ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Τεχνολογίας

Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

Σχεδίαση ιδιωτικών δικτύων 5G με εργαλεία ανοιχτού λογισμικού

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΝΑΚΟΣ (ΑΜ: 3120179)

Επιβλέπων: ***Γεώργιος Καρέτσος, Καθηγητής***

ΛΑΡΙΣΑ, Ιανουάριος 2024

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

UNIVERSITY OF THESSALY

School of Technology

Digital Systems Department

Design of private 5G networks using opensource Tools

BACHELOR THESIS

DIMITRIOS NAKOS (RN:3120179)

Supervisor: George Karetsos, *Professor*

LARISSA, January 2024

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Υπεύθυνη Δήλωση περί Ακαδημαϊκής Δεοντολογίας και Πνευματικών Δικαιωμάτων

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον, και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο/Η Δηλών/ούσα

(Υπογραφή)

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΝΑΚΟΣ

Ημερομηνία

8/1/2024

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων: Γεώργιος Καρέτσος

Μέλος : Γεώργιος Αδάμ

Μέλος: Πέτρος Λάμψας

Ημερομηνία έγκρισης: 11/12/2024

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Περίληψη

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να μελετήσει τις δυνατότητες που δίνουν τα εργαλεία ανοικτού λογισμικού για την δημιουργία και την σχεδίαση ιδιωτικών δικτυών 5G. Αρχικά στην εργασία θα παρουσιαστούν τα εργαλεία ανοικτού λογισμικού με τα οποία οι χρήστες (λειτουργοί) θα μπορούν να προσαρμόζουν την υποδομή του δικτύου 5G σύμφωνα με τις ανάγκες τους για την δημιουργία νοητών δικτυακών λειτουργιών (Virtual Network Functions, VNF). Στην συνέχεια θα εστιάσουμε στο Openslice το οποίο είναι ένα πρωτότυπο σύστημα υποστήριξης λειτουργιών ανοιχτού κώδικα. Υποστηρίζει ενσωμάτωση VNF/NSD στο OpenSourceMANO (OSM) και διαχείριση ανάπτυξης Network Service Descriptors (NSDs). Υποστηρίζει επίσης TMFORUM OpenAPI σχετικά με τη διαχείριση του καταλόγου των υπηρεσιών και των πόρων. Τέλος θα γίνουν πειράματα τόσο με βάση τις δυνατότητες που δίνει η πλατφόρμα Openslice όσο και από την εφαρμογή της σε πειραματικό Πανεπιστημιακό δίκτυο 5G.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Abstract

The aim of this paper is to study the potential of open-source software tools for the creation and design of 5G private networks. Initially, the paper will present the open-source tools with which users (operators) will be able to customize the 5G network infrastructure according to their needs to create Virtual Network Functions (VNF). Then we will focus on Openslice which is a prototype open-source function support system. It supports VNF/NSD embedding in OpenSourceMANO (OSM) and development management of Net-work Service Descriptors (NSDs). It also supports TMFORUM OpenAPI related service and resource catalog management. Finally, experiments will be done both based on the capabilities of the Openslice platform and from its implementation in an experimental University 5G network.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν στην εκπόνηση της εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Καρέτσο για την ενθάρρυνση καθώς και τα κίνητρα που μου έδωσε προκειμένου να ασχοληθώ με το αντικείμενο αυτό.

Ακόμη θα ήθελα να εκφράσω την αγάπη μου στην οικογένεια μου και στα κοντινά μου πρόσωπα για όλη την στήριξη και την αμέτρητη βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ονοματεπώνυμο

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΝΑΚΟΣ

Ημερομηνία

9/1/2024

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ..... **VII**

ABSTRACT ..... **IX**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ..... **XI**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ..... **XIII**

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ **1-15**

2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ **2-16**

2.1 OPENSLICE 2-16

2.1.1 OPENSOURCE MANO 2-17

2.1.2 TMFORUM OpenAPI *2-17*

2.1.3 Virtual Network Functions *2-17*

2.2 OPENAIRINTERFACE SOFTWARE ALLIANCE (OSA) 2-18

2.2.1 Open Radio Access Network (Open RAN) *2-18*

2.2.2 Core Network (CN) *2-18*

3 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ NFV-MANO **21**

3.1 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ NFV-MANO 21

3.2 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ VNF 23

3.3 NFV ΚΑΙ SDN 24

3.3.1 SDN controller *25*

3.3.2 Προκλήσεις του SDN *25*

4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ OPENSLICE **27**

4.1 OPENSLICE 27

4.1.1 Docker *27*

4.1.2 Docker Compose *27*

4.1.3 Keycloak *28*

4.1.4 Portainer *30*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ 5G ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ OPENSLICE.....30

4.2.1 Λειτουργίες του OpenSlice.....31

4.2.2 Διαδικασία Δημιουργίας 5G Δικτύου με OpenSlice……...32

4.2.3 Προβλήματα κατά την Εγκατάσταση του Openslice και τρόπος Αντιμετώπισης…..…33

5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ.....37

5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΔΙΩΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ GNS3.....37

5.1.1 5G Network using STG/UTI connector and Core 5G 38

5.1.2 5G C-RAN cloud Network.....38

5.1.3 5G Edge Computing Network 40

5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΔΙΩΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G 41

5.2.1 5G LAN Network 41

5.2.2 5G Network with AI 42

5.2.3 5G Radio Access Network.....43

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....44

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 45

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....47

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....49

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ 51

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

1 Εισαγωγή

Το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 1G, δημιουργήθηκε κατά την δεκαετία του 1980. Το δίκτυο 1G αντιπροσώπευε την πρώτη γενιά των κινητών τηλεφώνων ήταν αναλογικό. Επέτρεπε μόνο φωνητικές κλήσεις ανάμεσα στα κινητά. Οι ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων ήταν πολύ χαμηλές δηλαδή λειτουργούσαν στο εύρος των 2.4 έως 14.4kbp/s. Επιπλέον το δίκτυο 1G είχε περιορισμένες λειτουργίες και χρησιμοποιούταν μόνο για τις βασικές φωνητικές κλήσεις χωρίς την δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων SMS ή άλλες προηγμένες υπηρεσίες.

Το δίκτυο 2G κυκλοφόρησε στο πρότυπο GSM στη Φινλανδία το 1991. Με την κυκλοφορία του 2G, τα προηγούμενα συστήματα ασύρματων δικτύων κινητής τηλεφωνίας ονομάστηκαν αναδρομικά 1G . Τα ραδιοσήματα στα δίκτυα 1G ήταν αναλογικά ενώ στα δίκτυα 2G τα ραδιοσήματα ήταν ψηφιακά με ταχύτητες μετάδοσης μέχρι τα 64 kbp/s. Επίσης στα δίκτυα 2G οι κλήσεις και τα δεδομένα κωδικοποιούνταν ψηφιακά με αποτέλεσμα να υπάρχει βελτίωση στην ποιότητα του ήχου, μειώνοντας την πιθανότητα παρεμβολών. Ακόμη το δίκτυο 2ης γενιάς επέτρεπε τη χρήση προηγμένων υπηρεσιών όπως τα SMS (Short Message Service) για την μετάδοση των δεδομένων. Επιτρέποντας τους χρήστες να στέλνουν μηνύματα κειμένου και να πλοηγούνται στο διαδίκτυο.[1]

Κατά την δεκαετία του 2000 τα δίκτυα 2ης γενιάς αντικατασταθήκανε από τα δίκτυα 3G.Τα δίκτυα 3ης γενιάς χρησιμοποιούσαν τεχνολογίες για την μετάδοση δεδομένων όπως το CDMA (Code Division Multiple Access) ή το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).Το δίκτυο της 3ης γενιάς ήταν ψηφιακό στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, στην πρόσβαση στο διαδίκτυο και στην ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο αλλά και στις βιντεοκλήσεις. Οι ταχύτητες μετάδοσης έφταναν από 384 kbp/s έως 2 Mbp/s. Οι επόμενες εκδόσεις του δικτύου 3G ήταν το 3.5G και το 3.75G.[2]

Τα δίκτυα 4ης γενιάς ξεκίνησαν να αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια του 2010.Τα 4G δίκτυα χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία LTE (Long Term Evolution), που παρείχε πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Η τεχνολογία αυτή επέτρεπε ταχύτητες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

λήψης που μπορούσαν να φτάσουν έως και το 1 Gbp/s στην κινητή μετάδοση δεδομένων και οι ταχύτητες αποστολής μπορούσαν να φτάσουν στα 100Mbps με αποτέλεσμα η καθυστέρηση μετάδοσης να είναι χαμηλή.

Τέλος, τα δίκτυα 5ης γενιάς άρχισαν να αναπτύσσονται κατά το τέλος της δεκαετίας του 2010. Η υλοποίηση του δικτύου 5ης γενιάς βασίζεται πάνω στην τεχνολογία 4G και στις τεχνολογίες WiMax και LTE.Τα χαρακτηριστικά που δικτύου 5ης γενιάς είναι η υψηλή χωρητικότητα και οι ταχύτητες μπορούσαν να φτάσουν ως τα 20 Gbp/s.

Για την δημιουργία και την σχεδίαση ιδιωτικών δικτυών 5G υπάρχουν εργαλεία ανοικτού λογισμικού. Ορισμένα εργαλεία που βοηθούν τους χρήστες στην δημιουργία ιδιωτικών δικτυών 5G είναι το λογισμικό Openslice που υποστηρίζει το Network Service Descriptors,το TMFORUM,το Opensource MANO και το Virtual Network Functions και το Grafical Network Simulator -3

2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα παρουσιαστούν τα εργαλεία ανοιχτού λογισμικού τα οποία βοηθούν τους χρήστες στην δημιουργία ιδιωτικών δικτυών 5G.

2.1 Openslice

Το OpenSlice είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα που αφορά το κομμάτι των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων. Πρόκειται για ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που αναπτύχθηκε με σκοπό να υποστηρίξει την έρευνα και την ανάπτυξη δικτύων NGN (Next Generation Networks) των δικτύων 5G.

Οι στόχοι του λογισμικού openslice περιλαμβάνουν:

- **Υποστήριξη Διαφορετικών Περιβαλλόντων:** Το OpenSlice υποστηρίζει διάφορα περιβάλλοντα όπως εικονικών, πραγματικών και υβριδικών.
- **Προσωρινή Ανάπτυξη Δικτύων:** Το OpenSlice μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσωρινή ανάπτυξη και για την διαχείριση των δικτύων.
- **Υποστήριξη της Έρευνας και της Ανάπτυξης:** Το openslice παρέχει εργαλεία για τη διεξαγωγή πειραμάτων για τη δοκιμή νέων τεχνολογιών και προτύπων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

2.1.1 Opensource MANO

Το OpenSource MANO (OSM) είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που έχει ως στόχο την ανάπτυξη εικονικοποιημένών δικτύων λειτουργίας NFV(Network Functions Virtualization). Το OSM προσφέρει μια πλατφόρμα λογισμικού για τη δημιουργία, τη διαχείριση και την αυτοματοποίηση εικονικοποιημένων υπηρεσιών δικτύου.

Οι στόχοι του OpenSource MANO περιλαμβάνουν:

- **Διαχείριση Εικονικοποιημένων Υποδομών:** Το OSM διαχειρίζεται εικονικές υποδομές, συμπεριλαμβανομένων εικονικών μηχανών, δικτυακών συνδέσεων και εικονικών λειτουργιών δικτύου.
- **Αυτοματοποίηση:** Το OSM παρέχει μηχανισμούς αυτοματοποίησης για την αυτόματη ανάπτυξη, την διαχείριση και την ανανέωση εικονικών υπηρεσιών.
- **Ευελιξία:** Το OSM στοχεύει στην δημιουργία ευέλικτων λύσεων οι οποίες μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες διαφορετικών περιβαλλόντων και περιπτώσεων χρήσης.

2.1.2 TMFORUM OpenAPI

Το TMForum OpenAPI είναι ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε για την καινοτομία στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και της ψηφιακής μετατροπής. Το πρότυπο αυτό έχει σκοπό να δημιουργήσει ένα κοινό πλαίσιο για την ανάπτυξη και την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και εφαρμογών στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και των ψηφιακών υπηρεσιών.

Το TM Forum OpenAPI προσφέρει ένα σύνολο προτύπων και προδιαγραφών για την ανάπτυξη ανοιχτών και δια λειτουργικών υπηρεσιών, περιλαμβάνοντας:

- **API Specifications:** Προσδιορίζει τα πρότυπα για τα διαδικτυακά προγραμματιστικά διεπαφής. Τα APIs επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.
- **Information Models:** Ορίζει τα μοντέλα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών.
- **Integration Framework:** Προσφέρει ένα πλαίσιο ενσωμάτωσης που επιτρέπει την αποτελεσματική ενσωμάτωση των διαφόρων συστημάτων και υπηρεσιών.

2.1.3 Virtual Network Functions

Οι Εικονικές Λειτουργίες Δικτύου (Virtual Network Functions - VNFs) αναφέρονται σε λειτουργίες δικτύου που εκτελούνται σε εικονικό περιβάλλον, αντί για την παραδοσιακή υλική υποδομή. Αυτές οι λειτουργίες παρέχουν την λειτουργικότητα που είναι σχετική με τη δικτύωση ή με τη διαχείριση των δικτύων. Οι VNFs είναι σημαντικές για την ευε-

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

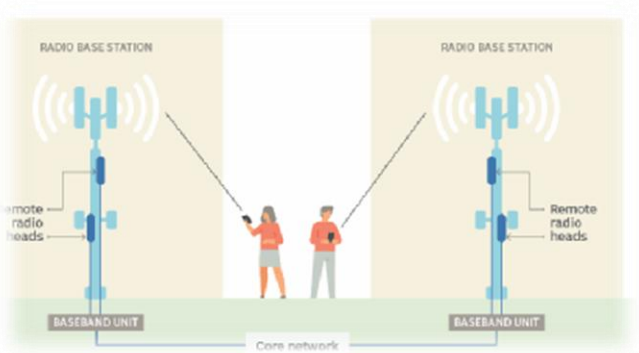
λιξία, την αυξημένη εκμετάλλευση των πόρων, την επιτάχυνση της ανάπτυξης νέων υπηρεσιών και τη μείωση των λειτουργικών δαπανών. Η χρήση των VNFs επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να προσαρμόζουν γρήγορα την υποδομή τους στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του δικτύου και των χρηστών.

2.2 OpenAirInterface Software Alliance (OSA)

Ο OSA είναι μια εταιρεία ανοιχτού λογισμικού που αναπτύσσει λογισμικά για τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και τον δοκιμαστικό έλεγχο δικτύων ασύρματης επικοινωνίας, με έμφαση στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων 5G. Το έργο της OSA είναι η υλοποίηση λογισμικού για τα Open RAN (Open Radio Access Network) και για τα Core Network (CN) .[3]

2.2.1 Open Radio Access Network (Open RAN)

Το δίκτυο RAN αποτελεί ένα στοιχείο ενός ασύρματου συστήματος τηλεπικοινωνιών που συνδέει τις μεμονωμένες συσκευές με άλλα μέρη ενός δικτύου μέσω μιας ραδιοζεύξης. Το RAN είναι φτιαγμένο για να συνδέει τον εξοπλισμό του χρήστη (όπως ένα κινητό τηλέφωνο, έναν υπολογιστή ή οποιοδήποτε τηλεκατευθυνόμενο μηχάνημα) μέσω οπτικής ή ασύρματης σύνδεσης. Αυτή η σύνδεση πηγαίνει στο κεντρικό δίκτυο, το οποίο διαχειρίζεται τις πληροφορίες των συνδρομητών, την τοποθεσία, τις φωνητικές κλήσεις, τα μηνύματα κειμένου και ροή βίντεο και ήχου.



- Εικόνα 1:Λειτουργία του RAN

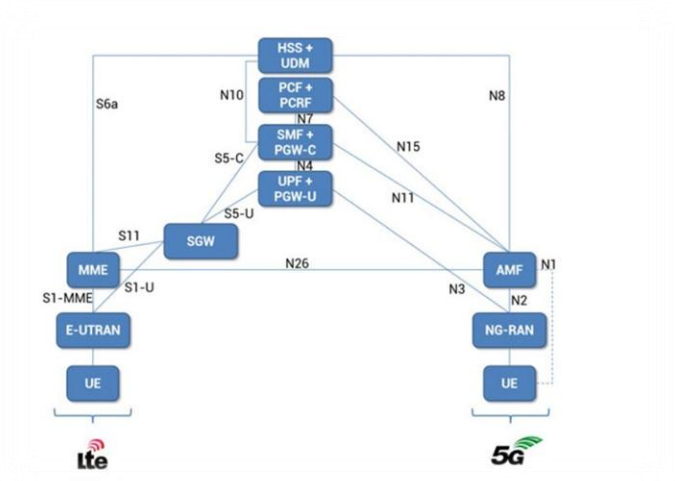
2.2.2 Core Network (CN)

Το CN αποτελεί το κεντρικό μέρος του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, όπου συγκεντρώνονται και επεξεργάζονται οι διάφορες υπηρεσίες και λειτουργίες. Είναι υπεύθυνο για

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

την δρομολόγηση των κλήσεων, τη μεταφορά δεδομένων και τη διαχείριση της κίνησης στο δίκτυο. Το CN είναι σημαντικό για τη λειτουργία ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος και παρέχει τις βασικές λειτουργίες που υποστηρίζει η ασύρματη επικοινωνία. Το CN αποτελείται από διάφορα μέρη, συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω:

- **Home Subscriber Server (HSS):** Αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με τους συνδρομητές, όπως πληροφορίες πελάτη, παροχή υπηρεσιών και παραμετροποίηση.
- **Authentication Server (AuC):** Χειρίζεται την ταυτοποίηση και την πιστοποίηση των συσκευών και των συνδρομητών στο δίκτυο.
- **Gateway GPRS Support Node (GGSN) ή Packet Data Network Gateway (PGW):** Συνδέει το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο με το διαδίκτυο ή με άλλα δίκτυα, επιτρέποντας τη μεταφορά δεδομένων από και προς τις κινητές συσκευές.
- **Serving Gateway (SGW):** Διαχειρίζεται τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των κινητών συσκευών και του επικοινωνιακού πυρήνα.
- **Mobility Management Entity (MME):** Χειρίζεται την κίνηση και την ταυτοποίηση των συσκευών στο δίκτυο, καθώς και τη διαχείριση των συνόδων σύνδεσης.



- Εικόνα 2: Τα μέρη του Core Network

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

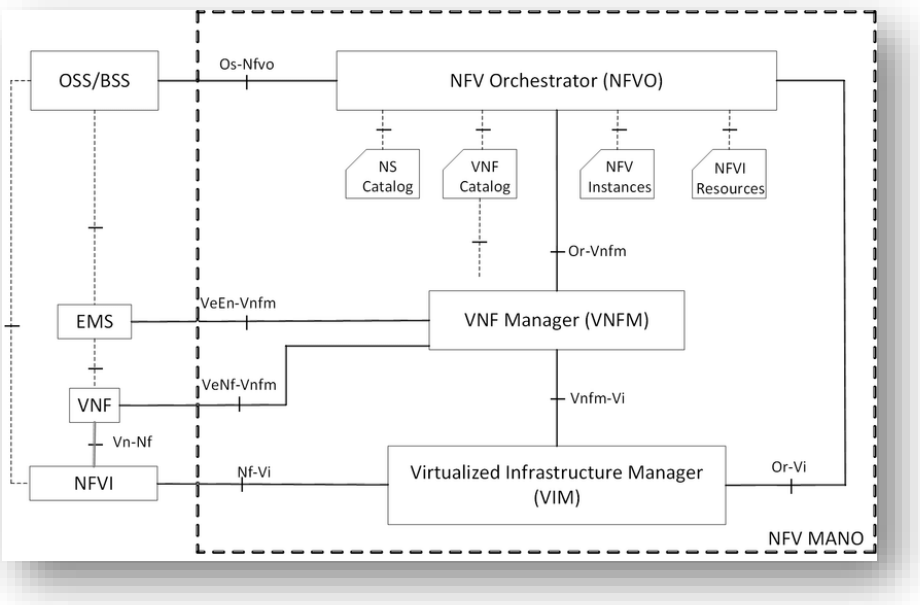
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

3 Η λειτουργία του NFV-MANO

Το πρότυπο του NFV MANO του ETSI [4] περιγράφει ένα πλαίσιο για την παροχή και διαχείριση των εικονικών λειτουργιών του δικτύου. Περιλαμβάνει τους απαραίτητους ορισμούς για τη διαχείριση της λειτουργίας των εικονικών λειτουργιών, του κύκλου ζωής τους, την διαμόρφωσή τους και την δικτυακή υποδομή στην οποία εκτελούνται. Ο κύριος στόχος του προτύπου είναι να καλύψει την ανάγκη ενός κοινού πλαισίου για τον ορισμό μιας αρχιτεκτονικής NFV

3.1 Η αρχιτεκτονική του NFV-MANO

Το NFV-MANO ορίζεται διάφορα λειτουργικά μπλοκ. Το καθένα από τα μπλοκ έχει μια καθορισμένη λειτουργία που εφαρμόζει τις λειτουργίες διαχείρισης σε καθορισμένες οντότητες και αξιοποιεί τις υπηρεσίες που προσφέρονται από τα άλλα λειτουργικά μπλοκ.



- Εικόνα 3: Η αρχιτεκτονική του NFV-MANO [5]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Βασικά λειτουργικά μπλοκ του NFV-MANO

Η αρχιτεκτονική του NFV-MANO αποτελείται από τρεις βασικές λειτουργίες:

- **Virtualised Infrastructure Manager (VIM)**
- **NFV Orchestrator (NFVO)**
- **VNF Manager (VNFM)**

Virtualised Infrastructure Manager (VIM)

Το Virtualised Infrastructure Manager (VIM) αποτελεί μια λειτουργία του NFV-MANO.Το VIM είναι σημαντικό για την διαχείριση και τον έλεγχο των πόρων σε ένα NFV δίκτυο. Επιπλέον το VIM μπορεί να χρησιμοποιείται για τον χειρισμό ενός συγκεκριμένου τύπου πόρων NFVI ή μπορεί να διαχειρίζεται πολλαπλούς τύπους πόρων NFVI (π.χ. σε NFVI-Nodes). [7]

NFV Orchestrator (NFVO)

Το NFV Orchestrator (NFVO) είναι το κομμάτι της αρχιτεκτονικής που είναι υπεύθυνο για την οργάνωση των πόρων NFVI σε πολλαπλά VIMs και για την διαχείριση του κύκλου ζωής των υπηρεσιών δικτύου. Το NFVO έχει δύο λειτουργίες **Resource Orchestration (RO)** και το **Network Service Orchestration (NSO).**

- Το **Resource Orchestration** χρησιμοποιείται για την απελευθέρωση και την κατανομή των πόρων ενός NFVI ,όπως είναι οι υπολογιστικοί, οι αποθηκευτικοί και οι δικτυακοί πόροι.
- Το **Network Service Orchestration** χρησιμοποιείται για τον χειρισμό των υπηρεσιών δικτύου. Το NFVO χρησιμοποιεί τις λειτουργίες του NSO για την παροχή υπηρεσιών δικτύου VNF καθώς και για την διαμόρφωση των απαιτούμενων συνδέσεων μεταξύ διαφορετικών VNF.[8]

VNF Manager (VNFM)

Το VNFM είναι μια λειτουργία του NFV-MANO που χρησιμοποιείται για την διαχείριση του κύκλου ζωής των VNFs. Το NFV ορίζει πρότυπα για πόρους υπολογισμού, αποθήκευσης και δικτύωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εικονικών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

λειτουργιών δικτύου που αποτελεί βασικό στοιχείο του αρχιτεκτονικού πλαισίου διαχείρισης και οργάνωσης NFV (MANO).Το VNFM λειτουργεί σε συνεννόηση με τα άλλα δύο λειτουργικά μπλοκ του NFV-MANO, το VIM και το NFV (NFVO).[6]

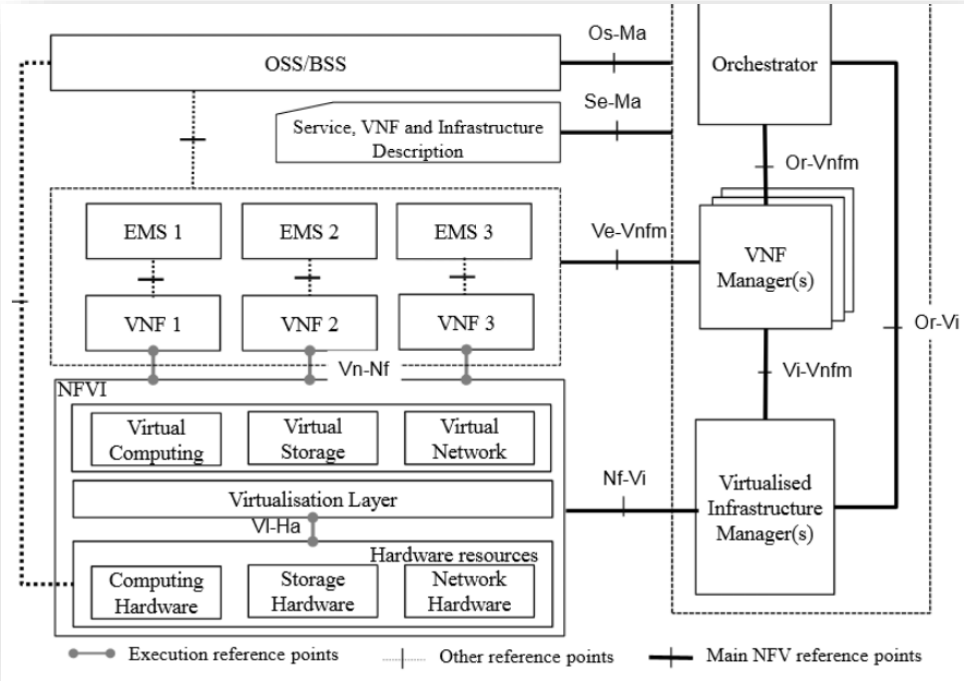
3.2 Η Δομή του VNF

Ένα VNF δίκτυο αποτελείται από ένα ή περισσότερα κομμάτια, τα οποία η αντιστοιχούν σε εικονικές μηχανές. Ένα VNF μπορεί να διασπαστεί σε μικρότερες λειτουργικές ενότητες για ταχύτερη απόκριση. Από την άλλη όμως πολλά VNF μπορούν να ενωθούν μαζί για να μειωθεί η διαχείριση και το VNF Forwarding Graph.

Η αποσύνθεση και η Σύνθεση ενός VNF γίνονται με τις ακόλουθες περιγραφές:

I. Αποσύνθεση VNF. Είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα VNF υψηλότερου επιπέδου διασπάται σε ένα σύνολο VNF χαμηλότερου επιπέδου. Το NFV ISG παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για τον καθορισμό του τρόπου με τον οποίο θα πρέπει να τυποποιηθεί η αποσύνθεση VNF.

II. Η Σύνθεση VNF. Είναι η διαδικασία κατά την οποία μια ομάδα VNF χαμηλότερου επιπέδου χρησιμοποιείται για τον ορισμό ενός VNF υψηλότερου επιπέδου. [9]



- Εικόνα 4: Η δομή του VNF

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

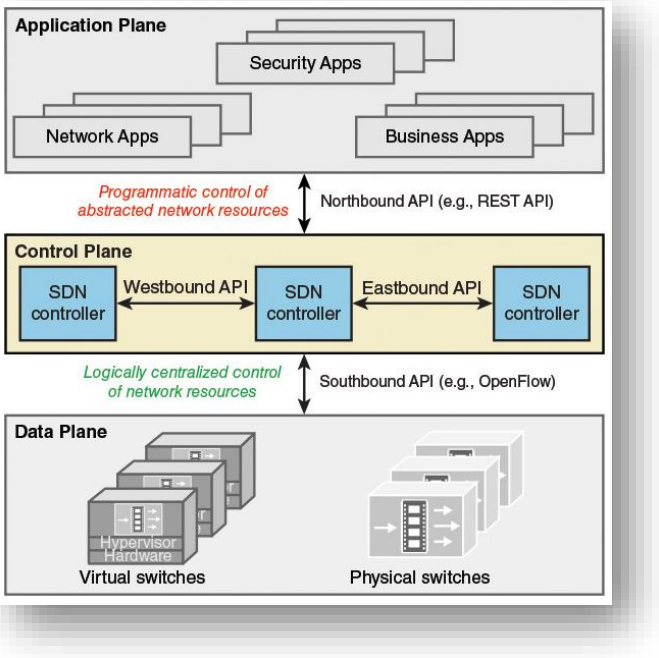
3.3 NFV ΚΑΙ SDN

Μεταξύ του NFV και του SDN (Software Defined Networking) υπάρχουν διαφορές. Αναλυτικότερα το NFV χρησιμοποιείται για στην εικονικοποίηση των στοιχείων του δικτύου. Από την άλλη το SDN χρησιμοποιείται για την αρχιτεκτονική δικτύου που εισάγει την δυνατότητα για της αυτοματοποίησης καθώς δίνεται και η δυνατότητα προγραμματισμού στο δίκτυο αποσυνδέοντας τις λειτουργίες ελέγχου και προώθησης του δικτύου.

Επιπλέον το SDN διαθέτει συνήθως έναν ελεγκτή SDN, διεπαφές προγράμματος εφαρμογών (APIs) τις **northbound application program interfaces (APIs)** και τις **southbound APIs**. Ο ελεγκτής SDN επιτρέπει στους διαχειριστές δικτύου να βλέπουν το δίκτυο και να υπαγορεύουν συμπεριφορές και πολιτικές στην υποκείμενη υποδομή.

- **northbound (APIs):** Η northbound (APIs) χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ του υψηλότερου επιπέδου εφαρμογής και του ελεγκτή SDN στο μεσαίο επίπεδο ελέγχου. Το επίπεδο εφαρμογών αποτελείται από υπηρεσίες οργάνωσης δικτύου, λογισμικό σχεδιασμού δικτύων, λογισμικό φορέα εκμετάλλευσης ή εφαρμογές τρίτων που λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με τη συνολική δομή του δικτύου.
- **southbound APIs:** Η **southbound APIs** είναι υπεύθυνη για την επικοινωνία μεταξύ του ελεγκτή SDN στο μεσαίο επίπεδο ελέγχου και των κατώτερων στοιχείων δικτύωσης στο επίπεδο δεδομένων. Το επίπεδο δεδομένων αποτελείται από τους φυσικούς ή εικονικούς μεταγωγείς για τις θύρες του δικτύου. [10]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156



- Εικόνα 5: Λειτουργίες του northbound και του southbound APIs

3.3.1 SDN controller

Ο SDN controller αποτελεί τον εγκέφαλο του δικτύου. Σε συνεργασία του NFV με το SDN οι δύο αυτές τεχνολογίες δημιουργούν τις εικονικές επικαλύψεις του δικτύου που υπάρχουν πάνω από τη φυσική υποδομή του δικτύου. Επιπλέον η αρχιτεκτονική του SDN βασίζεται σε ελεγκτές που επιτρέπουν τους διαχειριστές του δικτύου να διαχειρίζονται το δίκτυο. Για την λειτουργία του ο SDN χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα το OpenFlow και η ανοικτή βάση δεδομένων εικονικών μεταγωγέων (OVSDB).

3.3.2 Προκλήσεις του SDN

Τα μειονεκτήματα του παρουσιάζει ο SDN είναι:

I. **Κίνδυνοι ασφαλείας από την κεντρική διαχείριση:** Ενώ αυτό διευκολύνει τη δικτύωση, αποτελεί επίσης κίνδυνο για την ασφάλεια. Διότι η κεντρική διαχείριση αποτελεί ένα μοναδικό σημείο επίθεσης και αν πέσει, επηρεάζεται ολόκληρο το δίκτυο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

II. **Συμφόρηση του ελεγκτή SDN**: Όταν υπάρχει μόνο μια μοναδική περίπτωση ενός ελεγκτή SDN, μπορεί να γίνει σημείο συμφόρησης για ένα δίκτυο με μεγάλο όγκο κίνησης, δρομολογητές και μεταγωγής. Απλώς υπάρχουν πάρα πολλά για να επικοινωνήσουν με μία μόνο περίπτωση ελεγκτή.

III. **Δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτό πρότυπο για τα APIs βόρειας κατεύθυνσης**: Χωρίς ένα καθολικά αποδεκτό πρότυπο για τα northbound APIs, οι προμηθευτές και οι οργανισμοί ανοικτού κώδικα κατασκευάζουν ανόμοια APIs για τους ελεγκτές SDN. Αυτό δυσχεραίνει την ανάπτυξη εφαρμογών επειδή, προκειμένου να διαλειτουργούν με διαφορετικούς ελεγκτές, οι προγραμματιστές πρέπει να φτιάξουν πολλαπλές εκδόσεις εφαρμογών. [11]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

4 Εγκατάσταση του λογισμικού OpenSlice

Στην συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στον τρόπο εγκατάστασης του λογισμικού openSlice, από ποιο λειτουργικό σύστημα υποστηρίζεται, την διαδικασία δημιουργίας δικτύου 5G και τα πιθανά σφάλματα αλλά και τους τρόπους αντιμετώπισης των σφαλμάτων.

4.1 OpenSlice

Το openSlice είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για την δημιουργία ιδιωτικών δικτύων 5G. Επειδή το openSlice είναι πρόγραμμα ανοικτού λογισμικού χρησιμοποιείται από το λειτουργικό σύστημα Linux στην έκδοση Ubuntu 22.04. Επιπλέον για την εγκατάσταση του openSlice χρειάζεται πρώτα η εγκατάσταση του Docker , του Docker Compose και τέλος χρειάζεται η εγκατάσταση του keycloak.

4.1.1 Docker

Το Docker είναι μια πλατφόρμα που επιτρέπει τους προγραμματιστές να πακετάρουν εφαρμογές και τις εξαρτήσεις τους σε ένα "container". Αυτά τα containers είναι ελαφριά και φορητά, επιτρέποντας στις εφαρμογές να τρέχουν με τον ίδιο τρόπο σε οποιοδήποτε σύστημα. Στο openslice το Docker είναι σημαντικό για να τρέξει τα μεμονωμένα microservices που αποτελούν την πλατφόρμα του.

4.1.2 Docker Compose

Το Docker Compose είναι ένα εργαλείο για να ορίζεις Docker εφαρμογές. Με αυτό, μπορείς να περιγράψεις την αρχιτεκτονική της εφαρμογής σου σε ένα αρχείο YAML.

Για το OpenSlice αρχείο yaml είναι:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

```
version: '3.4'
services:

  artemis:
    container_name: anartemis
    image: apache/activemq-artemis:2.30.0
    restart: always
    profiles: ["dev", "prod"]
    ports:
    - 8161:8161
    - 61616:61616
    - 61613:61613
    volumes:
    -  /var/log/activemq:/var/log/activemq
    networks:
    -  back

  nginx:
    container_name: anginx
    image: nginx
    restart: always
    profiles: ["dev", "prod"]
    ports:
    - 80:80
    - 443:443
    volumes:
    - ./nginx/nginx.conf:/etc/nginx/nginx.conf
    - ./nginx/certificates:/etc/nginx/certificates
    - ../../org.etsi.osl.portal.web/src:/webstatic/nfvportal
    - ../../org.etsi.osl.tmf.web/dist/org.etsi.osl.tmf.web:/webstatic/services
    networks:
    - front

  mysql-portal:
    container_name: amysql
    restart: always
    image: mysql:5.7.43
    profiles: ["dev", "prod"]
    environment:
      MYSQL_ROOT_PASSWORD: letmein
#     MYSQL_DATABASE: osdb
#     MYSQL_USER: portaluser
#     MYSQL_PASSWORD: 12345
     MYSQL_ROOT_HOST: "%"
    ports:
    -  "13306:3306"
    volumes:
```

```
      DB_DATABASE: keycloak
      DB_USER: keycloak
      DB_PASSWORD: password
      KEYCLOAK_USER: admin
      KEYCLOAK_PASSWORD: Pa55w0rd
      JDBC_PARAMS: "useSSL=false"
      JAVA_OPTS: "-server -Xms512m -Xmx2048m -XX:MetaspaceSize=96M -XX:MaxMetaspaceSize=256m -XX:+UseAd
      KEYCLOAK_IMPORT: /tmp/realm-export.json
      PROXY_ADDRESS_FORWARDING: "true"
    volumes:
    - ./keycloak-init:/tmp
    ports:
      - 8080:8080
      - 8443:8443
    depends_on:
      - mysql-portal
    networks:
      - front
      - back

  osportalapi:
    container_name: openslice-portalapi
    restart: always
    profiles: ["prod"]
    build:
      context:  ../../org.etsi.osl.portal.api/
      dockerfile: Dockerfile.portalapi
    image: org.etsi.osl.portal.api:latest
    environment:
      SPRING_APPLICATION_JSON: '{
        "spring.datasource.url": "jdbc:mysql://amysql/osdb?createDatabaseIfNotExist=true",
        "spring.datasource.username":"root",
        "spring.datasource.password":"letmein",
        "spring-addons.issuers[0].uri": "http://keycloak:8080/auth/realms/openslice",
        "spring-addons.issuers[0].username-json-path":"$.preferred_username",
        "spring-addons.issuers[0].claims[0].jsonPath":"$.realm_access.roles",
        "spring-addons.issuers[0].claims[1].jsonPath":"$.resource_access.*.roles",
        "spring.security.oauth2.resourceserver.jwt.issuer-uri": "http://keycloak:8080/auth/realms/openslic
        "springdoc.oAuthFlow.authorizationUrl": "http://keycloak:8080/auth/realms/openslice/protocol/open
        "springdoc.oAuthFlow.tokenUrl": "http://keycloak:8080/auth/realms/openslice/protocol/openid-conne
        "springdoc.oauth.client-id" : "osapiWebClientId",
        "springdoc.oauth.clientsecret" : "secret",
        "spring.activemq.brokerUrl": "tcp://anartemis:61616?jms.watchTopicAdvisories=false",
        "spring.activemq.user": "artemis",
        "spring.activemq.password": "artemis",
        "logging.level.org.springframework" : "INFO",
```

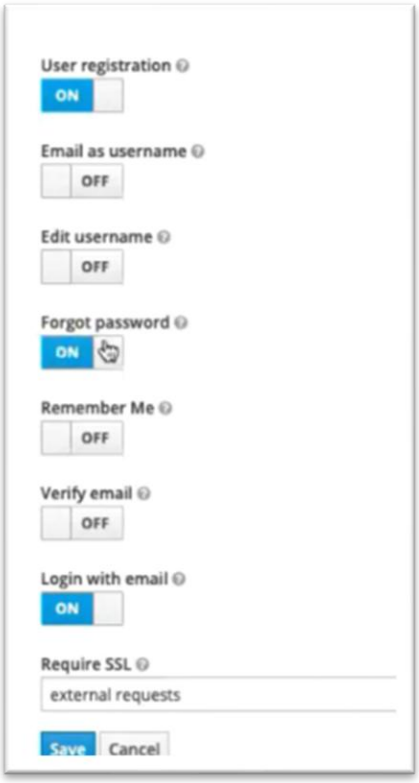
- Εικόνα 6: Κώδικας του αρχείου yaml για το OpenSlice.

4.1.3 Keycloak

Στο OpenSlice, το Keycloak χρησιμοποιείται για την ασφαλή διαχείριση των χρηστών και των δικαιωμάτων πρόσβασης. Είναι υπεύθυνο για την αυθεντικοποίηση των χρηστών που θέλουν να συνδεθούν στην πλατφόρμα και διασφαλίζει ότι οι χρήστες έχουν τα κατάλληλα δικαιώματα για να εκτελέσουν τις ενέργειες που επιτρέπονται στο σύστημα. Επιπλέον το OpenSlice χρησιμοποιεί το Keycloak για να προσφέρει αυθεντικοποίηση και εξουσιοδότηση στα API και στο περιβάλλον του χρήστη μέσα από μια σειρά ενεργειών.

➢ Από την κατηγορία Login ο χρήστης θα πρέπει να κάνει τις ακόλουθες ρυθμίσεις:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156



- Εικόνα 7: Ρυθμίσεις του Login στο keycloak

➢ Στην συνέχεια από την κατηγορία Tokens θα πρέπει να κάνει τις ακόλουθες ρυθμίσεις:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

- Εικόνα 8: Ρυθμίσεις του Token στο keycloak

4.1.4 Portainer

Στο openslice το portainer χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των containerized υπηρεσιών του επειδή το OpenSlice λειτουργεί μέσω Docker και Docker Compose. Με τη χρήση του Portainer γίνεται η διαχείριση των containers και των εφαρμογών που απαρτίζουν το OpenSlice γίνεται πιο εύκολη.

4.2 Διαδικασία Δημιουργίας 5G Δικτύου με OpenSlice

Το OpenSlice είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα που παίζει κεντρικό ρόλο στη διαχείριση και στην οργάνωση των δικτύων 5G, ειδικά όσον αφορά τα ιδιωτικά δίκτυα. Το openSlice επικεντρώνεται στην ανάπτυξη δικτύων 5G μέσα από διάφορες λειτουργίες όπως το OpenSourceMANO (OSM), το Network Service Descriptors (NSD),το Virtual Network Functions (VNF) και τέλος προσφέρει ασφάλεια για την διαχείριση των χρηστών μέσω του Keycloak.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

4.2.1 Λειτουργίες του OpenSlice

I. **Ενσωμάτωση με Opensource MANO (OSM):** Το OpenSlice ενσωματώνεται με το **OpenSource MANO (OSM)**.Το OSM είναι μια πλατφόρμα διαχείρισης και ορχήστρωσης των VNFs και των NSDs. Το OSM είναι σημαντικό για την αυτοματοποιημένη ανάπτυξη των εικονικών λειτουργιών και υπηρεσιών δικτύου επιτρέποντας έτσι καλύτερο χειρισμό των πόρων και πιο γρήγορη ανάπτυξη των υπηρεσιών.

II. **Διαχείριση Υπηρεσιών Δικτύου (Network Service Descriptors - NSD):** Μέσω του OpenSlice, είναι δυνατή η δημιουργία και διαχείριση Network Service Descriptors (NSD). Οι NSDs είναι ουσιαστικά οι περιγραφές των υπηρεσιών δικτύου που θέλεις να υλοποιήσεις, όπως για παράδειγμα ένα 5G δίκτυο για μια επιχείρηση ή μια βιομηχανία.

III. **Δημιουργία Εικονικών Δικτυακών Λειτουργιών (Virtual Network Functions - VNF):** Το OpenSlice υποστηρίζει τη δημιουργία και διαχείριση των VNFs. Τα VNFs είναι εικονικές εκδόσεις παραδοσιακών λειτουργιών δικτύου, όπως δρομολογητές, firewalls, και διακομιστές DNS. Επίσης τα VNFs επιτρέπουν τη γρήγορη ανάπτυξη και προσαρμογή των δικτυακών υποδομών.

IV. **Ασφάλεια και Διαχείριση Χρηστών μέσω Keycloak:** Το OpenSlice χρησιμοποιεί το Keycloak για τη διαχείριση της ασφάλειας καθώς και για την εξουσιοδότηση των χρηστών. Αυτό σημαίνει ότι κάθε χρήστης που θέλει να αποκτήσει πρόσβαση στο δίκτυο ή να εκτελέσει συγκεκριμένες λειτουργίες πρέπει να έχει τα κατάλληλα δικαιώματα, κάτι που διασφαλίζεται μέσω του Keycloak.

4.2.2 Δημιουργία 5G Δικτύου με OpenSlice

Για την δημιουργία 5G δικτύων μέσω του openslice χρειάζονται ορισμένα εργαλεία.

I. **Εγκατάσταση των Απαραίτητων Εργαλείων**: Η εγκατάσταση του OpenSlice απαιτεί την εγκατάσταση εργαλείων όπως το Docker. Το Docker χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των "containers" μέσα από τα οποία τρέχουν οι εφαρμογές. Καθώς και το **Docker Compose**, που επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτέλεση πολλών υπηρεσιών που χρειάζεται το OpenSlice.

II. **Δημιουργία των VNFs**: Με την εγκατάσταση των παραπάνω εργαλείων (Docker και Docker Compose) το OpenSlice επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει VNFs.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Τα VNF μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση σε διάφορες δικτυακές λειτουργίες σε ένα περιβάλλον 5G.

III. **Δημιουργία και Ορισμός των NSDs**: Μετά τη δημιουργία των VNFs, μπορείς να χρησιμοποιήσεις το OpenSlice για να ορίσεις **Network Service Descriptors (NSDs)**. Οι ορισμοί περιλαμβάνουν τις προδιαγραφές των υπηρεσιών που θα τρέχουν στο 5G δίκτυο όπως για παράδειγμα (υπηρεσίες χαμηλής καθυστέρησης, για βιομηχανικές εφαρμογές ή υπηρεσίες μεγάλης ταχύτητας και για εφαρμογές streaming).

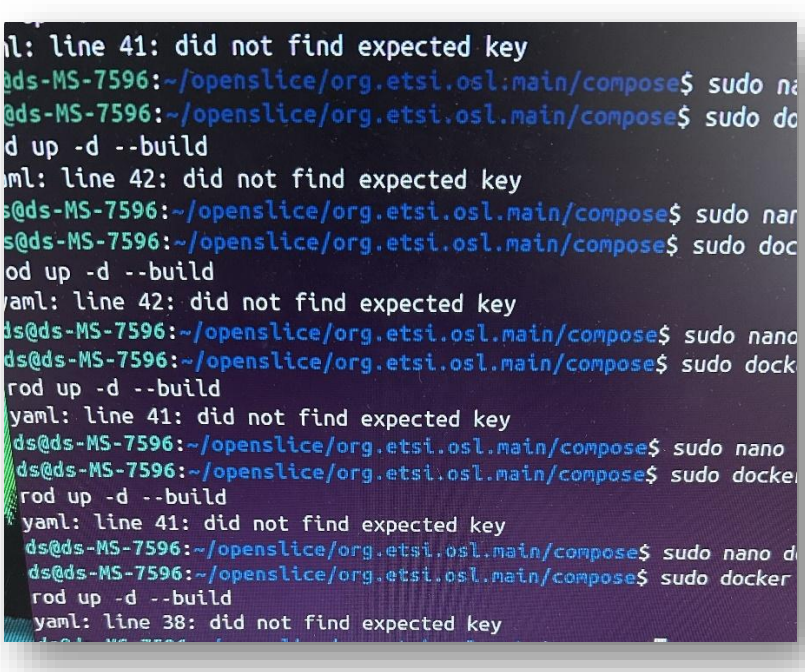
IV. **Πειραματική Εφαρμογή σε Πανεπιστημιακό Δίκτυο 5G**: Τέλος, το OpenSlice έχει χρησιμοποιηθεί και σε πειραματικά πανεπιστημιακά δίκτυα 5G (Πανεπιστήμιο Πατρών) προσφέροντας έτσι μια πλατφόρμα για την εφαρμογή νέων τεχνολογιών και την ανάλυση των επιδόσεων των δικτύων 5G.

4.2.3 Προβλήματα κατά την Εγκατάσταση του Openslice και τρόπος Αντιμετώπισης

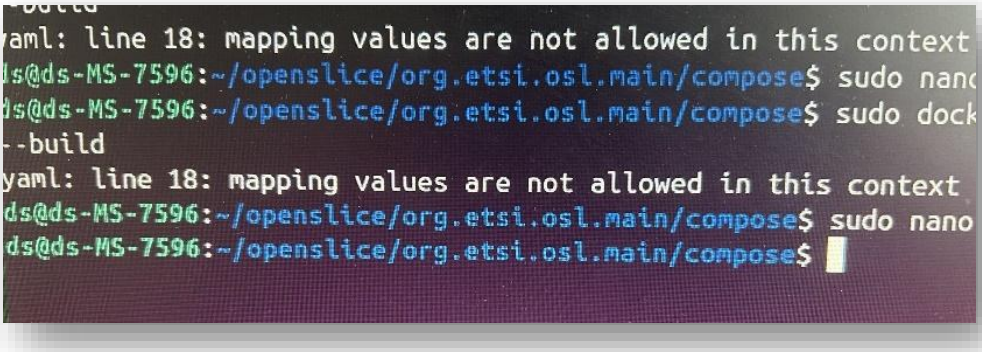
Το openslice όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι πρόγραμμα ανοικτού λογισμικού και υποστηρίζεται από το λειτουργικό σύστημα Linux σε έκδοση Ubuntu. Κατά την εγκατάσταση του προγράμματος παρουσιάστηκαν ορισμένα σφάλματα.

- Ορισμένα από τα σφάλματα που παρουσιάστηκαν κατά την εγκατάσταση του openslice είναι:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156



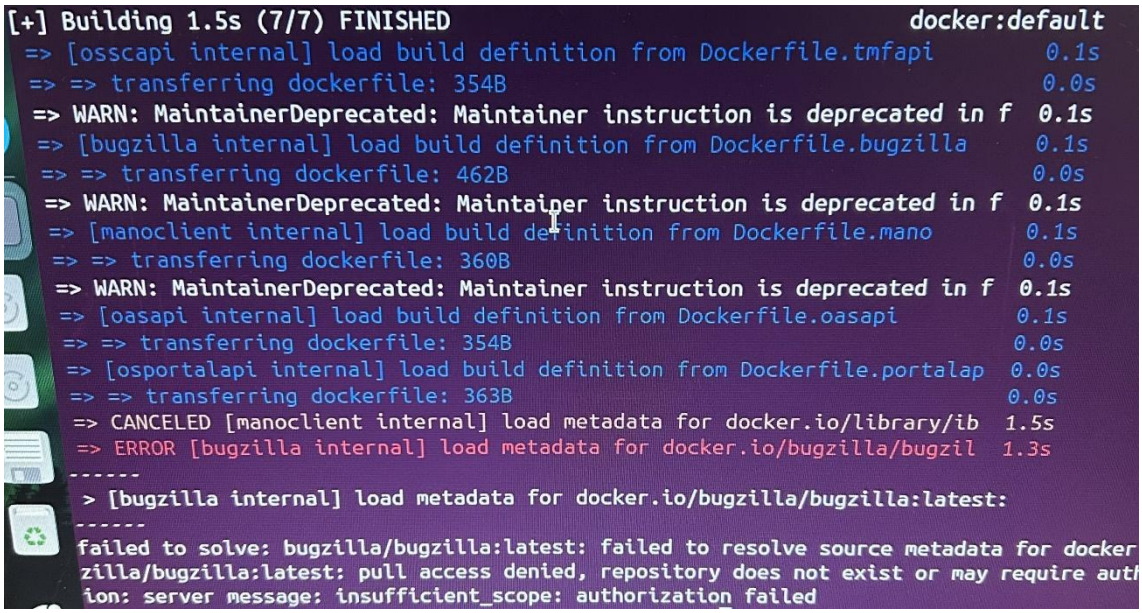
- Εικόνα 9: Σφάλμα που οφείλεται στο αρχείο yaml



- Εικόνα 10: Σφάλμα που οφείλεται στο αρχείο yaml

- Εικόνα 11: Σφάλμα που οφείλεται στο docker.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156



- Εικόνα 12: Σφάλμα που οφείλεται στο bugzilla

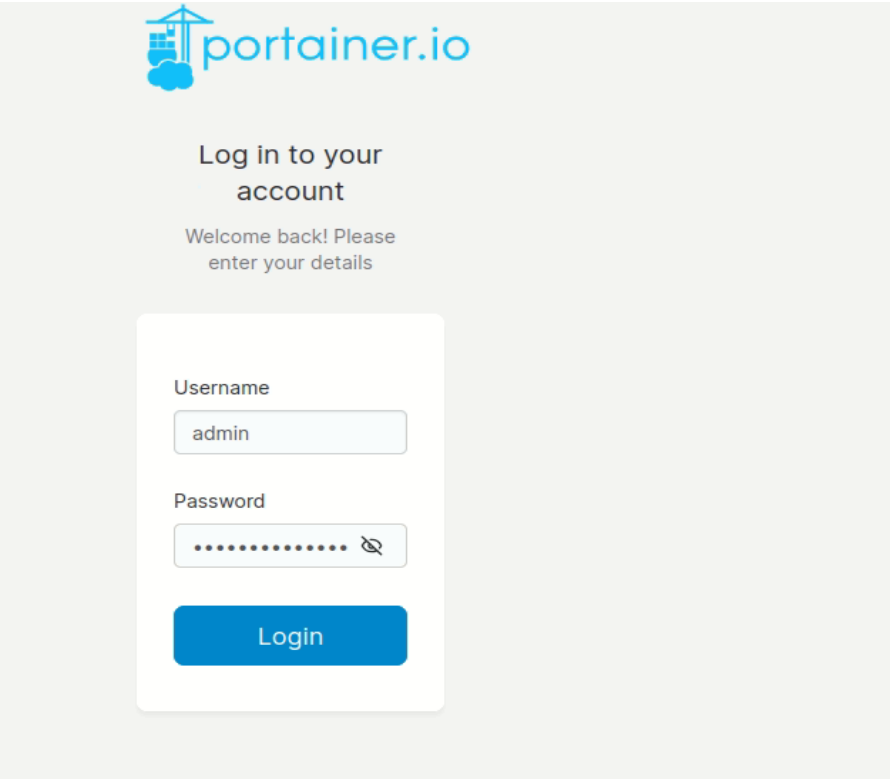
Τα σφάλματα που παρουσιάστηκαν στις εικόνες (9,10) ήταν σφάλματα που αφορούσαν το αρχείο docker-compose.yaml με την εντολή του ubuntu (sudo nano docker-compose.yaml). Για την επίλυση τους έγιναν ορισμένες τροποποιήσεις στο αρχείο αυτό. Ενώ για τα σφάλματα που παρουσιάστηκαν στις εικόνες (11,12) ήταν σφάλματα που αφορούσαν το docker. Δηλαδή ο docker δεν μπορούσε να αναγνώριση τις εντολές (images:org.etsi.osl.tmf.api:latest) και (images: org.etsi.osl.bugzilla:latest) του αρχείου docker-compose.yaml.

Για την αντιμετώπιση όλων των παραπάνω προβλημάτων συμβουλεύτηκα το αρχεία lab.etsi.org και τις οδηγίες εγκατάστασης του προγράμματος. Τα αρχεία αυτά περιλαμβάνουν τους κώδικες και τις οδηγίες εγκατάστασης του προγράμματος openslice.

- Μετά την εγκατάσταση του προγράμματος στην οθόνη του χρήστη θα πρέπει να εμφανίζονται τα ακόλουθα:

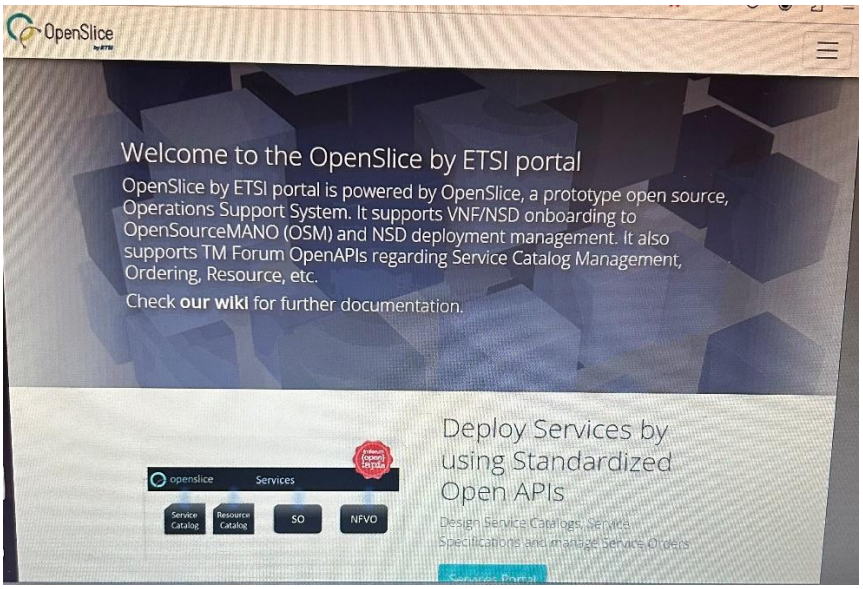
- Στην IP: 10.50.0.236:9000 θα πρέπει στον χρήστη να του εμφανίζει το παρακάτω:

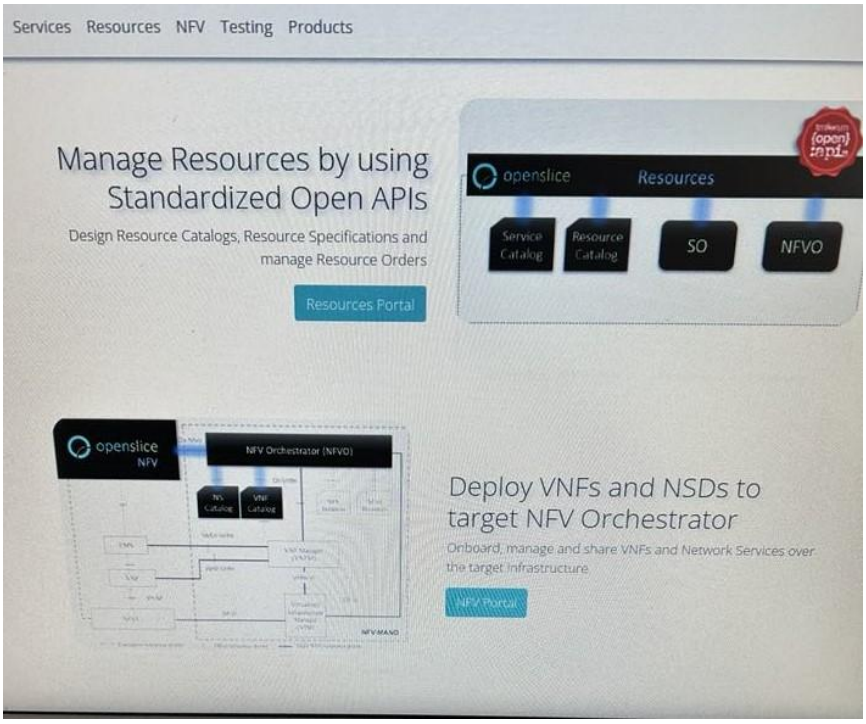
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156



- Στην IP: 10.50.0.236:81 θα πρέπει στον χρήστη να του εμφανίζει την σελίδα του openslice:

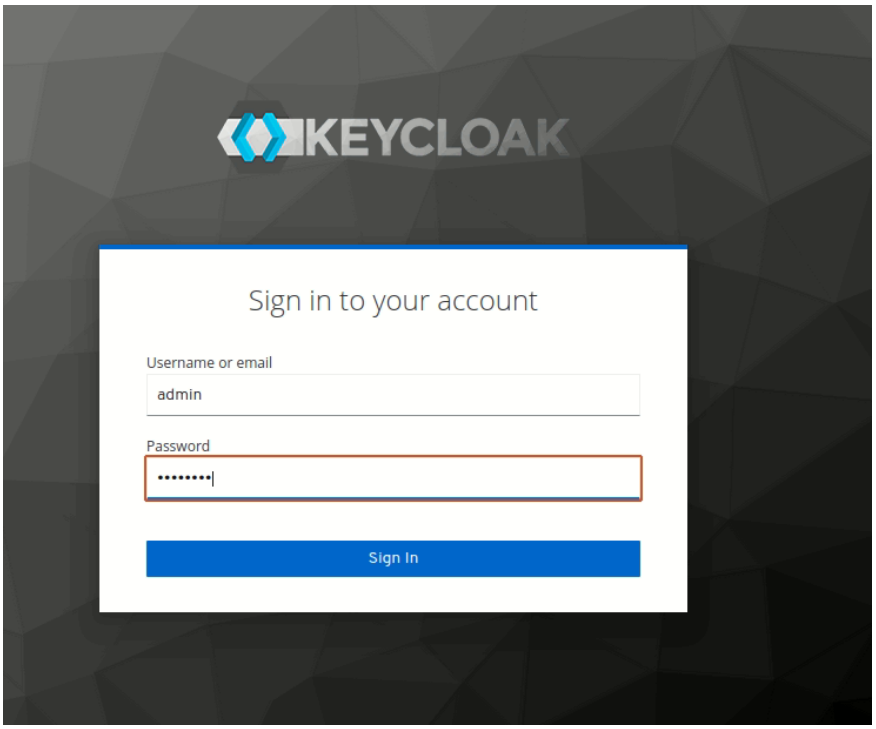
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156





- Στην IP: 10.50.0.236:8080/auth/ θα πρέπει στον χρήστη να του εμφανίζει την σελίδα του keycloak:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156



5 Δημιουργία δικτύων 5G με λογισμικά Ανοιχτού Κώδικα

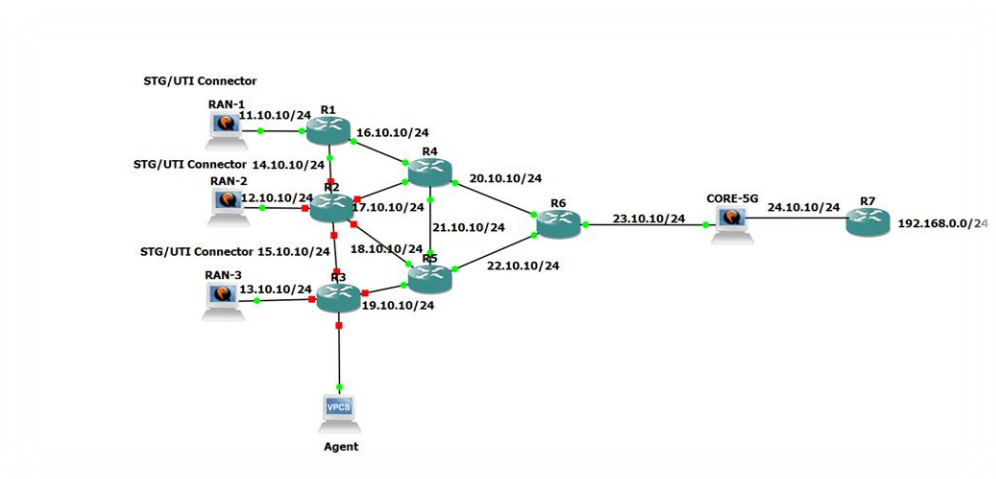
Στον συγκεκριμένο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθούν και θα αναλυθούν πειράματα που έχουν γίνει με λογισμικά ανοιχτού κώδικα.

5.1 Δημιουργία Ιδιωτικών δικτύων 5G Μέσω του λογισμικού GNS3

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνουν δημιουργηθούν ιδιωτικά δίκτυα 5G με το λογισμικού ανοικτού κώδικα GNS3. Το GNS3 είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα που υποστηρίζει την ανάπτυξη δικτύων 5G και συνεργάζεται με παγκόσμιους φορείς (όπως η Tellecom Systems, η Google, και η Pfizer)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

5.1.1 5G Network using STG/UTI connector and Core 5G

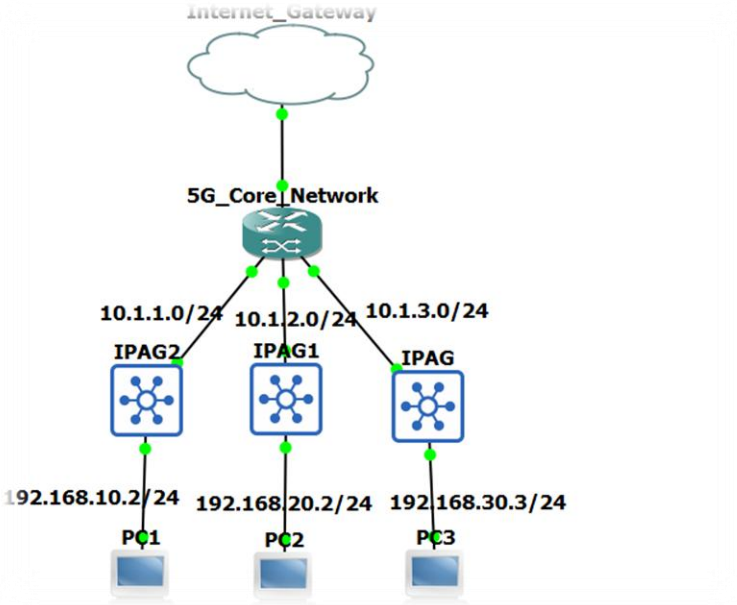


- Εικόνα 13: Δημιουργία 5g δικτύου με χρήση συνδέσμου STG/UTI και core 5g

Το παραπάνω δίκτυο 5G περιγράφει την υλοποίηση μιας μεθοδολογίας δικτύου 5G που αποτελείται από έναν Agent. Ο Agent θα μπορεί αυτόνομα να ανακαλύπτει την τοπολογία του δικτύου (τις συσκευές, τις συνδέσεις, και τις διαδρομές μεταξύ τους. Επιπλέον το παραπάνω δίκτυο αυτό βασίζεται στη σύνδεση ανεξάρτητων περιοχών με έναν πυρήνα 5G (CORE-5G) μέσω ενός δικτύου συγκέντρωσης, χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό .Επίσης, υπάρχει μια σύνδεση STG/UTI που μπορεί να προσθέσει κίνηση στο δίκτυο. Τέλος ο Agent είναι σχεδιασμένος ώστε να λειτουργεί με πρωτοκολλά δικτύων (όπως SNMP, ICMP, RIP, OSPF) .Τα δίκτυα SDN λειτουργούν με το πρωτόκολλο OpenFlow για την ανίχνευση της τοπολογίας.

5.1.2 5G C-RAN cloud Network.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

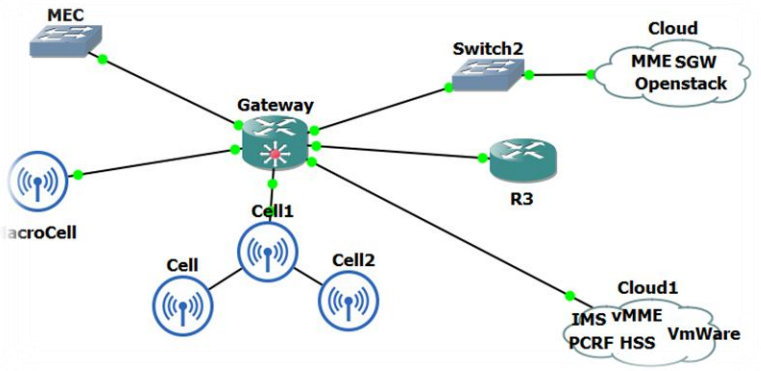


- Εικόνα 14: 5G C-RAN Network

Στην παραπάνω εικόνα γίνεται αναπαράσταση ενός δικτύου Cloud Radio Access Network (C-RAN) για 5G δίκτυα. Αναλυτικότερα το πείραμα αυτό αποτελείται από τρία PC (PC1,PC2,PC3) τα οποία χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των σημάτων που λαμβάνουν. Στην συνέχεια τα "IPAG" (IP Aggregation) λειτουργούν ως μονάδες συγκέντρωσης του δικτύου, οι οποίες συνδέουν το Core Network με τα PC. Κάθε IPAG λαμβάνει και δρομολογεί την κυκλοφορία από τα PC από τον πυρήνα και το αντίστροφο. Ακόμη το 5G_Core_Network διαχειρίζεται την κίνηση του δικτύου και τις βασικές λειτουργίες που υποστηρίζουν με την μεταφορά δεδομένων. Το 5G_Core_Network συνδέεται με το Internet Gateway και τις μονάδες IPAG. Τέλος το internet network αποτελεί την πύλη πρόσβασης του δικτύου στο Internet και όλη η κίνηση το δίκτυο περνάει από το Internet_Gateway.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

5.1.3 5G Edge Computing Network



- Εικόνα 15: 5G Edge Computing Network

Στο παραπάνω δίκτυο 5G γίνεται η αναπαράσταση ενός δικτύου που περιλαμβάνει το **Macro Cell , το MEC (Multi-Access Edge Computing) ,το Gateway και τα cloud.**

Αναλυτικότερα στο αριστερό μέρος του δικτύου υπάρχουν το Macro Cell και το MEC. Το Macro Cell εκπέμπει σήμα στους τελικούς χρήστες. Το MEC (Multi-Access Edge Computing) βρίσκεται κοντά στο macro cell και έχει ως στόχο να μειώσει την καθυστέρηση και να βελτιώσει την απόδοση εξυπηρέτησης, επιτρέποντας την τοπική επεξεργασία δεδομένων πριν τη μεταφορά στον κεντρικό κορμό του δικτύου. Το macro cell και το MEC συνδέονται με το Gateway.Το gateway αποτελεί το κεντρικό σημείο που συνδέει το macro cell με τα υποκείμενα cloud cores (Cloud και Cloud1). Δηλαδή το gateway αποτελεί την γέφυρα που συνδέει το δίκτυο πρόσβασης με τον κορμό του δικτύου και τις υπηρεσίες cloud. Τέλος τα clouds χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων υπηρεσιών.

Το Cloud αναφέρεται σε μια φέτα του δικτύου που έχει διαμορφωθεί για να εξυπηρετεί συγκεκριμένες υπηρεσίες. Χρησιμοποιείται το λογισμικό **OpenStack** και τα στοιχεία δικτύου που εξυπηρετεί είναι το MME (Mobility Management Entity) για τη διαχείριση κινητικότητα, το SGW (Serving Gateway για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ χρηστώνκαι, το PGW (Packet Data Network Gateway) για τη σύνδεση με εξωτερικά δίκτυα.

Το cloud1αναφέρεται σε μια άλλη φέτα του δικτύου που εξυπηρετεί διαφορετικές απαιτήσεις και χρησιμοποιεί το λογισμικό VMware. Τα στοιχεία δικτύου που εξυπηρετεί είναι το IMS (IP Multimedia Subsystem) για τη διαχείριση πολυμέσων, το vMME, (virtualized MMEGateway) για τις Εικονικές λειτουργίες του MME και των πυλών, το PCRF (Policy and Charging Rules Function) για τη διαχείριση πολιτικών και χρέωσης

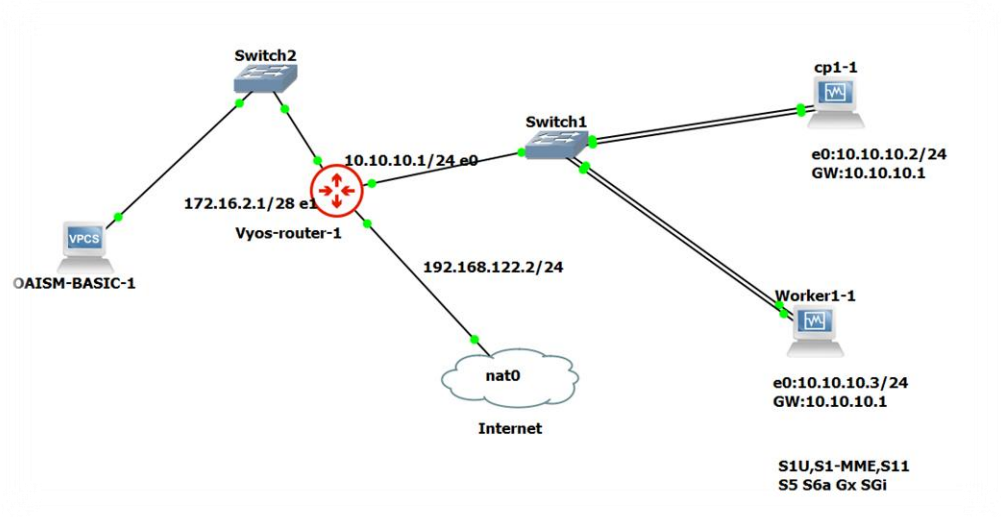
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

και το HSS (Home Subscriber Server) για την διαχειρίση πληροφορίών μεταξύ των συνδρομητών

5.2 Δημιουργία ιδιωτικών δικτύων 5G

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα πραγματοποιηθούν πειράματα και θα αναλυθούν ιδιωτικά δίκτυα έχουν γίνει με το λογισμικό ανοικτού λογισμικού GNS3.

5.2.1 5G LAN Network



- Εικόνα 16: 5G LAN Network

Το παραπάνω δίκτυο 5G αποτελείται από τα switch1,2.Απο ένα Vyos-router ένα Internet (nat0) και από τα PCS(cp1-1,Worker1-1 και το OAISM-BASIC-1).

Τα PC με ονομασίες cp1-1,Worker1-1 βρίσκονται στο υποδίκτυο 10.10.10.0/24, με πύλη (GW) το 10.10.10.1. Συνδέονται με το Switch1 για επικοινωνία με τον υπόλοιπο εξοπλισμό.

Στην συνέχεια το switch 1 συνδέεται με το vyos-router-1 και με τα PC cp1-1 και worker-1-1.

Ακόμη ο δρομολογητής vyos-router-1 χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της κυκλοφορίας στο δίκτυο αλλά και για τη δρομολόγηση δεδομένων προς το διαδίκτυο μέσω της διεπαφής nat0.

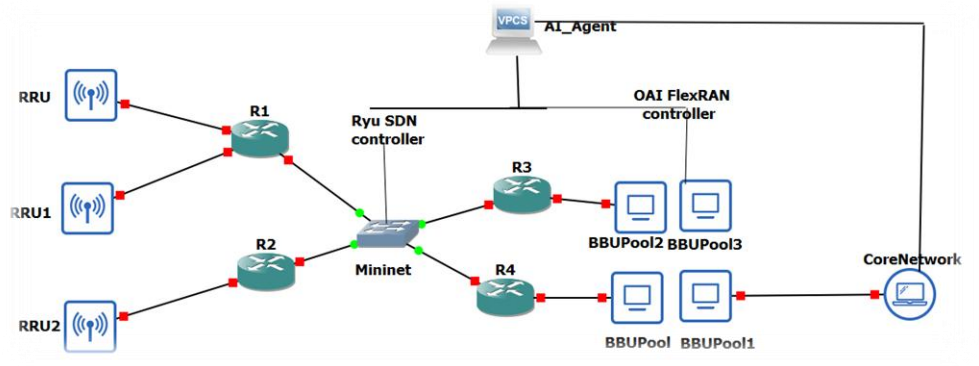
Το Internet (nat0) χρησιμοποιείται μέσω του δρομολογητή vyos-router-1για την μετάφραση δικτυακών διευθύνσεων (NAT) αλλά και για πρόσβαση στο διαδίκτυο από το εσωτερικό δίκτυο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Το **Switch2** συνδέει το OAISM-BASIC-1 με τον vyos-router-1 για την εύκολη μετάδοση δεδομένων.

Τέλος το OAISM-BASIC-1 χρησιμοποιείται για τη διαχείριση η και για τη προσομοίωση σε υπηρεσίας 5G.

5.2.2 5G Network with AI



- Εικόνα 17: 5G Network with AI

Στο παραπάνω δίκτυο γίνεται αναπαράσταση ενός δικτύου 5G χρησιμοποιώντας λογισμικό SDN (Software-Defined Networking) και συστήματα RAN (Radio Access Network) με υποστήριξη τεχνητής νοημοσύνης (AI). Αναλυτικότερα το δίκτυο αυτό αποτελείται από: RRU (Remote Radio Units), το Mininet, Ryu SDN Controller, το OAI FlexRAN Controller ,τα BBU Pool , το Core Network και από τον AI Agent.

Οι RRU (Remote Radio Units) είναι απομακρυσμένες μονάδες ραδιοσυχνοτήτων που δέχονται και στέλνουν σήματα από τις συσκευές χρηστών. Οι RRU συνδέονται με τη δομή του δικτύου μέσω του Mininet.

Το Mininet συνδέει τις RRU με τη μονάδα BBU (Baseband Unit) χρησιμοποιώντας το δίκτυο SDN.Επίσης μέσω του fronthaul, οι πληροφορίες προωθούνται από τις RRU προς το BBU.

Ο **Ryu SDN Controller** είναι ένας SDN ελεγκτής που διαχειρίζεται τη ροή δεδομένων στο fronthaul δίκτυο. Επικοινωνεί με το δίκτυο και ελέγχει την κατεύθυνση των δεδομένων από τις RRU στο BBU pool.

Ο OAI FlexRAN controller χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του BBU pool και επιτρέπει τον έλεγχο και την διαχείριση των λειτουργιών του RAN.

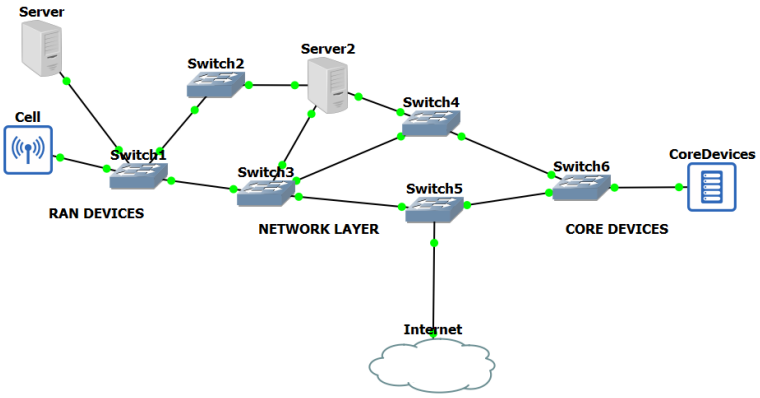
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Ακόμη τα **BBU Pool** είναι διάφορες μονάδες επεξεργασίας σήματος που εκτελούν την επεξεργασία των δεδομένων από τις RRU. Είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση των σημάτων και τη διαβίβασή τους προς τον **Core Network**.

Το **Core Network** αποτελεί το κεντρικό δίκτυο όπου γίνεται η επεξεργασία, η διαχείριση και η διαβίβαση των δεδομένων. Επίσης αποτελεί το κεντρικό σημείο για την πρόσβαση στο διαδίκτυο ή σε άλλες δικτυακές υπηρεσίες.

Τέλος, ο AI agent βοηθά στη βελτιστοποίηση και στην δυναμική διαχείριση του δικτύου παρέχοντας αλλαγές και αναπροσαρμογές ανάλογα με τις απαιτήσεις δικτύου.

5.2.3 5G Radio Access Network



- Εικόνα 18: 5G RAN Network

Στο παραπάνω δίκτυο γίνεται αναπαράσταση ενός δικτύου 5G, το οποίο αποτελείται από διάφορα τμήματα τα οποία είναι: τα RAN DEVICES,το Network Layer και από τα Core Devices και το Internet Cloud.

Αναλυτικότερα το τμήμα που αποτελείται από τα RAN DEVICES είναι υπεύθυνο για την ασύρματη επικοινωνία των κινητών συσκευών με το υπόλοιπο δίκτυο, παρέχοντας την απαραίτητη κάλυψη και χωρητικότητα στο δίκτυο.

Στην συνέχεια, το Network Layer περιλαμβάνει διάφορες συσκευές δικτύου, όπως τα switches που διαχειρίζονται την κυκλοφορία των δεδομένων. Η σύνδεση μεταξύ των συσκευών επιτρέπει την ασφαλή και γρήγορη μεταφορά των δεδομένων από το RAN προς το Core και αντίστροφα.

Ακόμη, το τμήμα του Core Devices αποτελεί το κεντρικό τμήμα του δικτύου στο οποίο βρίσκονται τα στοιχεία διαχείρισης, της σύνδεσης και της κίνησης. Επιπλέον το τμήμα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

αυτό είναι σημαντικό γιατί διαχειρίζεται την ταυτότητα των χρηστών, την ασφάλεια και την ποιότητα υπηρεσιών.

Τέλος, το Internet Cloud αποτελεί μέρος του Network Layer. Είναι συνδεδεμένο με το διαδίκτυο, επιτρέποντας με αυτόν το τρόπο την επικοινωνία των χρηστών με εφαρμογές και υπηρεσίες εκτός του τοπικού δικτύου.

6 Ανασκόπηση-Συμπεράσματα

Στην παραπάνω πτυχιακή εργασία: Αρχικά έγινε αναφορά από την 1η γένια μέχρι και την 5η γένια τηλεπικοινωνιών. Στην συνέχεια παρουσιάστηκαν εργαλεία ανοιχτού λογισμικού με τα οποία οι χρήστες θα μπορούν να προσαρμόζουν την υποδομή του δικτύου 5G σύμφωνα με τις ανάγκες τους για την δημιουργία ιδιωτικών δικτύων 5G. Ακόμη έγινε αναφορά στην αρχιτεκτονική του NFV MANO, στις λειτουργίες του αλλά και διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στο NFV με το SDN. Στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας παρουσιάστηκε το λογισμικό openSlice με τις λειτουργίες του, την διαδικασία που χρειάζεται για την δημιουργία ιδιωτικών δικτύων 5G,τα προβλήματα που εμφανίστηκαν κατά την εγκατάσταση του και αναφέρθηκε ο τρόπος επίλυσης τους. Τέλος με λογισμικά ανοικτού κώδικα δημιουργήθηκαν ιδιωτικά δίκτυα 5G.

Οι δυσκολίες που εντοπίστηκαν κατά την διάρκεια συγγραφής της πτυχιακής εργασίας ήταν με την εγκατάσταση του λογισμικού openslice με την εμφάνιση σφαλμάτων. Για την αντιμετώπιση των σφαλμάτων με βοήθησε ο επιβλέπων καθηγητής, ο εξοπλισμός του εργαστηρίου, οι καθηγητές από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών καθώς και οι πηγές είναι από διεθνή βιβλιογραφία.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Βιβλιογραφία

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/1G

[2] https://openairinterface.org

[3] https://www.researchgate.net/publication/234164594_Core_Networks_Social_Isolaton_and_New_Media_Internet_and_Mobile_Phone_Use_Network_Size_and_Diversity

[4],[5],[6],[7],[8] https://amslaurea.unibo.it/13373/1/final2.pdf (ALMA MATER STUDIORUM-UNIVERSITY OF BOLOGNA)

[9],[10] https://www.sdxcentral.com/networking/nfv/definitions/whats-network-functions-virtualization-nfv/

[11] https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/what-the-definition-of-software-defined-networking-sdn/

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Παράρτημα Α

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Παράρτημα Β

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156

Παράρτημα Γ

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/09/2026 12:22:52 EEST - 216.73.216.156