL, αλλά γενικά υπολείπεται των επιδόσεων FTTH ή FTTC.
- **FTTCab (Οπτική ίνα στην καμπίνα):** Το παραδοσιακό ηλεκτρικό καλώδιο αντικαθίσταται από οπτική ίνα από το τελικό χρήστη μέχρι την καμπίνα, όπου εκεί τοποθετείται μια συσκευή μετατροπής (ONU-Optical Network Unit), η οποία μετατρέπει τα οπτικά σήματα που λαμβάνονται μέσω των οπτικών ινών σε ηλεκτρικά σήματα. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί τα καλώδια που συνδέουν το καμπίνα με τα σπίτια των χρηστών είναι συνήθως από χαλκό ή άλλο μη οπτικό υλικό. Η αρχιτεκτονική δικτύου FTTCab αποτελεί υποκατηγορία των FTTN δικτύων.(Bianco et al., 2009)
- **FTTP (Fiber to the Premises):** Το FTTP χρησιμεύει ως ένας ευρύς όρος που περιλαμβάνει όλες τις παραλλαγές FTTx, υποδεικνύοντας τη χρήση οπτικών ινών σε ολόκληρη τη διαδρομή σύνδεσης, ανεξάρτητα από το αν είναι προς το σπίτι, το κτίριο, το πεζοδρόμιο ή τον κόμβο.

Τα δίκτυα FTTx φημίζονται για τις γρήγορες, χαμηλής καθυστέρησης και αξιόπιστες συνδέσεις στο διαδίκτυο. Είναι εξοπλισμένα για την παροχή προηγμένων υπηρεσιών, όπως η ροή βίντεο υπερυψηλής ευκρίνειας, τα διαδικτυακά παιχνίδια και οι εφαρμογές που σχετίζονται με το Διαδίκτυο. Η επιλογή μιας συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής FTTx εξαρτάται από παράγοντες όπως το κόστος, η διαθεσιμότητα της υποδομής και το επιθυμητό επίπεδο υπηρεσιών σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το FTTH θεωρείται ως η πιο ευνοϊκή και προοδευτική επιλογή όταν είναι προσβάσιμο, δεδομένης της ανώτερης απόδοσής του. (“Passive Optical Network (PON) testing | Solution | EXFO,” n.d.)



Εικόνα 3 - Λογική δικτύων FTTCab, FTTC, FTTB, FTTx (<https://hdv-fiber.com>)



Εικόνα 4 - Διαφορά της διαδρομής κάλυψης της οπτικής ίνας στα αντίστοιχα δίκτυα (<https://hdv-fiber.com>)

### 3.1.2 Ανάπτυξη των FTTx δικτύων

Η μονότροπη οπτική ίνα, με το σχεδόν απεριόριστο εύρος ζώνης που διαθέτει, αποτελεί πλέον το μέσο μεταφοράς που επιλέγεται σε μεγάλες αποστάσεις και σε μητροπολιτικά δίκτυα. Η χρήση καλωδίων οπτικών ινών - αντί για καλώδια χαλκού - μειώνει σημαντικά τον εξοπλισμό και το κόστος συντήρησης, ενώ παράλληλα αυξάνει σημαντικά την ποιότητα υπηρεσίας και τώρα περισσότερο από ποτέ, πολλοί εταιρικοί πελάτες έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες οπτικών ινών από σημείο σε σημείο (P2P).

Τα καλώδια οπτικών ινών αναπτύσσονται πλέον στο τελευταίο μίλι - το τμήμα του δικτύου που εκτείνεται από το κεντρικό γραφείο (CO) έως τον συνδρομητή. Δεδομένου ότι, μέχρι πρόσφατα, αυτό το τμήμα ήταν συνήθως χάλκινο, οι υπηρεσίες υψηλής



ταχύτητας που ήταν διαθέσιμες σε οικιακούς πελάτες και μικρές επιχειρήσεις περιορίζονταν σε γενικές ψηφιακές συνδρομητικές γραμμές (xDSL) και στις υβριδικές μεταδόσεις οπτικών ινών-ομοαξονικών ινών (HFC). Η κύρια εναλλακτική λύση - ασύρματη μετάδοση με υπηρεσία άμεσης μετάδοσης (DBS) - απαιτεί κεραία και πομποδέκτη. Επομένως, στο σημερινό πλαίσιο, με την εκρηκτική ζήτηση για εύρος ζώνης και υπηρεσίες υψηλότερων ταχυτήτων σε μεγαλύτερες αποστάσεις, η χάλκινη και η ασύρματη μεταφορά δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις παραπάνω απαιτήσεις καθώς παρουσιάζουν τις ακόλουθες ελλείψεις:

- Περιορισμένο εύρος ζώνης
- Διαφορετικά μέσα και εξοπλισμός που απαιτούν εκτεταμένη συντήρηση

Παράλληλα, τα ακόλουθα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα FTTx δίκτυα τα καθιστούν ικανά να ανταπεξέλθουν στα σύγχρονα δεδομένα:

1. Συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας: Τα δίκτυα FTTX παρέχουν ταχύτατες ταχύτητες διαδικτύου που είναι πολύ ταχύτερες από τα παραδοσιακά ευρυζωνικά δίκτυα, επιτρέποντας στους χρήστες να εκτελούν απαιτητικές εργασίες, όπως η ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας, η αναπαραγωγή διαδικτυακών παιχνιδιών και η μεταφόρτωση μεγάλων αρχείων γρήγορα και αποτελεσματικά.
2. Αξιοπιστία: Τα δίκτυα FTTX είναι πιο αξιόπιστα από τα παραδοσιακά ευρυζωνικά δίκτυα, καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητα στις παρεμβολές και δεν παρουσιάζουν τις επιβραδύνσεις που μπορεί να εμφανιστούν με τα παραδοσιακά ευρυζωνικά δίκτυα κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής της χρήσης.
3. Μελλοντική βιωσιμότητα: Η τεχνολογία των οπτικών ινών είναι εξαιρετικά επεκτάσιμη και μπορεί να υποστηρίξει μελλοντικές εξελίξεις στην τεχνολογία του διαδικτύου, καθιστώντας την επένδυση με ασφάλεια για το μέλλον για σπίτια και επιχειρήσεις.
4. Εξοικονόμηση κόστους: Μακροπρόθεσμα, τα δίκτυα FTTX μπορούν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση κόστους για τους χρήστες, καθώς προσφέρουν ταχύτερη και πιο αξιόπιστη συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο που επιτρέπει στους χρήστες να εργάζονται και να παίζουν πιο αποτελεσματικά.

5. Βελτιωμένη ανταγωνιστικότητα: Η ανάπτυξη δικτύου FTTX μπορεί να βελτιώσει την ανταγωνιστικότητα μιας περιοχής, καθιστώντας την πιο ελκυστική για τις επιχειρήσεις και συμβάλλοντας στην προώθηση της οικονομικής μεγέθυνσης και ανάπτυξης.

Ωστόσο, υπάρχουν επίσης αρκετά μειονεκτήματα για την ανάπτυξη του δικτύου FTTX, όπως:

1. Κόστος: Η ανάπτυξη του δικτύου FTTX μπορεί να είναι δαπανηρή, ιδίως σε περιοχές που απαιτούν την εγκατάσταση υπόγειων καλωδίων οπτικών ινών.
2. Ανταγωνισμός με την υπάρχουσα υποδομή: Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα υφιστάμενα ευρυζωνικά δίκτυα μπορεί να παρέχουν επαρκή συνδεσιμότητα, καθιστώντας δύσκολο για τα δίκτυα FTTX να αποκτήσουν έρεισμα στην αγορά.
3. Τεχνικές προκλήσεις: Η ανάπτυξη δικτύου FTTX μπορεί να είναι τεχνικά δύσκολη, ιδίως σε περιοχές με δύσκολο έδαφος και περιορισμένη υποδομή.
4. Ποσοστό υιοθέτησης: Προκειμένου να αποσβεστεί το κόστος ανάπτυξης του δικτύου FTTX, απαιτείται υψηλό ποσοστό υιοθέτησης, το οποίο μπορεί να μην επιτευχθεί σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού. ( Μπούγος Ι., 2023)

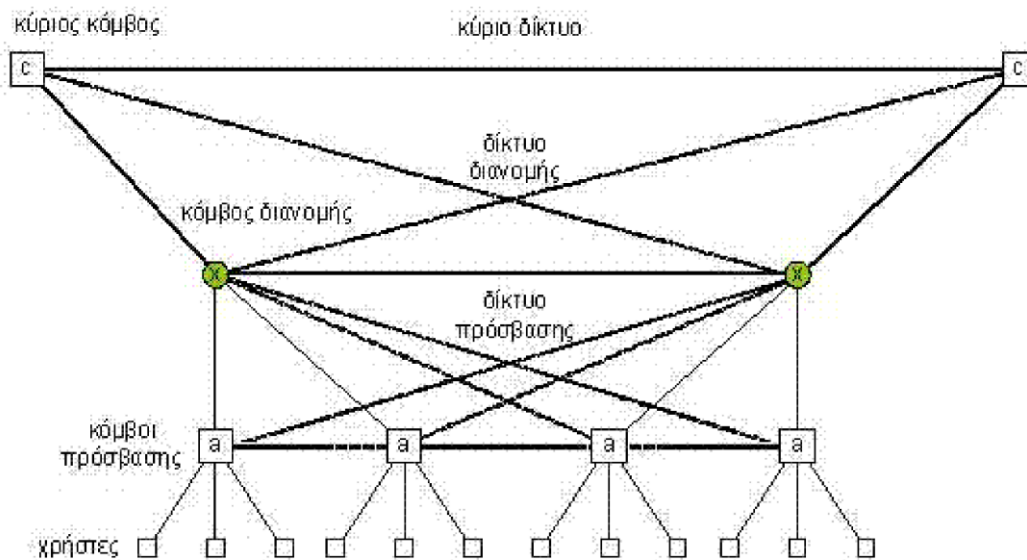
## 3.2 Αρχιτεκτονική δικτύων FTTH

### 3.2.1 Κύρια χαρακτηριστικά ενός δικτύου FTTH

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ταχύτερες ευρυζωνικές υπηρεσίες από τους οικιακούς χρήστες και εταιρικούς τελικούς χρήστες, οδήγησε τους φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών να τροποποιήσουν τα δίκτυα πρόσβασής τους ή να δημιουργήσουν νέα, προκειμένου να καταστήσουν τις οπτικές ίνες να καταλήγουν έξω από το κτίριο του τελικού χρήστη. Το FTTH , αναφέρεται σε αρχιτεκτονική (κατά το FttH Council) η οποία απεικονίζει τη διαδικασία εγκατάστασης και λειτουργίας των οπτικών ινών, ξεκινώντας από το Κεντρικό Καταναμητή (Central Office) και φτάνοντας ως τους τελικούς χρήστες, είτε βρίσκονται στον χώρο κατοικίας τους είτε στον εργασιακό τους χώρο.

Η κύρια αρχιτεκτονική δομή από τον πάροχο υπηρεσιών ως τον τελικό χρήστη παρουσιάζεται στο διαγράμμα παρακάτω και απαρτίζεται από τα εξής στοιχεία:

- **Κύριο Δίκτυο ή Δίκτυο Κορμού:** Αυτό αφορά σε κόμβους που ενώνουν οπτικουστικές διατάξεις, επιτρέποντας έτσι στους παρόχους να έχουν ολοκληρωμένη εικόνα του δικτύου και να παρακολουθούν την κατάστασή του συνολικά.
- **Δίκτυο Διανομής:** Αυτή η συνιστώσα συνδέει διάφορα τμήματα του δικτύου και λειτουργεί ως η γέφυρα μεταξύ των κύριων κόμβων και των κόμβων πρόσβασης. Επιτυγχάνει αυτό χρησιμοποιώντας ενεργό ή παθητικό εξοπλισμό που εντοπίζει διαφορετικά σήματα.
- **Δίκτυο Πρόσβασης:** Καταλήγοντας, αυτή η ενότητα του δικτύου συνδέει τον τελικό χρήστη με το δίκτυο διανομής.



Εικόνα 5 - Βασική δομή δικτύου FTTH (Σακελλαρόπουλος, 2021)

### 3.2.2 Οπτικά στοιχεία δικτύου FTTH

Η κατασκευή ενός δικτύου οπτικών ινών εδράζεται στην εφαρμογή οπτικού εξοπλισμού, ο οποίος αρμονικά ενσωματώνεται με την υποδομή (Civil Works). Οι δυο αυτοί άξονες της διαδικασίας κατασκευής είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι. Ακολουθούν τα οπτικά δομικά στοιχεία ενός δικτύου τέτοιας φύσης, παρουσιασμένα κατά ιεραρχική σειρά:

#### **1. Κεντρικό Σημείο (Central Office) ή Σημείο Παρουσίας Δικτύου (POP) ή Κεντρικό Σημείο Διακόπτη (Head End)**

Ελέγχει τις γραμμές τερματισμού των οπτικών ινών και φιλοξενεί τα συστήματα μετάδοσης δεδομένων τα οποία είναι τα εξής:

- OLT (Optical Line Terminal): Η συσκευή στο κεντρικό σημείο που διαχειρίζεται τα δεδομένα και τις συνδέσεις με τους συνδρομητές.
- Συστήματα Διαχείρισης: Προσφέρουν δυνατότητες διαχείρισης και παρακολούθησης του δικτύου.

Συχνά, το Central Office είναι εξοπλισμένο με διάφορα συστήματα για την ασφάλεια, την παρακολούθηση, και τη συντήρηση του δικτύου. Επίσης, σε ένα CO μπορούν να υποστηρίζονται διάφορες υπηρεσίες, όπως η τηλεφωνία, το Internet, και η τηλεόραση.

#### **2. Δίκτυο Κορμού - Καλώδια Τροφοδοσίας (Feeder Cabling)**

Τα Feeder Cables είναι οπτικά καλώδια υψηλής χωρητικότητας που χρησιμοποιούνται για την κύρια μετάδοση δεδομένων από το Central Office (Κεντρικό Γραφείο) ή το Head End προς τα διάφορα μέρη του δικτύου. Είναι το «κύριο οπτικό σημείο διανομής», το οποίο διακλαδώνεται στα καλώδια του δικτύου διανομής. Τοποθετούνται, συνήθως υπόγεια ή υπεργείως, σε μεγάλες αποστάσεις και συνδέουν το Central Office με τα Fiber Distribution Hubs ή με άλλα σημαντικά σημεία διανομής στο δίκτυο. Σκοπός τους είναι να μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, καθώς αποτελούν τον «κορμό» του δικτύου.

### 3. Δίκτυο Διανομής - Καλώδια Διανομής (Distribution Cabling)

Το δίκτυο διανομής αποτελεί το τμήμα του δικτύου FTTH που συνδέει το δίκτυο τροφοδοσίας (Feeder Network) με το δίκτυο πρόσβασης (Access Network) και υποστηρίζει την μετάδοση δεδομένων από τα Central Offices (COs) προς τα τοπικά σημεία σύγκλισης (Local Convergence Points - LCP) ή τα Optical Distribution Frames (ODF). Τα Local Convergence Points (LCP) είναι τοπικά σημεία σύγκλισης σε ένα δίκτυο οπτικών ινών, όπου τα καλώδια διανομής συγκεντρώνονται, διακλαδώνονται, ή τερματίζονται. Το Optical Distribution Frame (ODF) είναι ένα πλαίσιο ή μία καμπίνα που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση και την οργάνωση των οπτικών ινών και των συνδέσεων. Σε ένα ODF οι οπτικές ίνες μπορούν να συνδεθούν, να διακλαδωθούν ή να τερματιστούν. Οι διαφορές ενός LCP και ενός ODF είναι οι παρακάτω:

- Ένα LCP λειτουργεί ως σημείο συνάντησης και διανομή και τις οπτικές ίνες που καταλήγουν στους τελικούς χρήστες δηλαδή τοποθετείται κοντά στους τελικούς χρήστες εντός κατοικημένων περιοχών ή επιχειρήσεων, ενώ ένα ODF αποτελεί μια οργανωτική μονάδα χρησιμοποιείται για τη διαχείριση την προστασία και την οργάνωση συνδέσεων και τυπικά είναι τοποθετημένο σε εγκαταστάσεις του παρόχου.
- Σε ένα ODF μπορούν να τοποθετηθούν οι παρακάτω εξοπλισμοί:
  - Fiber Optic Patch Panels: Τα patch panels χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση και την οργάνωση των οπτικών ινών και των συνδέσεων.
  - Fiber Optic Adapters: Παρέχουν τη δυνατότητα σύνδεσης και σύζευξης διάφορων τύπων καλωδίων οπτικών ινών.
  - Fiber Optic Pigtails: Είναι κομμάτια οπτικής ίνας που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση μεταξύ των καλωδίων οπτικών ινών και των οπτικών πομποδεκτών.
  - Fiber Optic Splitters: Χρησιμοποιούνται για τη διαίρεση ενός οπτικού σήματος σε δύο ή περισσότερα σήματα.
  - Splicing Equipment: Εξοπλισμός για την ενώση ή επιδιόρθωση των καλωδίων οπτικών ινών.
- Optical Splitters:
  - Τα splitters διασπαρτίζουν το οπτικό σήμα που ερχόμενο από το Central Office σε πολλαπλές ίνες που καταλήγουν στους τελικούς χρήστες.

- Fiber Optic Connectors and Adapters: Για τη σύζευξη και τη σύνδεση διαφορετικών κομματιών καλωδίων οπτικών ινών.
- Fiber Distribution Hubs (FDH): Είναι κεντρικά σημεία διανομής που υποστηρίζουν τη διαχείριση και τη διανομή των οπτικών σημάτων στους χρήστες.
- Splice Closure: Προστατεύουν τις ενώσεις καλωδίων από το περιβάλλον και βοηθούν στην οργάνωση των ινών.

Συνεπώς, τα παραπάνω εργαλεία αποτελούν στοιχεία του μέρους διανομής ενός δικτύου.

#### **4. Δίκτυο Πρόσβαση- Καλώδια (Drop cables)**

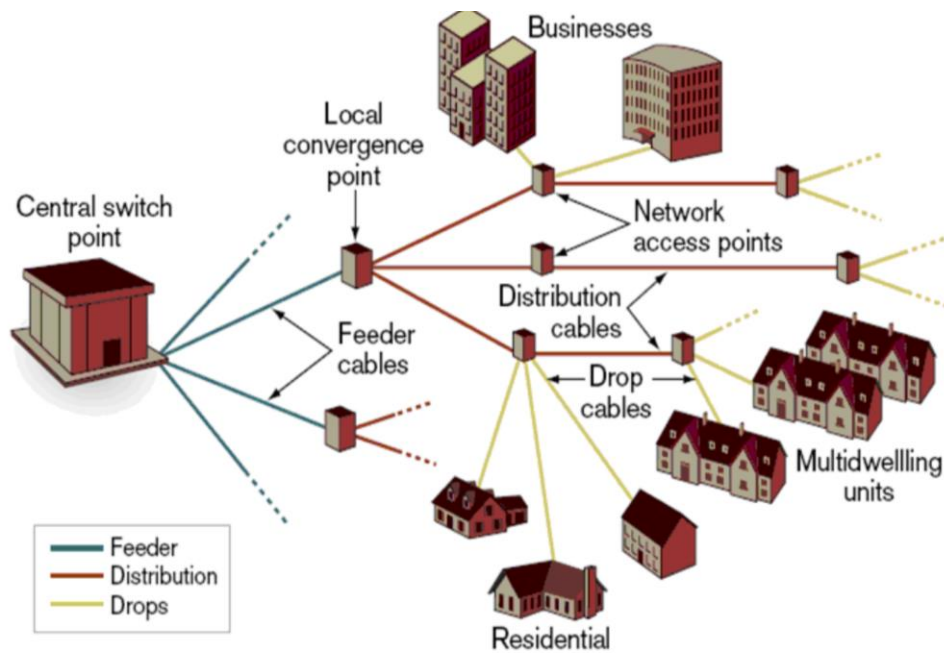
Είναι το τμήμα του δικτύου που συνδέει τους τελικούς χρήστες με τα κέντρα διανομής οπτικών ινών (FDH). Το Access Network περιλαμβάνει τα drop cables και τα σχετικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για να παρέχουν υπηρεσίες στα σπίτια των χρηστών και άλλες τερματικές συσκευές.

ONU/ONT (Optical Network Unit/Optical Network Terminal): Συσκευή που μετατρέπει τα οπτικά σήματα σε ηλεκτρικά, εγκατεστημένη στον τελικό χρήστη.

#### **5. Εξοπλισμός πελατικού χώρου - Customer Premises Equipment (CPE):**

Το CPE αναφέρεται στον εξοπλισμό που έχει ο πελάτης στο χώρο του δηλαδή στις συσκευές που βρίσκονται στην περιουσία του πελάτη και που συνδέονται με ένα δίκτυο τηλεπικοινωνιών. Τυπικά, το CPE αποτελεί ιδιοκτησία του πελάτη και όχι του παρόχου τηλεπικοινωνιών. Ένα CPE μπορεί να περιλαμβάνει:

- Router/Modem: Συσκευή που παρέχει σύνδεση στο δίκτυο στους τελικούς χρήστες μέσα στο σπίτι.
- Καλώδια και Συνδετήρες: Για την τοπική δικτύωση μέσα στην κατοικία.
- Τηλεφωνικές συσκευές
- Σετ-top boxes για τηλεόραση
- Άλλες ενδοδίκτυα εξοπλισμό (switches, hubs κλπ.)



Εικόνα 6 - Δομή δικτύου FTTH (Σακελλαρόπουλος, 2021)

### 3.2.3 Υποδομή δικτύου FTTH

Στην παρούσα εργασία, δίνεται έμφαση στην φυσική υποδομή ενός δικτύου FTTH και συγκεκριμένα στην προεργασία μιας περιοχής με σκοπό το σχεδιασμό της υποδομής αυτής. Η φυσική υποδομή (civil works) ενός τέτοιου δικτύου αφορά τα παρακάτω:

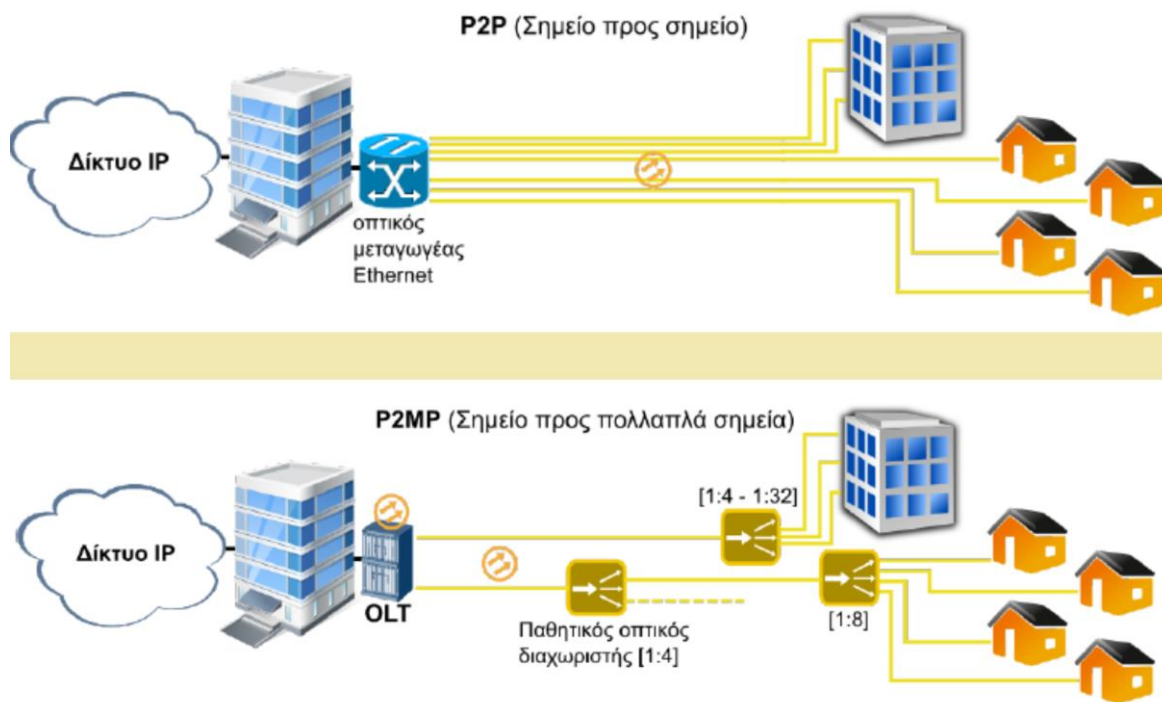
- Σκάμματα ( Trenching/Ducting) :στα οποία θα τοποθετηθούν feeder, distribution cables : Ανοίγονται τάφροι ή εγκαθίστανται προστατευτικοί σωλήνες για την τοποθέτηση των καλωδίων.
- Σκάμματα προς τον τελικό χρήστη (Access Points/Pedestals)
- Φρεάτια

### 3.2.4 Είδη αρχιτεκτονικών δικτύων FTTH

Οι διαθέσιμες αρχιτεκτονικές εγκατάστασης οπτικών δικτύων, προκειμένου η οπτική ίνα να φτάνει στην οικία του τελικού χρήστη, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Δίκτυα “σημείο προς σημείο” (point to point - P2P). Η οπτική ίνα που συνδέει το σπίτι του καταναλωτή τερματίζει σε ενεργό εξοπλισμό του πάροχου, π.χ. σε έναν οπτικό διακόπτη Ethernet. Αυτός ο τρόπος σύνδεσης μπορεί να υιοθετήσει τοπολογίες τύπου αστεριού ή και δακτυλίου, εάν χρησιμοποιηθεί διαφορετική τεχνολογία πρόσβασης.

- Δίκτυα “σημείο προς πολλαπλά σημεία” (point to multipoint - P2MP). Οι οπτικές ίνες που προέρχονται από τους καταναλωτές τερματίζουν σε παθητικούς οπτικούς διαχωριστές και στη συνέχεια συγκεντρώνονται σε μία μόνο ή σε ζευγάρι ινών προς τον πάροχο.



Εικόνα 7 - Είδη αρχιτεκτονικής εγκατάστασης δικτύου οπτικών ινών  
[http://users.sch.gr/jabatzo/files/vliko/live%20ebooks/diktva\\_vpolog\\_G\\_2018\\_final/ftth.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/vliko/live%20ebooks/diktva_vpolog_G_2018_final/ftth.html)

Οι πάροχοι φαίνεται ότι τείνουν προς την αρχιτεκτονική "σημείο προς πολλαπλά σημεία" (p2mp). Αυτό συμβαίνει επειδή επιτρέπει στους παρόχους να προχωρούν σταδιακά, κοντάρχοντας στην κατοικία του καταναλωτή μέσω ενδιάμεσων λύσεων, όπως είναι η τοποθέτηση μίνι DSLAM σε καμπίνες διανομής (KV) ή μικρο-DSLAM σε πολυκατοικίες, εξυπηρετώντας τους χρήστες με χαλκοκαλώδια, ADSL και κυρίως VDSL, το οποίο αφορά δίκτυα FTTx.

Ο οριστικός σχεδιασμός ενός οπτικού δικτύου p2mp που φτάνει μέχρι το σπίτι του χρήστη μόνο με οπτικές ίνες (Fiber to the Home - FttH), λόγω της αποκλειστικής χρήσης οπτικών ινών και παθητικών οπτικών διαχωριστών κατά την διαδρομή από το κέντρο του παρόχου προς τον χρήστη, είναι γνωστός ως "παθητικό οπτικό δίκτυο" (Passive Optical Network - PON). Ένα PON, αναλόγως της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, μπορεί να καθοριστεί ως E.PON, G.PON, GE.PON, XG.PON κλπ., παρέχοντας διαφορετικές συνολικές ταχύτητες προς και από τον χρήστη. Οι



γρηγορότερες υλοποιήσεις μπορούν να κατανεμηθούν μέσω διαχωριστών σε μεγαλύτερο αριθμό χρηστών (για παράδειγμα από 1:32 έως 1:128 σε δίκτυο XGPON/10).

([http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya\\_ypolog\\_G\\_2018\\_final/ftth\\_.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya_ypolog_G_2018_final/ftth_.html))

Για να είναι δυνατή η παροχή πολλαπλού περιεχομένου μέσω μιας οπτικής ίνας, καθώς και η δυνατότητα ανερχόμενης και κατερχόμενης επικοινωνίας, υιοθετούνται διακριτά μήκη κύματος φωτός για κάθε κατεύθυνση. Αυτή η τεχνική παραπέμπει στην τεχνική πολυπλεξίας συχνότητας (FDM) που εφαρμόζεται στα ηλεκτρικά σήματα, γνωστή ως πολυπλεξία μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing - WDM).

Από την πλευρά του παρόχου, τα κυρίως συστατικά στοιχεία του δικτύου περιλαμβάνουν:

- την οπτική μονάδα τερματισμού γραμμής (Optical Line Termination - OLT),
- τις οπτικές ίνες,
- τους μεσαίους παθητικούς οπτικούς διακόπτες,
- παθητικά στοιχεία σύνδεσης όπως πρίζες, συνδετήρες και άλλα, ενώ από την πλευρά του χρήστη, διαθέτει τη συσκευή τερματισμού του οπτικού δικτύου (Optical Network Termination - ONT) ή τη μονάδα οπτικού δικτύου (Optical Network Unit - ONU), παρόμοια με το modem/router που παρέχεται σε συνδρομητές με γραμμές ADSL/VDSL.

Τεχνολογία	Συνολική Ταχύτητα		Μήκος κύματος		Διαχωριστής
	DownStream	UpStream	DownStream	UpStream	
E.PON	1,2 Gbps	1,2 Gbps	1490nm	1310nm	έως 1:32 (2,5:32 ≈ 80 Mbps)
G.PON	2,5 Gbps	1,2 Gbps			
GE.PON	10 Gbps	1,2 Gbps	1578nm	1270nm	έως 1:128 (10:32 ≈ 300 Mbps)
XG.PON/10	10 Gbps	2,5 Gbps			

Εικόνα 8 - Τεχνολογίες οπτικού δικτύου και ταχύτητες  
([http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktva\\_vpolog\\_G\\_2018\\_final/ftth\\_.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktva_vpolog_G_2018_final/ftth_.html))

### 3.3 Φάσεις κατασκευής

#### 3.3.1 Α φάση

Προκειμένου να διεξαχθούν οι χωματουργικές και οι δικτυακές αναλύσεις FTTH για μια δεδομένη περιοχή, απαιτείται πρώτα η εκτέλεση ενός Site Survey για το συγκεκριμένο χώρο.

Στο πλαίσιο αυτής της επιθεώρησης του Site Survey, καταγράφονται τα εξής στοιχεία: Στοιχεία των κτιρίων της εν λόγω περιοχής που θα μελετηθούν. Με την βοήθεια ενός ψηφιακού πίνακα ή ακόμα και απλών χαρτογραφημένων πλανών, καταγράφουμε πληροφορίες όπως διευθύνσεις, αριθμός ορόφων, διαμερίσματα, επαγγελματικές εγκαταστάσεις, σημεία εισόδου ή τοποθεσίες χάλκινων κιβωτίων για κάθε κτίριο ξεχωριστά.

Έπειτα, πραγματοποιείται η καθορισμένη διαδρομή για την εκσκαφή του δικτύου διανομής της οπτικής καμπίνας. Αυτό περιλαμβάνει τον κατάλληλο έλεγχο για τυχόν προβλήματα στο έδαφος, την επιλογή του πλευράς της εκσκαφής στον δρόμο (δίνοντας προτεραιότητα στην πλευρά με τις περισσότερες συνδέσεις, εάν είναι δυνατόν) καθώς και την τοποθεσία των φρεατίων στα σημεία διασταυρώσεων ή όπου αλλού είναι αναγκαίο.

Στο τελευταίο στάδιο, υπάρχει μια προσπάθεια για τον εντοπισμό πιθανών τοποθετήσεων για οπτικές καμπίνες. Δημιουργούνται σχέδια των κατάλληλων διαστάσεων που παρουσιάζουν τις δυνατές τοποθετήσεις των οπτικών καμπινών.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ομαδοποίηση των κτιρίων ανά καμπίνα, το οποίο θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Έπειτα σχεδιάζεται η φυσική υποδομή του δικτύου, η οποία περιλαμβάνει το σχεδιασμό σκαμμάτων και επιλογή πολυσωληνίων σε αυτά, καθώς επίσης και ο σχεδιασμός φρεατίων στις διασταυρώσεις πολυσωληνίων, μπροστά από καμπίνες και ανά κάποιες αποστάσεις. Τέλος, σε ένα δίκτυο FTTH σχεδιάζονται τα κάθετα σκάμματα μπροστά από κάθε είσοδο κτιρίου, δηλαδή οι αναμονές ώστε να ακολουθήσει η Β' φάση. Η Α φάση ολοκληρώνεται με την υλοποίηση του δικτύου.

#### 3.3.2 Β φάση

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της μελέτης FTTH, ακολουθεί η δεύτερη φάση της μελέτης FTTH. Σε αυτό το στάδιο, κάθε συνδρομητής έχει την ευκαιρία να υποβάλει αίτηση για την εγκατάσταση οπτικής ίνας στον χώρο του. Για να

πραγματοποιηθεί αυτή η εγκατάσταση, είναι απαραίτητη η επίσκεψη του παρόχου, στο κτήριο του συνδρομητή, ο οποίος έχει διενεργήσει τη μελέτη στην εν λόγω περιοχή. Αυτή η επίσκεψη πραγματοποιείται από τον εργολάβο και μπορεί να γίνει είτε με τη συμμετοχή του εργοδότη είτε χωρίς αυτήν. Από ό,τι φαίνεται, η διαδικασία διενέργειας αυτοψίας για την εγκατάσταση του δικτύου FTTH είναι μια σχετικά περίπλοκη και λεπτομερής διαδικασία. Εν ολίγοις, η διαδικασία αυτή ασχολείται με την αξιολόγηση του κτιρίου και της γύρω περιοχής, την εύρεση των πιθανών προβλημάτων και την προτεινόμενη λύση για την εγκατάσταση του δικτύου, καθώς και την συλλογή όλων των αναγκαίων εγγράφων και πληροφοριών.

Για να ολοκληρωθεί με επιτυχία η διαδικασία, είναι σημαντικό να υπάρχει ένας εκπαιδευμένος εργολάβος που γνωρίζει καλά τις προδιαγραφές του δικτύου FTTH και τις σχετικές τεχνολογικές λύσεις όπως επίσης και το συνεργείο να διαθέτει τα κατάλληλα εργαλεία και μηχανήματα για την ανίχνευση των υποδομών και την εκτέλεση των εργασιών. Ο εργολάβος θα πρέπει να ενημερώνει ορθά τον πελάτη για την έκταση των εργασιών, τα αναγκαία έγγραφα και τον χρόνο που θα απαιτηθεί. Επίσης θα πρέπει να διατηρείται στενή επικοινωνία με την Επιχειρησιακή Μονάδα και τον εργοδότη για να διασφαλιστεί ότι όλα προχωρούν σύμφωνα με τις οδηγίες και τις προδιαγραφές τους. Επιπλέον, θα πρέπει να καταγράφονται και τεκμηριώνονται όλες οι εργασίες σε μια λεπτομερή έκθεση, η οποία θα πρέπει να εγκριθεί πριν από την πραγματική εγκατάσταση.

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία είναι οργανωμένη και λεπτομερής, με στόχο την ασφαλή και αποτελεσματική εγκατάσταση του δικτύου FTTH. Στην πρακτική, η σωστή εκτέλεση της διαδικασίας αυτής μπορεί να οδηγήσει σε αξιόπιστες, αποτελεσματικές και διαρκείς λύσεις συνδεσιμότητας για τους συνδρομητές. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις, κατά τη Β φάση μπορεί να χρειαστεί να διορθωθούν αστοχίες και ενδεχομένως λανθασμένες προσεγγίσεις της Α' φάσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις καλείται ο μηχανικός του παρόχου με την καθοδήγηση του μηχανικού εργολάβου να προτείνουν εναλλακτικές λύσεις. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι:

- Λανθασμένος υπολογισμός συνδρομητών ( σε περίπτωση P2P μπορεί να απαιτούνται περισσότερα/λιγότερα σωληνάκια από το πολυσωλήνιο από αυτά που έχουν εκτιμηθεί στην Α φάση)
- Ύπαρξη κτιρίου που να μην έχει συμπεριληφθεί στην Α φάση

- Αδυναμία τοποθέτησης εξοπλισμού B φάσης από την αναμονή της A φάσης. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να χρειαστεί να πραγματοποιηθεί πάλι εκσκαφή εγκάρσιας τομής, είτε χρήση μιας υπάρχουσας από διπλανά κτίρια.
- Κατά τη διασύνδεση του κτιρίου, μπορεί να απαιτηθούν νέες χωματουργικές εργασίες εφόσον δεν είναι δυνατό το πέρας της ίνας μέσα από το πολυσωλήνιο. Σε αυτή τη περίπτωση, η συνεργασία των μηχανικών καθίσταται απαραίτητη ώστε να βρεθεί ο λόγος και το σημείο βλάβης και να αποκατασταθεί

Κατασκευαστικά η B φάση περιλαμβάνει:

- Εισαγωγή ενός δισωληνίου εντός κτηρίου ή ανύψωση του επί στύλου
- Κατασκευή εξωτερικής, εναέριας, καλωδίωσης από το οπτικό box έως το κτίριο, σε περίπτωση που είναι αναγκαίο είτε κατασκευή επίγειας όδευσης οπτικής ίνας από την αναμονή A φάσης μέχρι το BEP.
- Τοποθέτηση οπτικής εισαγωγής εντός κτηρίου (BEP) ή οπτικού box επί στύλου.
- Κατασκευή εσωτερικής καλωδίωσης κτιρίων με την επιλογή δύο αρχιτεκτονικών κατακόρυφης καλωδίωσης, είτε Direct Drop (απευθείας καλωδίωση ONT με BEP είτε Floorboxes (κουτιά διασύνδεσης ανά όροφο ενδιάμεσα από το BEP και τα ONT). Πιο αναλυτικά, η Floorbox αρχιτεκτονική πρόκειται για μια προσέγγιση όπου το οπτικό καλώδιο, όταν φτάσει στο BEP διασπάται σε διάφορες ίνες (multiriser) που τοποθετούνται σε ένα κεντρικό καταναμητή σε κάθε όροφο (floorbox). Από εκεί, διανέμονται περαιτέρω μεταξύ των διαμερισμάτων ή των γραφείων μέσω μικρότερων καλωδίων. Το κεντρικό σημείο στο δάπεδο (floorbox) περιέχει τα απαραίτητα στοιχεία για να καταλήξει η ίνα στον τελικό χρήστη, όπως οι splitters. Αυτή η αρχιτεκτονική είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε πολύοροφα κτίρια όπου υπάρχει ανάγκη να διανεμηθεί η οπτική ίνα σε πολλά διαμερίσματα ή γραφεία. Στην περίπτωση της αρχιτεκτονικής Direct Drop, το οπτικό καλώδιο προσεγγίζει το BEP και συνεχίζει άμεσα προς τον τελικό χρήστη χωρίς την ανάγκη για ενδιάμεση διανομή σε κάθε όροφο. Αυτό συμβαίνει συχνά σε μονοκατοικίες ή σε χαμηλότερα κτίρια, όπου η ίνα μπορεί να προσεγγίζει απευθείας την οικία ή το γραφείο του χρήστη. Είναι μια πιο απλή και άμεση προσέγγιση, καθώς αποφεύγει την ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό ή καλωδίωση στους κοινόχρηστους χώρους ενός κτιρίου.

### 3.3.3 Γ Φάση

Η "Γ φάση" ή τελική φάση, όπως αναφέρεται, σχετίζεται με τη σύνδεση του συνδρομητή με τον πάροχο. Σε αυτή τη φάση, ο σκοπός είναι η τελική ενεργοποίηση της υπηρεσίας FTTH στον χρήστη.

Ορισμένα βασικά βήματα και στοιχεία που μπορεί να περιλαμβάνονται στην "Γ φάση" είναι:

- Εγκατάσταση ONT: Η ONT (Optical Network Terminal) είναι η συσκευή που συνδέει το σπίτι του συνδρομητή με το ινασματικό δίκτυο. Είναι απαραίτητο να εγκατασταθεί σωστά, να ρυθμιστεί και να συνδεθεί με το εσωτερικό δίκτυο του συνδρομητή.
- Έλεγχος της Ποιότητας της Υπηρεσίας: Πραγματοποιείται έλεγχος για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας της σύνδεσης, όπως ο έλεγχος των ταχυτήτων, η μετρηση της απενουάτσιας του σήματος και άλλες τεχνικές παραμέτρους.
- Εκπαίδευση του Χρήστη: Παρέχονται οδηγίες στον συνδρομητή για τη χρήση των νέων εξοπλισμών και των παρεχόμενων υπηρεσιών, όπως πώς να επανεκκινήσει τη συσκευή, πώς να αλλάξει κωδικούς πρόσβασης κλπ.
- Παραλαβή της Υπηρεσίας: Με την ολοκλήρωση των παραπάνω βημάτων, ο συνδρομητής ενεργοποιεί την υπηρεσία και πλέον μπορεί να χρησιμοποιήσει την υπηρεσία FTTH.

## 4. Σχεδιασμός δικτύων FTTH

### 4.1 Εργαλεία και περιβάλλοντα σχεδίασης δικτύων

#### 4.1.1 Λογισμικά GIS

Τα λογισμικά Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS - Geographic Information Systems) είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση, ανάκτηση, ανάλυση και παρουσίαση χωρικών δεδομένων. Τα χωρικά δεδομένα αναφέρονται σε πληροφορίες που έχουν μια γεωγραφική διάσταση, δηλαδή είναι συνδεδεμένες με μια συγκεκριμένη τοποθεσία στην επιφάνεια της γης.

Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των λογισμικών GIS:

Χωρική Αποθήκευση Δεδομένων: Τα GIS μπορούν να αποθηκεύουν δεδομένα σε μορφή χαρτών, δορυφορικών εικόνων, αεροφωτογραφιών ή διαφόρων άλλων χωρικών δομών.

Ανάλυση: Με τη χρήση GIS, μπορούν να γίνονται πολύπλοκες χωρικές αναλύσεις, όπως η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ δύο τοποθεσιών, η εκτίμηση περιοχών πλημμυρών, ή η ανάλυση της διασποράς μιας ρύπανσης.

Παρουσίαση Δεδομένων: Τα GIS μπορούν να παρουσιάζουν τα δεδομένα σε χάρτες ή άλλες γραφικές μορφές, προσφέροντας μια οπτική αναπαράσταση της χωρικής πληροφορίας.

Ενσωμάτωση Δεδομένων: Τα GIS μπορούν να ενσωματώνουν δεδομένα από διάφορες πηγές και σε διάφορες μορφές, επιτρέποντας την ολοκληρωμένη ανάλυση και παρουσίαση.

Υπάρχουν διάφορα λογισμικά GIS, τόσο εμπορικά όσο και ανοιχτού κώδικα. Ορισμένα από τα πιο δημοφιλή εμπορικά λογισμικά είναι το ArcGIS της Esri, ενώ στον κόσμο του ανοιχτού κώδικα, το QGIS είναι ένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία.

Τα λογισμικά GIS είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στο σχεδιασμό και τη διαχείριση δικτύων, είτε πρόκειται για δίκτυα ύδρευσης, ηλεκτρικής ενέργειας, τηλεπικοινωνιών, μεταφορών κ.λπ. Το GIS προσφέρει τη δυνατότητα ανάλυσης, σχεδιασμού και βελτιστοποίησης των δικτύων βάσει χωρικών κριτηρίων.

Ορισμένες εφαρμογές των λογισμικών GIS στο σχεδιασμό δικτύων:

Καταγραφή και Διαχείριση Δικτύων: Με τη χρήση GIS, οι οργανισμοί μπορούν να καταγράψουν και να διαχειριστούν τα στοιχεία του δικτύου, όπως σημεία, γραμμές και περιοχές, με ακρίβεια και αποδοτικότητα.

Ανάλυση Δικτύου: Το GIS επιτρέπει την ανάλυση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας ενός δικτύου, την εύρεση αδυναμιών και την πρόβλεψη προβλημάτων.

Σχεδιασμός Επεκτάσεων και Βελτιώσεων: Χρησιμοποιώντας τα GIS, οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές μπορούν να προγραμματίσουν επεκτάσεις ή βελτιώσεις σε ένα δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη χωρικές παραμέτρους.

Συμβατότητα με άλλα Συστήματα: Πολλά λογισμικά GIS έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώνουν δεδομένα από άλλα συστήματα, όπως SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) για την αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και έλεγχο των δικτύων.

Αντιμετώπιση Καταστροφών: Σε περίπτωση καταστροφών, όπως πλημμύρες ή σεισμοί, τα GIS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των επιπτώσεων στο δίκτυο και την προγραμματισμένη ανταπόκριση.

Εν κατακλείδι, τα λογισμικά GIS προσφέρουν πολύτιμες δυνατότητες για τον σχεδιασμό, τη διαχείριση και την ανάλυση δικτύων, επιτρέποντας στους επαγγελματίες να λαμβάνουν ενημερωμένες και βελτιωμένες αποφάσεις.

#### 4.1.2 Autocad

Ένα ακόμη περιβάλλον σχεδίασης ενός δικτύου μπορεί να αποτελέσει το Autocad. Κάποιες εταιρείες επιλέγουν να πραγματοποιούν τον σχεδιασμό του δικτύου οπικών ινών σε AutoCAD περιβάλλον. ο AutoCAD είναι ένα λογισμικό σχεδίασης και σχεδιασμού που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Autodesk. Είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα λογισμικά για τον ψηφιακό σχεδιασμό σε διάφορους τομείς, όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανολογία, η πολεοδομία, και πολλά άλλα.

Όσον αφορά τον σχεδιασμό δικτύων στο AutoCAD:

Βασικές Δυνατότητες: Το AutoCAD παρέχει μια ισχυρή πλατφόρμα για το σχεδιασμό δικτύων, επιτρέποντας τη δημιουργία λεπτομερών και ακριβών διαγραμμάτων.

Εξειδικευμένα Πρόσθετα: Υπάρχουν εξειδικευμένα πρόσθετα και εκδόσεις του AutoCAD, όπως το AutoCAD Civil 3D, που είναι πιο κατάλληλα για τον σχεδιασμό και την ανάλυση δικτύων ύδρευσης, αποχέτευσης ή άλλων υποδομών.

Εξαγωγή και Συνεργασία: Τα σχέδια που δημιουργούνται στο AutoCAD μπορούν να εξαχθούν σε διάφορες μορφές για συνεργασία με άλλα λογισμικά ή για παρουσιάσεις.

3D Σχεδιασμός: Πέρα από την κλασική 2D σχεδίαση, το AutoCAD προσφέρει δυνατότητες 3D μοντελοποίησης, επιτρέποντας τον πιο ρεαλιστικό και λεπτομερή σχεδιασμό δικτύων.

Προσομοίωση: Με τη βοήθεια εξειδικευμένων προσθέτων, οι μηχανικοί μπορούν να πραγματοποιήσουν προσομοιώσεις για να αξιολογήσουν τη λειτουργία ενός σχεδιασμένου δικτύου πριν από την υλοποίηση.

Συνολικά, το AutoCAD προσφέρει μια ευέλικτη και ισχυρή πλατφόρμα για τον σχεδιασμό δικτύων, ενώ οι δυνατότητές του μπορούν να επεκταθούν ακόμα περισσότερο με τη χρήση εξειδικευμένων προσθέτων και εργαλείων.

#### 4.1.3 Επιλογή κατάλληλου σχεδιαστικού περιβάλλοντος

Και τα δύο περιβάλλοντα, το GIS και το AutoCAD, έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα όταν πρόκειται για το σχεδιασμό τηλεπικοινωνιακών δικτύων, όπως ενός δικτύου οπτικών ινών. Ποιο εργαλείο είναι το καλύτερο εξαρτάται από τις ανάγκες και τους στόχους του εκάστοτε έργου. Τα πλεονεκτήματα του GIS στην ανάπτυξη ενός τηλεπικοινωνιακού δίκτυο είναι η χωρική ανάλυση που δίνει τη δυνατότητα εύρεσης των βέλτιστων διαδρομών για την τοποθέτηση οπτικών ινών, η ενσωμάτωση δεδομένων, όπως τοπογραφικούς χάρτες, δορυφορικές εικόνες και υπάρχοντα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και η διαχείριση δεδομένων όπως διαχείριση δεδομένων, ύπαρξη περιγραφικών στοιχείων και ιεραρχική οργάνωση. Απ' την άλλη το Autocad, ως αμιγώς σχεδιαστικό πρόγραμμα μπορεί να προσφέρει πιο λεπτομερή και ακριβή σχεδιασμό. Ωστόσο, ο ιδανικός συνδυασμός είναι ο αρχικός σχεδιασμός να πραγματοποιείται σε περιβάλλον GIS διότι είναι απαραίτητη η ύπαρξη επιπέδων (layer) με ιεραρχική δομή και με την συνοδεία περιγραφικών στοιχείων και κατά την υλοποίηση οι μηχανικοί του πεδίου να σχεδιάζουν το υπάρχον δίκτυο σε Autocad (as built) και στη συνέχεια το shp του Autocad να εισάγεται σε περιβάλλον GIS, ώστε να υπάρχει η ακριβής αποτύπωση του υλοποιημένου δικτύου.



## 4.2 Παρόμοιες μελέτες

Για την πορεία της παρούσας εργασίας, απαραίτητη ήταν η ενασχόληση με άλλες μελέτες, οι οποίες είχαν παρόμοιο αντικείμενο με σκοπό την άντληση ιδεών και την σύγκριση προβληματισμών στο σχεδιασμό τηλεπικοινωνιακών δικτύων.

1. Η πρώτη μελέτη πραγματοποιείται τον αυτοματοποιημένο σχεδιασμό δικτύων οπτικών ινών στο σπίτι (FTTH) χρησιμοποιώντας εργαλεία GIS με σκοπό την μείωση του κόστους ενός δικτύου. Το κύριο πλαίσιο εφαρμογής αυτής της μεθόδου είναι η περιοχή της Ιεράς Καρμπαλά στο Ιράκ, όπου συλλέγονται και επεξεργάζονται διάφορα δεδομένα γεωγραφικής και αστικής φύσης για την ανάπτυξη του δικτύου. Το σύστημα ασχολείται κυρίως με τη συλλογή δεδομένων γεωγραφικής και αστικής πληροφορίας για μια συγκεκριμένη περιοχή, Προετοιμασία και επεξεργασία αυτών των δεδομένων χρησιμοποιώντας ειδικά εργαλεία και εφαρμογές, χρήση των δεδομένων για τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής PON και της υποδομής των οπτικών ινών και κατηγοριοποίηση διαφόρων σημείων (ή κόμβων) με βάση την κατανάλωση εύρους ζώνης. Για την προετοιμασία των δεδομένων απαιτείται ο έλεγχος της ακρίβειας της βάσης δεδομένων δηλαδή κάθε δρόμος πρέπει να έχει ένα μοναδικό ID και τα σημεία του, ενώ πιθανά λάθη και επαναλήψεις (overlapping) πρέπει να διορθωθούν. Για την επεξεργασία των δεδομένων εφαρμόστηκε η θεωρία των γραφημάτων δηλαδή τα σημεία αντιπροσωπεύουν κορυφές του γραφήματος και τα τμήματα των δρόμων αντιπροσωπεύουν τις ακμές. Στόχος δηλαδή είναι να δημιουργηθεί ένας ακριβής χάρτης των δρόμων και των συνδέσεων τους για να διευκολυνθεί ο σχεδιασμός του δικτύου. Στη συνέχεια αναλύονται οι προσεγγίσεις και οι τεχνικές που σχετίζονται με τον σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού και οικονομικότερου δικτύου οπτικών ινών. Οι παράγοντες που συμμετέχουν στη δημιουργία ενός τέτοιου λογισμικού είναι πολυάριθμοι και πολύπλοκοι και αφορούν την περιστροφή/προσανατολισμό της περιοχής (τάσεις δρόμων και σημασία δρομολογιακών δικτύων), τη διαίρεση της περιοχής με βάση την ικανότητα κάλυψης ενός CO, τον προγραμματισμό του δικτύου (προτιμότερες υπηρεσίες, διαδρομή και μήκος οπτικών ινών), την βραχύτερη διαδρομή, την επιλογή της καταλληλότερη θέση του CO, πιθανές αναφορές μηχανικών από το πεδίο. Το σύστημα που

περιγράφεται λαμβάνει υπόψη αυτούς τους παράγοντες και στοχεύει στην κατασκευή ενός δικτύου με το χαμηλότερο δυνατό κόστος, αλλά με υψηλό βαθμό ευελιξίας.(Matrood et al., 2014)

2. Η ακόλουθη μελέτη πραγματεύεται τη δημιουργία ενός καινοτόμου συστήματος παρακολούθησης οπτικών ινών που βασίζεται σε γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS) gallery με σκοπό την καλύτερη διαχείριση και συντήρηση των δικτύων οπτικών ινών (FONs). Το προτεινόμενο σύστημα στοχεύει στην παροχή των απαραίτητων εργαλείων για ψηφιακή μοντελοποίηση και κεντρική εποπτεία των FONs. Πιο συγκεκριμένα, η παρακολούθηση οπτικών ινών (FON) προτείνεται να πραγματοποιείται μέσω μονάδων RTU. Οι RTUs είναι συσκευές που μπορούν να παρακολουθήσουν πολλαπλές ίνες και να εντοπίσουν θέσεις συναγερμού χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα γεωγραφικά δεδομένα. Μέσω του RTU, πληροφορίες σχετικά με την αποκώφωση και την απόσταση των βλαβών λαμβάνονται δοκιμάζοντας τα σήματα διασκόρπισης και αντανάκλασης. Η κύρια τεχνολογία πίσω από τα RTUs είναι τα OTDRs, τα οποία χρησιμοποιούν οπτικούς παλμούς για να λάβουν πληροφορίες από την οπίσθια διασκόρπιση Rayleigh και την αντανάκλαση Fresnel. Κατά την εγκατάσταση των RTUs, αναφορές από τα OTDRs καταγράφονται ώστε να έχουν έναν πρότυπο για σύγκριση. Οι RTUs συγκρίνουν τακτικά τα μετρήσεις με αυτές τις αναφορές για να εντοπίσουν οποιεσδήποτε αλλαγές, που μπορεί να οφείλονται σε ζημιές, γήρανση ή εισβολές. Το CMS είναι το σύστημα που διαχειρίζεται τα δεδομένα από τα RTUs, παρέχοντας ενημερώσεις και συναγερμούς στους χρήστες, με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα άμεσης παρέμβασης συνεργείου για την αποκατάσταση και έπειτα για τον έλεγχο της αποκατάστασης. Η πρόταση της μελέτης, δηλαδή το σύστημα FNMS, αποτελεί μια ευκαιρία για την υποστήριξη της συντήρησης των δικτύων FONs. και τη μείωση της εξάρτησης από ξένα εμπορικά συστήματα.(Dursun and Benzer, 2013)
3. Η κύρια πρόθεση της επόμενης έρευνας είναι η βελτίωση της αποδοτικότητας του δικτύου και η μείωση του κόστους των οπτικών συστατικών σε ένα δίτυο FTTH. Στην έρευνα περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού και υλοποίησης ενός προστατευμένου δικτύου Οπτικών Ινών Gigabit (GPON) FTTH χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως το GIS και το AutoCAD. Ο κύριος στόχος αυτής της αρχιτεκτονικής είναι η ελαχιστοποίηση του μήκους των οπτικών

καλωδίων που απαιτούνται για τη διανομή. Μέσω της εργασίας τονίζεται η σημασία της προστασίας και ανακατεύθυνσης στη δομή του δικτύου, ενώ υπογραμμίζεται η σημασία του GIS στον σχεδιασμό και διαχείριση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η συμβολή κάθε εξαρτήματος στην κατασκευή του δικτύου FTTH αναδεικνύεται, ενώ το FTTH καθιστά δυνατή την παροχή όλων των υπηρεσιών (φωνής, βίντεο, δεδομένων) μέσω ενός κοινού πρωτοκόλλου IP. (Lokhande and Amarjeet Singh, 2017)

4. Τέλος, το δίκτυο σταθερής πρόσβασης συνιστά σημαντικό στοιχείο κόστους για τους παρόχους τηλεπικοινωνιών, το οποίο είναι ιδιαίτερα εξαρτημένο από το δίκτυο δρόμων της πόλης. Η παρούσα μελέτη εξετάζει τις δομικές χαρακτηριστικές των αστικών δικτύων σε εννέα περιοχές της Ελλάδας με βάση την Θεωρία Σύνθετων Δικτύων. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Primal, αναλύονται δεδομένα GIS και μελετώνται διάφοροι τοπολογικοί και γεωγραφικοί δείκτες. Το κύριο αντικείμενο της εργασίας είναι να υπογραμμίσει πώς η πολυπλοκότητα της αστικής δομής επηρεάζει το κόστος των τηλεπικοινωνιακών δικτύων πρόσβασης.

#### 4.3 Στάδια σχεδιασμού

Για την υλοποίηση σχεδίων χωματουργικών και δικτυακών εργασιών FTTH για κάποια περιοχή, θα πρέπει αρχικά να διεξαχθεί μία αυτοψία, ένα δηλαδή Site Survey στη εν λόγω περιοχή.

Σκοπός της αυτοψίας είναι να καταγραφούν τα παρακάτω περιγραφόμενα στοιχεία.

Πρώτον, πραγματοποιείται καταγραφή των κτηρίων που βρίσκονται εντός της περιοχής η οποία είναι υπό μελέτη. Χρησιμοποιώντας είτε tablet είτε έντυπα σχέδια, καταγράφονται πληροφορίες όπως διευθύνσεις, αριθμός ορόφων, διαμερίσματα, επαγγελματικοί χώροι, καθώς και τοποθεσίες εισαγωγών ή χαλκινών κουτιών για κάθε κτήριο ξεχωριστά. Επιπλέον, διεξάγουμε την επιλογή της διαδρομής για την εκσκαφή του δικτύου διανομής από την οπτική καμπίνα (MT). Δηλαδή, ελέγχουμε για πιθανά εμπόδια στο έδαφος είτε πιθανές ασφαλτοστρώσεις και επιλέγεται η πλευρά της εκσκαφής στο οδόστρωμα (με προτίμηση στην πλευρά με τις περισσότερες αναμονές, εφόσον αυτό είναι εφικτό), καθώς και τοποθετούμε τα φρεάτια είτε σε διασταυρώσεις είτε σε άλλα σημεία που κρίνονται απαραίτητα. Έπειτα διεξάγεται ο σχεδιασμός που περιλαμβάνει τη φυσική υποδομή:

1. Ομαδοποίηση κτιρίων (clustering)
2. Επιλογή θέσης καμπίνας
3. Σχεδιασμός δικτύου καμπίνας - τελικό χρήστη

Η επιλογή θέσης καμπίνας πραγματοποιείται με τη χρήση δορυφορικών φωτογραφιών εφόσον έχει προηγηθεί η σχεδιαστική ομαδοποίηση των κτιρίων. Σε αντίθετη περίπτωση, είναι πολύ πιθανό οι κατά κάποιο τρόπο κατάλληλες θέσεις καμπινών να είναι συγκεντρωμένες σε ένα συγκεκριμένο χωρικό τμήμα της περιοχής και να μην μπορεί να καλύψει την ευρύτερη επιφάνεια. Συνεπώς, συνιστάται η αυτοψία θέσεων καμπίνας να πραγματοποιείται έπειτα από την πρόταση του σχεδιασμού. Οι διαφοροποιήσεις που προκύπτουν δεν είναι συχνές. Η επιλογή της θέσης καμπίνας στο χώρο πραγματοποιείται από μηχανικούς με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Να παραμένει περιθώριο ελεύθερου πλάτους πεζοδρομίου 150 εκατοστά για τους πεζούς
- Να επιτρέπεται η διέλευση αναπηρικών αμαξιδίων και ατόμων με προβλήματα όρασης/να μην τοποθετείται πάνω σε τακτικές πλάκες
- Να μην εμποδίζονται είσοδοι
- Να μην τοποθετείται μπροστά από προσόψεις καταστημάτων
- Να μην τοποθετείται κάτω από παράθυρα ώστε να μην διευκολύνεται η πρόσβαση σε αυτά
- Να ελαχιστοποιείται η οπτική όχληση
- Να μπορεί σε αυτόν τον χώρο να εργαστεί ο τεχνικός με ασφάλεια
- Να μπορεί να είναι επισκέψιμη 24/7
- Ενδείκνυνται η τοποθέτηση κοντά σε δημόσιους χώρους π.χ πάρκα

## 4.4 Γενικές αρχές σχεδιασμού

### 4.4.1 Κανόνες σχεδιασμού

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές σχεδιασμού που αφορούν την Α φάση και την φυσική της υποδομή, καθώς αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης της εργασίας. Ωστόσο, υπάρχουν βασικές αρχές σχεδιασμού τόσο για το οπτικό κομμάτι της Α φάσης, (cables & splittings), τόσο και για τη Β φάση που αναφέρεται στην καλωδίωση καμπίνα- τελικό χρήστη και στην ενδοκτιριακή καλωδίωση.

#### **Καμπίνες/FDC και τμήματα καμπινών (Boundary/Leg)**

- Κάθε καμπίνα διανομής ινών (FDC) χωρίζεται σε έως και 4 τμήματα/πόδια. Κάθε FDC μπορεί φιλοξενήσει έως και 72 σωλήνες και κάθε τμήμα/πόδι μπορεί να εξυπηρετήσει έως και 12 ή 24 σωλήνες.

- Σε κάθε κτίριο ενός σκέλους FDC θα πρέπει να εκχωρείται ένας ειδικός αριθμός σωλήνων που δείχνει επίσης την κατεύθυνση της σύνδεσης του FDC. Γενικά, υπάρχει ένας σωλήνας ανά κτίριο εκτός από περιπτώσεις μικρών κτιρίων που μπορούν να ομαδοποιηθούν ανά δύο και να χρησιμοποιούν και τα δύο τον ίδιο σωλήνα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το σημείο οριοθέτησης του κτιρίου (Toby Box) εγκαθίσταται στον τοίχο του κτιρίου.

των δύο κτιρίων.

- Κάθε σωλήνας έχει 4 ή 12 δέσμες ινών ανάλογα με το μέγεθος του κτιρίου. Για έως και 48 διαμερίσματα χρησιμοποιείται δέσμη 4 ινών.

- Κάθε πόδι/ομάδα κτιρίων θα πρέπει να ορίζεται από ένα όριο που θα περιλαμβάνει, στο πίνακα χαρακτηριστικών, ο συνολικός αριθμός των κτιρίων και των διαμερισμάτων που καλύπτονται.

- Η θέση του CO θα πρέπει να είναι στο/κοντά στο μέσο του ορίου FDC.

Καλύτερες θέσεις των FDC θεωρούνται κοντά σε πάρκα ή σε μεγάλα πεζοδρόμια (π.χ. αφήνοντας χώρο για αναπηρικά αμαξίδια τουλάχιστον 1m).

- Σε κάθε κτίριο ενός FDC θα πρέπει να εκχωρείται ειδικό BEP\_ID (κωδικός κτιρίου που προκύπτει από την καμπίνα, το leg και το σωληνάκι που απομαστεύεται στο κτίριο από το πολυσωλήνιο) .

## Αγωγοί (Conduits)

Οι αγωγοί θα πρέπει να χωρίζονται σε 5 διαφορετικούς τύπους:

1. **Τροφοδότης (Feeder):** όπου οδηγούνται τα καλώδια τροφοδοσίας

Διαστάσεις τάφρου: 8x45cm

Τύπος αγωγού: (DB7x14/10)+2xΦ50+(DB12x7/3.5+1x14/10), (DB 7x14/10) + 2xΦ50 + (DB 24x7/3.5 + 1x14/10)

2. **Διανομή (Distribution):** όπου οδηγούνται τα καλώδια FDC για να συνδεθούν με το καλώδιο τροφοδοσίας (ή το καλώδια FDC backhaul

Διαστάσεις τάφρου: 5x30cm

Τύπος αγωγού: (DB 24x7/3.5 + 1x14/10) + 2xΦ50 ή (DB 12x7/3.5 + 1x14/10) + 2xΦ50

3. **Πρόσβαση(Access) :** όπου οδηγούνται μόνο καλώδια από τα κτίρια στο FDC

Διαστάσεις τάφρου: 5x30cm

Τύπος αγωγού: (DB 24x7/3.5 + 1x14/10) + Φ40 ή (DB 12x7/3.5 + 1x14/10) + Φ40

4. **Πλευρικές (Lateral):** οι οποίες είναι κατακόρυφες γραμμές στον άξονα της οδού που συνδέουν την οριοθέτηση σημείο εκτός του κτιρίου με το δίκτυο τροφοδοσίας/διανομής/πρόσβασης.

Διαστάσεις τάφρου: 5x30cm

Τύπος αγωγού: (αριθμός σωλήνων +1 εφεδρικός) x DB 1x7/3,5 + Φ40

5. **Τάφρος καμπίνας:** η μικρή τάφρος από το φρεάτιο της καμπίνας μέχρι την καμπίνα

Διαστάσεις τάφρου: 15x60cm

Τύπος αγωγού: 6x(DB12x7/3.5 + 1x14/10)+2Φ50

Η υπάρχουσα υποδομή μπορεί να εμπλουτιστεί και να επαναχρησιμοποιηθεί, εφόσον είναι διαθέσιμη, σε μια νέα περιοχή FTTH μεταξύ κατασκευασμένων φρεατίων ή προγραμματισμένων και κατασκευασμένων φρεατίων. Σε γενικές γραμμές, υπάρχει ένα πλευρικό έως 6 κτίρια (εικόνα παρακάτω). Το πλευρικό δίκτυο πρέπει να δημιουργηθεί μεταξύ των δύο κτιρίων στη μέση των 6 κτιρίων (π.χ. μεταξύ των κτιρίων A2 & A3 στην εικόνα). Από αυτό το σημείο θα δημιουργηθεί μία διαμήκης γραμμή στα αριστερά για να έχει πρόσβαση στο ένα ή τα δύο κτίρια στα αριστερά και μια άλλη γραμμή στα δεξιά για πρόσβαση στα κτίρια στα δεξιά. Στη γραμμή των κτιρίων θα τοποθετηθεί ένα πλαίσιο οριοθέτησης για κάθε δύο κτίρια. Κάθε γραμμή θα πρέπει να

περιέχει τον αριθμό των υπογωγών 7/3,5 (μία υπογωγή ανά κτίριο) συν μία 7/3,5 για μελλοντική επέκταση. Η διασταύρωση του δρόμου θα περιέχει επίσης ένα HDPE 40mm.



Εικόνα 9 - Φυσική Υποδομή

### **Φρεάτια (Manholes)**

Σε κάθε διασταύρωση αγωγών και μπροστά από κάθε ερμάριο πρέπει να τοποθετούνται φρεάτια.

#### **1. 125x80cm**

- a. Μπροστά από την καμπίνα
- b. Όπου υπάρχει αγωγός τροφοδοσίας
- c. Όταν έχει σχεδιαστεί να εγκατασταθεί ένα κοινό κλείσιμο

#### **2. 90x70cm**

- a. Για πλευρικά καλώδια που εξέρχονται από αγωγό τροφοδοσίας
- b. Όπου εμπλέκεται αγωγός διανομής

#### **3. 50x50cm**

- a. Για πλευρικά κανάλια που εξέρχονται από αγωγό διανομής ή πρόσβασης
- b. Όπου υπάρχει αγωγός πρόσβασης

Τα υπάρχοντα φρεάτια μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να ανακατασκευαστούν, εάν υπάρχουν, σε μια νέα περιοχή FTTH.

#### 4. Toby box

Πρόκειται για κουτί που εγκαθίσταται στο σημείο τερματισμού της οπτικής ίνας στο σπίτι ή το κτίριο του χρήστη. Σε σχεδιαστικό πλαίσιο ανήκει στην κατηγορία των φρεατίων, αν και δεν πρόκειται για φρεάτιο.

Τέλος, υφιστάμενα φρεάτια μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν είτε να ανακατασκευαστούν σε μια FTTH περιοχή.

#### 4.4.2 Περιγραφικά στοιχεία βάσης ενός δικτύου FTTH σε περιβάλλον GIS

Τα παράγωγα στοιχεία φυσικής υποδομής ενός δικτύου υποδομής είναι τα εξής:

- Conduits
- Buildings
- Manholes
- Cabinets
- Boundary Cabinet
- Leg Cabinet

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα περιγραφικά στοιχεία που πρέπει να συνοδεύουν στα layer σε περιβάλλον GIS, ώστε να αποτυπώνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την ανάπτυξη του δικτύου.

##### Conduit layer

Το επίπεδο των αγωγών πρέπει να περιέχει τις εξής πληροφορίες:

Field	Τιμές
Όνομα	Προκύπτει από την αρχή και το τέλος ενός αγωγού που είναι πάντα δύο φρεάτια.
Διάσταση χανδακίου	-8x45cm -5x30cm -15x60cm



Τύπος αγωγού	$-(DB7 \times 14/10) + 2 \times \Phi 50 + (DB12 \times 7/3.5 + 1 \times 14/10)$ , $(DB 7 \times 14/10) + 2 \times \Phi 50 + (DB 24 \times 7/3.5 + 1 \times 14/10)$ $-(DB 24 \times 7/3.5 + 1 \times 14/10) + 2 \times \Phi 50$ ή $(DB 12 \times 7/3.5 + 1 \times 14/10) + 2 \times \Phi 50$ $-(DB 24 \times 7/3.5 + 1 \times 14/10) + \Phi 40$ ή $(DB 12 \times 7/3.5 + 1 \times 14/10) + \Phi 40$ $-(\text{αριθμός σωλήνων} + 1 \text{ εφεδρικός}) \times DB 1 \times 7/3,5 + \Phi 40$ $-6 \times (DB12 \times 7/3.5 + 1 \times 14/10) + 2 \times \Phi 50$
Μήκος	Υπολογισμός μήκους σε μέτρα μέσω του GIS calculator
Ημερομηνία κατασκευής	HH/MM/YYYY
Κατάσταση	Σχεδιασμένο (planned-designed), Αδειοδοτημένο (licenced), Κατασκευασμένο (constructed)

New Shapefile Layer

File name: Conduit .shp

File encoding: UTF-8

Geometry type: LineString

Additional dimensions:  None  Z (+ M values)  M values

CRS: EPSG:4326 - WGS 84

**New Field**

Name:

Type: abc Text (string)

Length: 100 Precision: 6

**Fields List**

Name	Type	Length	Precision
id	Integer	10	
Name	String	100	
Dimension	String	20	
Duct	String	100	
Length	Real	20	6
Const date	Date	20	6
Status	String	100	

Εικόνα 10 - Δημιουργία conduit shp σε περιβάλλον GIS

## Manhole layer

Το επίπεδο των φρεατίων πρέπει να περιέχει τις εξής πληροφορίες:

Field	Τιμές
Όνομα	Στο feeder δίκτυο επιλέγεται η ονομασία να δίνεται με τη φορά του ρολογιού η αντίστροφα κατά αύξουσα σειρά και κάποιους επιπλέον χαρακτήρες. Διαφορετικά, το όνομα μπορεί αναλόγως το δίκτυο να προκύπτει με το συνδυασμό διάφορων παραγόντων.
Διάσταση	-125x80cm -90x70cm -50x50cm - (κενό όταν πρόκειται για TB)
Διεύθυνση	Η διεύθυνση της εισόδου μπροστά από την οποία τοποθετήθηκε το φρεάτιο είτε η διασταύρωση των δρόμων που τοποθετήθηκε.
Τύπος	Η προδιαγραφή EN124 αναφέρεται στα καλύμματα και τα πλαίσια φρεατίων και στα χαρακτηριστικά τους. Αυτή η προδιαγραφή καθορίζει διάφορες κατηγορίες φόρτισης που αντιπροσωπεύουν τον τύπο χρήσης και την αντοχή των φρεατίων σε διάφορες συνθήκες. Οι βασικές κατηγορίες φόρτισης σύμφωνα με την EN124 είναι:  A15: Για πεζοδρόμια, περιοχές για πεζούς και παρόμοιες περιοχές, πάρκα κλπ. (φορτίο έως 15 kN)  B125: Για πεζοδρόμια, πάρκινγκ για αυτοκίνητα και παρόμοιες περιοχές. (φορτίο έως 125 kN)  C250: Για πεζοδρόμια, χώρους στάθμευσης, δρόμους και παρόμοιες περιοχές. (φορτίο έως 250 kN)  D400: Για δρόμους, αστικές αρτηρίες, δρόμους σε ζώνες αυτοκινήτων και παρόμοιες περιοχές. (φορτίο έως 400 kN)  E600: Για περιοχές με πολύ φορτίο, όπως λιμάνια και περιοχές φόρτωσης. (φορτίο έως 600 kN)  F900: Για περιοχές με εξαιρετικά μεγάλο φορτίο, όπως αεροδρόμια και λιμάνια. (φορτίο έως 900 kN)

Σωληνάκι	Στην περίπτωση που πρόκειται για Toby box, αναγράφεται το σωληνάκι απ' το πολυσωλήνιο που θα χρησιμοποιηθεί για το κτίριο
Ημερομηνία κατασκευής	HH/MM/XXXX
Κατάσταση	Σχεδιασμένο (planned-designed), Αδειοδοτημένο (licenced), Κατασκευασμένο (constructed)
X,Y (προαιρετικά)	συντεταγμένες

**New Shapefile Layer**

File name: Manholes..shp

File encoding: UTF-8

Geometry type: Point

Additional dimensions:  None  Z (+ M values)  M values

CRS: EPSG:4326 - WGS 84

**New Field**

Name: [ ]

Type: abc Text (string)

Length: 100 Precision: [ ]

[ Add to Fields List ]

**Fields List**

Name	Type	Length	Precision
id	Integer	10	
Name	String	100	
Dimension	String	20	
Adress	String	100	
Type	String	20	
Tube	Integer	10	
Const date	Date	20	
Status	String	100	

[ Remove Field ]

OK Cancel Help

Εικόνα 11 - Δημιουργία manhole shp σε περιβάλλον GIS

## Bulding layer

Το επίπεδο των κτιρίων πρέπει να περιέχει τις εξής πληροφορίες:

Field	Τιμές
Οδός	Όνομα οδού
Αριθμός	Αριθμός της οδού του κτιρίου
Ταχυδρομικός Κώδικας	ΤΚ κτιρίου
Αριθμός συνδρομητών	ο αριθμός των εν δυνάμει συνδρομητών συνολικά
Συνδρομητές κατοικιών	ο αριθμός των συνδρομητών που θα χρειαστούν υπηρεσία οικιακής χρήσης
Συνδρομητές καταστημάτων	ο αριθμός των συνδρομητών που θα χρειαστούν υπηρεσία για το κατάστημα
Συνδρομητές επιχειρήσεων	ο αριθμός των συνδρομητών που θα χρειαστούν υπηρεσία επαγγελματικής χρήσης
Καμπίνα	Η καμπίνα από την οποία θα εξυπηρετηθεί το κτίριο
Υπομήμα/’πόδι’ καμπίνας	Σχεδιαστικά σε πιο υπομήμα της καμπίνας ανήκει
Περιοχή καμπίνας	Η ονομασία της περιοχής της καμπίνας
Περιοχή	Η γεωγραφική περιοχή/δήμος στον οποίο ανήκουν τα κτίρια
X, Y	Συντεταγμένες

**New Shapefile Layer**

File name: Buildings.shp

File encoding: UTF-8

Geometry type: Point

Additional dimensions:  None  Z (+ M values)  M values

Coordinate System: EPSG:4326 - WGS 84

**New Field**

Name:

Type: 1.2 Decimal (double)

Length: 30 Precision: 10

**Fields List**

Name	Type	Length	Precision
id	Integer	10	
Adress	String	150	
Letter	String	15	
Zip	Integer	15	
HH total	Integer	15	
HH resi	Integer	15	
HH comme	Integer	15	
HH busin	Integer	15	
Cabinet	String	30	
Leg	String	30	
Boundary	String	30	
Municipal	String	50	
X	Real	30	10
Y	Real	30	10

Εικόνα 12 - Δημιουργία building shp σε περιβάλλον GIS

### Cabinet/FDC layer

Το επίπεδο των καμπινών πρέπει να περιέχει τις εξής πληροφορίες:

Field	Τιμές
Όνομα	η ονοματολογία προκύπτει από τον συνδυασμό συνήθως του CO, Feeder και ένας αύξον αριθμός
Διεύθυνση	η διεύθυνση εγκατάστασης της καμπίνας
Αριθμός κτιρίων	το σύνολο των κτιρίων που θα εξυπηρετηθούν από την καμπίνα
Αριθμός συνδρομητών	το σύνολο των συνδρομητών που θα εξυπηρετηθούν από την καμπίνα
Περιοχή καμπίνας	Η ονομασία της περιοχής της καμπίνας
Τύπος καμπίνας	Ο τύπος καμπίνας μαζί με τον προμηθευτή
Ημερομηνία εγκατάστασης/ενεργοποίησης	ΗΗ/ΜΜ/ΧΧΧΧ
Κατάσταση	Σχεδιασμένη/Εγκατεστημένη/ Ενεργοποιημένη
X, Y	Συντεταγμένες

**New Shapefile Layer** [Close]

File name: Cabinet.shp [Browse]

File encoding: UTF-8

Geometry type: Point

Additional dimensions:  None  Z (+ M values)  M values

CRS: EPSG:4326 - WGS 84 [Warning] [Globe]

**New Field**

Name: [ ]

Type: 1.2 Decimal (double)

Length: 30 Precision: 10

[Add to Fields List]

**Fields List**

Name	Type	Length	Precision
id	Integer	10	
Name	String	100	
Adress	String	100	
Num build	Integer	10	
Num hh	Integer	10	
Boundary	String	30	
Type	String	100	
Date	Date	20	
Status	String	50	
X	Real	30	10
Y	Real	30	10

[Remove Field]

OK Cancel Help

Εικόνα 13 - Δημιουργία cabinet shp σε περιβάλλον GIS



### Cabinet boundary layer

Το επίπεδο των πολυγώνων των κτιρίων μιας καμπίνας πρέπει να περιέχει τις εξής πληροφορίες:

Field	Τιμές
Όνομα	Το όνομα προκύπτει από την καμπίνα
Αριθμός κτιρίων	το σύνολο των κτιρίων που θα εξυπηρετηθούν από την καμπίνα
Αριθμός συνδρομητών	το σύνολο των συνδρομητών που θα εξυπηρετηθούν από την καμπίνα

**New Shapefile Layer**

File name: Boundary.shp

File encoding: UTF-8

Geometry type: Polygon

Additional dimensions:  None  Z (+ M values)  M values

CRS: EPSG:4326 - WGS 84

**New Field**

Name: [ ]

Type: 123 Integer (32 bit)

Length: 10 Precision: [ ]

[Add to Fields List]

**Fields List**

Name	Type	Length	Precision
id	Integer	10	
Name	String	80	
Num build	Integer	10	
Num hh	Integer	10	

[Remove Field]

OK Cancel Help

Εικόνα 14 - Δημιουργία boundary shp σε περιβάλλον GIS

## Cabinet Leg boundary layer

Το επίπεδο των πολυγώνων των κτιρίων μιας καμπίνας πρέπει να περιέχει τις εξής πληροφορίες:

Field	Τιμές
Όνομα	Το όνομα προκύπτει από την καμπίνα και συνοδεύεται από τον αριθμό του ποδιού-πολυγώνου της καμπίνας Leg1/Leg2/Leg3/Leg4
Αριθμός κτιρίων	το σύνολο των κτιρίων που θα εξυπηρετηθούν από την καμπίνα
Αριθμός συνδρομητών	το σύνολο των συνδρομητών που θα εξυπηρετηθούν από την καμπίνα

New Shapefile Layer

File name: Leg.shp

File encoding: UTF-8

Geometry type: Polygon

Additional dimensions:  None  Z (+ M values)  M values

Coordinate System: EPSG:4326 - WGS 84

**New Field**

Name: [ ]

Type: 123 Integer (32 bit)

Length: 10 Precision: [ ]

Add to Fields List

**Fields List**

Name	Type	Length	Precision
id	Integer	10	
Name	String	80	
Num build	Integer	10	
Num hh	Integer	10	

Remove Field

OK Cancel Help

Εικόνα 15 - Δημιουργία leg.shp σε περιβάλλον GIS

#### 4.5 Δυσχέρειες στην σχεδιαστική διαδικασία

Στον σχεδιασμό ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου, υπάρχουν διάφορα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν εξαιτίας δυσχερών διαδικασιών διεκπεραίωσης του είτε λανθασμένων δεδομένων, είτε εξωγενών παραγόντων. Πιο συγκεκριμένα:

- Έλλειψη Αυτοματοποιημένων Διαδικασιών: Ο αυτοματισμός μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή ανθρώπινων λαθών και στην ταχύτερη υλοποίηση των διαδικασιών. Η έλλειψή του μπορεί να καταλήξει σε λάθη και καθυστερήσεις. Η αυτοματοποίηση μπορεί να σχετιστεί με πολλά κομμάτια της μελέτης, είτε χωρικά είτε περιγραφικά όπως ομαδοποίησης κτιρίων, εύρεση βέλτιστης διαδρομής, αυτόματη δημιουργία εγκάρσιων τομών, αυτόματη ονοματοδοσία, αυτόματη ‘‘έξυπνη’’ επιλογή τύπου φρεατίου είτε χάνδακα κ.ά.
- Λανθασμένα Στοιχεία Συνδρομητών: Λανθασμένες πληροφορίες για τους συνδρομητές μπορούν να οδηγήσουν σε λάθη στην διαμόρφωση, τον σχεδιασμό χωρητικότητας ή τη διαδικασία εγκατάστασης.
- Προβλήματα Χωροταξίας: Ανεπαρκής μελέτη του τοπίου μπορεί να οδηγήσει σε λάθη κατά τη διάνυση των καλωδίων ή την τοποθέτηση των εξοπλισμών.
- Υπολογισμός Χωρητικότητας: Ένα λάθος στον υπολογισμό της απαιτούμενης χωρητικότητας μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση ή κάτω από το επιθυμητό επίπεδο υπηρεσίας.
- Τεχνολογικά Ζητήματα: Η επιλογή λανθασμένης τεχνολογίας ή η ανεπαρκής αναβάθμιση του δικτύου μπορεί να περιορίσει τις δυνατότητες του.
- Οικονομικές εκτιμήσεις: Η εκτίμηση κόστους που δεν λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολικές δαπάνες ή ανεπαρκή χρηματοδότηση.
- Λανθασμένη Εκτίμηση Ανάγκης: Οι λάθος εκτιμήσεις σχετικά με τη ζήτηση και τις ανάγκες των συνδρομητών μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες αποφάσεις σχεδιασμού.

Ο σχεδιασμός ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί λεπτομερή προγραμματισμό, τεχνολογική γνώση και συνεχή επανεξέταση. Ωστόσο η εμπειρική γνώση ενός μηχανικού τηλεπικοινωνιακών δικτύων πρέπει να έρχεται σε δεύτερο χρόνο, ενώ αρχικά για την εξοικονόμηση χρόνου και αποφυγή βασικών σφαλμάτων, αρκετές διαδικασίες πρέπει να αυτοματοποιηθούν.

Το κύριο αντικείμενο που στοχοποιείται στην παρούσα μελέτη είναι η έλλειψη αυτοματοποίησης στην ομαδοποίηση κτιρίων. Στην ομαδοποίηση των κτιρίων για τον σχεδιασμό ενός δικτύου FTTH, ορισμένα δυνατά λάθη που μπορεί να συμβούν είναι:

- Εσφαλμένη Ομαδοποίηση: Σε περίπτωση που κάποια κτίρια παραλειφθούν ή συμπεριληφθούν λανθασμένα σε μια ομάδα, μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή κάλυψη ή υπερβολική φόρτωση στις υποδομές.
- Υπέρβαση του Ορίου Κτιρίων: Αν η ομαδοποίηση υπερβαίνει το καθορισμένο όριο (π.χ. 48 κτίρια), αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υποβαθμισμένη ποιότητα υπηρεσίας.
- Λανθασμένες Διαστάσεις ή Τοποθεσίες: Ένα λάθος στην καταγραφή των διαστάσεων ή των τοποθεσιών των κτιρίων μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένη ομαδοποίηση.
- Λάθος Κριτήρια Ομαδοποίησης: Η μη λήψη υπόψη κριτηρίων όπως η προσβασιμότητα, ο αριθμός των χρηστών ανά κτίριο ή άλλοι παράγοντες μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστες επιλογές.

Ο αυτοματισμός της διαδικασίας με τη χρήση λογισμικού μπορεί να βοηθήσει στην:

- Εξακρίβωση Τοποθεσιών: Αυτοματοποιημένοι αλγόριθμοι μπορούν να καταγράψουν με ακρίβεια τη θέση των κτιρίων.
- Βελτιστοποίηση της Ομαδοποίησης: Με τη χρήση αλγορίθμων, το λογισμικό μπορεί να προσφέρει την καλύτερη δυνατή ομαδοποίηση με βάση τα δεδομένα εισόδου.
- Ελαχιστοποίηση Λαθών: Η χειροκίνητη εργασία είναι ευάλωτη σε λάθη
- Εξοικονόμηση χρόνου

## 5. Πρακτικό μέρος/Ομαδοποίηση κτιρίων ανά καμπίνα

### 5.1 Ομαδοποίηση κτιρίων

#### 5.1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Ο κώδικας που αναπτύσσεται στο παρόν κεφάλαιο βασίζεται στη θεωρία των γραφημάτων. Η θεωρία γραφημάτων είναι ένας κλάδος των μαθηματικών που ασχολείται με τη μελέτη γραφημάτων, τα οποία είναι μαθηματικές δομές που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση σχέσεων ή συνδέσεων μεταξύ αντικειμένων. Οι γράφοι αποτελούνται από δύο βασικά στοιχεία: κορυφές (που ονομάζονται επίσης κόμβοι) και ακμές.

Ακολουθεί μια λεπτομερής επισκόπηση της θεωρίας γραφημάτων:

#### Βασικοί ορισμοί:

- Κορυφή (κόμβος): Μια θεμελιώδης μονάδα ενός γράφου που αναπαριστά ένα αντικείμενο ή μια οντότητα.
- Ακμή: Μια σύνδεση μεταξύ δύο κορυφών, που αντιπροσωπεύει μια σχέση μεταξύ τους.
- Κατευθυνόμενη ακμή: Μια ακμή με κατεύθυνση, που υποδηλώνει μια μονόδρομη σχέση.
- Μη κατευθυνόμενη ακμή: Μια ακμή χωρίς κατεύθυνση, που υποδηλώνει αμφίδρομη σχέση.
- Βαθμισμένη ακμή: Μια ακμή με μια σχετική αριθμητική τιμή ή βάρος, που αντιπροσωπεύει ένα κόστος, μια απόσταση ή κάποια άλλη μετρική.
- Βαθμός μιας κορυφής: Ο αριθμός των ακμών που συνδέονται με μια κορυφή.

#### Τύποι γραφημάτων:

- Κατευθυνόμενος γράφος (Digraph): Ένα γράφημα όπου οι ακμές έχουν κατεύθυνση.
- Μη κατευθυνόμενος γράφος: Ένα γράφημα όπου οι ακμές δεν έχουν κατεύθυνση.
- Σταθμισμένος γράφος: Ένα γράφημα όπου οι ακμές έχουν βάρη.
- Απλός γράφος: Ένα μη κατευθυνόμενο γράφημα χωρίς αυτο-βρόχους ή πολλαπλές ακμές μεταξύ του ίδιου ζεύγους κορυφών.
- Πολυγράφος: Ένα γράφημα που επιτρέπει πολλαπλές ακμές μεταξύ του ίδιου ζεύγους κορυφών.

- Ψευδογράφημα: Ένα γράφημα που επιτρέπει τόσο αυτο-βρόχους όσο και πολλαπλές ακμές μεταξύ του ίδιου ζεύγους κορυφών.
- Αναπαραστάσεις γραφημάτων: Πίνακας γειτνίασης: Ένας πίνακας όπου κάθε κελί αντιπροσωπεύει αν υπάρχει ακμή μεταξύ δύο κορυφών.
- Λίστα γειτνίασης: Μια δομή δεδομένων όπου κάθε κορυφή αποθηκεύει έναν κατάλογο των γειτονικών της κορυφών.
- Πίνακας σύμπτωσης: Ένας πίνακας όπου οι γραμμές αναπαριστούν κορυφές, οι στήλες αναπαριστούν ακμές, και οι καταχωρήσεις δείχνουν αν μια κορυφή προσπίπτει σε μια ακμή.

#### Συνήθεις αλγόριθμοι γραφημάτων:

- Breadth-First Search (BFS): Χρησιμοποιείται για την εξερεύνηση όλων των κορυφών σε ένα γράφημα με επίσκεψη των γειτόνων πριν από τους γείτονές τους.
- Αναζήτηση με βάση το βάθος (DFS): Χρησιμοποιείται για να εξερευνήσει όσο το δυνατόν περισσότερο κατά μήκος ενός κλάδου πριν από την επιστροφή.
- Αλγόριθμος του Dijkstra: Βρίσκει το συντομότερο μονοπάτι μεταξύ δύο κορυφών σε ένα σταθμισμένο γράφο.
- Αλγόριθμος Bellman-Ford: Βρίσκει το συντομότερο μονοπάτι σε έναν σταθμισμένο γράφο, ακόμη και όταν υπάρχουν αρνητικά βάρη ακμών.
- Δέντρο ελάχιστης έκτασης (MST): Βρίσκει ένα υποσύνολο ακμών που σχηματίζουν ένα δέντρο που συνδέει όλες τις κορυφές ελαχιστοποιώντας το συνολικό βάρος των ακμών (π.χ. αλγόριθμοι Kruskal και Prim).
- Τοπολογική ταξινόμηση: Ταξινομεί τις κορυφές ενός κατευθυνόμενου ακυκλικού γράφου (DAG) έτσι ώστε για κάθε κατευθυνόμενη ακμή, η κορυφή προορισμού να ακολουθεί την κορυφή προέλευσης.

#### Εφαρμογές της θεωρίας γραφημάτων:

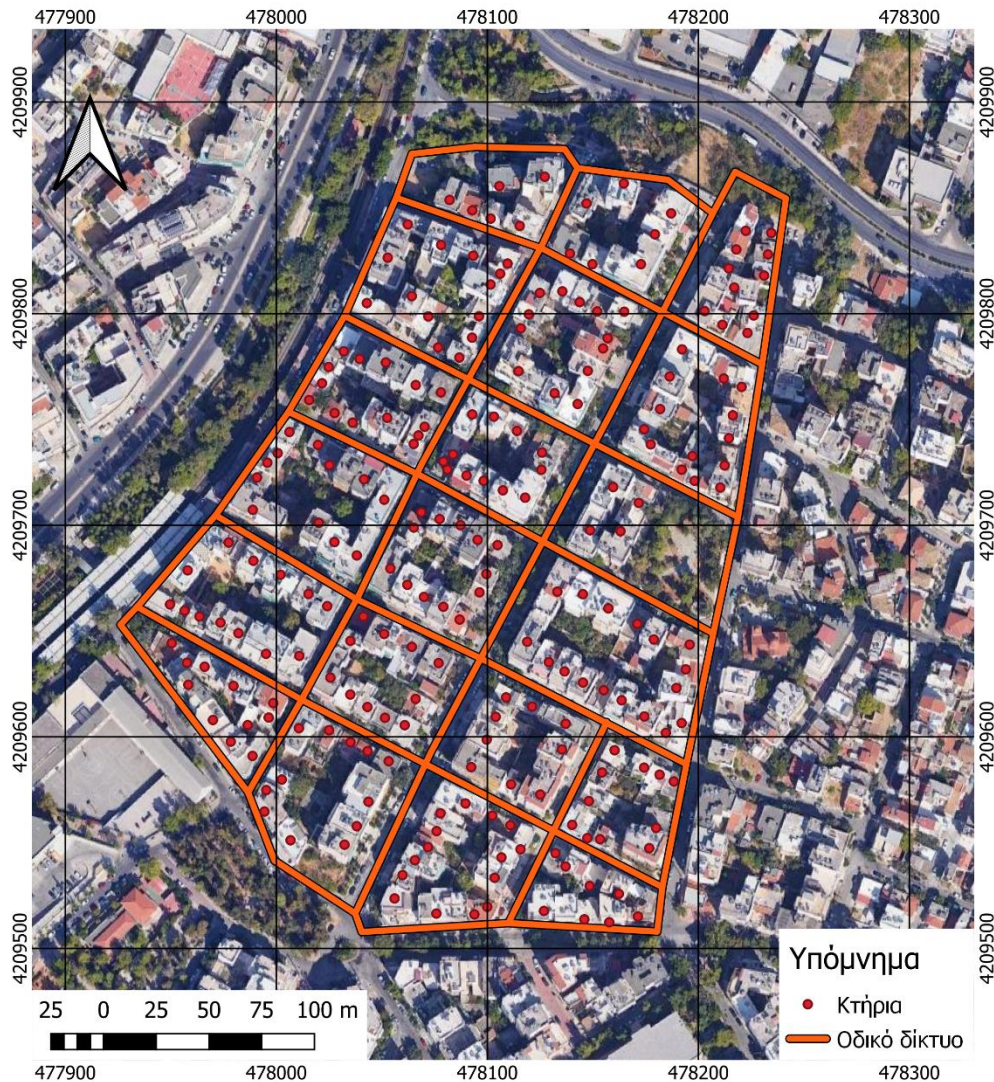
- Δίκτυα: Χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση και ανάλυση διαφόρων τύπων δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικών δικτύων, των δικτύων μεταφορών και των δικτύων υπολογιστών.

- Βελτιστοποίηση: Οι γράφοι χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης, όπως η εύρεση του συντομότερου μονοπατιού, της μέγιστης ροής και του ελάχιστου δέντρου εξάπλωσης.
- Σχεδιασμός κυκλωμάτων: Οι γράφοι χρησιμοποιούνται στην ανάλυση και τον σχεδιασμό ηλεκτρικών κυκλωμάτων.
- Συστήματα συστάσεων: Οι γράφοι μπορούν να αναπαραστήσουν τις σχέσεις χρήστη-στοιχείου σε συστήματα συστάσεων.
- Βιολογία: Χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση μοριακών δομών, δικτύων αλληλεπίδρασης πρωτεϊνών-πρωτεϊνών και εξελικτικών σχέσεων.
- Επιστήμη των υπολογιστών: Οι αλγόριθμοι γράφων είναι θεμελιώδεις στην επιστήμη των υπολογιστών για εργασίες όπως η ανάλυση δεδομένων, ο σχεδιασμός μεταγλωττιστών και η αναζήτηση σε βάσεις δεδομένων.

Η θεωρία γράφων είναι ένα ευέλικτο και ισχυρό πεδίο με εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων. Παρέχει ένα τυπικό πλαίσιο για την ανάλυση και την επίλυση προβλημάτων που αφορούν διασυνδεδεμένα δεδομένα, καθιστώντας την ένα ζωτικό εργαλείο σε διάφορους τομείς.

#### 5.1.2 Αυτοματοποίηση κτιρίων που ανήκουν στην ίδια καμπίνα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια προσέγγιση αυτόματης κατάτμησης περιοχής για ανάγκες FTTH (Fiber-to-the-Home). Στόχος της συγκεκριμένης εφαρμογής αποτελεί αφενός η ομαδοποίηση κοντινών σημείων σε συστάδες των 45 και αφετέρου η μετατροπή αυτών των συστάδων σε πολύγωνα. Περιοχή μελέτης αποτελεί ένα οικοδομικό τετράγωνο στην Εικόνα 16.



Εικόνα 16: Περιοχή μελέτης. Basemap: Google maps.

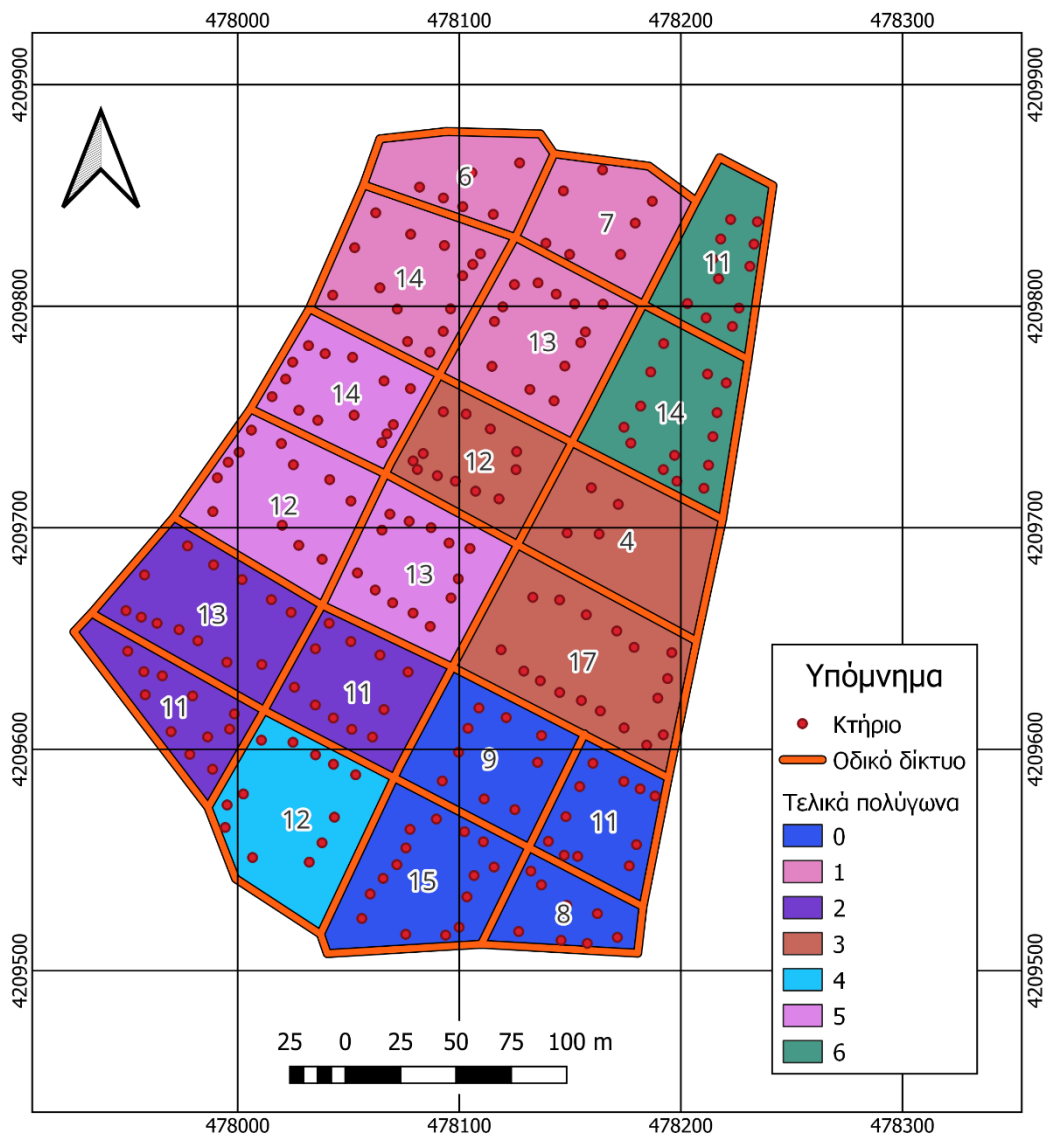
Στην συγκεκριμένη περιοχή τα κτήρια έχουν αποτυπωθεί με μια σημειακή τοπολογία ενώ οι δρόμοι με γραμμική. Σημειώνεται ότι, για τον ορισμό των ορίων της περιοχής μελέτης οι δρόμοι έκλεισαν σε ένα ενιαίο πολύγωνο.

Ως πρώτη προσέγγιση αποφασίστηκε να ομαδοποιηθούν τα κλειστά πολύγωνα που ορίζει το οδικό δίκτυο με στόχο την ομαδοποίηση κτηρίων που είναι φραγμένα από δρόμους προκειμένου να είναι πιο εύκολη η μετέπειτα επεξεργασία στις γεωμετρικές παρεμβολές του οδικού δικτύου στο οποίο θα γίνουν οι FTTH επεμβάσεις.

Αρχικά έγινε μια ομαδοποίηση των σημείων με τον αλγόριθμο k-means με  $k = 7$  έπειτα από πειράματα με  $k=5$  και  $k=6$  στα οποία παρατηρήθηκε πως ο αριθμός της συστάδας από σημεία ξεπερνούσε την αρχική συνθήκη των 45. Έπειτα έγινε μια χωρική ένωση των διανυσματικών επιπέδων των κτηρίων με τα πολύγωνα των δρόμων (join attributes by location) με την συγκεκριμένη ενέργεια πέρασε η πληροφορία των ομαδοποιημένων



κτηρίων τα οποία είχαν την μεγαλύτερη επικάλυψη στο διανυσματικό επίπεδο των πολυγώνων (Take attributes of the feature with largest overlap only (one-to-one)). Τέλος με έναν αλγόριθμο μέτρησης σημείων εντός πολυγώνου έγινε η επαλήθευση του αλγορίθμου (count points in polygons). Το αποτέλεσμα της μεθόδου φαίνεται στην ακόλουθη. Ωστόσο, η ιδιαιτερότητα αυτής της περίπτωσης είναι ότι ο αγωγός/σκάμμα για κτίρια διαφορετικών καμπινών θα είναι κοινός, εφόσον τα όρια των πολυγώνων ταυτίζονται με το δρόμο. Αυτό είναι υλοποιήσιμο αλλά είναι κοστοβόρο, καθώς απαιτείται η εκσκαφή να μεγαλώσει ώστε να δημιουργηθεί χώρος για διπλή υποδομή.



Εικόνα 17: Ομαδοποίηση σημείων σε περιοχές φραγμένες από το οδικό δίκτυο.

Για την υλοποίηση πρώτο βήμα αποτελεί η εφαρμογή του αλγορίθμου k-means. Ο αλγόριθμος K-means είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική μη επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης για την ομαδοποίηση δεδομένων. Ο πρωταρχικός στόχος του είναι να χωρίσει ένα σύνολο δεδομένων σε έναν προκαθορισμένο αριθμό συστάδων, που συμβολίζεται ως  $K$ , όπου κάθε σημείο δεδομένων ανήκει στη συστάδα με το πλησιέστερο κεντροειδές. Ο αλγόριθμος εκτελεί διάφορα βασικά βήματα. Πρώτον, ξεκινά με μια φάση αρχικοποίησης. Πρέπει να καθοριστεί ο αριθμός των συστάδων,  $K$ , που θέλει ο μηχανικός να δημιουργήσει. Ο αλγόριθμος αρχικοποιεί τυχαία τα  $K$  κεντροειδή των συστάδων, συνήθως επιλέγοντας  $K$  σημεία δεδομένων από το σύνολο δεδομένων ως αρχική αντιπροσωπευτική τιμή των συστάδων. Στη συνέχεια, στο βήμα ανάθεσης, ο αλγόριθμος υπολογίζει την απόσταση μεταξύ κάθε σημείου δεδομένων και όλων των  $K$  κεντροειδών, χρησιμοποιώντας την ευκλείδεια απόσταση. Στη συνέχεια, αναθέτει κάθε σημείο δεδομένων στη συστάδα με το πλησιέστερο κεντροειδές, ομαδοποιώντας ουσιαστικά τα δεδομένα σε  $K$  συστάδες. Μετά το βήμα ανάθεσης, ο αλγόριθμος προχωρά στο βήμα ενημέρωσης. Εδώ, υπολογίζει εκ νέου τα κεντροειδή των συστάδων λαμβάνοντας το μέσο όρο (μέσο όρο) όλων των σημείων δεδομένων που έχουν ανατεθεί σε κάθε συστάδα. Αυτά τα εκ νέου υπολογισθέντα κεντροειδή χρησιμεύουν ως οι νέοι αντιπρόσωποι των συστάδων. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνει τα βήματα ανάθεσης και ενημέρωσης μέχρι να ελέγξει τη σύγκλιση. Η σύγκλιση προσδιορίζεται συνήθως με την παρακολούθηση της μεταβολής των κεντροειδών μεταξύ διαδοχικών επαναλήψεων. Εάν τα κεντροειδή δεν έχουν αλλάξει σημαντικά ή εάν συμπληρωθεί ένας προκαθορισμένος αριθμός επαναλήψεων, ο αλγόριθμος τερματίζεται. Η τελική έξοδος του αλγορίθμου K-means είναι ένα σύνολο  $K$  συστάδων, καθεμία από τις οποίες αντιπροσωπεύεται από το κεντροειδές της. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της συνολικής διακύμανσης εντός των συστάδων ή του αθροίσματος των τετραγωνικών αποστάσεων μεταξύ των σημείων δεδομένων και των κεντροειδών των συστάδων που τους έχουν ανατεθεί. Ενώ ο αλγόριθμος K-means είναι ένας απλός και αποτελεσματικός αλγόριθμος ομαδοποίησης, έχει ορισμένους περιορισμούς. Απαιτεί να καθοριστεί εκ των προτέρων ο αριθμός των συστάδων, ο οποίος μπορεί να μην είναι πάντα γνωστός. Ο αλγόριθμος είναι ευαίσθητος στην αρχική τοποθέτηση των κεντροειδών και διαφορετικές αρχικοποιήσεις μπορεί να αποφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα. Επιπλέον, ο αλγόριθμος K-means υποθέτει ότι οι συστάδες είναι σφαιρικές, έχουν ίσο μέγεθος και παρόμοιες πυκνότητες, κάτι που μπορεί να μην

ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις. Οι ακραίες τιμές μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης.

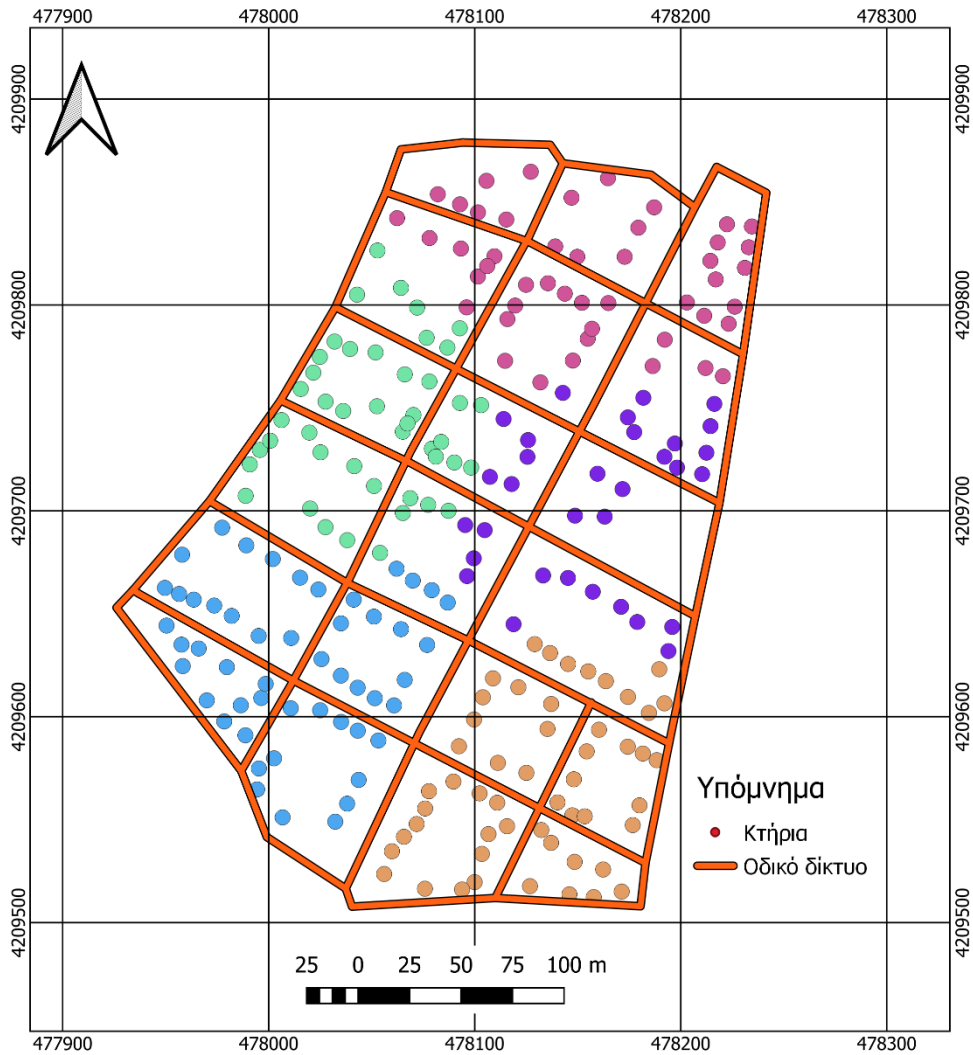
Για την συγκεκριμένη εφαρμογή ο αριθμός των κέντρων υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$k = \text{int}\left(\frac{\text{Total Number of buildings}}{45}\right) \quad \text{Εξ.1}$$

Στα διανυσματικά δεδομένα του παραδείγματος ο αλγόριθμος υλοποιεί στον attribute table δυο νέα στοιχεία το CLUSTER\_ID και το CLUSTER\_Size. Το πρώτο αναφέρεται στην ομάδα που έχει ταξινομηθεί το κάθε στοιχεία ενώ στο δεύτερο στο σύνολο των σημείων που εμπεριέχει αυτή. Υλοποιώντας λοιπόν τον αλγόριθμο με  $k = 227/45 = 5$ , παρατηρείτε η εξής δυσκολία στην Εικόνα και συγκεντρωτικά στον Πίνακας 1.

Πίνακας 1: Πίνακας αριθμού σημείων ανά κλάση

CLUSTER_ID	CLUSTER_SIZE
0	52
1	47
2	45
3	32
4	51



Εικόνα 18: Ομαδοποίηση σημείων με την μέθοδο k-means για  $k=5$ .

Το κριτήριο του CLUSTER\_SIZE δεν ισχύει καθώς δεν έχει 45 κτήρια η παράμετρος Cluster Size. Γι' αυτό στην ακόλουθη διπλωματική προτείνουμε την εφαρμογή του Constrained k-Means Clustering ένας παραμετροποιημένος αλγόριθμος γραμμένος σε περιβάλλον Python3 ικανός να ορίσει τον ελάχιστο αριθμό σημείων που θα εμπεριέχει κάθε κλάση. Με την συγκεκριμένη λύση θα μπορεί ο μηχανικός να δώσει όποιον αριθμό θέλει (ανάλογα την εφαρμογή) και οι παραγόμενες κλάσεις να έχουν κατ' ελάχιστο αυτόν. Ακολουθεί η δομή και η επεξήγηση του κώδικα. Ολοκληρωμένος βρίσκεται στο Παράρτημα 1.

Η ομαδοποίηση με περιορισμούς K-Means, συχνά αναφερόμενη ως CK-Means ή Constrained K-Means, είναι μια επέκταση του παραδοσιακού αλγορίθμου ομαδοποίηση K-Means που ενσωματώνει περιορισμούς που ορίζονται από τον χρήστη στη διαδικασία ομαδοποίησης. Αυτή η προηγμένη μέθοδος ομαδοποίησης

χρησιμοποιεί τη θεωρία γράφων για την ανακάλυψη βέλτιστων συστάδων, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι ένας ελάχιστος αριθμός σημείων δεδομένων συμμορφώνεται με συγκεκριμένες αναθέσεις συστάδων, όπως υπαγορεύονται από τον χρήστη. Η μέθοδος CK-Means είναι ιδιαίτερα πολύτιμη όταν ο μηχανικός διαθέτει εκ των προτέρων γνώση ή συγκεκριμένες απαιτήσεις του τομέα που πρέπει να επιβληθούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ομαδοποίησης.

Στο CK-Means, τα σημεία δεδομένων αναπαρίστανται σε ένα πλαίσιο βασισμένο σε γράφο, με κάθε σημείο δεδομένων να αντιστοιχεί σε έναν κόμβο γράφου. Οι ακμές μεταξύ των κόμβων αποτυπώνουν ομοιότητες ή ανομοιότητες κατά ζεύγη μεταξύ των σημείων δεδομένων, οι οποίες συνήθως υπολογίζονται με τη χρήση μετρικών απόστασης όπως η ευκλείδεια απόσταση. Ο πυρήνας του CK-Means έγκειται στην ενσωμάτωση περιορισμών που ορίζονται από τον χρήστη, οι οποίοι καθορίζουν τις σχέσεις ανά ζεύγη μεταξύ των σημείων. Αυτοί οι περιορισμοί συνήθως κατηγοριοποιούνται ως "πρέπει να συνδέονται" (σημεία που πρέπει να ανήκουν στην ίδια συστάδα) και "δεν μπορούν να συνδέονται" (σημεία που δεν μπορούν να ανήκουν στην ίδια συστάδα).

Ο κεντρικός στόχος του Constrained K-Means είναι η βελτιστοποίηση μιας προσαρμοσμένης αντικειμενικής συνάρτησης. Αυτή η συνάρτηση συνδυάζει τους συμβατικούς στόχους ομαδοποίησης K-Means, που επικεντρώνονται στην ελαχιστοποίηση της διακύμανσης εντός της ομάδας, με τους περιορισμούς που παρέχει ο χρήστης. Μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας βελτιστοποίησης, η CK-Means βελτιώνει τις αναθέσεις συστάδων και τα κεντροειδή, ενώ ταυτόχρονα τηρεί τους καθορισμένους περιορισμούς.

Μια κρίσιμη πτυχή του CK-Means είναι η διασφάλιση ότι κάθε συστάδα περιέχει τουλάχιστον έναν ελάχιστο αριθμό σημείων δεδομένων, όπως υπαγορεύεται από τον χρήστη. Αυτή η απαίτηση συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας των συστάδων και αποτρέπει το σχηματισμό συστάδων με λίγα μόνο μέλη.

Όσον αφορά τις εφαρμογές, το Constrained K-Means Clustering βρίσκει χρησιμότητα σε διάφορους τομείς. Στη γενετική, μπορεί να ομαδοποιήσει γονίδια ή πρωτεΐνες με βάση βιολογικές λειτουργίες ή αλληλεπιδράσεις, τηρώντας παράλληλα προκαθορισμένους περιορισμούς. Στην ομαδοποίηση εγγράφων κειμένου, η CK-Means εξασφαλίζει ότι τα έγγραφα της ίδιας κατηγορίας ή θέματος ομαδοποιούνται μαζί. Στην ανάλυση εικόνων, ο αλγόριθμος μπορεί να τμηματοποιήσει εικόνες σε

περιοχές τηρώντας περιορισμούς όπως τα όρια αντικειμένων ή η χρωματική ομοιότητα. Επιπλέον, ο αλγόριθμος CK-Means μπορεί να προσαρμοστεί για την ανίχνευση ανωμαλιών όταν ορισμένα σημεία δεδομένων περιορίζονται να μην ανήκουν σε καμία συστάδα.

Η ομαδοποίηση με περιορισμούς K-Means αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την ενσωμάτωση προηγούμενης γνώσης ή περιορισμών συγκεκριμένου τομέα στη διαδικασία ομαδοποίησης. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους αναλυτές να εξάγουν πιο ουσιαστικές και ερμηνεύσιμες συστάδες από τα δεδομένα τους, ευθυγραμμίζοντας τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης με τους περιορισμούς και τις απαιτήσεις του πραγματικού κόσμου.

Ο περιορισμένος K-means είναι μια επέκταση του παραδοσιακού αλγορίθμου ομαδοποίησης K-means που σας επιτρέπει να ενσωματώσετε περιορισμούς ή προηγούμενη γνώση στη διαδικασία ομαδοποίησης. Στον παραδοσιακό αλγόριθμο K-means, τα σημεία δεδομένων ομαδοποιούνται σε συστάδες με βάση αποκλειστικά την εγγύτητά τους στα κεντροειδή των συστάδων. Ο περιορισμένος K-means, από την άλλη πλευρά, προσθέτει πρόσθετους περιορισμούς για να καθοδηγήσει τη διαδικασία ομαδοποίησης. Αυτοί οι περιορισμοί μπορεί να έχουν τη μορφή περιορισμών must-link και cannot-link.

Ακολουθεί μια επισκόπηση του τρόπου λειτουργίας του Constrained K-means σε σύγκριση με τον κανονικό:

1. **Αρχικοποίηση:** Όπως και ο παραδοσιακός K-means, ο Constrained K-means ξεκινά με ένα αρχικό σύνολο κεντροειδών συστάδων. Αυτή η αρχικοποίηση μπορεί να είναι τυχαία ή να βασίζεται σε κάποιο άλλο ευρετικό σύστημα.
2. **Ενσωμάτωση περιορισμών:**
  - **Περιορισμοί που πρέπει να συνδέονται:** Αυτοί οι περιορισμοί καθορίζουν ότι δύο σημεία δεδομένων πρέπει να ανήκουν στην ίδια συστάδα. Για παράδειγμα, εάν γνωρίζετε ότι δύο σημεία δεδομένων αντιπροσωπεύουν το ίδιο αντικείμενο, μπορείτε να καθορίσετε έναν περιορισμό must-link μεταξύ τους. Για την ενσωμάτωση αυτών των περιορισμών, το Constrained K-means προσαρμόζει τη μετρική απόστασης που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της συσταδοποίησης για να διασφαλίσει ότι τα σημεία δεδομένων με περιορισμούς αντιστοιχίζονται στην ίδια συστάδα.
  - **Περιορισμοί που δεν μπορούν να συνδεθούν:** Οι περιορισμοί αυτοί καθορίζουν ότι δύο σημεία δεδομένων δεν μπορούν να ανήκουν στην ίδια συστάδα. Για παράδειγμα, αν γνωρίζετε ότι δύο σημεία δεδομένων αντιπροσωπεύουν διαφορετικά αντικείμενα, μπορείτε να καθορίσετε

έναν περιορισμό που δεν μπορεί να συνδέσει τα σημεία αυτά. Το Constrained K-means προσαρμόζει τη διαδικασία συσταδοποίησης ώστε να διασφαλίσει ότι τα σημεία δεδομένων με περιορισμούς τοποθετούνται σε διαφορετικές συστάδες.

3. **Ανάθεση συστάδων:** Μετά την ενσωμάτωση των περιορισμών, το Constrained K-means αναθέτει κάθε σημείο δεδομένων στη συστάδα της οποίας το κεντροειδές είναι πλησιέστερο σύμφωνα με την τροποποιημένη μετρική απόστασης.
4. **Ενημέρωση κεντροειδών:** Τα κεντροειδή των συστάδων ενημερώνονται με βάση τα σημεία δεδομένων που ανατίθενται σε κάθε συστάδα.
5. **Επανάληψη:** Τα βήματα 3 και 4 επαναλαμβάνονται επαναληπτικά μέχρι σύγκλισης. Η σύγκλιση επέρχεται όταν η ανάθεση των σημείων δεδομένων σε συστάδες δεν αλλάζει πλέον σημαντικά.
6. **Έξοδος:** Η τελική έξοδος είναι ένα σύνολο εκχωρήσεων σε συστάδες, όπου τα σημεία δεδομένων που ικανοποιούν τους περιορισμούς must-link τοποθετούνται στην ίδια συστάδα και τα σημεία δεδομένων που ικανοποιούν τους περιορισμούς cannot-link τοποθετούνται σε διαφορετικές συστάδες.

Ο αλγόριθμος constrained K-means βοηθά να διασφαλιστεί ότι οι προκύπτουσες συστάδες τηρούν τους καθορισμένους περιορισμούς, καθιστώντας τον χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου υπάρχει εκ των προτέρων γνώση σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ σημείων δεδομένων που πρέπει να διατηρηθούν κατά τη διάρκεια της ομαδοποίησης.

Ακολουθεί η ανάλυση του κώδικα:

Ακολουθεί η ανάλυση του κώδικα:

```
import networkx as nx
import numpy as np
from itertools import groupby
from PyQt5.QtCore import QCoreApplication, QVariant
from qgis.core import (QgsProcessing, QgsProcessingAlgorithm,
    QgsProcessingParameterFeatureSource,
    QgsProcessingParameterNumber,
    QgsProcessingParameterFeatureSink, QgsFields, QgsField,
    QgsWkbTypes,
    QgsFeatureSink, QgsProcessingUtils)
```

Εισάγονται οι απαραίτητες βιβλιοθήκες και συναρτήσεις της Python. Οι αξιοσημείωτες εισαγωγές περιλαμβάνουν το networkx για λειτουργίες γραφημάτων, το numpy για αριθμητικούς υπολογισμούς και διάφορες συναρτήσεις QGIS για την επεξεργασία γεωγραφικών δεδομένων.

< -- >

```
python
class ConstrainedKMeansAlgorithm(QgsProcessingAlgorithm):
    """Calculates the 2D distance based k-means cluster number for each
    input feature"""
```

Ορίζεται μια νέα κλάση Python που ονομάζεται `ConstrainedKMeansAlgorithm`. Αυτή η κλάση κληρονομείται από τον αλγόριθμο `QgsProcessingAlgorithm` και αντιπροσωπεύει έναν προσαρμοσμένο αλγόριθμο επεξεργασίας QGIS για ομαδοποίηση περιορισμένων K-means.

< -- >

```
python
    INPUT = 'INPUT'
    CLUSTERS = 'CLUSTERS'
    MINPOINTS = 'MINPOINTS'
    OUTPUT = 'OUTPUT'
```

Ορίζονται τα χαρακτηριστικά της κλάσης `INPUT`, `CLUSTERS`, `MINPOINTS` και `OUTPUT`, τα οποία αντιπροσωπεύουν ονόματα παραμέτρων για τον αλγόριθμο. Αυτά τα ονόματα παραμέτρων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό και την ανάκτηση εισόδων και εξόδων που ορίζονται από τον χρήστη.

< -- >

```
python
    def initAlgorithm(self, config=None):
```

Σε αυτή τη γραμμή ξεκινά ο ορισμός της μεθόδου `initAlgorithm`. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του αλγορίθμου και τον ορισμό των παραμέτρων του.

< -- >

```
python
    self.addParameter(
        QgsProcessingParameterFeatureSource(
            'INPUT',
            self.tr('Input Layer'),
            types=[QgsProcessing.TypeVectorAnyGeometry]
        )
    )
```

Προστίθεται μια παράμετρος στον αλγόριθμο. Καθορίζει ότι η παράμετρος `INPUT` είναι μια πηγή χαρακτηριστικών (γεωγραφικά δεδομένα) με την περιγραφή "Input Layer" και επιτρέπει οποιοδήποτε τύπο διανυσματικής γεωμετρίας.

< -- >

```
python
    self.addParameter(
        QgsProcessingParameterNumber(
            'CLUSTERS',
            self.tr('Number of Clusters'),
            QgsProcessingParameterNumber.Integer,
            5, False, 1
        )
    )
```



Αυτή η γραμμή προσθέτει μια άλλη παράμετρο για τον αριθμό των συστάδων (CLUSTERS). Πρόκειται για μια αριθμητική παράμετρο με περιγραφή, προεπιλεγμένη τιμή 5 και περιορισμούς (ακέραιος αριθμός, μη προαιρετικός, ελάχιστη τιμή 1).

< -- >

```
python
    self.addParameter(
        QgsProcessingParameterNumber(
            'MINPOINTS',
            self.tr('Mimumum Number of Points per Cluster'),
            QgsProcessingParameterNumber.Integer,
            1, False, 1
        )
    )
```

Σε αυτό το σημείο προστίθεται μια παράμετρος για τον ελάχιστο αριθμό σημείων ανά συστάδα (MINPOINTS). Είναι παρόμοια με την προηγούμενη παράμετρο, αλλά με διαφορετική περιγραφή και προεπιλεγμένη τιμή.

< -- >

```
python
    self.addParameter(
        QgsProcessingParameterFeatureSink(
            self.OUTPUT,
            'Clusters',
            QgsProcessing.TypeVectorAnyGeometry
        )
    )
```

Σε αυτό το σημείο προστίθεται μια παράμετρος για την έξοδο, καθορίζοντας ότι πρόκειται για ένα feature sink (όπου θα αποθηκευτούν τα ομαδοποιημένα δεδομένα). Η παράμετρος έχει ένα όνομα (self.OUTPUT), μια περιγραφή ("Clusters") και επιτρέπει κάθε τύπο διανυσματικής γεωμετρίας.

< -- >

Συνέχεια με τη μέθοδο `initAlgorithm`:

```
python
    def processAlgorithm(self, parameters, context, feedback):
```

Ορίζεται η μέθοδος `processAlgorithm`, όπου υλοποιείται η κύρια αλγοριθμική λογική. Λαμβάνει τρεις παραμέτρους: `parameters` (παράμετροι εισόδου), `context` (πλαίσιο εκτέλεσης) και `feedback` (μηχανισμός ανατροφοδότησης για ενημερώσεις προόδου).

< -- >

```
python
    source = self.parameterAsSource(parameters, self.INPUT,
    context)
```

Αυτή η γραμμή ανακτά την πηγή εισόδου (γεωγραφικά δεδομένα) από τις παραμέτρους χρησιμοποιώντας το όνομα της παραμέτρου self.INPUT.

< -- >

```
python
    k = self.parameterAsInt(parameters, self.CLUSTERS, context)
```

Σε αυτό το σημείο ανακτάται ο αριθμός των συστάδων (k) από τις παραμέτρους εισόδου χρησιμοποιώντας το όνομα της παραμέτρου self.CLUSTERS.

< -- >

```
python
    minpoints = self.parameterAsInt(parameters, self.MINPOINTS,
context)
```

Ορίζεται ο ελάχιστος αριθμός σημείων ανά συστάδα (minpoints) από τις παραμέτρους εισόδου χρησιμοποιώντας το όνομα της παραμέτρου self.MINPOINTS.

< -- >

```
python
    outputFields = source.fields()
```

Εξάγονται οι πληροφορίες πεδίου (χαρακτηριστικών) από την πηγή εισόδου.

< -- >

```
python
    newFields = QgsFields()
    newFields.append(QgsField('CLUSTER_ID', QVariant.Int))
    newFields.append(QgsField('CLUSTER_SIZE', QVariant.Int))
```

Δημιουργείται ένα νέο σύνολο πεδίων που θα προστεθούν στην έξοδο. Αυτά τα πεδία θα αποθηκεύουν πληροφορίες για το αναγνωριστικό συστάδας και το μέγεθος συστάδας.

< -- >

```
python
    outputFields = QgsProcessingUtils.combineFields(outputFields,
newFields)
```

Αυτή η γραμμή συνδυάζει τις υπάρχουσες πληροφορίες πεδίων (outputFields) με τα νέα πεδία (newFields) για να καθορίσει τα πεδία για την έξοδο.

< -- >

```
python
```

```

sink, dest_id = self.parameterAsSink(
    parameters,
    self.OUTPUT,
    context,
    outputFields,
    source.wkbType(),
    source.sourceCrs()
)

```

Ρυθμίζεται ο χώρος εξόδου όπου θα αποθηκεύονται τα ομαδοποιημένα δεδομένα. Ανακτώνται πληροφορίες σχετικά με τη μορφή εξόδου, συμπεριλαμβανομένου του τύπου γεωμετρίας και του συστήματος αναφοράς συντεταγμένων (CRS).

< -- >

Συνεχίζοντας με τη μέθοδο `processAlgorithm`:

```

python
features = [f for f in source.getFeatures()]

```

Ανακτώνται όλα τα χαρακτηριστικά (γεωγραφικές οντότητες) από την πηγή εισόδου και τα αποθηκεύει στη λίστα χαρακτηριστικών.

< -- >

```

python
data = []
for f in features:
    geometry = f.geometry()
    if geometry.wkbType() == QgsWkbTypes.Point:
        point = geometry
    else:
        point = geometry.centroid()

    data.append([point.asPoint().x(), point.asPoint().y()])

```

Αυτές οι γραμμές επεξεργάζονται τα χαρακτηριστικά και εξάγουν τα γεωμετρικά τους δεδομένα. Εάν ένα χαρακτηριστικό είναι σημείο, οι συντεταγμένες του εξάγονται απευθείας. Εάν δεν είναι σημείο, υπολογίζεται το κεντροειδές (κέντρο) της γεωμετρίας και χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες του. Οι συντεταγμένες που προκύπτουν αποθηκεύονται στη λίστα δεδομένων.

< -- >

Συνεχίζοντας με τη μέθοδο `processAlgorithm`:

```

python
demand = [minpoints] * k

```

Σε αυτό το σημείο δημιουργείται μια λίστα ζήτησης που περιέχει τα ελάχιστα σημεία που απαιτούνται για κάθε συστάδα. Αρχικοποιείται με τα ελάχιστα σημεία που επαναλαμβάνονται k φορές.

< -- >

```
python
    C, M, f = constrained_kmeans(data, demand)
```

Καλείται η συνάρτηση `constrained_kmeans` με τα δεδομένα εισόδου και τους περιορισμούς ζήτησης και επιστρέφει αναθέσεις συστάδων ( $M$ ), κέντρα συστάδων ( $C$ ) και ένα γράφημα ροής ( $f$ ) που αναπαριστά τη ροή ελάχιστου κόστους.

< -- >

```
python
    sorted_M = np.sort(M)
```

Ταξινομούνται οι αναθέσεις συστάδων  $M$  σε αύξουσα σειρά.

< -- >

```
python
    sizes = [len(list(group)) for key, group in groupby(sorted_M)]
```

Υπολογίζονται τα μεγέθη κάθε συστάδας ομαδοποιώντας και μετρώντας τα στοιχεία στις ταξινομημένες αναθέσεις συστάδων.

< -- >

```
python
    for index, out_f in enumerate(features):
```

Αυτή η γραμμή ξεκινά έναν βρόχο για την επανάληψη των χαρακτηριστικών εισόδου και των αντίστοιχων αναθέσεων συστάδων.

< -- >

```
python
    attributes = out_f.attributes()
```

Ανακτώνται τα υπάρχοντα χαρακτηριστικά (πεδία) του τρέχοντος χαρακτηριστικού εισόδου.

< -- >

```
python
    cluster_id = M[index].item()
```

Αυτή η γραμμή λαμβάνει το αναγνωριστικό συστάδας για το τρέχον χαρακτηριστικό από τον πίνακα M.

< -- >

```
python
    attributes.append(cluster_id + 1)
```

Προστίθεται το αναγνωριστικό συστάδας (αυξημένο κατά 1) στη λίστα χαρακτηριστικών.

```
python
    attributes.append(sizes[cluster_id])
```

Προστίθεται το μέγεθος της συστάδας (που καθορίζεται από τα μεγέθη) στη λίστα χαρακτηριστικών.

< -- >

```
python
    out_f.setAttributes(attributes)
```

Τα τροποποιημένα χαρακτηριστικά επιστρέφουν πίσω στο χαρακτηριστικό εισόδου.

< -- >

```
python
    sink.addFeature(out_f, QgsFeatureSink.FastInsert)
```

Αυτή η γραμμή προσθέτει το τροποποιημένο χαρακτηριστικό στο χώρο εξόδου.

< -- >

```
python
    return {self.OUTPUT: sink}
```

Αυτή η γραμμή επιστρέφει το χώρο εξόδου ως λεξικό με το κλειδί self.OUTPUT. Αυτό είναι το τελικό αποτέλεσμα του αλγορίθμου

< -- >

Συνεχίζοντας με τον ορισμό της κλάσης:

```
python
    def name(self):
        return 'constrained_kmeans'
```

Ορίζεται ένα όνομα μεθόδου που επιστρέφει το όνομα του αλγορίθμου, το οποίο είναι 'constrained\_kmeans'.

< -- >

```
python
def displayName(self):
    return self.tr('Constrained K-Means Clustering')
```

Αυτή η γραμμή ορίζει μια μέθοδο `displayName` που επιστρέφει το φιλικό προς το χρήστη όνομα εμφάνισης του αλγορίθμου, το οποίο είναι "Constrained K-Means Clustering".

< -- >

```
python
def shortHelpString(self):
    return self.tr('Constrained K-Means Clustering algorithm
PyQGIS implementation')
```

Ορίζεται μιας μέθοδος `shortHelpString` που παρέχει μια σύντομη περιγραφή του αλγορίθμου.

< -- >

```
python
def group(self):
    return self.tr(self.groupId())
```

Ορίζεται μιας μέθοδος `group` που επιστρέφει το όνομα της ομάδας του αλγορίθμου, το οποίο λαμβάνεται από την `self.groupId()`.

< -- >

```
python
def groupId(self):
    return ''
```

Ορίζεται μιας μέθοδος `groupId` που επιστρέφει το αναγνωριστικό ομάδας του αλγορίθμου. Σε αυτή την περίπτωση, επιστρέφει μια κενή συμβολοσειρά.

< -- >

```
python
def tr(self, string):
    return QCoreApplication.translate('Processing', string)
```

Ορίζεται μιας μέθοδος `tr` που μεταφράζει μια συμβολοσειρά χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό μετάφρασης του QGIS.

< -- >

```
python
def createInstance(self):
    return ConstrainedKMeansAlgorithm()
```

Σε αυτό το σημείο ορίζεται μιας μέθοδος createInstance που δημιουργεί μια περίπτωση της κλάσης ConstrainedKMeansAlgorithm.

< -- >

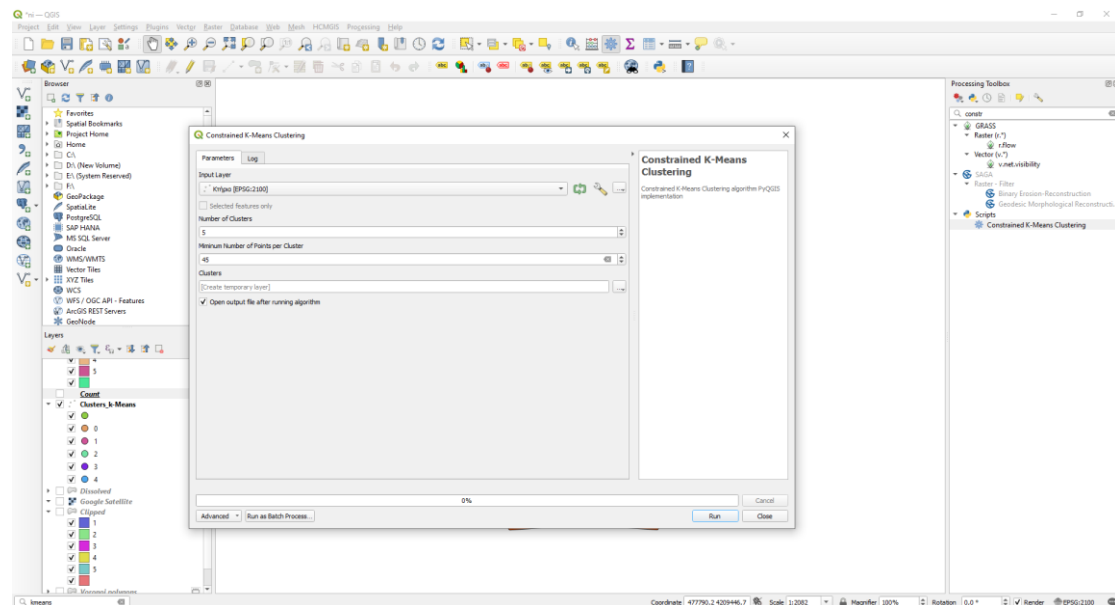
Τέλος, έξω από τον ορισμό της κλάσης:

### Python

```
def constrained_kmeans(data, demand, maxiter=None, fixedprec=1e9):
```

Αυτή η γραμμή ορίζει μια συνάρτηση της Python constrained\_kmeans, η οποία χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο. Υλοποιεί τον περιορισμένο αλγόριθμο constrained K-means clustering.

Στην παρακάτω εικόνα, Εικόνα 19, παρουσιάζεται το περιβάλλον διεπαφής του αλγορίθμου μέσα από το πρόγραμμα ανοιχτού λογισμικού QGIS, ενώ στην επόμενη, Εικόνα 20, αστικοποιείται το αποτέλεσμα.



Εικόνα 19: Περιβάλλον διεπαφής του script Constrained k-Means. Παρατηρείτε πως το περιβάλλον είναι ίδιο αλλά έχει προστεθεί και η εισαγωγή ελάχιστου αριθμού σημείων ανά κλάση.



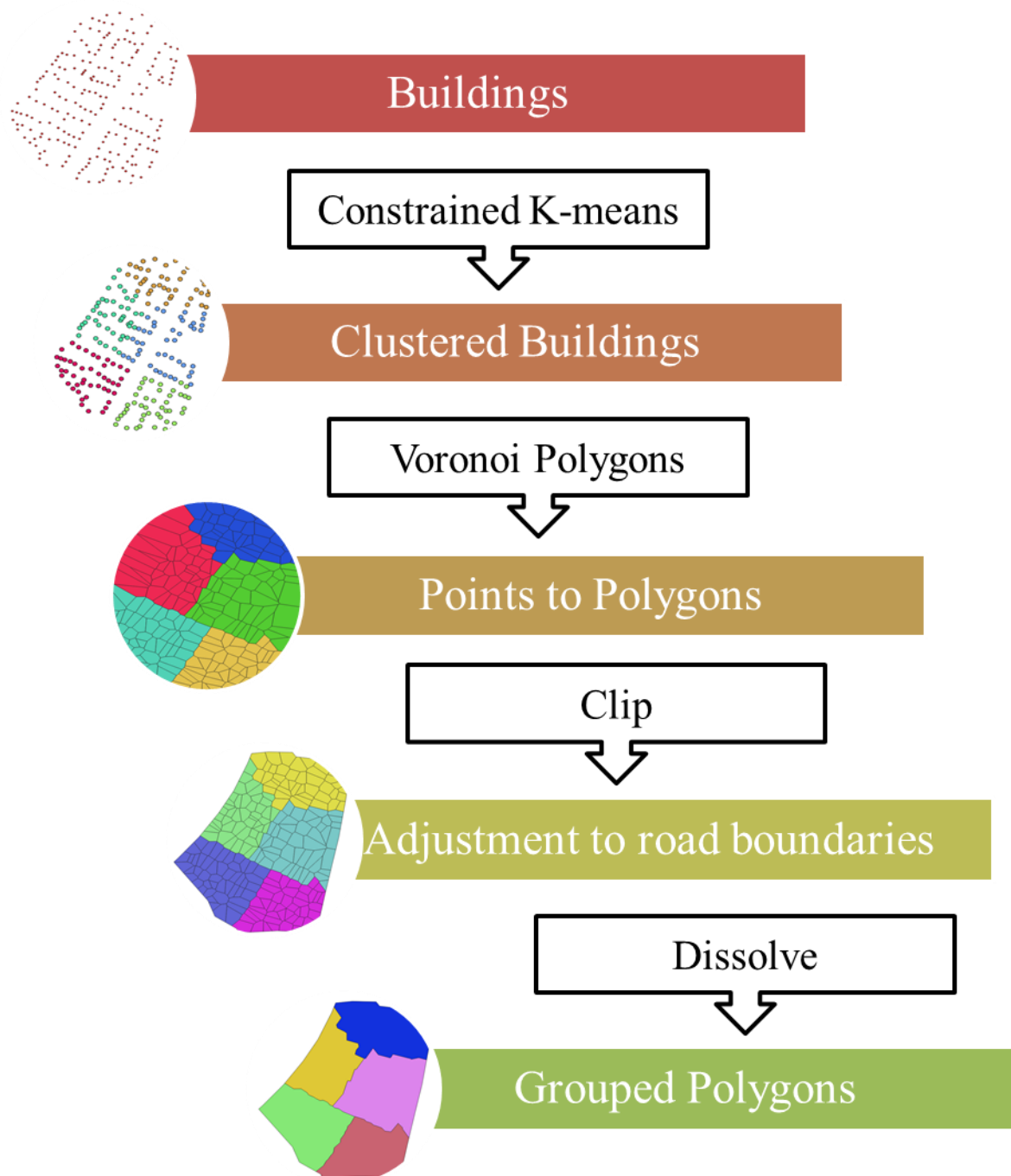
Εικόνα 20: Ομαδοποίηση σημείων με την μέθοδο k-means για  $\kappa=5$  και Cluster size = 45.

Πίνακας 2: Πίνακας αριθμού σημείων ανά κλάση μετά την εφαρμογή του Constrained k-Means.

CLUSTER_ID	CLUSTER_SIZE
1	47
2	45
3	45
4	45
5	45



Στον Πίνακα 2 φαίνεται πως ο αλγόριθμος έχει χωρίσει σε ομάδες των 45 όλα τα σημεία σύμφωνα με την ευκλείδεια απόσταση. Παρ' όλα αυτά η διαίρεση  $\frac{227}{45}$  δεν είναι άρτια συνεπώς δυο πλεονάζοντα σημεία οδηγούνται σε μια κλάση. Το συγκεκριμένο πρόβλημα αποτελεί μια δυσκολία του φυσικού κόσμου καθώς τα οικοδομικά τετράγωνα δεν ακολουθούν γεωμετρικούς δασμούς. Συνεπώς ένα πρόβλημα τέτοια φύσης, δεν αντιμετωπίζεται κάπως απλά σε μια ευρύτερη περιοχή να ελαχιστοποιείται. Έχοντας λύσει το πιο δύσκολο πρόβλημα της διαδικασίας ομαδοποίησης των σημείων η μετατροπή τους σε πολύγωνα ακολουθεί την ενιαία μεθοδολογία της εικόνας XX

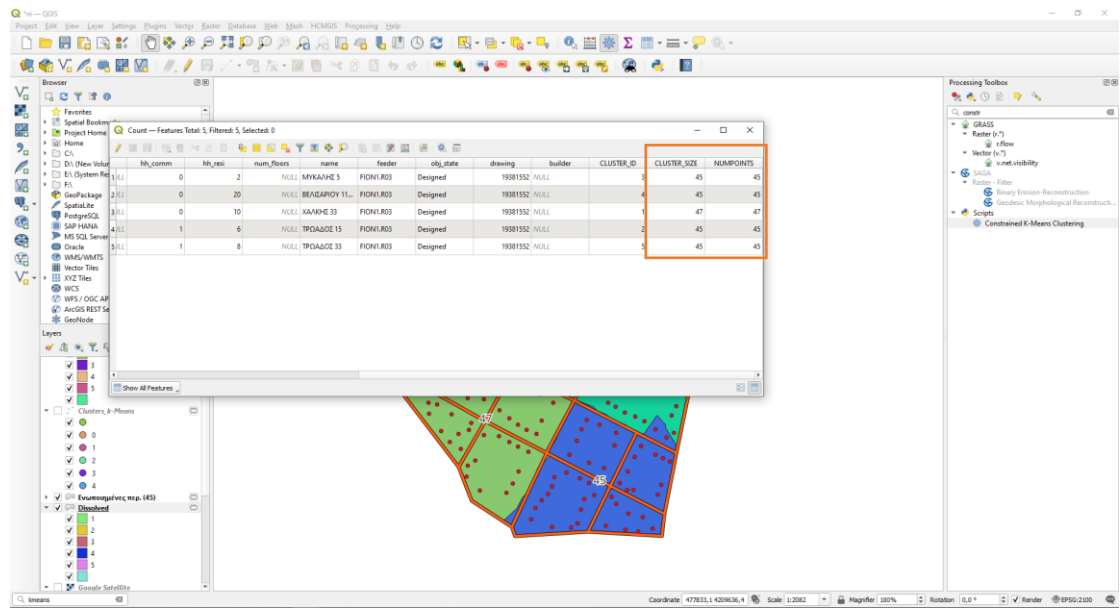


Εικόνα 21: Πλήρης μεθοδολογία εξαγωγής πολυγώνων με σταθερό αριθμό κτηρίων

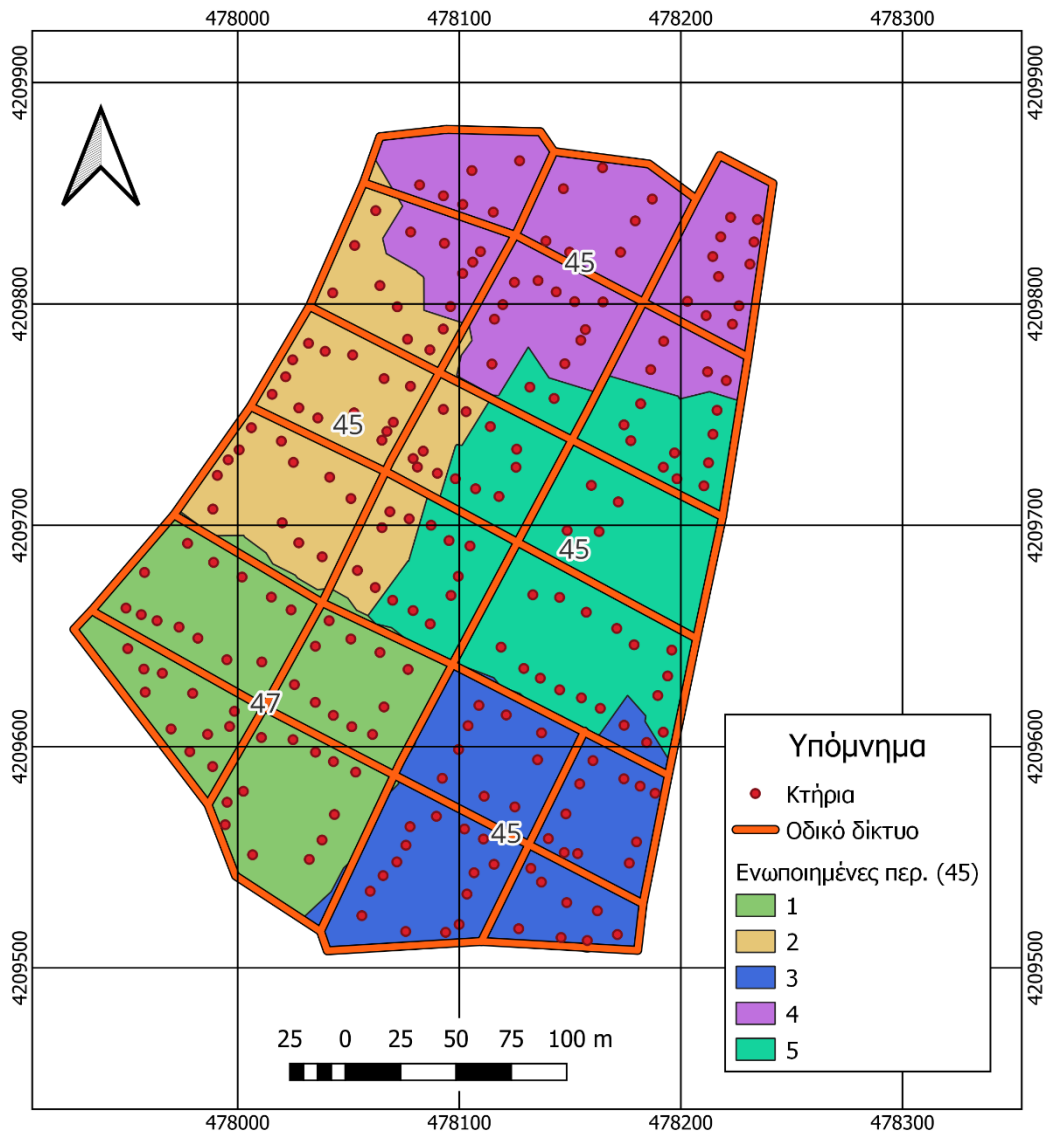
Σύμφωνα με τη ροή εργασίας στην Εικόνα 21 το πρώτο στάδιο που είναι η εφαρμογή του αλγορίθμου constrained k-means έχει εκτελεστεί και τα σημεία έχουν ταξινομηθεί φανά 45 όπως ορίζει η μεθοδολογία σχεδίασης οπτικών ινών. Έπειτα γίνεται η εφαρμογή πολυγώνων Voronoi για την κατάτμηση του χώρου. Συγκεκριμένα, τα πολύγωνα Voronoi, επίσης γνωστά ως διαγράμματα Voronoi, είναι μια θεμελιώδης έννοια στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και στη χωρική ανάλυση. Παρέχουν έναν ισχυρό τρόπο κατάτμησης του γεωγραφικού χώρου με βάση την

εγγύτητα σε ένα σύνολο αρχικών σημείων ή τοποθεσιών, καθιστώντας τα ανεκτίμητα σε διάφορες εφαρμογές ΓΣΠ. Στο πλαίσιο των ΓΣΠ, τα διαγράμματα Voronoi ξεκινούν με μια συλλογή σημείων εκκίνησης, που αντιπροσωπεύουν τοποθεσίες ενδιαφέροντος, όπως νοσοκομεία, αστυνομικά τμήματα ή κέντρα εξυπηρέτησης. Κάθε ένα από αυτά τα σημεία εκκίνησης αντιστοιχεί στο κέντρο ενός κελιού Voronoi. Το κύτταρο Voronoi που σχετίζεται με ένα σημείο εκκίνησης περιλαμβάνει όλες τις γεωγραφικές τοποθεσίες που βρίσκονται πιο κοντά σε αυτό το σημείο εκκίνησης από ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη. Στην ουσία, ορίζει μια περιοχή εξυπηρέτησης ή μια περιοχή για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση. Τα όρια αυτών των κυττάρων Voronoi καθορίζονται από τις κάθετες διχοτόμους των τμημάτων ευθείας που συνδέουν ζεύγη σημείων εκκίνησης. Αυτές οι διχοτόμοι χρησιμεύουν ως διαχωριστικές γραμμές μεταξύ των κελιών Voronoi, δημιουργώντας πολύγωνα Voronoi. Συνεπώς για την συγκεκριμένη εφαρμογή η σημειακή τοπολογία με την πληροφορία της κάθε κλάσης μετατρέπεται σε πολυγωνική.

Έπειτα η συγκεκριμένη γίνεται αποκοπή (clip) σύμφωνα με το πολύγωνο του δρόμου. Η λειτουργία Clip είναι μια θεμελιώδης λειτουργία στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ή την υποδιαίρεση γεωγραφικών δεδομένων από ένα επίπεδο (συνήθως ένα πολυγωνικό επίπεδο) χρησιμοποιώντας τα όρια ή τα χαρακτηριστικά ενός άλλου επιπέδου (συνήθως ένα πολυγωνικό ή ένα πολυγραμμικό επίπεδο). Η λειτουργία Clip ουσιαστικά περικόπτει ή κόβει ένα στρώμα με βάση τη χωρική έκταση ενός άλλου στρώματος. Τελικό στάδιο αποτελεί η εξομάλυνση των πολυγώνων ή συγκεκριμένα η ενοποίηση πολυγώνων που έχουν κοινή κλάση με τον αλγόριθμο Dissolve. Ο αλγόριθμος Dissolve είναι μια θεμελιώδης λειτουργία στα ΓΣΠ που χρησιμοποιείται για τον συνδυασμό και τη συγχώνευση παρακείμενων ή επικαλυπτόμενων πολυγωνικών χαρακτηριστικών σε ένα ενιαίο, απλουστευμένο χαρακτηριστικό με βάση ένα κοινό χαρακτηριστικό ή σύνολο χαρακτηριστικών. Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την απλοποίηση πολύπλοκων γεωγραφικών συνόλων δεδομένων και τη σύνοψη πληροφοριών με βάση κοινά χαρακτηριστικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 23.



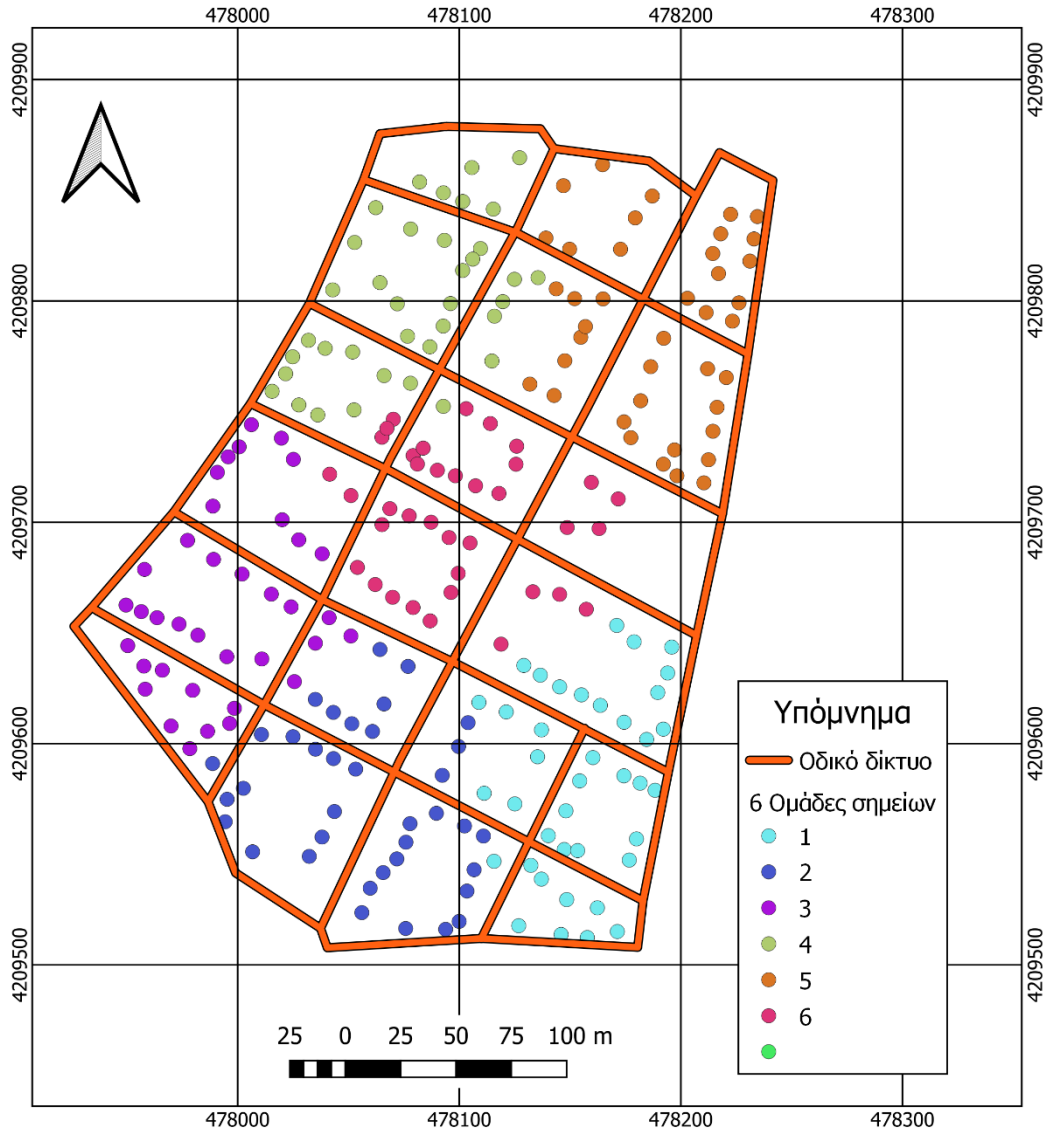
Εικόνα 22: Απόκομμα οθόνης από τον Attribute table του τελικού πολυγώνου. Ο αριθμός CLUSTER\_SIZE και ο αριθμός NUMPOINTS είναι ίδιοι.



Εικόνα 23: Τελική δημιουργία πολυγώνων στην οποία ο μέγιστος αριθμός σημείων εσωτερικά αυτών είναι 45

Η Εικόνα 22 παρουσιάζει τον Attribute table του τελικού διανυσματικού επιπέδου που εμπεριέχει τα ενοποιημένα πολύγωνα. Ο λόγος που παρουσιάζεται αυτό είναι για την επαλήθευση της ορθότητας της μεθοδολογίας μας, καθώς τα πεδία CLUSTER\_SIZE και NUMPOINTS είναι ίσα. Το δεύτερο προκύπτει από τον αλγόριθμο μέτρησης σημείων εντός πολυγώνου.

Σε περίπτωση που ο μηχανικός δεν είναι ικανοποιημένος με το αποτέλεσμα της αύξησης των κλάσεων από 5 σε 6 και ελάχιστο cluster\_size 37 μπορεί να υλοποιήσει διαφορετική κατάτμηση του χώρου.

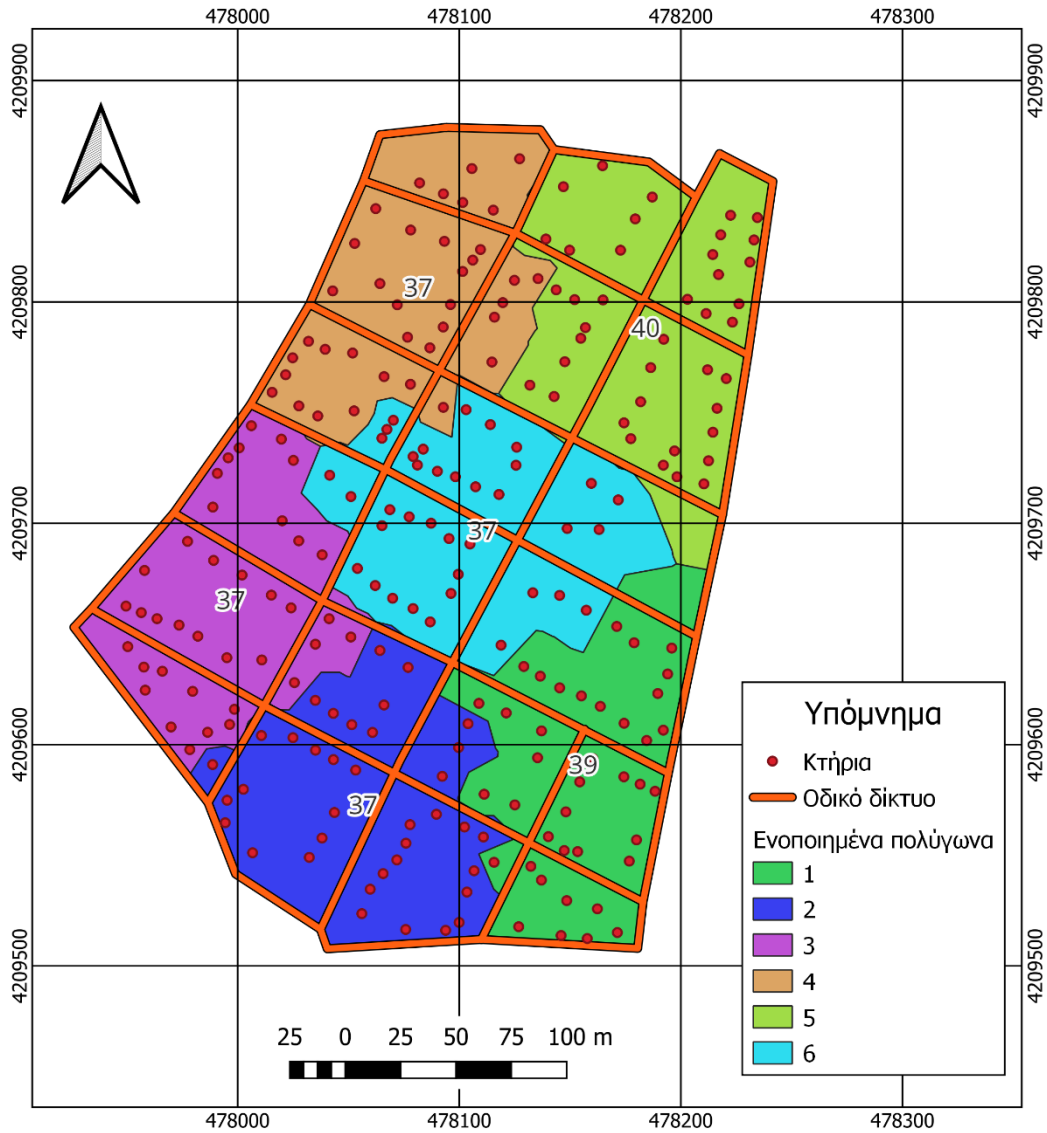


Εικόνα 24: Ομαδοποίηση με την εφαρμογή του αλγορίθμου CK-Means, για  $k = 6$

Πίνακας 3: Πίνακας αριθμού σημείων ανά κλάση μετά την εφαρμογή του Constrained k-Means ( $k=6$ ).

CLUSTER_ID	CLUSTER_SIZE
1	39
2	37
3	37
4	37
5	40
6	37

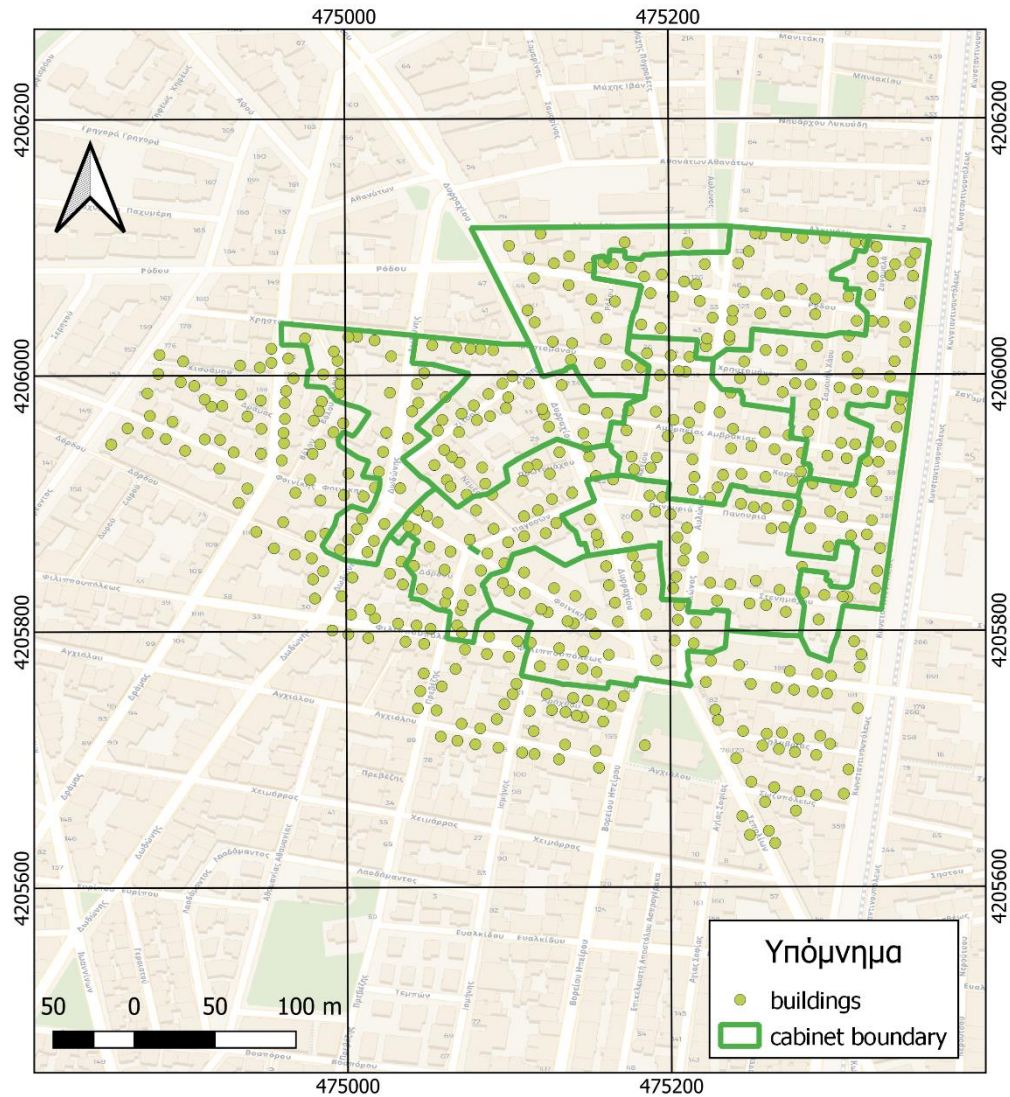
Στον Πίνακα 3 παρατηρείται πως τα σημεία εντός των πολυγώνων είναι κατ' ελάχιστο 37 ενώ κανένα δεν ξεπερνά τα 40 κτήρια. Η εφαρμογή της παραπάνω κλάσης φαίνεται να χωρίζει την περιοχή σε ικανοποιητικό βαθμό, καθώς ο μηχανικός δεν χρειάζεται να κάνει επιπλέον παρεμβάσεις για να διαχειριστεί τα επιπλέον σημεία. Στην Εικόνα 24 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου.



Εικόνα 25: Τελική δημιουργία πολυγώνων στην οποία ο μέγιστος αριθμός σημείων εσωτερικά αυτών είναι 40 και ο ελάχιστος 37. Ο αριθμός των πολυγώνων είναι 6.

## 5.2 Σύγκριση αποτελέσματος του κώδικα σε υφιστάμενο δίκτυο

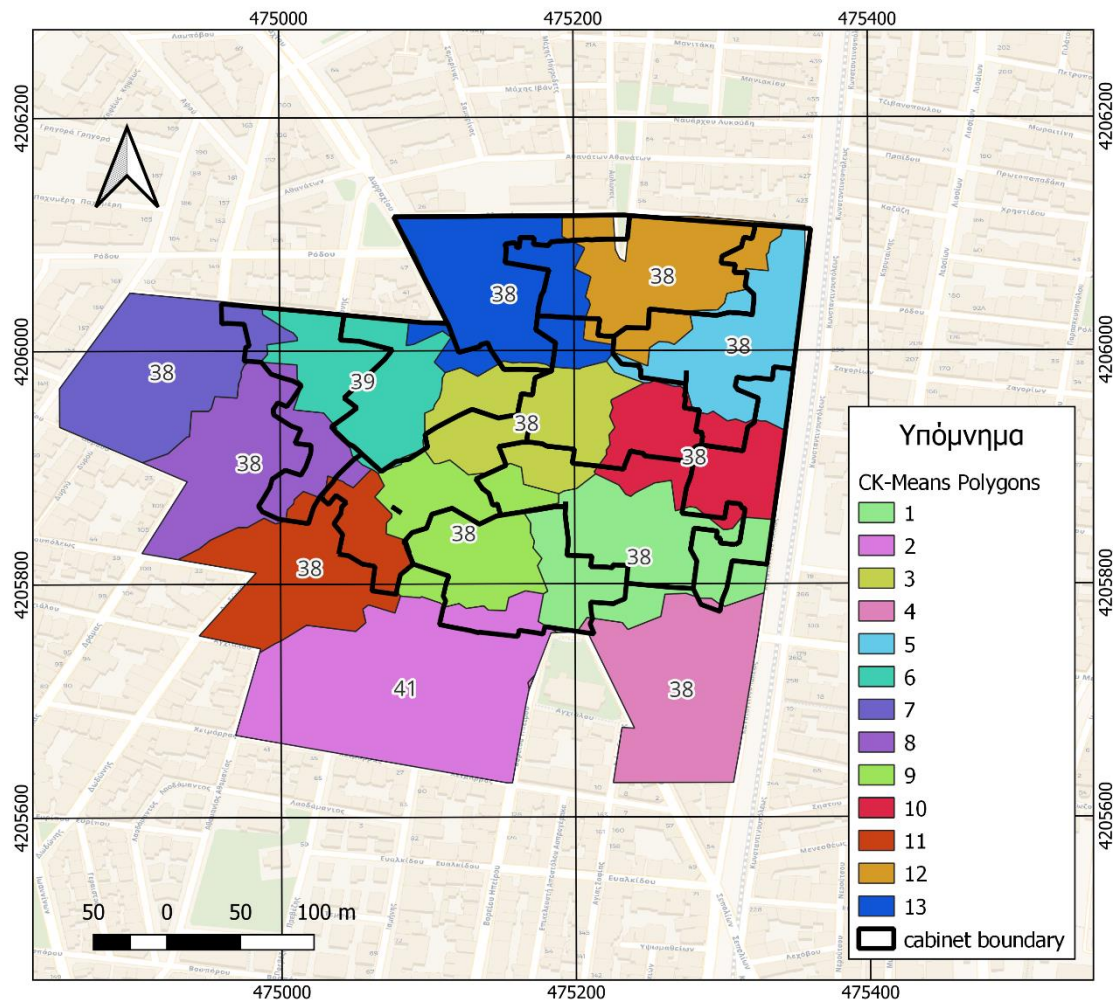
Για την καλύτερη παρουσίαση της αποτελεσματικότητας του αλγορίθμου ακολουθεί μια ανάλυση δεύτερης περιοχής στην οποία ωστόσο μηχανικοί εμπειρικά έχουν καταμήσει την περιοχή σε πολύγωνα βάση της κρίσης και της εμπειρίας τους.



Εικόνα 26: Δημιουργία πολυγώνων από μηχανικούς



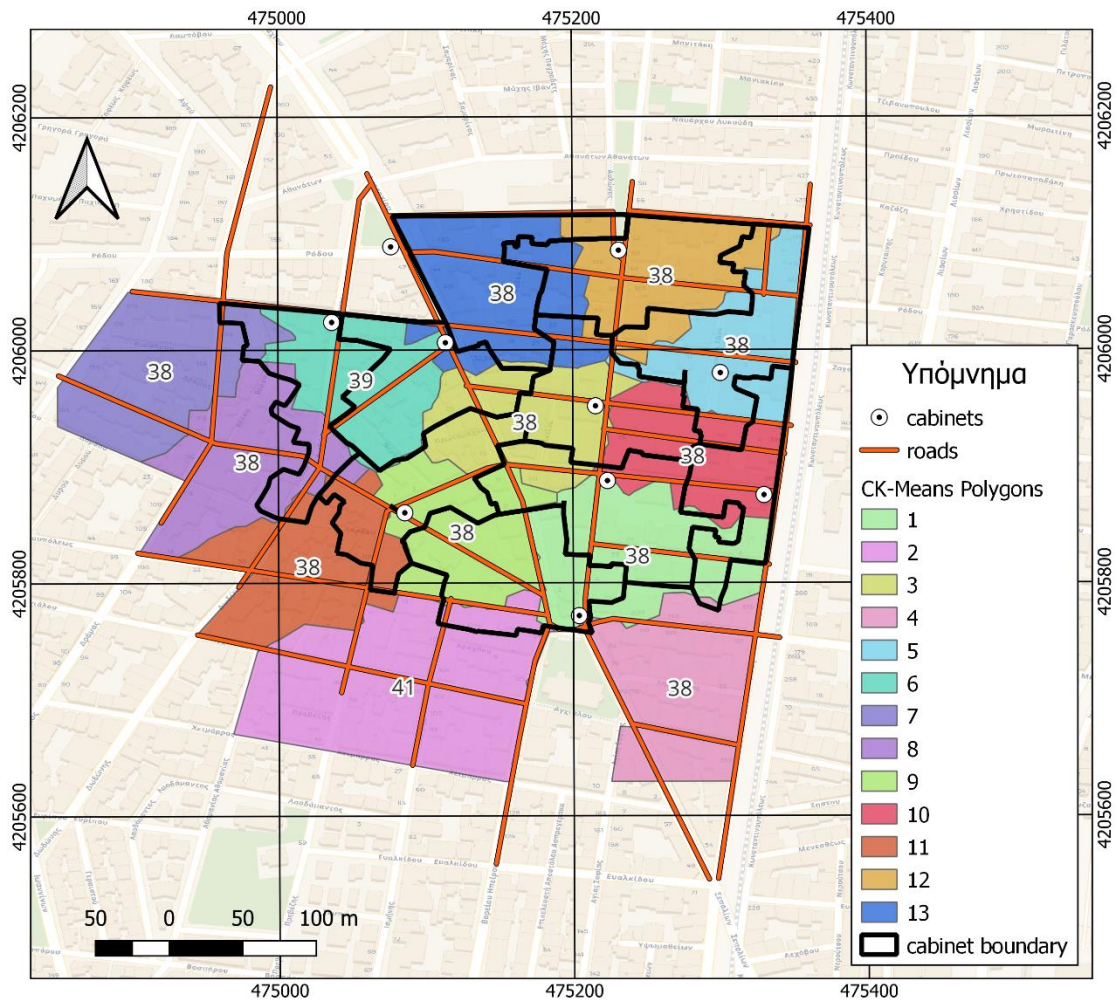
Εφαρμόζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία και το αποτέλεσμα απεικονίζεται στην Εικόνα 27:



**Εικόνα 27: Τελική δημιουργία πολυγώνων στην οποία ο μέγιστος αριθμός σημείων εσωτερικά αυτών είναι 41 και ο ελάχιστος 38. Ο αριθμός των πολυγώνων είναι 13.**

Από το αποτέλεσμα φαίνεται πως ο αυτοματοποιημένος αλγόριθμος έχει καταφέρει με επιτυχία να ομαδοποιήσει σε ισάριθμες κλάσεις. Επίσης παρατηρείται ότι σε σχέση με τα πολύγωνα των μηχανικών, τα υλοποιημένα είναι πολύ λιγότερα για την περιοχή τους κατάτμησης έχοντας συγκεντρώσει και περισσότερα σπίτια μέσα σε αυτά.

Επιπλέον, άλλος ένας πιθανός τρόπος ελέγχου της επιτυχίας του αλγόριθμου είναι η ταυτοποίηση των θέσεων των καμπινών εντός των παραγόμενων πολυγώνων, δηλαδή προσεγγιστικά αν τα ομαδοποιημένα κτίρια θα εξυπηρετηθούν ως επι το πλείστον από τις καμπίνες που έχουν τοποθετηθεί στην υπάρχουσα μελέτη, η οποία έχει διεξαχθεί εμπειρικά από μηχανικούς και έχει υλοποιηθεί.



**Εικόνα 28: Εισαγωγή υλοποιημένων καμινών και οδικού δικτύου στο παραγόμενο δίκτυο**

Με την εισαγωγή των καμινών στο σχεδιασμένο δίκτυο, οπτικά και εμπειρικά, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα παραγόμενα πολύγωνα μπορούν να εξυπηρετηθούν από τις υπάρχουσες καμπίνες γεγονός το οποίο επισφραγίζει την αποτελεσματικότητα του λογάριθμου. Σε αντίθετη περίπτωση, ωστόσο δεν θα σήμαινε αποτυχία καθώς η δημιουργία πολυγώνων προηγείται της επιλογής θέσης καμπίνας. Στο δέκατο πολύγωνο που βρίσκονται δύο καμπίνες, χωροταξικά θα γινόταν επιλογή της αριστερής.

## 6. Συμπεράσματα

Τα δίκτυα FTTx βρίσκουν μεγάλη απήχηση τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των πολλαπλών οφελών που παρουσιάζουν τα καλώδια των οπτικών ινών, τα οποία προσφέρουν μεταξύ άλλων αξιοπιστία σε υψηλές και σταθερές ταχύτητες καθώς επίσης βιωσιμότητα σε μελλοντικούς χρόνους. Τα FTTx δίκτυα μπορούν να συνδυάσουν την οπτική ίνα με άλλα οπτικά μέσα, όπως είναι ο χαλκός αλλά μπορούν να είναι και δίκτυα αμιγώς κατασκευασμένα από οπτικές ίνες. Τα FTTH (Fiber to the Home) δίκτυα αποτελούν τέτοιου είδους δίκτυα, τα οποία παρέχουν άριστες υπηρεσίες στον τελικό χρήστη καθώς η οπτική ίνα έρχεται από το Κεντρικό Καταναεμητή (CO) στη πόρτα του συνδρομητή, χωρίς τη παρεμβολή άλλων οπτικών μέσων τα οποία δύναται να έχουν υποστεί φθορές και να υποβαθμίζουν την υπηρεσία.

Ένα δίκτυο FTTH αποτελείται από το κύριο δίκτυο, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης. Κάθε τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, έτσι και ένα δίκτυο FTTH αναλύεται σε δύο επίπεδα, την οπτική υποδομή και τη φυσική υποδομή. Η οπτική υποδομή περιλαμβάνει οπτικούς εξοπλισμούς, καλώδια, splitters κ.ά., ενώ η φυσική υποδομή περιλαμβάνει τα σκάμματα και τα φρεάτια, όπως επίσης και την τοποθέτηση της καμπίνας αλλά δεν αφορά την ενεργοποίηση της. Ο συνδετικός κρίκος μεταξύ της οπτικής υποδομής και της φυσικής υποδομής είναι η καμπίνα, καθώς σχεδιαστικά αφορά και τα δύο αυτά επίπεδα. Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου δικτύου αποτελεί μία πολυσύνθετη διαδικασία καθώς πολλές φορές παράγοντες οπτικής υποδομής (π.χ υφιστάμενο ενεργό δίκτυο) έρχονται να επηρεάσουν τον σχεδιασμό της φυσικής υποδομής ή αντίστροφα. Στη παρούσα μελέτη, το οπτικό στοιχείο που επηρεάζει το σχεδιασμό σχετίζεται με τη χωρητικότητα της καμπίνας σε 48 κτίρια.

Για την διεκπεραίωση του σχεδιασμού της φυσικής υποδομής απαραίτητο δεδομένο είναι τα κτίρια μιας περιοχής και οι άξονες των δρόμων, οι οποίοι μπορούν να ταυτιστούν ως πιθανοί αγωγοί στο ‘‘μάτι’’ του μηχανικού. Αφετηρία του σχεδιασμού αποτελεί η ομαδοποίηση (clustering) των κτιρίων ανά καμπίνα. Συνεπώς, επιλέγεται ένας μέγιστος βαθμός χωρητικότητας κτιρίων στο σχεδιασμό στα 45 ώστε να υπάρχει και περιθώριο για πιθανούς επιπλέον νέους συνδρομητές (αδόμητα οικόπεδα με δυνατότητα δόμησης) ή για αναβαθμίσεις υπηρεσιών. Έπειτα της ομαδοποίησης ακολουθεί η επιλογή θέσης καμπίνας εντός του πολυγώνου ομαδοποίησης που έχει προκύψει από τη χρήση αεροφωτογραφιών με βάση κάποιους κανόνες. Τέλος, τα

σκάμματα έρχονται από την καμπίνα και προσεγγίζουν όλους τους τελικούς χρήστες μέσω αρχικά αγωγού διανομής και έπειτα εγκάρσιων τομών.

Ο σχεδιασμός έρχεται να αντιμετωπίσει πολλούς κινδύνους όπως λανθασμένα δεδομένα συνδρομητών, manual διαδικασίες στην ομαδοποίηση κτιρίων, στην ονοματοδοσία στην επιλογή τύπου σκαμμάτων με αποτέλεσμα να απαιτούνται λύσεις αποσυμφόρησης αυτών. Στις περισσότερες περιπτώσεις εταιρειών παρόχων η διαδικασία της ομαδοποίησης πραγματοποιείται χειροκίνητα από έμπειρους μηχανικούς. Ωστόσο, η διαδικασία είναι ιδιαίτερος χρονοβόρα και υποκειμενική που μπορεί να φέρει λάθη. Το clustering στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών αποτελεί τη βάση τους και είναι η απαρχή του σχεδιασμού. Σε αυτή την εργασία προτάθηκε ένας αυτοματισμός του clustering ανά καμπίνα με τη χρήση του K-means, ο οποίος αποτελεί έναν αλγόριθμο ομαδοποίησης δεδομένων με προκαθορισμένο αριθμό συστάδων και όπου κάθε σημείο δεδομένων ανήκει στη συστάδα με το πλησιέστερο κεντροειδές.

Στην πρώτη προσέγγιση, πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση των πολυγώνων των οικοδομικών τετραγώνων και με διάφορες δοκιμές προέκυψε ο επιθυμητός αριθμός κτιρίων ανά boundary. Ωστόσο, το αποτέλεσμα ενώ είναι κατασκευαστικά αποδεκτό, οικονομικά είναι ασύμφορο αφού σε πολλές περιπτώσεις ο αγωγός ενός δρόμου πρέπει να φιλοξενήσει δύο υποδομές, συνεπώς ο χάνδακας πρέπει να αυξηθεί.

Στη δεύτερη προσέγγιση, η ομαδοποίηση των κτιρίων με τη χρήση συστάδων K δεν παρήγαγε το επιθυμητό αποτέλεσμα καθώς δημιουργήθηκαν συστάδες με πολύ παραπάνω κτίρια από 45 και οι υπόλοιπες με πολύ λιγότερα. Οπότε η χρήση ενός απλού K-means δεν ήταν η κατάλληλη καθώς το cluster size ήταν απαγορευτικό.

Έτσι επιλέχθηκε η χρήση του Constrained K-Means, δηλαδή του K-Means με περιορισμούς στο Cluster size, ο οποίος στηρίζεται στη θεωρία των γραφημάτων. Η επιλογή αυτή υποστηρίχθηκε μέσω της δημιουργίας κώδικα σε περιβάλλον Python3. Το αποτέλεσμα ήταν το επιθυμητό και ήταν πολύ κοντά στο ήδη υλοποιημένο δίκτυο.

Τέλος, ο ίδιος αλγόριθμος εφαρμόστηκε και για μεγαλύτερη περιοχή στην οποία ήδη είχε εφαρμοστεί clustering εμπειρικά από μηχανικό. Κάποια κομμάτια της περιοχής, κυρίως στο βόρειο τμήμα είναι πανομοιότυπα, ωστόσο στα υπόλοιπα είναι εμφανώς ότι τα πολύγωνα που προέκυψαν από τον αλγόριθμο αριθμητικά καλύπτουν περισσότερα κτίρια σφραγίζοντας έτσι την αποτελεσματικότητα του.

Αξιοσημείωτο είναι, ότι αυτοματοποιημένες διαδικασίες έρχονται να βοηθήσουν τον σχεδιασμό και όχι να αντικαταστήσουν τον μηχανικό. Ο μηχανικός οφείλει να

προχωρήσει σε ποιοτικό έλεγχο του αποτελέσματος και αν κρίνει απαραίτητο στην αναδιάταξη κάποιων κτιρίων, π.χ σε περίπτωση αδυναμίας εύρεσης θέσης καμπίνας σε ένα boundary . Ωστόσο, η αυτοματοποίηση του clustering μπορεί να δώσει τα βήματα και για μια χειροκίνητη ομαδοποίηση σε περίπτωση που αυτό είναι αναγκαίο.

Τέλος, η ανάπτυξη δικτύων FTTH καθιστά απαραίτητη την βελτιστοποίηση πολλών σχεδιαστικών διαδικασιών. Η αυτοματοποίηση σχεδιασμού βέλτιστων διαδρομών για οικονομικούς λόγους, η αυτοματοποίηση σχεδιασμού εγκάρσιων τομών από το δίκτυο διανομής προς τον τελικό χρήστη, η αυτοματοποίηση της ονοματολογίας των στοιχείων του δικτύου μπορούν να αποτελέσουν σωτήρια επιτεύγματα για την πρόοδο του σχεδιασμού. Επιπροσθέτως, στην οπτική υποδομή αυτοματισμός στην κατανομή των οπτικών ινών, στην επιλογή εξοπλισμού (splitter) και στις κολλήσεις των πτικών ινών καθίσταται απαραίτητος. Η οπτική υποδομή είναι πολύ πιο περίπλοκη από την φυσική και οποιαδήποτε διαφοροποίηση στην πληροφορία ή οποιοδήποτε ανθρώπινο λάθος κατά το σχεδιασμό επηρεάζει την παροχή της τελικής υπηρεσίας, καθώς η παροχή δίνεται με βάση την σχεδιαστική αποτύπωση της ίνας. Η οπτική υποδομή περιλαμβάνει μεγαλύτερο όγκο πληροφοριών, συνεπώς η διαχείριση της καθίσταται ιδιαίτερη δυσχερή και απαιτεί αυτοματισμούς τόσο της διεξαγωγής της, όσο και της τελικής αποθήκευσης της. Ο ανθρώπινος παράγοντας δεν πρόκειται να αντικατασταθεί σε τέτοιες διαδικασίες καθώς η πολυπλοκότητα τους τον χρειάζονται ώστε να δώσει λύσεις. Ωστόσο, οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες μπορούν να τον αποσυμφορίσουν χρονικά αλλά και πνευματικά.

## Βιβλιογραφία

### ▪ Ξενόγλωσση

- Lokhande M., Amarjeet S. 2017. Design and Implementation of FTTH
- Arumugam, M., 2001. Optical fiber communication—An overview. *Pramana* 57, 849–869. <https://doi.org/10.1007/s12043-001-0003-2>
- Bianco, C., Cucchiatti, F., Griffa, G., Xiaoming, K., Qiao, C., Yuping, H., Gemma, P., Liqian, Z., 2009. An update on the field trial concerning underground solution for FTTCab architecture, in: *INT<sup>TELE</sup>EC 2009 - 31st International Telecommunications Energy Conference*. Presented at the *INT<sup>TELE</sup>EC 2009 - 31st International Telecommunications Energy Conference*, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/INTLEC.2009.5352050>
- Dursun, T., Benzer, R., 2013. A GIS based novel active monitoring system for fiber networks. *Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci.* 24. <https://doi.org/10.3906/elk-1306-217>
- Fiber Optics - Parts, Types, Classification and Advantage [WWW Document], n.d. . VEDANTU. URL <https://www.vedantu.com/physics/fiber-optics>, <https://www.vedantu.com/physics/fiber-optics> (accessed 10.17.23).
- Matrood, Z.M., George, L.E., Mahmood, F.H., 2014. A Simple GIS Based Method for Designing Fiber-Network 4.
- 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. *Eng. Rep.* 2, e12121. <https://doi.org/10.1002/eng2.12121>
- Passive Optical Network (PON) testing | Solution | EXFO [WWW Document], n.d. URL <https://www.exfo.com/en/solutions/communication-service-providers/wireline/passive-optical-network-pon-testing/> (accessed 10.7.23).
- Rezgui, H., 2022. An Overview of Optical Fibers. *Glob. J. Sci. Front. Res.* 21, 14–20.
- Yuan, B., Cai, H., 2021. Research on The Current Situation and Development Trend of Optical Fiber Communication technology. *J. Phys. Conf. Ser.* 1873, 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1873/1/012013>
- Maniadakis D., Varoutas D. Structural Properties of Urban Street Networks for FTTH deployment

### ▪ Ελληνική

- Σακελλαρόπουλος, Σ., 2021. Σχεδιασμός μοντέλου πρόβλεψης διείσδυσης της τεχνολογίας fiber to the home.
- Μπούργος Π., 2023. Σχεδιασμός, διαχείριση και αυτοματοποίηση οπτικών δικτύων FTTH

### ▪ Ιστότοποι

- [Passive Optical Network \(PON\) testing | Solution | EXFO \[WWW Document\], n.d. URL](https://www.exfo.com/en/solutions/communication-service-providers/wireline/passive-optical-network-pon-testing/)  
<https://www.exfo.com/en/solutions/communication-service-providers/wireline/passive-optical-network-pon-testing/> (accessed 10.7.23).
- [http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya\\_ypolog\\_G\\_2018\\_final/\\_fth\\_.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya_ypolog_G_2018_final/_fth_.html)
- <https://www.cabits.com/fibre-optic-cable-advantages-disadvantages/#:~:text=Disadvantages%20of%20Fibre%20Optic%20Cable&text=The%20cost%20to%20produce%20optic,test%20equipment%20is%20usually%20requi>

[red.&text=As%20they%20are%20made%20of,electrical%20wires%20like%20coppe  
r%20cabling.](#)

- <https://www.electricalvolt.com/2023/06/step-index-fiber/>