



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



Εκσυγχρονισμός Δικτύων Τηλεπικοινωνιακών Παρόχων και Cloud Economics

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελισάβετ Γιαννακίδου

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



Εκσυγχρονισμός Δικτύων Τηλεπικοινωνιακών Παρόχων και Cloud Economics

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελισάβετ Γιαννακίδου

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20^η Ιουνίου 2023.

.....
Δ. Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Χ. Δούκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2023

.....
Ελισάβετ Γιαννακίδου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Ε. Γιαννακίδου 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 τον συγγραφέα.

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

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει τον ψηφιακό εκσυγχρονισμό των δικτύων στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. Το συγκεκριμένο πλάνο ξεκίνησε στην Ελλάδα στα τέλη του 2020, καθώς η κατάργηση των ψηφιακών κέντρων και η μεταφορά όλων των συνδρομητικών βάσεων και υπηρεσιών σε IP δίκτυο (VoLTE, VoWifi) και η εξέλιξη του 5G δημιούργησε θέματα περιορισμού σε capacity και geo-redundancy των server. Παράλληλα με το digital modernization αναπτύχθηκε ο κλάδος Cloud Economics για να δώσει την οικονομική απεικόνιση και μελέτη της μετάβασης από το υλικό στο άυλο (από bare metal σε cloud και virtual resources). Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλυθούν βασικές τεχνικές έννοιες που αφορούν τις τεχνολογίες και τις αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η εικονικοποίηση και το cloudification των υφιστάμενων τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναλυθούν βασικές οικονομικές έννοιες Cloud Economics που αφορούν τις επιχειρηματικές στρατηγικές για τη μετάβαση στο cloud, οικονομικές ποσοτικές και ποιοτικές μετρήσεις και KPIs αλλά και αξιολογήσεις των επιχειρηματικών πλάνων που οφείλει ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος να διατυπώσει και να μελετήσει πριν προχωρήσει στο έργο εκσυγχρονισμού των δικτύων του. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα αναλυθεί ως περίπτωση μελέτης η συνεργασία της Vodafone Γερμανίας με την Ericsson και τη VMware για τον εκσυγχρονισμό του 5G δικτύου κορμού με την αγορά του προϊόντος Cloud Native dual mode 5GC. Επιπλέον, θα αναφερθεί μια προσπάθεια οικονομικής σύγκρισης δύο ποιοτικών σεναρίων, το πρώτο με παραδοσιακό RAN δίκτυο και το δεύτερο με τεχνολογία εικονικοποίησης, από καθηγητές του Πανεπιστημίου Πατρών και του Τεχνολογικού Ινστιτούτου Διόφαντος. Τέλος, θα γίνει η σύνοψη ώστε να διατυπωθούν τα συμπεράσματα σχετικά με τα οικονομικά οφέλη του εκσυγχρονισμού δικτύων.

Λέξεις-Κλειδιά: Cloud, Εικονικοποίηση, Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας, Απόδοση Επένδυσης, Οικονομικά Cloud, Ψηφιακός Εκσυγχρονισμός, Στρατηγικές Cloud 6R, Containers, Μικροϋπηρεσίες, Κεφαλαιουχική Δαπάνη, Λειτουργικά Κόστη

Abstract

The scope of this master's degree thesis is to present network digital modernization in telecommunication carriers. This plan begun in Greece at the end of 2020, since the abolition of digital centers and the transfer of subscriber bases and services over IP networks (Volte, VoWifi) and the evolution of 5G networks created capacity and geo-redundancy issues. At the same time, the study of Cloud Economics was developed to depict economic benefits and costs of the transition from bare metal to cloud and virtual resources. The second chapter will analyze key technical concepts concerning the technologies and architectures used to achieve the virtualization and cloudification of existing telecommunication networks. The third chapter will analyze basic economic concepts of Cloud Economics related to business strategies for the transition to the cloud, economic quantitative and qualitative measurements and KPIs and also evaluations of the business plans that a telecommunications provider must formulate and study before proceeding with the project of its network modernization. The fourth chapter will analyze a case study of the collaboration of Vodafone Germany with Ericsson and VMware to modernize the 5G backbone network by purchasing the product Cloud Native dual mode 5GC. In addition, an attempt to compare two quality scenarios, the first with traditional RAN network and the second with virtualization technology, developed by professors at the University of Patras and the Diophantus Institute of Technology will be mentioned. Finally, a summary will be made to formulate the conclusions on the economic benefits of network modernization.

Keywords: Cloud, Virtualization, TCO, ROI, Cloud Economics, Digital Modernization, 6R Cloud Strategies, Containers, Microservices, CAPEX, OPEX

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου κ. Δημήτριο Ασκούνη για τη συνεργασία του κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση και υποστήριξη τους κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων	14
Πίνακας Σχημάτων	15
Συντομογραφίες.....	16
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	17
1.1 Εξέλιξη Δικτύων.....	17
1.1.1 SDN - Software Defined Networks.....	18
1.1.2 VNF- Virtual Network Function.....	19
1.1.3 DevOps κουλτούρα	20
1.2 Cloud native δίκτυα	21
1.2.1 Cloud Enabled Δίκτυα	21
1.3 Telco Cloud.....	22
1.3.1 Μοντέλα Ανάπτυξης Υπολογιστικού Νέφους.....	24
1.3.2 Μοντέλα Υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους.....	26
1.4 Μετασχηματισμός στις Τηλεπικοινωνίες.....	28
Κεφάλαιο 2: Ψηφιακός Μετασχηματισμός Τηλεπικοινωνιών	30
2.1 Ορισμός.....	30
2.2 Εικονικοποίηση	33
2.3 Bare metal servers	34
2.4 Cloud Servers.....	35
2.5 Containers.....	37
2.5.1 Dockers και Kubernetes	39
2.6 Microservices	41
2.6.1 Microservices σε VM και Bare Metal	43
2.6.2 Microservices σε Containers	44

2.7 OpenStack.....	46
2.7.1 OpenStack στις Τηλεπικοινωνίες	47
Κεφάλαιο 3: Οικονομικά και Στρατηγικές Υπολογιστικού Νέφους.....	49
3.1 Εισαγωγή	49
3.2 Επιχειρηματικές Στρατηγικές Μετάβασης στο Cloud	50
3.3 CAPEX και OPEX.....	53
3.4 Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας – TCO	54
3.5 Καθαρή Παρούσα Αξία και Συντελεστής Εσωτερικής Απόδοσης	57
3.6 Απόδοση Επενδύσεων – ROI	59
3.6.1 Αξιολόγηση Cloud Τεχνολογίας.....	61
3.6.2 Αξιολόγηση Επιχειρηματικής Δραστηριότητας	62
3.6.3 Περίοδος Αποπληρωμής.....	63
Κεφάλαιο 4: Περίπτωση Μελέτης.....	66
4.1 Εισαγωγή	66
4.2 Ericsson NFVI και Cloud Infrastructure	67
4.3 Ανάπτυξη 5GC της Vodafone Γερμανίας.....	69
4.3.1 Χαρακτηριστικά Cloud Native dual mode 5G Core.....	70
4.3.2 VM Telco Cloud.....	72
4.3.3 Επιλογές Ανάπτυξης του Cloud Native dual-mode 5GC	74
4.4 Τρόπος Κοστολόγησης Εικονικοποιημένου Δικτύου 5G	77
4.4.1 Υπολογισμός CAPEX και OPEX	79
4.4.2 Αποτελέσματα Σύγκρισης.....	83
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	85
Βιβλιογραφία.....	87

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Επίπεδα δικτύου που επηρεάζονται από SDN αρχιτεκτονική.....	18
Εικόνα 2 Λειτουργία VNF.....	19
Εικόνα 3 PoC των Ericsson και Verizon	20
Εικόνα 4 Telco Cloud.....	22
Εικόνα 5 Μοντέλα Ανάπτυξης Υπολογιστικού Νέφους	24
Εικόνα 6 Αντιστοίχιση Μοντέλων Cloud υπηρεσιών με είδος πελάτη	26
Εικόνα 7 Αντιστοίχιση Μοντέλων Cloud υπηρεσιών με τις απαιτούμενες εγκαταστάσεις	27
Εικόνα 8 Πλεονεκτήματα Ψηφιακού Μετασχηματισμού στις Τηλεπικοινωνίες	30
Εικόνα 9 Cloudification Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων	31
Εικόνα 10 Project Arno (Azure for Operators)	32
Εικόνα 11 Σχηματική Απεικόνιση Εικονικοποίησης	33
Εικόνα 12 Λειτουργία Cloud Server	36
Εικόνα 13 Λειτουργία Container	38
Εικόνα 14 Κύκλος ζωής Container.....	40
Εικόνα 15 Σχηματική Απεικόνιση συνδυασμού Docker και Kubernetes	40
Εικόνα 16 Λειτουργία Μονολιθικής Αρχιτεκτονικής και Περιορισμοί.....	41
Εικόνα 17 Μετάβαση σε αρχιτεκτονική Microservices	42
Εικόνα 18 Microservices σε VM και Bare Metal.....	43
Εικόνα 19 CI/CD των Microservices σε VM/Bare Metal.....	44
Εικόνα 20 Microservices σε Container.....	44
Εικόνα 21 CI/CD των Microservices σε Container.....	45
Εικόνα 22 Στοιχεία OpenStack	46
Εικόνα 23 OpenStack σε NFV Telco Περιβάλλον	47
Εικόνα 24 Μοντέλα Υπηρεσιών Cloud.....	49
Εικόνα 25 Στρατηγικές 6 R για μετάβαση στο Cloud	50
Εικόνα 26 Στρατηγικές 6 R συναρτήσεϊ κόστους/χρόνου.....	52
Εικόνα 27 Σχέση Καθαρής Παρούσας Αξίας και Συντελεστή Εσωτερικής Απόδοσης	58
Εικόνα 28 Παράγοντες για υπολογισμό κόστους-οφέλους μετάβασης στο cloud	61
Εικόνα 29 Ορόσημα συνεργασίας μεταξύ Vodafone και Ericsson	66
Εικόνα 30 Μοντέλα ανάπτυξης NFVI.....	67

Εικόνα 31 Παράλληλη λειτουργία NFVI και CNIS	68
Εικόνα 32 Μετάβαση στη νέα δομή Cloud Native 5GC της Vodafone Γερμανίας	69
Εικόνα 33 Cloud Native 5GC	70
Εικόνα 34 VM Telco Cloud Υπηρεσίες ως προς το σύνολο του δικτύου.....	73
Εικόνα 35 Πρώτη επιλογή ανάπτυξης Ericsson Cloud Native dual mode 5G Core	75
Εικόνα 36 Δεύτερη επιλογή ανάπτυξης Ericsson Cloud Native dual mode 5G Core	75
Εικόνα 37 Σύγκριση TCO των δύο επιλογών ανάπτυξης του dual mode 5GC	76
Εικόνα 38 Σύγκριση CAPEX/OPEX των δύο επιλογών ανάπτυξης του dual mode 5GC.....	77
Εικόνα 39 Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική SDN/NFV 5G δικτύου	79
Εικόνα 40 Ανάλυση κόστους των 2 αρχιτεκτονικών.....	83
Εικόνα 41 Σύγκριση CAPEX.....	84
Εικόνα 42 Σύγκριση OPEX.....	84

Πίνακας Σχημάτων

Πίνακας 1 Υπολογιστικοί Πόροι Server	78
Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά VM ανά Server	78
Πίνακας 3 Παράμετροι RAN δικτύου	78
Πίνακας 4 Παράμετροι nEPC δικτύου	78

Συντομογραφίες

KPI- Key Performance Indicator
RAN- Radio Access Network
SDN- Software Defined Network
VNF- Virtual Network Function
CNF- Cloud Network Function
DevOps- Development Operations
IT- Information Technology
B2B- Business to Business
CapEX- Capital Expenditure
OpEX- Operational Expenditure
TTM- Time To Market
IaaS- Infrastructure as a Service
PaaS- Platform as a Service
SaaS- Software as a Service
CaaS- Container as a Service
OTT- Over the Top
VM- Virtual machine
SAN- Storage Area Network
LoC- Line of Codes
API- Application Programming Interface
NFV- Network Functions Virtualization
GCP- Google Cloud Platform
ROI- Return on Investment
TCO- Total Cost of Ownership
IRR- Internal Rate of Return
NPV- Net Present Value
SA- Standalone
NSA- Non-Standalone
CNIS- Cloud Native Infrastructure Solution
BS- Base Station
SBS- Super Base Station
HSS- Home Subscriber Server
S/P-GW- Signaling/Packet Gateway
MME- Mobility Management Entity
EPC- Evolved Packet Core

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Εξέλιξη Δικτύων

Οι νέες τεχνολογίες και η εμφάνιση του public cloud αναγκάζουν τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών να επανεξετάσουν τις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες καθώς πλέον η ζήτηση για υψηλές ταχύτητες και παροχή συνδεσιμότητας στην αγορά είναι τεράστια. Συνεπώς, καλούνται να επεκταθούν πέρα από την παραδοσιακή τους δραστηριότητα και να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον νέων δυνατοτήτων και υπηρεσιών για την αύξηση εσόδων και την μακροβιότερη βιωσιμότητα τους.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν εμφανιστεί νέοι ανταγωνιστές που καταλαμβάνουν μερίδιο αγοράς από τις τηλεπικοινωνίες όπως οι πάροχοι cloud υποδομών (Amazon Web Services, Google Cloud Platform, Microsoft Azure) επηρεάζοντας την εφοδιαστική αλυσίδα. Επομένως, κατασκευαστικές τηλεπικοινωνιακές εταιρείες (Cisco, Huawei, Ericsson) καλούνται να αντιμετωπίσουν την ανταγωνιστική πίεση αναπτύσσοντας υπηρεσίες όπως IoT, συστήματα πληρωμής, πρόληψη ηλεκτρονικής απάτης κλπ. ^[12]

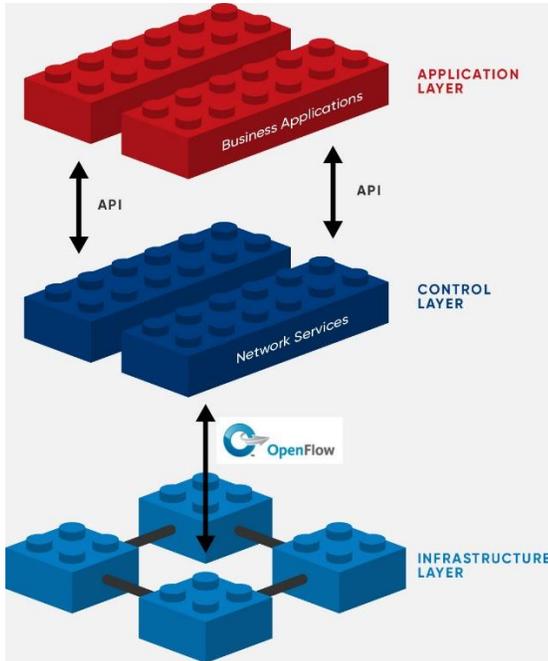
Καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων και κινητών συσκευών (wearables, συνδεδεμένα οχήματα, οικιακοί αυτοματισμοί) αυξάνεται, οι τηλεπικοινωνίες βρίσκονται στο επίκεντρο του οικοσυστήματος. Για την ανάπτυξη ευέλικτης υποδομής από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους κρίθηκε αναγκαία η ενσωμάτωση εργαλείων με χαμηλό συνολικό κόστος ιδιοκτησίας, δηλαδή χαμηλή τιμή αγοράς και κόστους λειτουργίας, όπως:

- SDN- Software Defined Networks
- VNF- Virtual Network Function
- DevOps κουλτούρα

Στις παρακάτω υποενότητες θα αναλυθούν οι βασικές αυτές έννοιες για να γίνει περισσότερο κατανοητό το περιεχόμενο των κεφαλαίων που ακολουθούν.

1.1.1 SDN - Software Defined Networks

Πρόκειται ουσιαστικά για μια δυναμική και εύκολα προσαρμόσιμη αρχιτεκτονική που διαχωρίζει τις λειτουργίες ελέγχου δικτύου από τις υπηρεσίες εφαρμογών.



Εικόνα 1 Επίπεδα δικτύου που επηρεάζονται από SDN αρχιτεκτονική

[Πηγή: opennetworking.org/sdn-definition/]

Όπως γίνεται αντιληπτό και από την Εικόνα 1, η SDN αρχιτεκτονική είναι:

- Άμεσα προγραμματιζόμενη και ευέλικτη (agile)
Λόγω διαχωρισμού του επιπέδου εφαρμογών από το επίπεδο ελέγχου το τελευταίο μπορεί εύκολα να παραμετροποιηθεί με αλλαγές από τους διαχειριστές.
- Κεντρικά διαχειριζόμενη
Η «νοημοσύνη» του δικτύου είναι συγκεντρωμένη σε ελεγκτές SDN που έχουν μια γενική εποπτεία του δικτύου.
- Εύκολη στη διαμόρφωση
Επιτρέπει στους διαχειριστές δικτύου να διαμορφώνουν, να διαχειρίζονται, να ασφαλίζουν και να βελτιστοποιούν τους πόρους του δικτύου πολύ γρήγορα μέσω δυναμικών, αυτοματοποιημένων προγραμμάτων, τα οποία μπορούν να γράψουν οι ίδιοι, επειδή δεν εξαρτώνται από συγκεκριμένο λογισμικό.

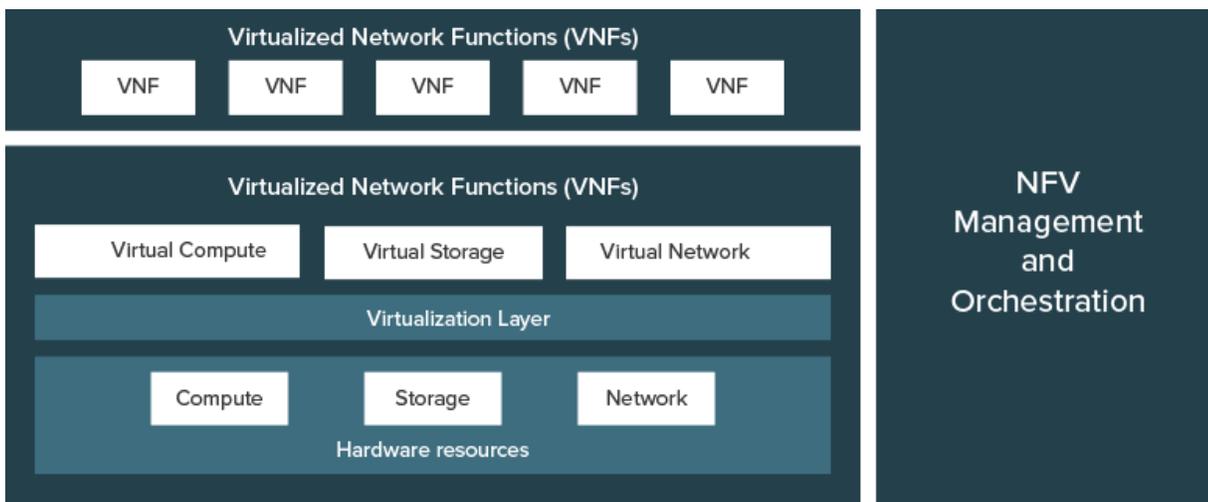
- Βασισμένη σε open-standards

Όταν εφαρμόζεται μέσω ανοικτών προτύπων, η SDN λύση απλοποιεί τον σχεδιασμό και τη λειτουργία του δικτύου, επειδή οι οδηγίες παρέχονται από ελεγκτές SDN αντί για πολλαπλές, ειδικές από τον προμηθευτή συσκευές και πρωτόκολλα.

1.1.2 VNF- Virtual Network Function

Η εικονική λειτουργία δικτύου VNF είναι εικονικές δικτυακές λειτουργικές υπηρεσίες που εκτελούνται σε ανοιχτές πλατφόρμες υπολογιστών. Αυτές οι λειτουργίες παλαιότερα ήταν εξαρτώμενες από το υλικό (hardware) και διαμορφώνονταν από τους κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού. Γνωστά VNF είναι τα firewalls και υπηρεσίες μετάφρασης διεύθυνσης δικτύου (NAT).

Τα VNF μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους δημιουργώντας μια αλυσίδα με διαφορετικά κομμάτια υπηρεσιών, διαδικασία που ονομάζεται service chaining. Τα VNF μπορούν να συμβάλουν στην ευκολία επέκτασης και ευελιξίας του δικτύου, επιτρέποντας παράλληλα την καλύτερη χρήση των πόρων της υποδομής του. Άλλα οφέλη περιλαμβάνουν τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, την αύξηση της ασφάλειας και του διαθέσιμου φυσικού χώρου, καθώς αντικαθιστούν το φυσικό υλικό. Αυτό οδηγεί επίσης σε μειωμένες λειτουργικές και κεφαλαιουχικές δαπάνες.



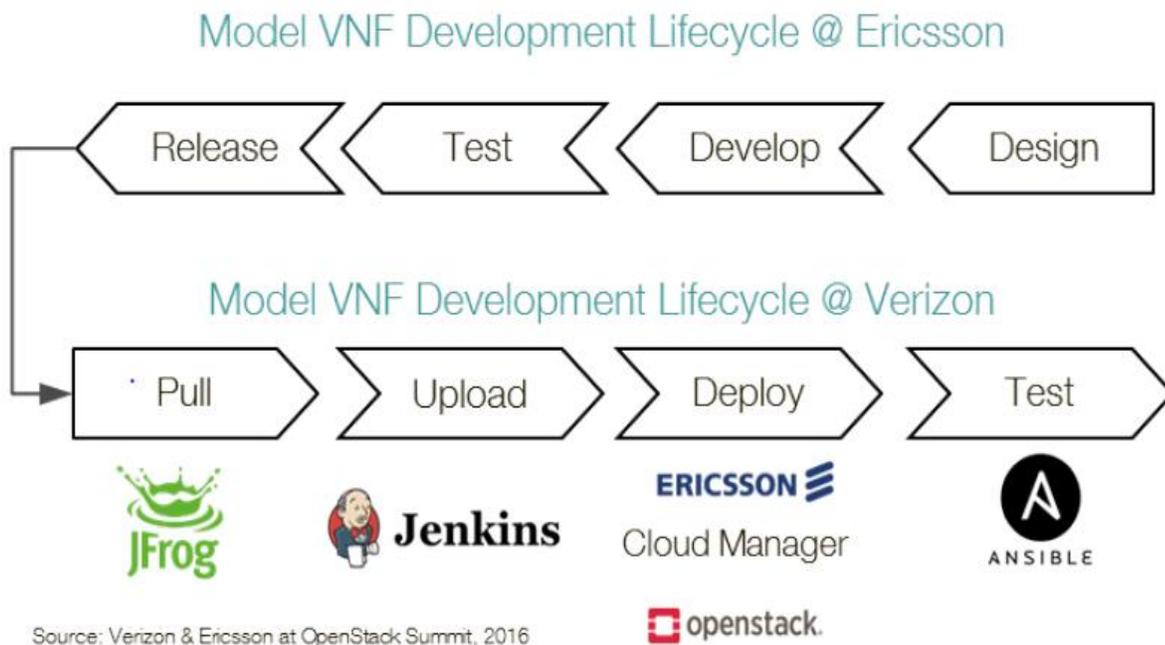
Εικόνα 2 Λειτουργία VNF

[Πηγή: thousandeyes.com/learning/glossary/vnf-virtual-network-functions]

1.1.3 DevOps κουλτούρα

Η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών κινείται προς μια αυξημένη χρήση εικονικών πόρων και η αξιοποίηση σύγχρονων προσεγγίσεων ανάπτυξης λογισμικού (όπως οι DevOps, CI/CD, Agile) γίνεται ένας σημαντικός τρόπος για την ομαλή μετάβαση σε VNF και SDN. Το DevOps θεωρείται ο συνδυασμός των σύγχρονων βέλτιστων πρακτικών ανάπτυξης λογισμικού που συνδέονται με λειτουργίες δικτύου.

Η DevOps κουλτούρα προσφέρει συνεχή ανάπτυξη με πιο συχνές αναβαθμίσεις και με λιγότερα προβλήματα διαλειτουργικότητας. Ο διαχωρισμός των λειτουργιών δικτύου και υποδομής απαιτεί νέες προσεγγίσεις για την παροχή λύσεων και υπηρεσιών στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη του δικτύου. Καθώς οι τηλεπικοινωνίες μεταβαίνουν από τον κόσμο του υλικού σε εικονικούς πόρους και στο cloud προστίθενται στο DevOps πλαίσιο και η ανοιχτή πλατφόρμα OpenStack που διαχειρίζεται εργασίες υπολογιστικού νέφους και θα αναλυθεί στο ακόλουθο κεφάλαιο.



Εικόνα 3 PoC των Ericsson και Verizon

[Πηγή: Volodymyr Krolivets, *Digital Transformation in Telco (White Paper)*, Global Logic]

Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται το proof of concept (PoC) των εταιρειών Ericsson και Verizon ως παράδειγμα συνεργασίας μεταξύ τηλεπικοινωνιακού παρόχου και κατασκευαστή σε ένα DevOps πλαίσιο για τη μετάβαση στο cloud.

1.2 Cloud native δίκτυα

Ως cloud native ορίζονται τα μοτίβα αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών που αξιοποιούν πλήρως πόρους και δυνατότητες του cloud. Η συγκεκριμένη έννοια βασίζεται στην αρχή του microservice architecture, δηλαδή της αποδόμησης του λογισμικού σε μικρότερα και πιο διαχειριστικά κομμάτια (microservices/code modules).

Συνεπώς, βασικά οφέλη των cloud native δικτύων είναι τα εξής:

- Γρήγορες και αυτοματοποιημένες αναβαθμίσεις CI/CD, καθώς το λογισμικό είναι χωρισμένο σε μικρότερα τμήματα και ανεξάρτητο σε μεγάλο βαθμό από το υλικό
- Μικρότερος χρόνος διάθεσης υπηρεσιών στην αγορά (TMM-time to market)
- Ανεξαρτησία από server καθώς η cloud υποδομή μπορεί αυτόματα να παραμετροποιηθεί ώστε να καλύψει τις ανάγκες μιας εφαρμογής

Στον τηλεπικοινωνιακό κλάδο υιοθετούνται cloud native τεχνολογίες από παρόχους και κατασκευαστές τηλεπικοινωνιών. Βασικές περιοχές που επηρεάζονται με την χρήση cloud native υπηρεσιών είναι οι:

- Σχεδιασμός και ανάπτυξη εφαρμογών
- Τεχνολογία και υπάρχουσα υποδομή
- Διαχείριση και συνοχή των διαδικασιών

Οι συγκεκριμένοι τομείς είναι αλληλεξαρτώμενοι, γεγονός που κάνει την εγκατάσταση cloud native τεχνολογιών από τηλεπικοινωνιακών παρόχους πιο δύσκολη, συγκριτικά με εταιρείες IT.

1.2.1 Cloud Enabled Δίκτυα

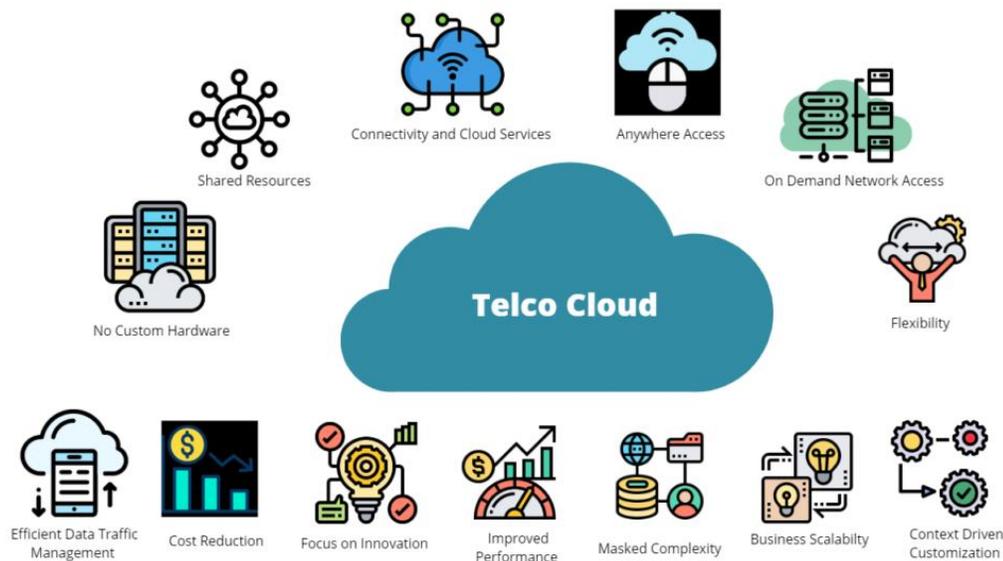
Μια κατηγορία δικτύων που συναντάμε συχνά στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους είναι τα cloud enabled δίκτυα. Πρόκειται για μια αρχιτεκτονική στην οποία παραδοσιακές (legacy) επιχειρησιακές εφαρμογές που εκτελούνταν σε data center τροποποιούνται ώστε να εκτελούνται στο cloud. Αυτό περιλαμβάνει την αλλαγή μέρους των ενοτήτων (module) λογισμικού για τη μεταφορά σε cloud server. Συγκριτικά με τα cloud native δίκτυα, δεν παρουσιάζουν μεγάλη ευελιξία και δυνατότητες επεκτασιμότητας γιατί εξαρτώνται από τον ήδη υπάρχον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό.

Όπως γίνεται αντιληπτό, επειδή αυτή η λύση επιλέγεται για εφαρμογές και υπηρεσίες που ήδη εκτελούνται σε in-house servers υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στην αλληλεπίδραση με το cloud περιβάλλον και με ανοιχτό λογισμικό, όπως:

- Απαιτεί χειροκίνητες (και όχι αυτοματοποιημένες) αναβαθμίσεις
- Πιο αργή υλοποίηση ως αποτέλεσμα της παραμετροποίησης των server και εξατομικευμένων ρυθμίσεων υλικού και λογισμικού

1.3 Telco Cloud

Ως telco cloud ορίζουμε (και θα αναφέρουμε από εδώ και πέρα) την αρχιτεκτονική δικτύου που συνδυάζει SDN, VNF και cloud native τεχνολογίες σε ένα κατακεντρωμένο δίκτυο.



Εικόνα 4 Telco Cloud

[Πηγή: stantonchase.com/the-evolving-role-of-telco-cloudification/]

Πρόκειται ουσιαστικά για μια μορφή υπολογιστικού νέφους (cloud computing) στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Αυτή η εξέλιξη αναφέρεται στην ανάπτυξη εικονικά διαμορφωμένης και προγραμματιζόμενης υποδομής δικτύου που αξιοποιεί τους αυτοματισμούς και την τεχνητή νοημοσύνη. Επιπλέον, περιλαμβάνει την υιοθέτηση καινοτόμων επιχειρηματικών πρακτικών που αλλάζουν τον τρόπο λειτουργίας των δικτύων.

Βασικά οφέλη του telco cloud είναι τα εξής:

- Δυνατότητα multi-vendor περιβάλλοντος
Σε αντίθεση με την παραδοσιακή υποδομή στις τηλεπικοινωνίες, στην telco cloud αρχιτεκτονική μπορούν να χρησιμοποιηθούν εργαλεία και υποδομές διαφορετικών κατασκευαστών/εξωτερικών συνεργατών με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται

δυνατότητες διαφορετικών κατασκευαστών και να μειωθεί το κόστος αγοράς και συντήρησης.

- Παράδοση νέων εξατομικευμένων B2B λύσεων

Με την αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης και της ανάλυσης δεδομένων υπάρχει η δυνατότητα να προβλεφθούν οι απαιτήσεις και ανάγκες των εταιρικών πελατών.

- Προστασία από τον ανταγωνισμό

Το telco cloud επιτρέπει στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους να προσαρμόζονται γρήγορα σε νέα επιχειρησιακά μοντέλα και να έχουν τη δυνατότητα να καινοτομήσουν είτε με νέες υπηρεσίες είτε με πιο συμφέρουσες στρατηγικές. Επιπλέον, σε συνδυασμό με τα μειωμένα OpEX και CapEX που προσφέρει, είναι ευέλικτο ως προς την ανταπόκριση σε αστοχίες και απαιτήσεις στην αγορά μειώνοντας την απώλεια πελατών.

- Γρήγορη αποκατάσταση δεδομένων

Σε περιπτώσεις όπως η διακοπή λειτουργίας ενός κόμβου ή η παραβίαση ασφάλειας μπορεί να προκληθεί απώλεια δεδομένων. Στην περίπτωση που τα αντίγραφα ασφαλείας των βάσεων δεδομένων είναι αποθηκευμένα στο cloud τότε μπορεί να γίνει γρήγορα η επαναφορά των χαμένων πληροφοριών.

- Δυνατότητα χρήσης αυτοματισμού

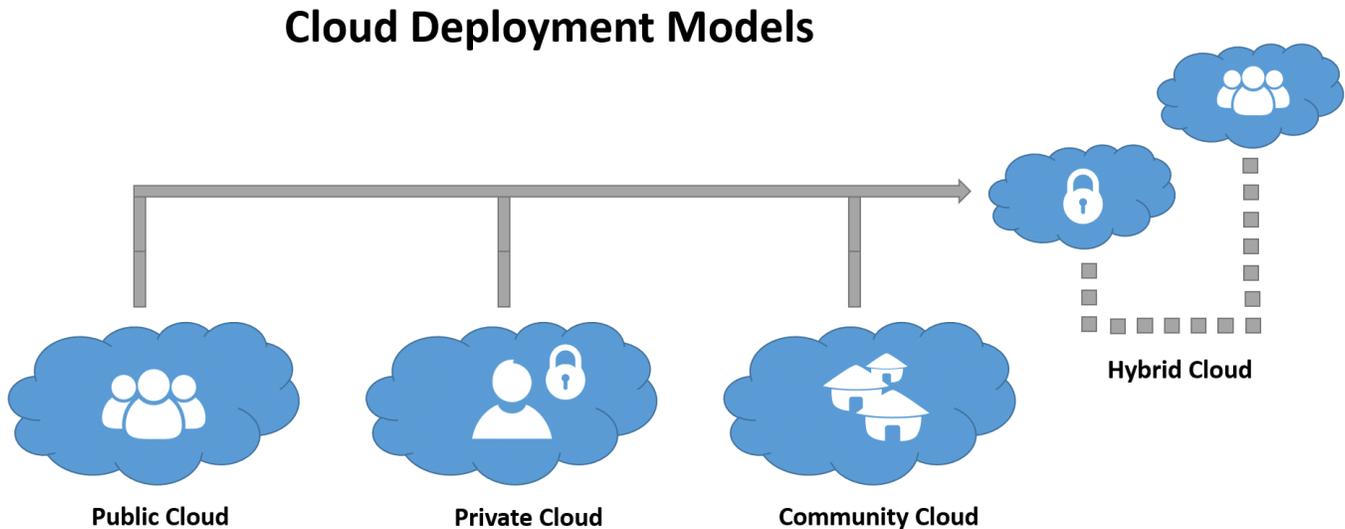
Το cloud βοηθά στην αυτοματοποίηση των σημερινών χειροκίνητων διαδικασιών σχετικά με το σχεδιασμό και τη δοκιμή νέων στοιχείων δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται και ο χρόνος παράδοσης υπηρεσιών στην αγορά (TTM) και μειώνεται η πολυπλοκότητα των εργασιών.

- Μεγαλύτερη αντοχή

Σε συνέχεια της χρήσης αυτοματισμών, το telco cloud βοηθά τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών να ανακάμψουν γρήγορα από προβληματικές καταστάσεις, όπως υψηλός όγκος κίνησης δεδομένων, αστοχίες υλικού και επιθέσεις στο δίκτυο διότι παρέχουν μηχανισμούς ανίχνευσης προβλήματος και self-healing.

1.3.1 Μοντέλα Ανάπτυξης Υπολογιστικού Νέφους

Τα μοντέλα ανάπτυξης υπολογιστικού νέφους χωρίζονται ανάλογα με την τοποθεσία σε τέσσερις κατηγορίες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5 Μοντέλα Ανάπτυξης Υπολογιστικού Νέφους

[Πηγή: uniprint.net/en/7-types-cloud-computing-structures/]

Public Cloud

Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι υπηρεσίες διανέμονται μέσω δικτύου για δημόσια χρήση.

- Οι πελάτες δεν έχουν κανέναν έλεγχο στη θέση της υποδομής.
- Το κόστος μοιράζεται σε όλους τους χρήστες και είναι είτε δωρεάν είτε με τη μορφή μιας πολιτικής άδειας χρήσης, όπως η αμοιβή ανά χρήστη.
- Το public cloud είναι ιδανικό για οργανισμούς που απαιτούν τη διαχείριση των διαφόρων εφαρμογών που χρησιμοποιούν οι χρήστες.

Private Cloud

Η υποδομή ενός ιδιωτικού cloud χρησιμοποιείται αποκλειστικά από μια εταιρεία.

- Παρέχει στους οργανισμούς μεγαλύτερο έλεγχο της ασφάλειας και των δεδομένων που προστατεύονται από firewall και διαχειρίζονται εσωτερικά.
- Έχει σταθερό κόστος.

- Τα ιδιωτικά σύννεφα είναι ιδανικά για οργανισμούς που έχουν υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας και διαχείρισης.

Community Cloud

Πρόκειται για μια υποδομή που μοιράζεται μεταξύ οργανισμών που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη «κοινότητα».

- Τα μέλη της κοινότητας μοιράζονται παρόμοιες ανησυχίες σχετικά με την ιδιωτικότητα, την απόδοση και την ασφάλεια. Χαρακτηριστικά παράδειγμα τέτοιων οργανισμών είναι τα υπουργεία και οι τράπεζες.
- Η διαχείριση και η φιλοξενία ενός community cloud μπορεί να γίνει εσωτερικά ή από συνεργαζόμενη εταιρεία.
- Είναι καλό για οργανισμούς που χρειάζονται συγκεντρωτική διαχείριση υπολογιστικού νέφους

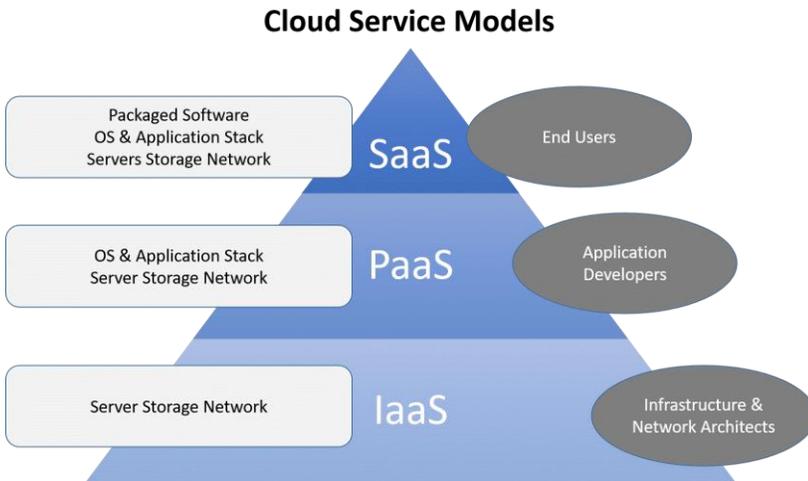
Hybrid Cloud

Το υβριδικό cloud αποτελεί το συνδυασμό του δημόσιου και ιδιωτικού cloud που αναφέρθηκαν παραπάνω.

- Οι πόροι διαχειρίζονται και παρέχονται είτε εσωτερικά είτε από εξωτερικούς παρόχους.
- Ένα hybrid cloud είναι πιο ευέλικτο και σε αυτό γίνονται πιο αυστηροί έλεγχοι στον όγκο δεδομένων από το public cloud.

1.3.2 Μοντέλα Υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους

Τα μοντέλα υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους χωρίζονται σε κατηγορίες με βάση το είδος του προϊόντος και του τελικού αποδέκτη της υπηρεσίας.



Εικόνα 6 Αντιστοίχιση Μοντέλων Cloud υπηρεσιών με είδος πελάτη
[Πηγή: uniprint.net/en/7-types-cloud-computing-structures/]

Υπάρχουν τρία μοντέλα υπολογιστικού νέφους που υιοθετούνται ευρέως από τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών για να διευκολύνουν την ανάπτυξη των επιχειρήσεων:

IaaS-Infrastructure as a Service

Η Υποδομή ως Υπηρεσία (IaaS) αποτελεί την περίπτωση που ο πάροχος τηλεπικοινωνιών χρησιμοποιεί τους υπολογιστικούς πόρους του cloud παρόχου (servers, υποδομή δικτύου, αποθήκευση δεδομένων).

- Παρέχει τον υλικό εξοπλισμό και το λειτουργικό σύστημα
- Το λογισμικό χρεώνεται ανάλογα με τους υπολογιστικούς πόρους που χρησιμοποιούνται (συνήθως CPU ανά ώρα)

PaaS-Platform as a Service

Η Πλατφόρμα ως Υπηρεσία (PaaS) αποτελεί την περίπτωση που ο κατασκευαστής παρέχει στον τηλεπικοινωνιακό πάροχο πρόσβαση στη χρήση πλατφόρμας λογισμικού.

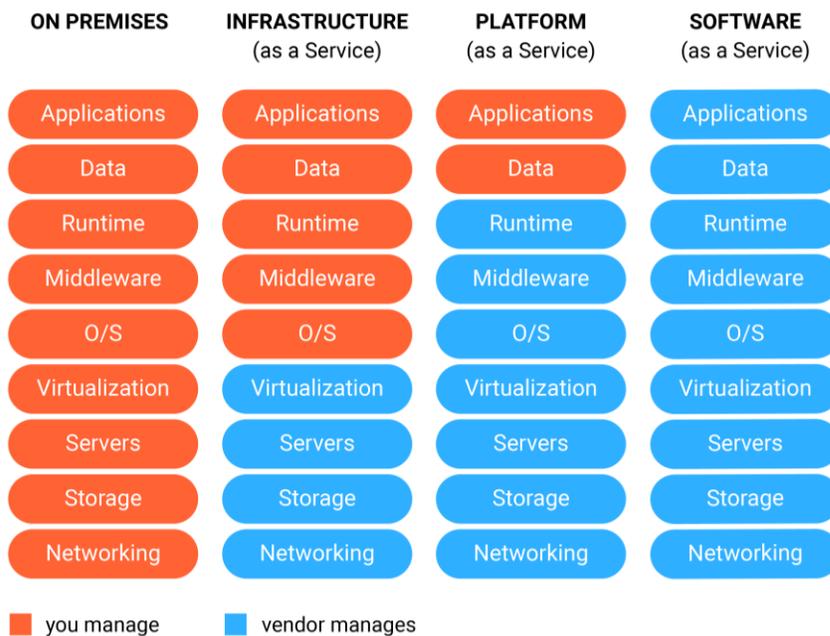
- Παρέχει υλικό εξοπλισμό και λογισμικό μέσω διαδικτύου για ανάπτυξη εφαρμογών

- Παρέχει ένα υπολογιστικό περιβάλλον στο οποίο οι προγραμματιστές μπορούν να εργαστούν χωρίς να χρειαστεί να κάνουν εγκατάσταση προγραμμάτων
- Υποστηρίζει λειτουργίες αυτόματων backup δεδομένων χωρίς να χρειάζεται ειδική παραμετροποίηση

Λογισμικό ως υπηρεσία (SaaS-Software as a Service)

Όταν ο πάροχος τηλεπικοινωνιών μπορεί να χρησιμοποιήσει μια έτοιμη (όχι εξατομικευμένη) εφαρμογή ενός κατασκευαστή.

- Προσφέρει μια εφαρμογή σε πελάτες ή οργανισμούς μέσω ενός web browser.
- Τα δεδομένα για την εφαρμογή τρέχουν σε έναν server και όχι τοπικά σε υπολογιστή
- Το λογισμικό πωλείται συνήθως μέσω συνδρομής



Εικόνα 7 Αντιστοίχιση Μοντέλων Cloud υπηρεσιών με τις απαιτούμενες εγκαταστάσεις

[Πηγή: aimprosoft.com/cloud-computing-and-telecommunications/cloud-computing-in-telecommunications]

1.4 Μετασχηματισμός στις Τηλεπικοινωνίες

Αφού έχουν αναλυθεί κάποιες βασικές έννοιες για τον ψηφιακό μετασχηματισμό και την μετάβαση από το υλικό στο telco cloud παρουσιάζονται παρακάτω πέντε παράγοντες που οδηγούν την τηλεπικοινωνιακή αγορά σε αυτή την μετάβαση.

Οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών χάνουν έσοδα από τους OTT (Over The Top) προμηθευτές

Οι OTT υπηρεσίες χρησιμοποιούνται για να τη μετάδοση πολυμέσων όπως φωνή, βίντεο και τηλεόραση σε συνδεδεμένες συσκευές χωρίς τη χρήση τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Εφαρμογές όπως το Skype και το Viber προσφέρουν επικαλυπτόμενες υπηρεσίες με τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών δημιουργώντας σύγκρουση συμφερόντων. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι αναγκάζονται να παρέχουν παρόμοιες (με τις OTT) υπηρεσίες με υψηλή ποιότητα που έρχεται σε αντίθεση με τα παραδοσιακά κανάλια διανομής τους.

Για το λόγο αυτό εισάγονται OpenStack VNF/SDN λύσεις και εργαλεία για την ανάπτυξη ανταγωνιστικών υπηρεσιών μέσω cloud.

IoT (Internet of Things) και 5G προκαλούν τεράστια κίνηση δεδομένων στο δίκτυο

Το IoT και τα big data, σε συνδυασμό με τις δυνατότητες χωρητικότητας του 5G, θα αλλάξουν τον τρόπο με τον οποίο θα διαχειρίζονται, αναλύουν και αποθηκεύουν μεγάλο όγκο δεδομένων οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι τόσο στατικά όσο και δυναμικά. Για παράδειγμα, δεδομένα όπως η κατάσταση του συστήματος αλλάζουν καταγραφή κάθε φορά ενώ δεδομένα όπως τα SMS έχουν αμετάβλητο περιεχόμενο. Όλα αυτά μπορούν να επηρεάσουν την επιχειρηματική διαδικασία και η «δεξαμενή» δεδομένων θα συνεχίζει να αυξάνεται.

Το 5G συνοδεύεται από νέα είδη εφαρμογών

Οι περισσότερες εταιρείες τηλεπικοινωνιών στην Ελλάδα έχουν ήδη αρχίσει να αναπτύσσουν την 5G αρχιτεκτονική τους. Το 5G είναι η επόμενη γενιά δικτύου κινητής τηλεφωνίας μετά το 4G LTE. Ένα από τα βασικά συστατικά για την επιτυχία του 5G είναι τα SDN και VNF εργαλεία για την παροχή ευρυζωνικών εφαρμογών και υπηρεσιών όπως ροή βίντεο, εικονική πραγματικότητα, διασκέψεις και σημαντική αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών.

Πιο εύκολη ανάπτυξη cloud εφαρμογών σε model-driven διαδικασίες

Καθώς εισάγονται cloud native τεχνολογίες οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών υιοθετούν μοντελοποιήσεις των διαδικασιών ώστε να βελτιωθεί όχι μόνο η ανάπτυξη ενός λογισμικού, αλλά η λειτουργία και επέκταση του. Επιπλέον, για τη συνεχώς αυξανόμενη συνδεσιμότητα δεν υπάρχει πάντα μια συγκεντρωτική εικόνα με όλες τις αλληλεξαρτήσεις των δικτυακών υπηρεσιών. Τα λειτουργικά μοντέλα προσθέτουν ευελιξία και βοηθούν στην ανάπτυξη cloud υπηρεσιών σε πολλαπλά περιβάλλοντα χωρίς να χρειάζεται κάθε φορά η επαναδημιουργία μιας πολύπλοκης αρχιτεκτονικής.

Η ασφάλεια δικτύου γίνεται ακόμα πιο απαραίτητη

Οι πελάτες απαιτούν προληπτικές λειτουργικές και τεχνικές λύσεις σε ολόκληρη την υποδομή τους και όχι μεμονωμένα. Καθώς η υποδομή στηρίζεται περισσότερο στο λογισμικό και διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων σε cloud περιβάλλον είναι πιο ευάλωτη σε δικτυακές επιθέσεις. Για την αντιμετώπιση αυτής της ανάγκης έχουν αναπτυχθεί «έξυπνα» scripts που διαμορφώνονται και αναπτύσσονται δυναμικά χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση για έλεγχο ασφάλειας και την αντιμετώπιση απειλών σε διάφορα σημεία του δικτύου. Τέτοιου είδους «αυτοδιαχειριζόμενοι» μηχανισμοί/αυτοματισμοί είναι πιο εύκολο να δημιουργηθούν στην παραδοσιακή τηλεπικοινωνιακή υποδομή (σε αντίθεση με την cloud native) λόγω εξάρτησης από το υλικό.

Κεφάλαιο 2: Ψηφιακός Μετασχηματισμός Τηλεπικοινωνιών

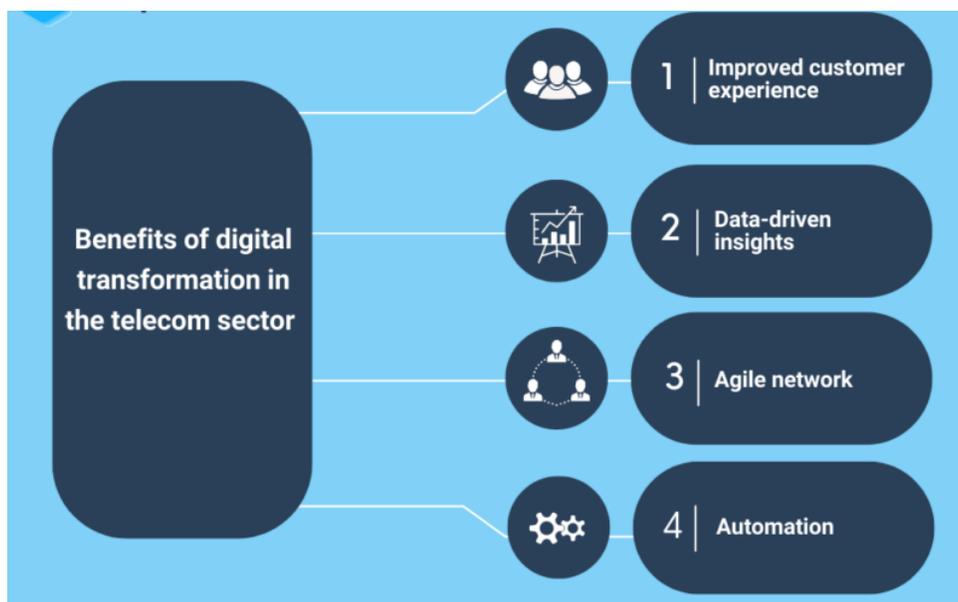
2.1 Ορισμός

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός είναι μία διαδικασία κατά την οποία χρησιμοποιούμε ψηφιακές τεχνολογίες για τη δημιουργία νέων ή την τροποποίηση υπαρχουσών επιχειρηματικών διαδικασιών και καθοδηγείται από την αλλαγή του ρόλου της τεχνολογίας μέσα σε έναν οργανισμό. Σκοπός του ψηφιακού μετασχηματισμού είναι η ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων και καινοτόμων προϊόντων μέσω της τεχνολογίας, ώστε να επιτευχθεί η αύξηση πωλήσεων και το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα των εταιρειών.

Στον τηλεπικοινωνιακό τομέα οι πάροχοι τηλεφωνίας επεκτείνουν και βελτιώνουν τις υπηρεσίες τους μέσω της εφαρμογής νέας τεχνολογίας στην επιχείρησή τους. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν παροχή τηλεφωνίας, διαδικτύου, τηλεόρασης και λύσεις για εταιρικούς πελάτες.

Βασικά πλεονεκτήματα του ψηφιακού μετασχηματισμού στις τηλεπικοινωνίες είναι:

- Βελτιωμένη εμπειρία πελάτη
- Επίγνωση βάσει δεδομένων
- Ευελιξία στα δίκτυα
- Χρήση αυτοματισμών



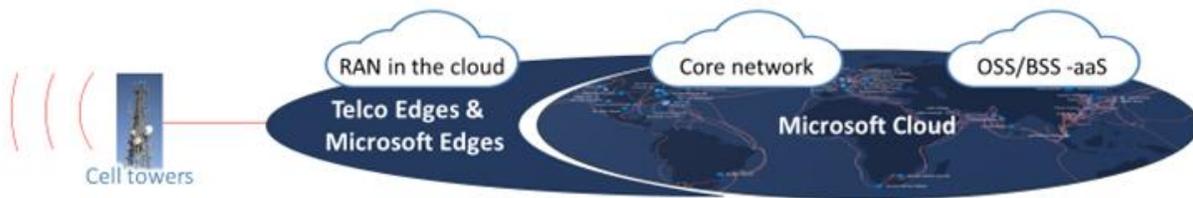
Εικόνα 8 Πλεονεκτήματα Ψηφιακού Μετασχηματισμού στις Τηλεπικοινωνίες
[Πηγή: rejolut.com/digital-transformation/industries/telecommunications/]

Στόχος των τηλεπικοινωνιακών παρόχων είναι η μελλοντική υποδομή τηλεπικοινωνιακών δικτύων να κατασκευαστεί πάνω σε υποδομή cloud στο μεγαλύτερο μέρος της. Ως υποδομή τηλεπικοινωνιακού δικτύου θεωρούνται οι τεράστιες εγκαταστάσεις και καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του δικτύου, όπως οι πύργοι κινητής τηλεφωνίας, οι οπτικές ίνες και οι διακομιστές. Για πολλά χρόνια μέχρι και σήμερα οι τηλεπικοινωνίες αποτελούν έναν αρκετά κλειστό κλάδο ως προς τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και τους κατασκευαστές εξοπλισμού, ωστόσο με την άφιξη του 5G η παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή υποδομή είναι πλέον έτοιμη για πλήρη ανανέωση.

Traditional Cellular Network Infrastructure



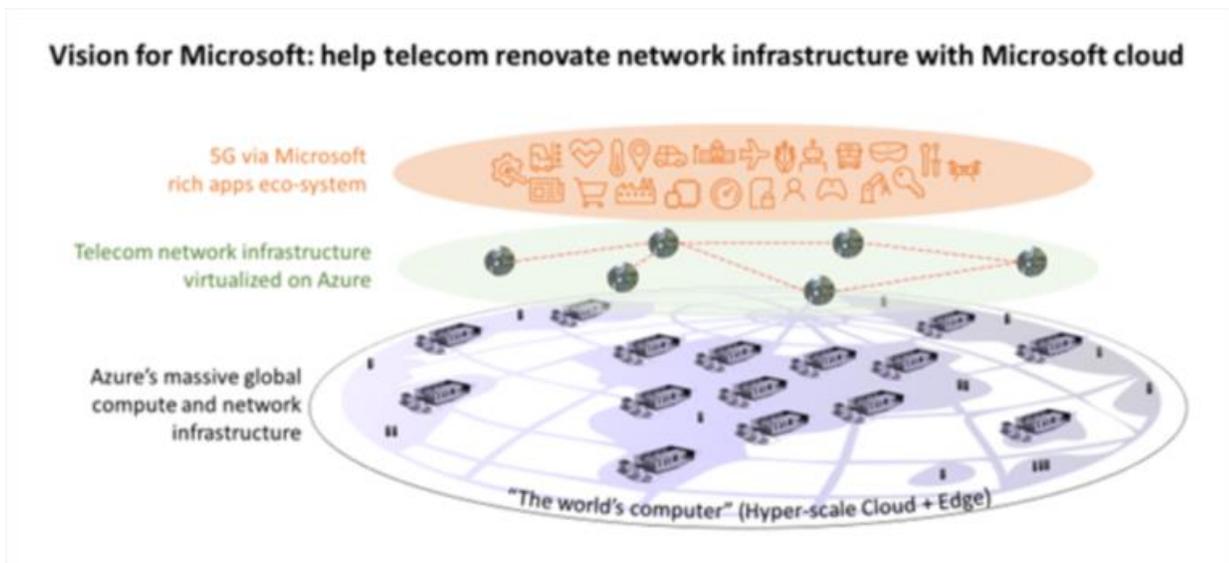
Cloudified Cellular Network Infrastructure



Εικόνα 9 Cloudification Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων

[Πηγή: microsoft.com/en-us/research/project/project-arno-cloudification-of-telecom-network-infrastructure/]

Ως Cloudification ορίζεται η τεχνική προσέγγιση που επανασχεδιάζει την υποδομή του τηλεπικοινωνιακού δικτύου με εικονικά στοιχεία, εξοπλισμό και αρχιτεκτονικά πλαίσια που βασίζονται σε τεχνολογία cloud computing και θα μπορούν να αναπτύσσονται αυτόματα ανάλογα με τις ανάγκες της υποδομής. Για παράδειγμα, οι οπτικές ίνες και τα καλώδια μπορούν να είναι εικονικές συνδέσεις και τα switches και routers να δημιουργηθούν με εικονικές μηχανές VM ή containers (έννοιες που θα αναλυθούν παρακάτω) στα κέντρα δεδομένων. Μια από τις πιο γνωστές προτάσεις Cloudification τηλεπικοινωνιακών δικτύων αποτελεί το Project Arno της Microsoft (Azure for Operators), όπου με τη χρήση SDN δικτύων, οπτικών ινών και τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης γίνεται επανασχεδιασμός του Packet Core δικτύου κορμού.



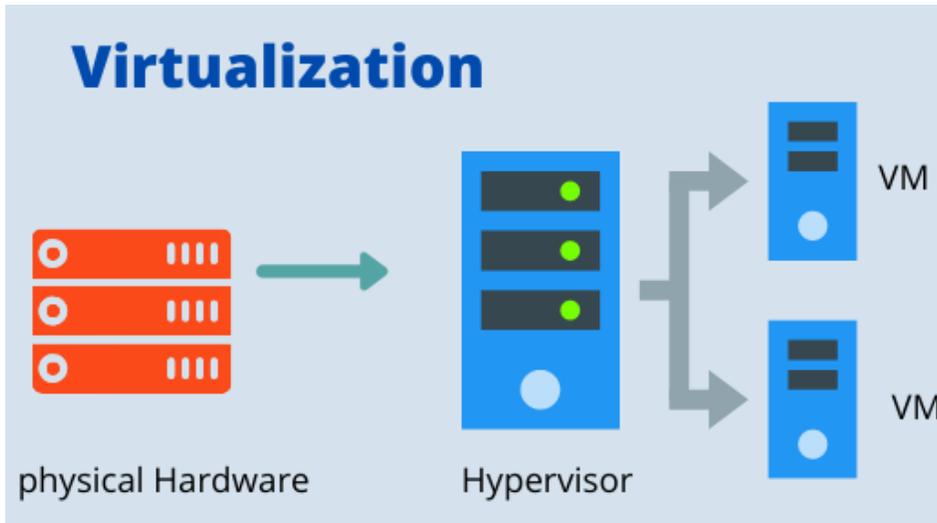
Εικόνα 10 Project Arno (Azure for Operators)

[Πηγή: microsoft.com/en-us/research/project/project-arno-cloudification-of-telecom-network-infrastructure/]

Στις παρακάτω υποενότητες θα παρουσιαστούν βασικά εργαλεία που χρειάζονται οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι για τον εκσυγχρονισμό των δικτύων τους και τη μετάβαση τους στο cloud.

2.2 Εικονικοποίηση

Η εικονική μηχανή VM (virtual machine) είναι η εξομοίωση ενός φυσικού υπολογιστή. Η εικονικοποίηση καθιστά δυνατή τη δημιουργία πολλαπλών εικονικών μηχανών, καθεμία με το δικό της λειτουργικό σύστημα (OS) και εφαρμογές, σε μία μόνο φυσική μηχανή.



Εικόνα 11 Σχηματική Απεικόνιση Εικονικοποίησης

[Πηγή: multifunction.gr/en/virtualization/]

Μία VM δεν μπορεί να αλληλοεπιδράσει απευθείας με έναν φυσικό υπολογιστή και χρειάζεται ένα κομμάτι λογισμικού που ονομάζεται hypervisor για τον συντονισμό της μεταξύ τους επικοινωνίας. Επίσης ο hypervisor προσφέρει φυσικούς υπολογιστικούς πόρους σε κάθε VM, όπως μνήμη, επεξεργαστές και αποθηκευτικούς χώρους.

Στις εικονικές μηχανές πολλοί χρήστες μοιράζονται κοινή φυσική υποδομή. Αυτή είναι μια οικονομικά αποδοτική και κλιμακούμενη προσέγγιση, αλλά στερείται ορισμένων χαρακτηριστικών απομόνωσης που μπορεί να προτιμούν οι οργανισμοί με αυστηρούς κανόνες ασφάλειας ή συμμόρφωσης. Όταν ένας hypervisor χρησιμοποιείται σε φυσικό υλικό, επιτρέπει τον διαχωρισμό του λειτουργικού συστήματος και των εφαρμογών από το υλικό και στη συνέχεια γίνεται ο διαχωρισμός σε πολλές ανεξάρτητες VMs.

Βασικά πλεονεκτήματα των VM είναι τα παρακάτω:

- Χρήση πόρων και βελτιωμένη απόδοση επένδυσης (ROI)
Πολλές εικονικές μηχανές εκτελούνται σε έναν μόνο φυσικό μηχάνημα και οι πελάτες δεν χρειάζεται να αγοράζουν νέο server κάθε φορά που θέλουν να εκτελέσουν ένα άλλο λειτουργικό σύστημα.
- Επέκταση
Σε συνδυασμό με το cloud computing, είναι εύκολο να αναπτυχθούν πολλά αντίγραφα της ίδιας εικονικής μηχανής για να εξυπηρετηθεί αυξημένος όγκος δεδομένων.
- Φορητότητα
Οι VM μπορούν να μεταγκατασταθούν μεταξύ των φυσικών μηχανημάτων σε ένα δίκτυο, ανάλογα με τις ανάγκες υπολογιστικής ισχύος κάθε server. Επίσης μπορεί να πραγματοποιηθεί η μετακίνηση τους μεταξύ του χώρου εγκατάστασης τους και του cloud περιβάλλοντος ώστε να μοιράζεται η υπολογιστική ισχύς στο data center και στον πάροχο cloud υπηρεσίας
- Ευελιξία
Η δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος είναι ταχύτερη και ευκολότερη από την εγκατάσταση ενός λειτουργικού συστήματος σε ένα φυσικό υλικό, επειδή μπορεί να «κλωνοποιηθεί» μια VM με το λειτουργικό σύστημα ήδη εγκατεστημένο.
- Ασφάλεια
Με τη χρήση VM η προστασία από κακόβουλο λογισμικό γίνεται από ανεξάρτητο, εξωτερικό πρόγραμμα και πραγματοποιείται εύκολα η επαναφορά μιας προηγούμενης λειτουργικής κατάστασης. Επιπλέον, λόγω της γρήγορης δημιουργίας υπάρχει και η επιλογή διαγραφής μιας αλλοιωμένης VM και επαναδημιουργίας της.

2.3 Bare metal servers

Ένας φυσικός (bare metal) διακομιστής είναι μια φυσική μηχανή με δικούς του πόρους υλικού (CPU, RAM, Storage, Network port) και τοποθετείται στα κέντρα δεδομένων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση πρόκειται για μια μορφή υπηρεσίας στην οποία ο χρήστης- τηλεπικοινωνιακός πάροχος ενοικιάζει ένα φυσικό μηχάνημα από έναν κατασκευαστή και δεν τον μοιράζεται με άλλους χρήστες. Σε αντίθεση με το cloud computing που βασίζεται σε εικονικές μηχανές, οι

φυσικοί διακομιστές δεν διαθέτουν προεγκατεστημένο hypervisor και δίνουν στον χρήστη πλήρη έλεγχο της υποδομής.

Τα κύρια οφέλη των bare metal server βασίζονται στην πρόσβαση που έχουν οι τελικοί χρήστες στους πόρους υλικού και είναι τα εξής:

- Υψηλό ποσοστό ασφάλειας
Ένας οργανισμός που διαχειρίζεται ευαίσθητα δεδομένα μπορεί να είναι απρόθυμος να επιλέξει ένα περιβάλλον πολλών μισθωτών, καθώς η πιθανότητα παραβίασης τους είναι υψηλότερη από ό, τι σε ένα περιβάλλον μεμονωμένου μισθωτή.
- Μεγάλη και σταθερή απόδοση
Η απόδοση δεν επηρεάζεται και δεν μοιράζεται μεταξύ πολλών χρηστών.
- Ευέλικτη διαμόρφωση
Επιτρέπουν στους χρήστες να διαμορφώνουν τον επεξεργαστή, τη μνήμη και τον χώρο αποθήκευσης σε συγκεκριμένες ανάγκες τους, σε αντίθεση με τις εικονικές μηχανές όπου ο πάροχος VM ελέγχει το υλικό.

Οι bare metal server είναι ιδανικοί για σταθερές εφαρμογές που δεν απαιτούν άμεσα αναβαθμίσεις υλικού, δεν εμφανίζουν ξαφνικές απαιτήσεις πόρων (spikes) και απαιτούν υψηλό επίπεδο επεξεργασίας CPU και RAM.

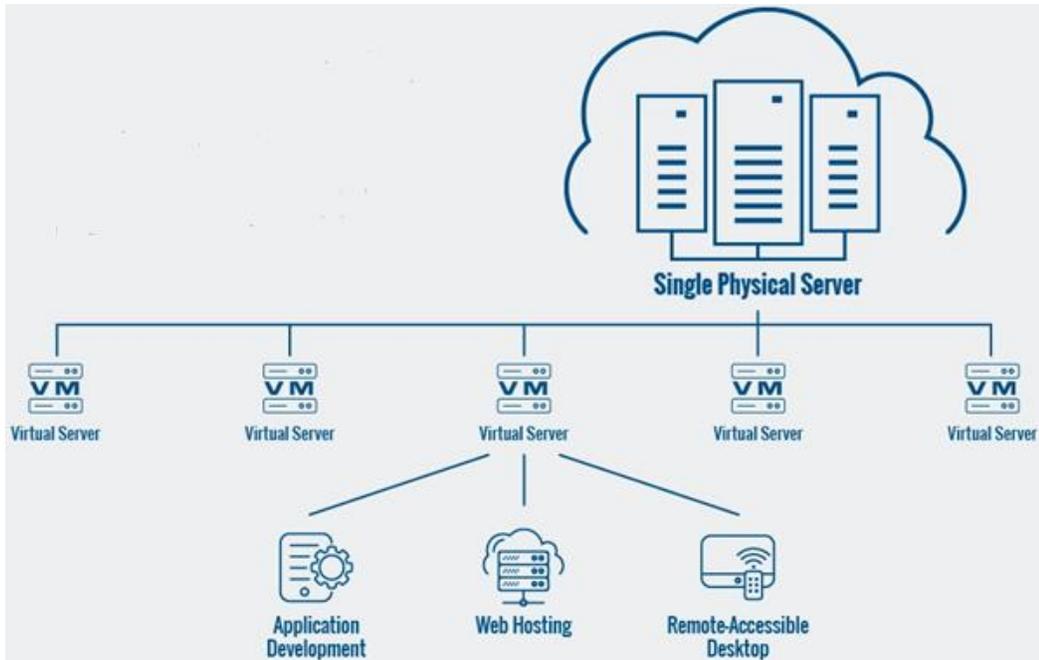
2.4 Cloud Servers

Ένας διακομιστής νέφους είναι φυσική ή εικονική υποδομή που παρέχει εφαρμογές, αποθήκευση δεδομένων και επεξεργάζεται πληροφορίες. Πρόκειται για μια τεχνολογία που επιτρέπει με τη χρήση λογισμικού εικονικοποίησης το διαχωρισμό ενός φυσικού διακομιστή σε πολλούς εικονικούς διακομιστές. Ένας hypervisor εγκαθίσταται για να χειριστεί την κατανομή των φυσικών πόρων (μνήμη RAM, αποθηκευτικός χώρος, πυρήνες επεξεργαστή).

Βασικά πλεονεκτήματα είναι τα παρακάτω:

- Ευελιξία
Υπολογιστική υποδομή μπορεί να είναι συνδυασμός φυσικών και εικονικών πόρων. Επειδή πρόκειται για μια ομάδα εικονικών διακομιστών μπορούν εύκολα να αυξηθούν οι πόροι όσο αυξάνεται η ζήτηση της υπηρεσίας.

- Γρήγορη υλοποίηση
Το υλικό του server ενδεχομένως να χρησιμοποιείται ήδη και έτσι απαιτείται μόνο η εικονικοποίηση, επομένως η ανάπτυξη μπορεί να γίνει άμεσα.
- Εγγυημένος χρόνος λειτουργίας
Στη συγκεκριμένη δομή είναι εύκολη η δημιουργία back-up VM και η λειτουργία είναι αδιάκοπη σε περίπτωση κάποιας βλάβης.



Εικόνα 12 Λειτουργία Cloud Server

[Πηγή: atlantic.net/vps-hosting/what-is-cloud-hosting/]

Οι διακομιστές νέφους είναι ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη ανάπτυξη/εγκατάσταση, βέλτιστο χρόνο λειτουργίας και άμεση επεκτασιμότητα.

Οι βασικές διαφορές με τους φυσικούς διακομιστές που αναφέρθηκαν παραπάνω εντοπίζονται στην κοστολόγηση, την επεκτασιμότητα και την απόδοση, όπως φαίνεται από τα παρακάτω:

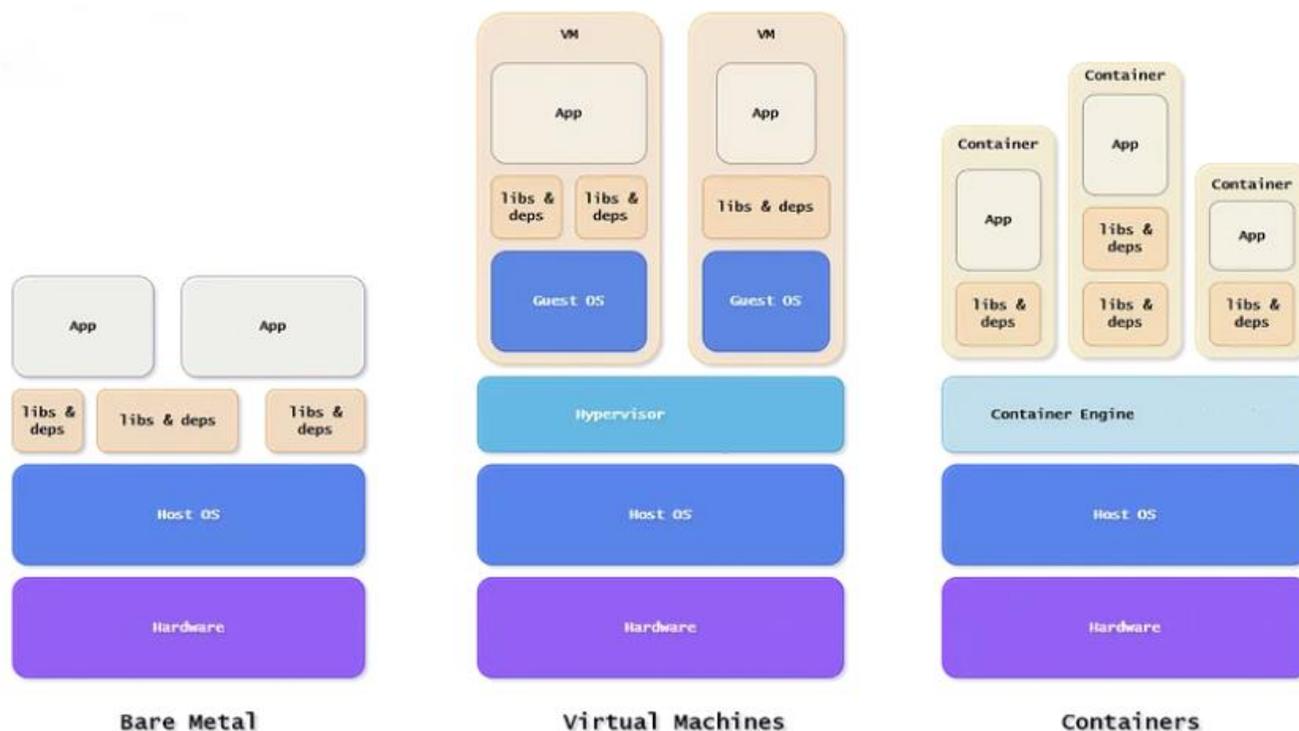
1. Οι φυσικοί διακομιστές είναι συνήθως η πιο επιθυμητή επιλογή για μια εταιρεία που αναζητά γρήγορη επεξεργασία και ανάκτηση πληροφοριών. Επεξεργάζονται δεδομένα τοπικά και έτσι δεν αντιμετωπίζουν μεγάλη καθυστέρηση κατά την εκτέλεση αυτών των λειτουργιών.

2. Οι διακομιστές νέφους πρέπει να περάσουν από το δίκτυο περιοχής αποθήκευσης (Storage Area Network-SAN) για πρόσβαση σε δεδομένα, διαδικασία που εμπλέκει και το back-end της υποδομής και υπάρχει επιπλέον καθυστέρηση.
3. Το υλικό των φυσικών διακομιστών περιορίζεται από τον αριθμό των μονάδων δίσκου που διαθέτει με αποτέλεσμα τον περιορισμό στον αριθμό των αναβαθμίσεων.
4. Ο αποθηκευτικός χώρος του διακομιστή νέφους είναι εύκολα επεκτάσιμος και κλιμακούμενος. Επειδή το SAN βρίσκεται εκτός της κεντρικής δομής, ο server δεν χρειάζεται να είναι μέρος της αλληλεπίδρασης για την παροχή περισσότερου χώρου αποθήκευσης. Η επέκταση της αποθήκευσης στο περιβάλλον cloud δεν συνεπάγεται διακοπή λειτουργίας σε αντίθεση με έναν φυσικό διακομιστή.
5. Οι διακομιστές νέφους έχουν συνήθως χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης. Ωστόσο, τείνουν να χάνουν αυτό το πλεονέκτημα καθώς μια εταιρεία έχει ανάγκη περισσότερους πόρους και η χρέωση γίνεται με βάση τους πόρους που μπορεί να χρειαστούν (PAYG – pay as you go μοντέλο)
6. Οι φυσικοί διακομιστές μπορεί να έχουν τους περιορισμούς τους κατά τη διάρκεια των αναβαθμίσεων, αλλά το υλικό που εγκαθίσταται είναι ένα εφάπαξ κόστος και ανήκει στην ιδιοκτησία της εταιρείας.

2.5 Containers

Τα container είναι μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση πολλαπλών εφαρμογών στο ίδιο φυσικό υλικό. Πρόκειται για εκτελέσιμες μονάδες λογισμικού που αξιοποιούν μια μορφή εικονικοποίησης του λειτουργικού συστήματος για να μπορούν να πραγματοποιήσουν την απομόνωση διαδικασιών, τον έλεγχο της CPU, της μνήμης και του δίσκου που μπορούν να έχουν πρόσβαση αυτές οι διαδικασίες.

Ενώ οι εικονικές μηχανές έχουν το δικό τους λειτουργικό σύστημα η κάθε μία ξεχωριστά, τα container μοιράζονται τον ίδιο πυρήνα λειτουργικού συστήματος και οι εφαρμογές είναι απομονωμένες. Πρακτικά οι VM εικονικοποιούν ολόκληρο το φυσικό υλικό ενώ τα container μόνο το λειτουργικό σύστημα.



Εικόνα 13 Λειτουργία Container

[Πηγή: medium.com/techmormo/what-is-virtualization-bare-metal-vs-virtual-machines-vs-containers]

Βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Μικρό μέγεθος
Μοιράζονται τον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος του μηχανήματος, εξαλείφοντας την ανάγκη για μια πλήρη παρουσία λειτουργικού συστήματος ανά εφαρμογή και καθιστώντας τα αρχεία τους μικρά σε μέγεθος.
- Φορητότητα και μεγάλος βαθμός ανεξαρτησίας
Τα container φέρουν μαζί τους όλες τις βιβλιοθήκες τους, πράγμα που σημαίνει ότι το λογισμικό μπορεί να γραφτεί μία φορά και στη συνέχεια να εκτελεστεί χωρίς να χρειάζεται να διαμορφωθεί εκ νέου σε cloud περιβάλλοντα.
- Υποστηρίζει σύγχρονες αρχιτεκτονικές
Λόγω του συνδυασμού της φορητότητας και του μικρού μεγέθους τους είναι ιδανικά για σύγχρονες μεθόδους αρχιτεκτονικών (πχ DevOps και microservices).

- Βελτιώνει τη χρήση
Όπως και οι VM, επιτρέπουν στους προγραμματιστές και στους χειριστές να βελτιώσουν τη χρήση της CPU και της μνήμης. Τα container είναι πιο βελτιωμένα επειδή επιτρέπουν την αρχιτεκτονική microservices, έναν εναλλακτικό τρόπο δομής εφαρμογών που θα αναλυθεί παρακάτω.

2.5.1 Dockers και Kubernetes

Έννοιές άρρηκτα συνδεδεμένες με τα container είναι οι Docker και Kubernetes.

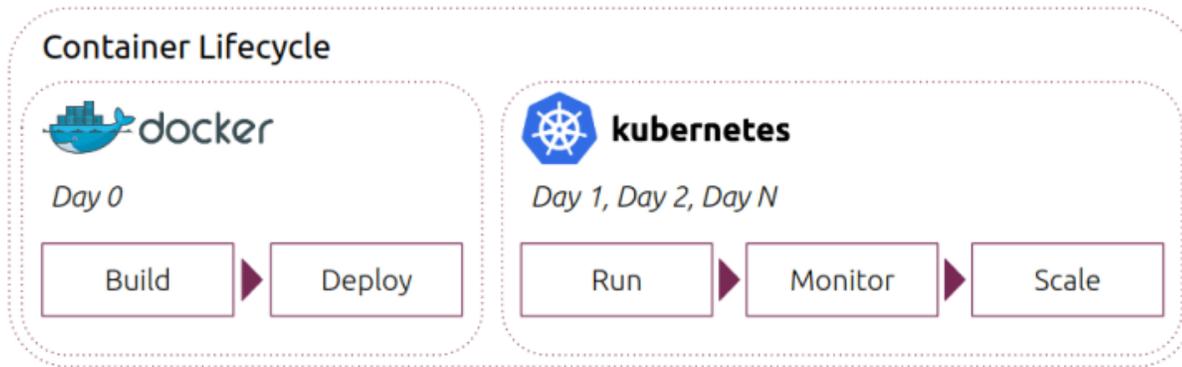
Docker

Το Docker είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν, να αναπτύσσουν, να εκτελούν, να ενημερώνουν και να διαχειρίζονται τα container. Επιπλέον, βοηθά τους προγραμματιστές να μεταφέρουν τις δοκιμές που κάνουν από το τοπικό-test στο πραγματικό περιβάλλον παραγωγής εξαλείφοντας με αυτόν τον τρόπο αστοχίες (από εξαρτήσεις περιβάλλοντος) και αυξάνοντας την ποιότητα του λογισμικού.

Kubernetes

Το Kubernetes είναι μια πλατφόρμα ενορχήστρωσης container για τον προγραμματισμό και την αυτοματοποίηση της ανάπτυξης και της διαχείρισης των εφαρμογών τους και επιτρέπει στους χρήστες να καθορίσουν την ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής των container τους σε διάφορα υποτμήματα. Έχει τη δυνατότητα να ομαδοποιεί ένα σύνολο container (του ίδιου server) για να αυξήσει την αποδοτικότητα χρήσης πόρων, σε αντίθεση με το Docker που εκτελεί μια διαδικασία ανά container.

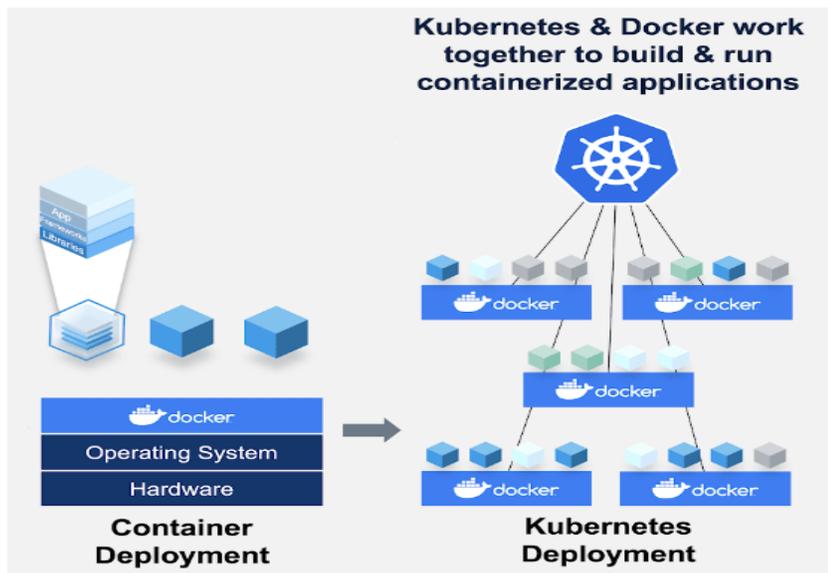
Αν και το Kubernetes μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα από το Docker οι δύο αυτές πλατφόρμες είναι αλληλεξαρτώμενες για τη δημιουργία μιας cloud native αρχιτεκτονικής· πρακτικά θα μπορούσε να χαρακτηριστεί το Kubernetes ως λειτουργικό σύστημα και το Docker οι εφαρμογές που θα εγκατασταθούν από αυτό.



Εικόνα 14 Κύκλος ζωής Container

[Πηγή: ubuntu.com/blog/kubernetes-versus-docker]

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14, το Docker χρησιμοποιείται κυρίως κατά τις πρώτες ημέρες μιας εφαρμογής σε container και βοηθά στη δημιουργία και την ανάπτυξη της. Σε περιπτώσεις όπου η αρχιτεκτονική της εφαρμογής είναι αρκετά απλή, το Docker μπορεί να καλύψει τις βασικές ανάγκες διαχείρισης του κύκλου ζωής της εφαρμογής.



Εικόνα 15 Σχηματική Απεικόνιση συνδυασμού Docker και Kubernetes

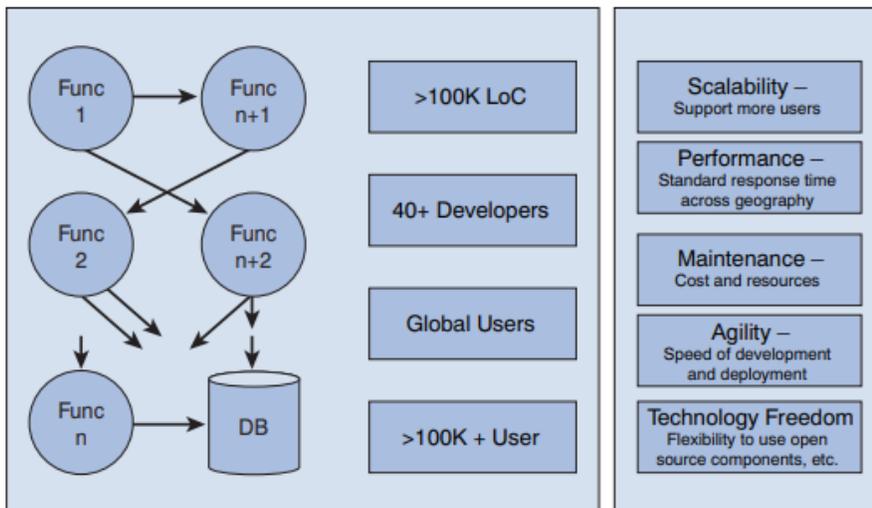
[Πηγή: docker.com/blog/top-questions-docker-kubernetes-competitors-or-together/]

Σε περιπτώσεις όπου η εφαρμογή αναλύεται σε πολλαπλές μικροϋπηρεσίες (όπως θα δούμε στην ακόλουθη ενότητα), καθεμία τις δικές της λειτουργικές ανάγκες, είναι απαραίτητη η παρουσία Kubernetes. Με αυτό τον τρόπο, οι εφαρμογές των containers είναι ευκολότερο να διαχειριστούν καθώς χωρίζονται σε μικρότερα μέρη.

2.6 Microservices

Με τις μονολιθικές αρχιτεκτονικές, όλες οι διαδικασίες είναι στενά συνδεδεμένες και λειτουργούν ως ενιαία υπηρεσία. Αυτό σημαίνει ότι εάν μια διαδικασία της εφαρμογής βιώνει μια αύξηση της ζήτησης, ολόκληρη η αρχιτεκτονική πρέπει να επεκταθεί. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής με την προσθήκη νέου κώδικα και υπάρχει κίνδυνος να επηρεαστεί ολόκληρη αρχιτεκτονική από μεμονωμένη βλάβη διαδικασίας.

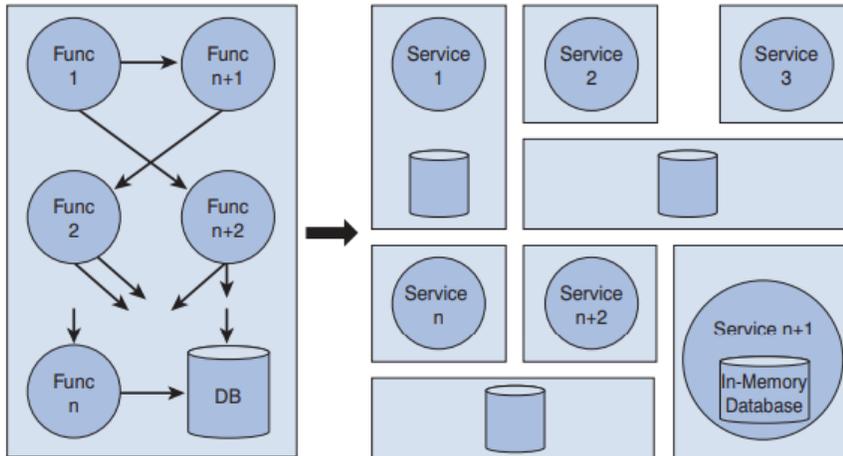
Στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση μιας μονολιθικής αρχιτεκτονικής. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπάρχει αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω κώδικα (LoC – Lines of Code). Με την πάροδο του χρόνου και με τη χρήση μπορεί να προκύψουν ζητήματα διαφορετικά για κάθε εφαρμογή: όσο περισσότεροι χρήστες καταναλώνουν τις υπηρεσίες θα υπάρχουν ζητήματα επέκτασης ή μπορεί να γίνουν δαπανηρές και χρονοβόρες οι αναβαθμίσεις.



Εικόνα 16 Λειτουργία Μονολιθικής Αρχιτεκτονικής και Περιορισμοί

[Πηγή: Parminder Kocher, *Microservices and Containers*, March 2018, Addison-Wesley]

Η τεχνολογία των microservices είναι μια αρχιτεκτονική προσέγγιση στην ανάπτυξη λογισμικού, όπου το λογισμικό αποτελείται από μικρές ανεξάρτητες υπηρεσίες που επικοινωνούν μέσω διεπαφών (API). Με την αρχιτεκτονική μικροϋπηρεσιών, μια εφαρμογή χτίζεται ως ανεξάρτητα συστατικά που τρέχουν κάθε διαδικασία εφαρμογής ως υπηρεσία. Επειδή εκτελούνται ανεξάρτητα, κάθε υπηρεσία μπορεί να ενημερωθεί και να αναπτυχθεί για να ικανοποιήσει τη ζήτηση για συγκεκριμένες λειτουργίες μιας εφαρμογής.



Εικόνα 17 Μετάβαση σε αρχιτεκτονική Microservices

[Πηγή: Parminder Kocher, *Microservices and Containers*, March 2018, Addison-Wesley]

Βασικά πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής microservice είναι τα παρακάτω:

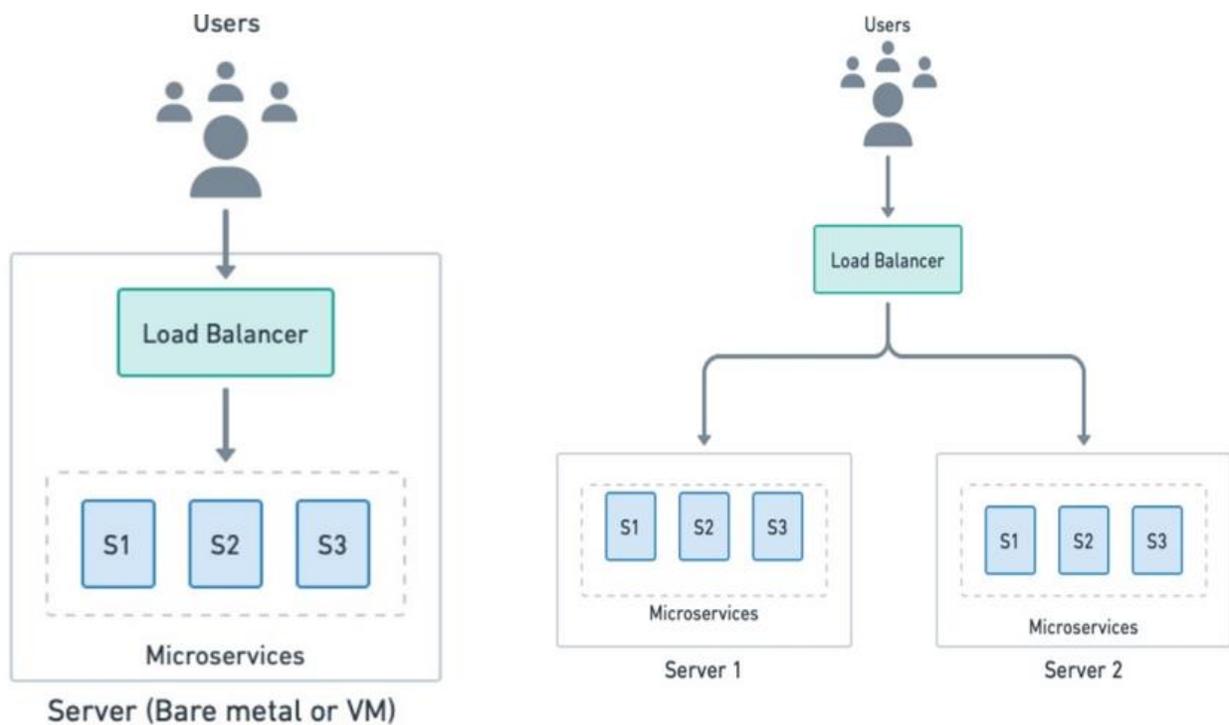
- Αυτονομία
Οι υπηρεσίες δεν χρειάζεται να μοιράζονται τον κώδικα ή την εφαρμογή τους με άλλες υπηρεσίες. Οποιαδήποτε επικοινωνία μεταξύ μεμονωμένων στοιχείων γίνεται μέσω καλά καθορισμένων API. Με αυτό τον τρόπο κάθε υπηρεσία μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς να επηρεάσει κάποια άλλη.
- Εξειδίκευση
Κάθε υπηρεσία έχει σχεδιαστεί με ένα σύνολο δυνατοτήτων και επικεντρώνεται στην εκτέλεση μιας συγκεκριμένης διεργασίας. Εάν οι προγραμματιστές συνεισφέρουν περισσότερο κώδικα σε μια υπηρεσία με την πάροδο του χρόνου και η υπηρεσία γίνει περίπλοκη, μπορεί να χωριστεί σε μικρότερες υπηρεσίες.
- Εύκολη ανάπτυξη
Η αρχιτεκτονική microservices επιτρέπει τη συνεχή ανάπτυξη, τη δοκιμή νέων ιδεών και την αναίρεση τους. Το χαμηλό κόστος της αποτυχίας επιτρέπει τον πειραματισμό, καθιστά ευκολότερη την ενημέρωση του κώδικα και επιταχύνει το χρόνο για την αγορά νέων χαρακτηριστικών.
- Ευελιξία
Πρωθείται μια οργάνωση μικρών και ανεξάρτητων ομάδων στις επιχειρήσεις που αναλαμβάνουν την κυριότητα των υπηρεσιών τους. Οι ομάδες ενεργούν μέσα σε ένα

μικρό και καλά κατανοητό πλαίσιο και έχουν δυνατότητα να εργάζονται ανεξάρτητα και πιο γρήγορα, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι χρόνοι του κύκλου ανάπτυξης.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών εντάσσουν την αρχιτεκτονική microservices και οι πιο συνηθισμένοι θα παρουσιαστούν στις ακόλουθες υποενότητες.

2.6.1 Microservices σε VM και Bare Metal

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, μπορούμε να τρέξουμε μια εφαρμογή microservice ως πολλαπλές διεργασίες σε ένα μόνο μηχάνημα. Κάθε υπηρεσία αντιστοιχεί σε μια διαφορετική θύρα και επικοινωνεί μέσω μιας διεπαφής ανατροφοδότησης.

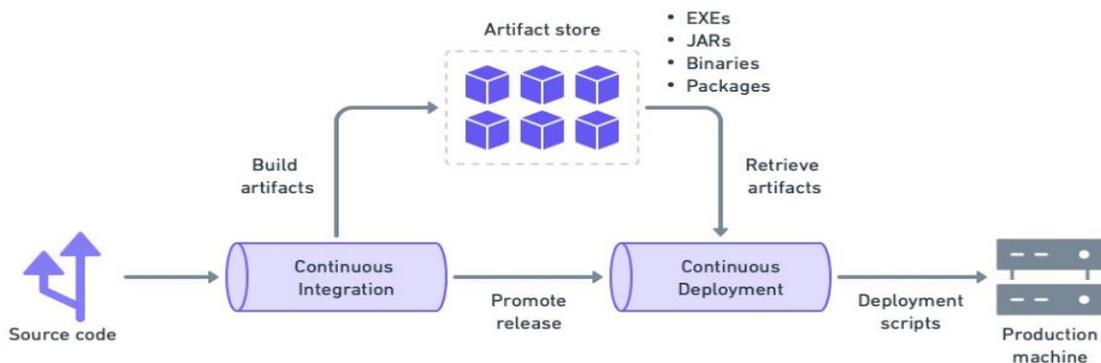


Εικόνα 18 Microservices σε VM και Bare Metal

[Πηγή: semaphoreci.com/blog/deploy-microservices]

Πρόκειται ουσιαστικά για την αξιοποίηση εργαλείων και εξοπλισμού (VM και φυσικό διακομιστή) που ήδη υπάρχουν στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και υπάρχει ευελιξία και δυνατότητα επέκτασης σε περίπτωση που η εφαρμογή ξεπεράσει σε μνήμη τη χωρητικότητα ενός

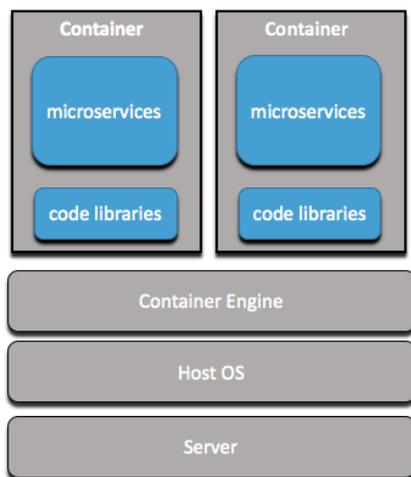
μηχανήματος. Το συγκεκριμένο σχήμα υποστηρίζει μοτίβο CI/CD με την ανάπτυξη νέων στοιχείων, την δοκιμή τους και την ενσωμάτωσή τους στο τελικό προϊόν.



Εικόνα 19 CI/CD των Microservices σε VM/Bare Metal
 [Πηγή: semaphoreci.com/blog/deploy-microservices]

2.6.2 Microservices σε Containers

Ένα μέσο εφαρμογής του αρχιτεκτονικού πλαισίου των μικροϋπηρεσιών είναι και τα containers. Ενώ η εκτέλεση των microservices απευθείας ως διαδικασίες είναι πολύ αποτελεσματική, ο server πρέπει να συντηρείται σχολαστικά με τα απαραίτητα εργαλεία, καθώς καταναλώνεται εύκολα μεγάλο μέρος της μνήμης και της CPU. Με τη χρήση container μπορούν να μετριαστούν αυτά τα προβλήματα γιατί είναι πακέτα που δεν χρειάζονται εγκατάσταση επιπλέον κώδικα για να τρέξει ένα πρόγραμμα και περιλαμβάνουν αρκετούς εικονικούς πόρους ώστε να τρέξουν το πρόγραμμα σε απομονωμένο περιβάλλον.

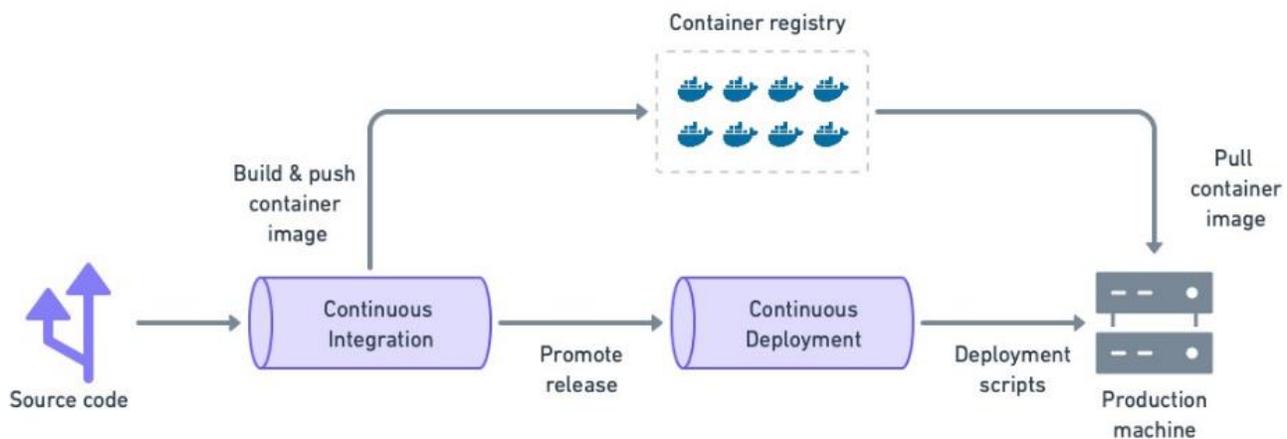


Εικόνα 20 Microservices σε Container

[Πηγή: mongodb.com/blog/post/building-modern-applications-with-microservices-part-1]

Στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και κατασκευαστές η συγκεκριμένη μέθοδος συναντάται πιο συχνά γιατί έχει πολλά προτερήματα όπως:

- Μεγάλος βαθμός απομόνωσης
Οι διαδικασίες είναι απομονωμένες η μία από την άλλη και από το λειτουργικό σύστημα. Κάθε container έχει ένα ιδιωτικό σύστημα αρχείων, έτσι οι συγκρούσεις εξάρτησης ελαχιστοποιούνται.
- Συγχρονισμός
Υποστηρίζεται η ταυτόχρονη εκτέλεση πολλαπλών διαδικασιών στα container.
- Μικρότερο κόστος
Με δεδομένο ότι δεν χρειάζεται η εξ' ολοκλήρου εγκατάσταση λειτουργικού συστήματος τα containers είναι πιο συμφέρουσα επιλογή από τη χρήση VM.
- Έλεγχος πόρων
Μπορούν να τεθούν πιο εύκολα τα όρια CPU και μνήμης ώστε να μην αποσταθεροποιήσουν τη λειτουργία του server.
- Απλή εγκατάσταση
Χρειάζεται μόνο η εγκατάσταση ενός αρχείου κώδικα που χρησιμοποιεί το container (container image).



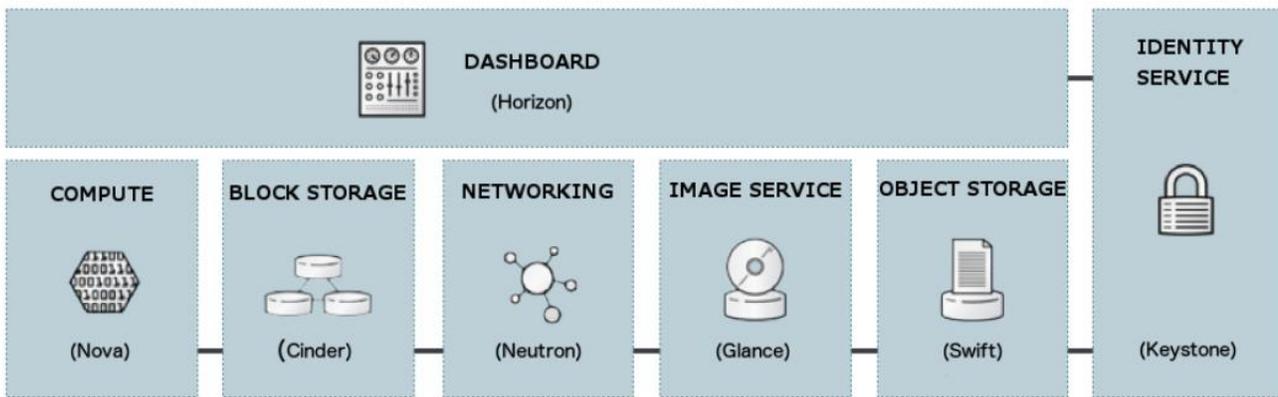
Εικόνα 21 CI/CDτων Microservices σε Container

[Πηγή: semaphoreci.com/blog/deploy-microservices]

2.7 OpenStack

Το OpenStack είναι μια open-source πλατφόρμα που χρησιμοποιεί εικονικούς πόρους για να υποστηρίξει και να διαχειριστεί cloud δίκτυα. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό OpenStack κάθε εταιρεία θα μπορεί να μετατρέψει το φυσικό της hardware σε μια υβριδική πλατφόρμα cloud. Πρόκειται ουσιαστικά για μια σειρά ομαδοποιημένων script για τη δημιουργία cloud περιβάλλοντος μαζί με δύο τύπους λογισμικού:

1. Εικονική διαμόρφωση που δημιουργεί ένα επίπεδο εικονικών πόρων για ανεξαρτησία από το υλικό και
2. Ένα βασικό λειτουργικό σύστημα (OS) που εκτελεί εντολές που δίνονται από τα OpenStack scripts



Εικόνα 22 Στοιχεία OpenStack

[Πηγή: openstack.org/security-guide/introduction/introduction-to-openstack.html]

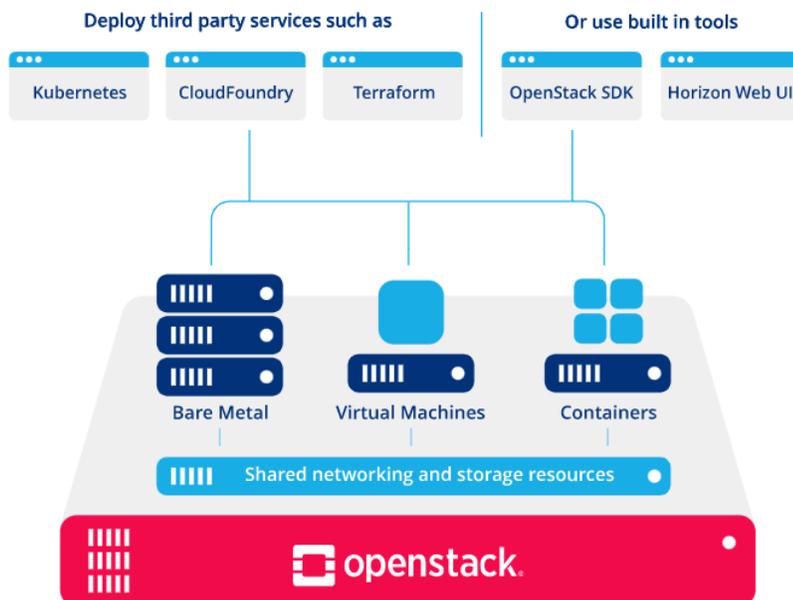
Βασικά στοιχεία της πλατφόρμας είναι τα:

- **Horizon**
Είναι ένας πίνακας ελέγχου για διαχειριστές και τελικούς χρήστες για πρόσβαση στις υπηρεσίες.
- **Nova**
Cloud Computing ελεγκτής που έχει σχεδιαστεί για τη διαχείριση πόρων σε εικονικά περιβάλλοντα.
- **Cinder**
Στοιχείο σχεδιασμένο για τη δημιουργία και διαχείριση υπηρεσίας που παρέχει αποθήκευση δεδομένων σε μια cloud computing εφαρμογή.

- Neutron
Στοιχείο υπεύθυνο να εκτελεί δικτυακές διεργασίες, όπως διαχείριση των IP και τεχνικές δρομολόγησης μεταξύ των στοιχείων ώστε να εξαλείφονται δικτυακές αστοχίες.
- Glance
Περιλαμβάνει υπηρεσίες αναζήτησης και αποθήκευσης εικόνων.
- Swift
Βοηθά στην αντιγραφή και αποθήκευση backup των δεδομένων. Τα αρχεία και τα αντικείμενα αντιγράφονται σε πολλαπλές μονάδες αποθήκευσης με τη βοήθεια αυτού του στοιχείου.
- Keystone
Χρησιμοποιείται για τη διαχείριση υπηρεσιών, όπως η εξουσιοδότηση, ο έλεγχος ταυτότητας και ο έλεγχος άλλων διαπιστευτηρίων.

2.7.1 OpenStack στις Τηλεπικοινωνίες

Το OpenStack είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών (NFV- Network Function Virtualization) στους παρόχους τηλεπικοινωνιών.



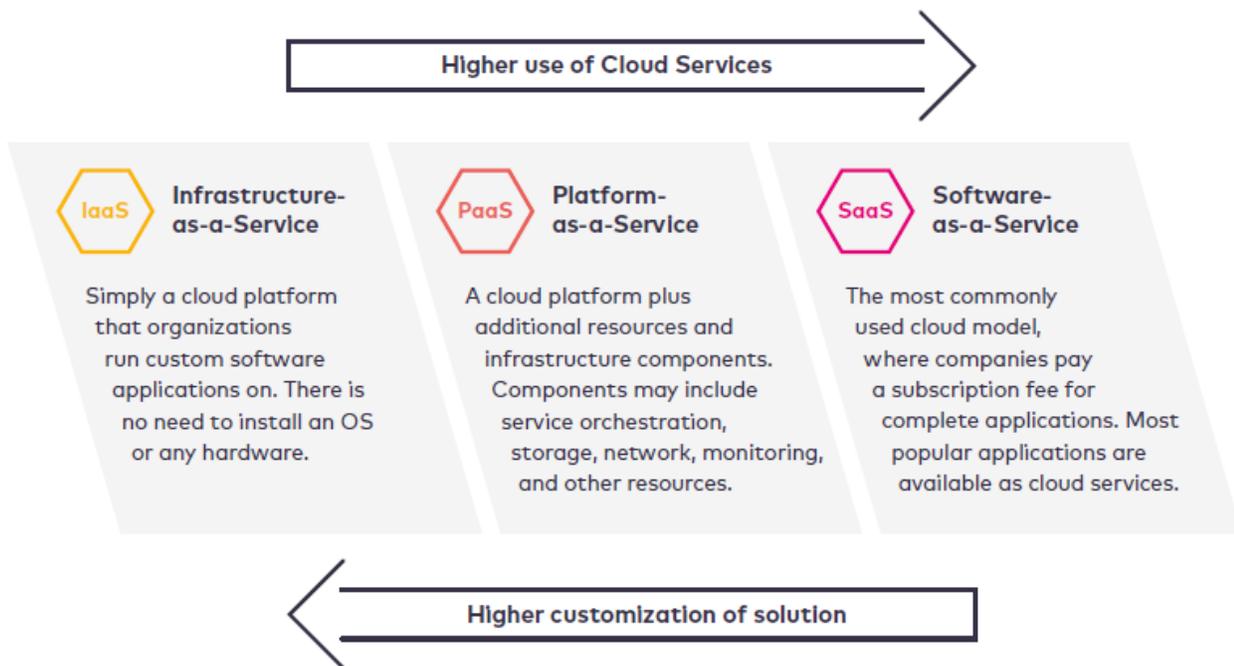
Εικόνα 23 OpenStack σε NFV Telco Περιβάλλον
[Πηγή: openstack.org/]

Η τεχνολογία NFV, αποσκοπεί στην μεταφορά δικτυακών ή τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών, που σήμερα λειτουργούν σε αποκλειστικές και εξειδικευμένες πλατφόρμες, σε εικονικές υποδομές cloud. Σε ένα περιβάλλον NFV, μια λειτουργία εικονικού δικτύου (VNF) αναλαμβάνει την ευθύνη του χειρισμού συγκεκριμένων λειτουργιών δικτύου που εκτελούνται σε μία ή περισσότερες VM, servers ή containers. Για τους παρόχους τηλεπικοινωνιών το OpenStack αποτελεί ουσιαστικά ένα εργαλείο-βάση για να αναπτύξουν μια cloud υποδομή, σχετικά ανεξάρτητη από το υλικό.

Κεφάλαιο 3: Οικονομικά και Στρατηγικές Υπολογιστικού Νέφους

3.1 Εισαγωγή

Ως Οικονομικά Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Economics) θεωρείται η μελέτη που σχετίζεται με τις οικονομικές δαπάνες, τα οφέλη και τους επιχειρηματικούς παράγοντες που προκύπτουν από την υιοθέτηση cloud τεχνολογίας. Η απόφαση για ένα έργο μετασχηματισμού/ μετάβασης στο cloud από έναν πάροχο τηλεπικοινωνιών θα πρέπει να βασίζεται σε έναν συνδυασμό τόσο μιας αυστηρής ανάλυσης του κόστους, όσο και μιας ποιοτικής κατανόησης του πραγματικού μακροπρόθεσμου κέρδους από την επένδυσή στο cloud. Το cloud computing επιτρέπει σε έναν οργανισμό να υιοθετεί διαφορετικό μοντέλο υπηρεσιών ανάλογα με το βαθμό εξάρτησης που επιθυμεί από το cloud.



Εικόνα 24 Μοντέλα Υπηρεσιών Cloud

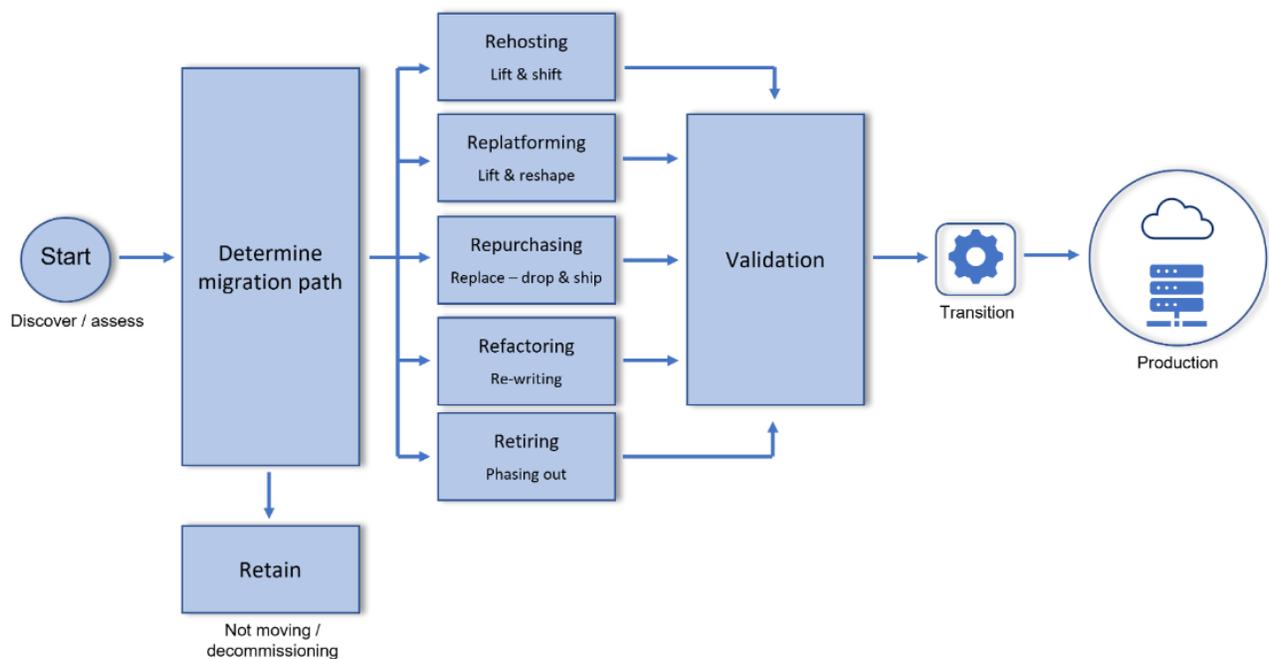
[Πηγή: *Evaluating the ROI of cloud migration, Amdocs Global Services*]

Όπως είχε αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 1, τα μοντέλα υπηρεσιών cloud κυμαίνονται με βάση τη χρήση cloud υπηρεσιών από IaaS, σε PaaS με την προσθήκη πλατφόρμας λογισμικού ως το μοντέλο SaaS με την ενσωμάτωση ολοκληρωμένων εφαρμογών. Όσο μεγαλύτερη εξάρτηση από το cloud υπάρχει τόσο λιγότερο προσαρμόσιμη γίνεται η τελική επιλογή ^[55]. Μια λιγότερο

εξατομικευμένη επιλογή με περισσότερη εξάρτηση από cloud υπηρεσίες μπορεί να παρουσιάσει μειωμένη αρχική επένδυση κεφαλαίου και να αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου η λειτουργική επένδυση, δηλαδή να αυξηθεί η απόδοση και η αξία της αρχικής επένδυσης. Μια μετεγκατάσταση cloud σε επίπεδο επιχείρησης μπορεί να συνδυάσει και να αναμίξει πολλά από αυτά τα μοντέλα: μπορεί να αποφασιστεί ότι υπάρχει ανάγκη να διατηρηθούν ορισμένες εφαρμογές στις εγκαταστάσεις και να μετακινηθούν άλλες στο cloud, δημιουργώντας αυτό που είναι γνωστό ως υβριδική λύση cloud.

3.2 Επιχειρηματικές Στρατηγικές Μετάβασης στο Cloud

Τα μοντέλα υπηρεσιών δίνουν ένα γενικό πλάνο μετάβασης στο cloud, όμως είναι αναγκαίο ένα συγκεκριμένο πλαίσιο που να μπορεί να βοηθήσει τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους να αποφασίσουν ποια είναι η σωστή δράση, είτε για ολόκληρη την επιχείρηση, είτε για μεμονωμένα συστήματα.



Εικόνα 25 Στρατηγικές 6 R για μετάβαση στο Cloud

[Πηγή: opentext.com/the-6-rs-strategies-for-cloud-migration/]

Το πιο δημοφιλές πλαίσιο για επιχειρηματικά σενάρια μετεγκατάστασης στο cloud αναφέρεται ως 6 R και περιλαμβάνει τις εξής στρατηγικές:

1. Retain

Σε αυτό το στάδιο η υπηρεσία δεν μεταφέρεται στο cloud επειδή εμποδίζεται από διάφορους παράγοντες. Για παράδειγμα, αν μια υπηρεσία περιέχει κρυπτογραφημένες πληροφορίες τότε η επιλογή public cloud δεν είναι η καλύτερη λόγω ασφάλειας. Επομένως, αποφασίζεται να παραμείνει ως έχει και να επανεξεταστεί μελλοντικά μια καλύτερη λύση. Η στρατηγική αυτή αφορά επίσης και υπηρεσίες οι οποίες χρειάζονται αναδιαμόρφωση σε μεγάλο βαθμό για να μεταβούν σε cloud υποδομή.

2. Retire

Στη συγκεκριμένη περίπτωση κάποιες απαρχαιωμένες υπηρεσίες που δεν μπορούν να μεταβούν στο cloud ή δεν χρησιμοποιούνται καταργούνται τελείως.

3. Rehosting

Γνωστή και ως lift-and-shift στρατηγική. Περίπτωση που μια υπηρεσία μετακινείται από το φυσικό περιβάλλον στο cloud με όσο το δυνατό λιγότερες αλλαγές. Για παράδειγμα μια VM μπορεί να λειτουργεί σε ένα φυσικό server και να γίνει η αντιγραφή της ως GCP VM (VM σε πλατφόρμα Google Cloud). Γίνεται δηλαδή αντιγραφή ενός περιβάλλοντος που λειτουργεί σε φυσική υποδομή στο cloud, χωρίς τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση οι υπηρεσίες δεν είναι τελείως αποκομμένες από το λειτουργικό σύστημα, όμως η μετάβαση γίνεται με μεγάλη ταχύτητα.

4. Replatforming

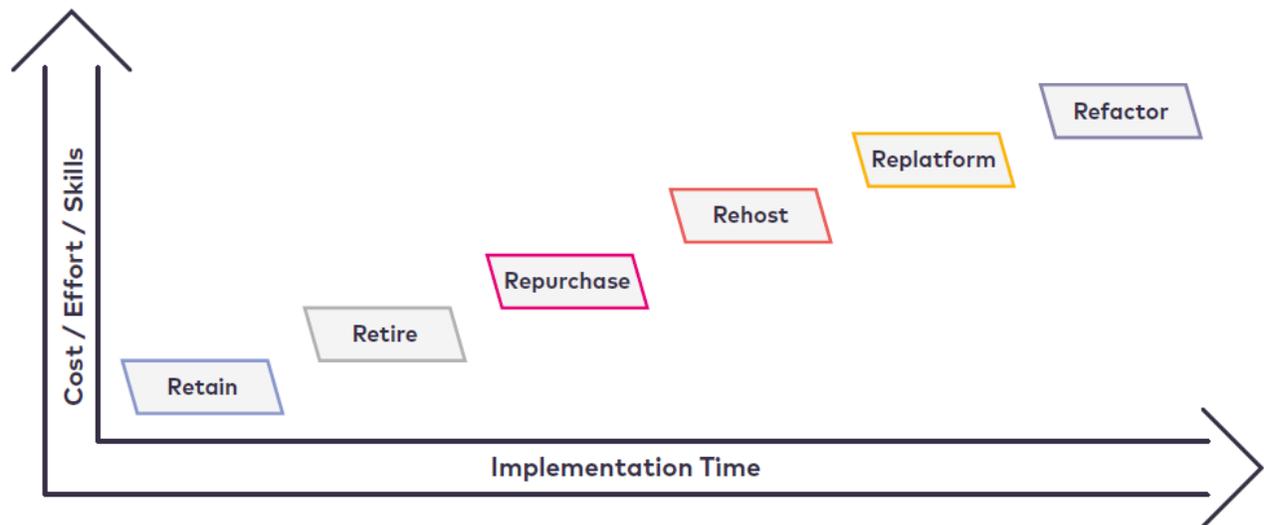
Γνωστή και ως lift-tinker-and-shift στρατηγική. Πρόκειται για στρατηγική που περιλαμβάνει την τροποποίηση ενός παραδοσιακού συστήματος ώστε να λειτουργήσει βέλτιστα στο cloud, χωρίς να γίνουν αλλαγές στην κύρια αρχιτεκτονική. Ενώ η Replatforming περιλαμβάνει την ολική τροποποίηση παλαιού λογισμικού για καλύτερη απόδοση στο cloud, η Rehosting περιλαμβάνει απλά τη μετεγκατάσταση μιας μονολιθικής εφαρμογής από ένα περιβάλλον στο cloud χωρίς τροποποιήσεις.

5. Re-architecting/Refactor

Αυτή η στρατηγική περιλαμβάνει την πραγματοποίηση ορισμένων αλλαγών στην αρχιτεκτονική ή τον κώδικα της εφαρμογής, ώστε να είναι πιο κατάλληλη για περιβάλλοντα cloud. Επιπλέον, μπορεί να περιλαμβάνει την επανασχεδίαση της εφαρμογής από το μηδέν χρησιμοποιώντας τεχνολογίες και cloud native υπηρεσίες.

6. Repurchasing

Γνωστή και ως drop-and-shop στρατηγική. Πρόκειται ουσιαστικά για την αντικατάσταση του τρέχοντος προϊόντος με ένα νέο. Μπορεί να επιτευχθεί είτε μεταφέροντας τις άδειες λογισμικού από ένα φυσικό σε ένα cloud server είτε να αντικατασταθεί πλήρως η υπηρεσία με μια cloud λύση.



Εικόνα 26 Στρατηγικές 6 R συναρτήσεϊ κόστους/χρόνου

[Πηγή: *Evaluating the ROI of cloud migration, Amdocs Global Services*]

Το κόστος μετάβασης στο cloud εξαρτάται από την στρατηγική που επιλέγει ο κάθε τηλεπικοινωνιακός πάροχος. Οι στρατηγικές 6R μπορούν να έχουν σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις για έναν τηλεπικοινωνιακό πάροχο στο κόστος μετάβασης στο cloud αλλά και στο κόστος λειτουργίας. Για παράδειγμα, η στρατηγική Rehosting μπορεί να είναι η λιγότερο δαπανηρή από την άποψη του κόστους μετεγκατάστασης, καθώς περιλαμβάνει απλώς τη μετακίνηση των υφιστάμενων υπηρεσιών στο cloud χωρίς να κάνει σημαντικές αλλαγές.

Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση μπορεί να μην αξιοποιήσει πλήρως τα οφέλη εξοικονόμησης κόστους και υψηλής τεχνολογικής απόδοσης.

Από την άλλη πλευρά, η στρατηγική Refactor μπορεί να συνεπάγεται σημαντικό αρχικό κόστος, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους και βελτιώσεις των επιδόσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ανακατασκευή μιας εφαρμογής χρησιμοποιώντας τεχνολογίες και υπηρεσίες cloud μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη επεκτασιμότητα, ανθεκτικότητα και αποτελεσματικότητα.

Επειδή η μετάβαση μιας παραδοσιακής τηλεπικοινωνιακής υποδομής σε cloud αρχιτεκτονική είναι ένα μεγάλο έργο που σχετίζεται με συνδρομητικά δεδομένα και live κίνηση είναι πολλές φορές αναγκαίο να γίνει συνδυασμός στρατηγικών και η μετάβαση να γίνει σε παραπάνω από μια φάσεις για την ομαλή διεξαγωγή του έργου. Η επιλογή της στρατηγικής που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως την υπάρχουσα αρχιτεκτονική και τους μακροπρόθεσμους οικονομικούς στόχους και η επιλογή γίνεται ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ αρχικού κόστους και εξοικονόμησης από την cloud λειτουργία. Παρακάτω θα παρουσιαστούν βασικοί δείκτες απόδοσης που προκύπτουν από τη μετάβαση σε cloud τεχνολογία.

3.3 CAPEX και OPEX

Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (Capital Expenditures) αναφέρονται στο αρχικό κόστος που επιβαρύνει τους οργανισμούς όταν επενδύουν σε φυσικά περιουσιακά στοιχεία, όπως υλικό, άδειες λογισμικού και υποδομή κέντρων δεδομένων. Στο πλαίσιο του cloud computing περιλαμβάνει κόστη που σχετίζονται με αγορά εξοπλισμού ή με επέκταση της cloud υποδομής. Τα λειτουργικά έξοδα (Operating Expenditures) αναφέρονται στο τρέχον κόστος λειτουργίας και συντήρησης μιας υποδομής cloud, όπως το κόστος των υπηρεσιών και της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει η υποδομή, το κόστος χρήσης υπολογιστικών και αποθηκευτικών πόρων και συντήρησης.

Ένα από τα κύρια οφέλη του cloud computing είναι ότι μπορεί να μετατοπίσει το κόστος μιας υποδομής από το CAPEX στο OPEX. Χρησιμοποιώντας υπηρεσίες cloud, οι οργανισμοί μπορούν να αποφύγουν το αρχικό κόστος που σχετίζεται με την κατασκευή ή την επέκταση μιας φυσικής υποδομής και αντί για αυτά να πληρώσουν για πόρους cloud με pay as you go τρόπο. Ορισμένες υπηρεσίες cloud ενδέχεται όμως να απαιτούν προκαταβολικές πληρωμές, όπως για

παράδειγμα η επένδυση σε ένα private cloud περιβάλλον που απαιτεί μεγάλες κεφαλαιουχικές δαπάνες.

Το κόστος CAPEX για τη μετάβαση των τηλεπικοινωνιών στο υπολογιστικό νέφος περιλαμβάνει τις επενδύσεις που απαιτούνται για την κατασκευή της υποδομής cloud, την αναβάθμιση παλαιών συστημάτων, την επένδυση σε νέο υλικό και λογισμικό και τον επανασχεδιασμό υπηρεσιών για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων υπολογιστικού νέφους. Επιπλέον, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι ενδέχεται να χρειαστεί να επενδύσουν σε εξειδικευμένο υλικό και λογισμικό για να διασφαλίσουν ότι η υποδομή cloud πληροί τις εξειδικευμένες απαιτήσεις των τηλεπικοινωνιακών δικτύων.

Το κόστος OPEX για τη μετεγκατάσταση τηλεπικοινωνιών στο cloud περιλαμβάνει τρέχοντα έξοδα, όπως συντήρηση και υποστήριξη. Οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς ενδέχεται επίσης να χρειαστεί να επενδύσουν σε νέα προγράμματα κατάρτισης υπαλλήλων για να διασφαλίσουν ότι το προσωπικό τους διαθέτει τις απαραίτητες δεξιότητες και ικανότητες για τη διαχείριση της υποδομής υπολογιστικού νέφους. Συνολικά, η απόφαση για τη μετάβαση σε cloud πρέπει να περιλαμβάνει τον προσδιορισμό συνολικού κόστους ιδιοκτησίας (TCO) και απόδοσης επένδυσης (ROI), δύο πολύ σημαντικών δεικτών που εξαρτώνται από τα κόστη CAPEX και OPEX.

3.4 Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας – TCO

Το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας TCO αποτελεί μια χρηματοοικονομική μέτρηση που υπολογίζει το συνολικό άμεσο και έμμεσο κόστος που συνδέεται με την ιδιοκτησία και τη λειτουργία ενός περιουσιακού στοιχείου ή ενός συστήματος, όπως μια υποδομή πληροφορικής, σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Συνοπτικά υπολογίζεται ως εξής:

$$TCO = \Sigma (Direct Costs, Indirect Costs, Overhead) \quad (3.1) \quad [53]$$

Με τον υπολογισμό του TCO, οι οργανισμοί μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα το πραγματικό κόστος που σχετίζεται με την ιδιοκτησία και τη λειτουργία ενός περιουσιακού στοιχείου ή συστήματος, το οποίο μπορεί να τους βοηθήσει να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με το αν θα επενδύσουν σε αυτό, πώς θα βελτιστοποιήσουν τη χρήση του και πότε θα το αντικαταστήσουν.

Και στην περίπτωση υιοθέτησης cloud τεχνολογίας για τον υπολογισμό του TCO οι πάροχοι θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους τα παρακάτω στοιχεία που θα αναλυθούν.

Άμεσες και Έμμεσες Δαπάνες

Η κύρια διαφορά μεταξύ άμεσων και έμμεσων δαπανών είναι ότι οι άμεσες δαπάνες είναι δαπάνες που συνδέονται με την παραγωγή ή την παροχή ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή υπηρεσίας, ενώ οι έμμεσες δαπάνες είναι απαραίτητες για τη συνολική λειτουργία της επιχείρησης. Το άμεσο κόστος είναι συνήθως μεταβλητό κόστος που αυξάνεται ή μειώνεται καθώς αλλάζει η παραγωγή ή η παροχή του προϊόντος ή της υπηρεσίας, ενώ το έμμεσο κόστος είναι συνήθως σταθερό. Το άμεσο κόστος περιλαμβάνει το κόστος της υποδομής και των υπηρεσιών cloud, όπως οι υπολογιστικοί πόροι, η αποθήκευση, το δίκτυο και η ασφάλεια. Το έμμεσο κόστος περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης και διαχείρισης του περιβάλλοντος cloud, όπως το προσωπικό, οι άδειες χρήσης λογισμικού και οι υπηρεσίες υποστήριξης.

Δαπάνες Μετάβασης

Αυτό το κομμάτι αντιπροσωπεύει το κόστος που συνεπάγεται η εκτέλεση της πραγματικής μετεγκατάστασης των τηλεπικοινωνιακών λειτουργιών στο cloud. Η μετεγκατάσταση θα επηρεαστεί από παράγοντες όπως τα επιλεγμένα μοντέλα cloud, η συμβατότητα εξοπλισμού και η οικονομική συμφωνία με τον κατασκευαστή.

Τέτοιες δαπάνες αφορούν:

- **Μετακίνηση δεδομένων**
Αυτά είναι τα κόστη που σχετίζονται με τη μετακίνηση δεδομένων στο cloud και το κόστος εργασίας για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων κατά τη διάρκεια και μετά τη μετακίνηση.
- **Ενσωμάτωση και δοκιμή**
Αυτά τα κόστη σχετίζονται με το πόσο συμβατά είναι τα τρέχοντα συστήματα με τις εφαρμογές και την υποδομή cloud που παρέχει ο κατασκευαστής στον τηλεπικοινωνιακό πάροχο. Απαιτείται λεπτομερής τεχνική μελέτη για το συγκεκριμένο κομμάτι και κοστολογείται με βάση την συμφωνία τηλεπικοινωνιακού παρόχου και προμηθευτή.
- **Υπηρεσίες συμβουλευτικής**
Πριν τη συμφωνία για μετακίνηση κάποιων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στο cloud χρειάζεται να γίνει έρευνα και χαρτογράφηση μιας στρατηγικής προσέγγισης και αρχιτεκτονικής cloud. Το συγκεκριμένο κομμάτι περιλαμβάνει και μια αρχική οικονομική προσέγγιση με τις δαπάνες και τα οφέλη από τη μετάβαση στο cloud και υπολογίζεται

από τον προμηθευτή το προσωπικό που θα διαθέσει για να εκτελέσει τις διαδικασίες ενσωμάτωσης και δοκιμής.

Κόστος Ευκαιρίας και Κόστος εκπαίδευσης

Το κόστος ευκαιρίας περιλαμβάνει το κόστος της μη χρήσης εναλλακτικής λύσης ή της επένδυσης σε διαφορετική τεχνολογία. Πρόκειται δηλαδή για το κόστος της εγκατάλειψης των οφελών που θα μπορούσαν να έχουν αποκτηθεί από μια εναλλακτική πορεία δράσης και αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για τη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, εάν ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος αποφασίσει να επενδύσει σε μια νέα υπηρεσία cloud, το κόστος ευκαιρίας είναι το όφελος που θα μπορούσε να έχει από την επένδυση των ίδιων πόρων σε άλλο τομέα της επιχείρησης. Επιπλέον υπάρχει και το κόστος κατάρτισης των υπαλλήλων για να μπορούν να διαχειρίζονται τα νέα εργαλεία και το νέο τρόπο διαχείρισης των υπηρεσιών που έχουν μεταβεί στο cloud.

Αποταμίευση

Πρόκειται για την εξοικονόμηση και τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση υπηρεσιών cloud, όπως το μειωμένο κόστος υποδομής, η βελτιωμένη επεκτασιμότητα και η αυξημένη ευελιξία.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία η εξίσωση υπολογισμού TCO για τη μετάβαση κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής στο cloud συνοψίζεται ως εξής:

$$TCO = (Direct\ Costs + Indirect\ Costs + Migration\ Costs + Training\ Costs + Opportunity\ Costs) - (Savings\ and\ Benefits) \quad (3.2) \quad [55][56]$$

Αν και ο υπολογισμός αυτού του δείκτη μπορεί να παρέχει κάποια αξιόπιστα αποτελέσματα και περιλαμβάνει όλα τα λειτουργικά κόστη, επικεντρώνεται στην εξοικονόμηση δαπανών, η οποία μπορεί να μην λαμβάνει υπόψη άλλους σημαντικούς παράγοντες, όπως η αυξημένη παραγωγικότητα, η ευελιξία και η καινοτομία.

3.5 Καθαρή Παρούσα Αξία και Συντελεστής Εσωτερικής Απόδοσης

Η Καθαρή Παρούσα Αξία NPV (Net Present Value) είναι μια χρηματοοικονομική μέτρηση που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της παρούσας αξίας των αναμενόμενων ταμειακών εισροών και εκροών που σχετίζονται με μια επένδυση. Η NPV λαμβάνει υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος, πράγμα που σημαίνει ότι οι ταμειακές ροές που εισπράττονται στο μέλλον προεξοφλούνται ώστε να αντικατοπτρίζουν την παρούσα αξία τους. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα μέτρο επενδύσεων κεφαλαίου για τον προσδιορισμό της αξίας από τη συνεισφορά της επένδυσης χρησιμοποιώντας ταμειακά διαθέσιμα.

Στα οικονομικά υπολογιστικού νέφους η NPV μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας ενός έργου ή μιας επένδυσης σε cloud υποδομή συγκρίνοντας την παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών εισροών με την παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών εκροών. Εάν είναι θετική τότε επένδυση ή το έργο αναμένεται να αποφέρει απόδοση που υπερβαίνει το κόστος κεφαλαίου, ενώ αν είναι αρνητική τότε η επένδυση δεν είναι οικονομικά βιώσιμο.

Η φόρμουλα με την οποία υπολογίζεται η NPV είναι

$$NPV = -I_0 + \sum \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (3.3) \quad [53] \quad \text{όπου}$$

- I_0 η αρχική επένδυση
- C είναι τα ταμειακά αποτελέσματα του έργου κατά τα έτη 1, 2...n
- r είναι το κόστος κεφαλαίου ή το απαιτούμενο ποσοστό απόδοσης

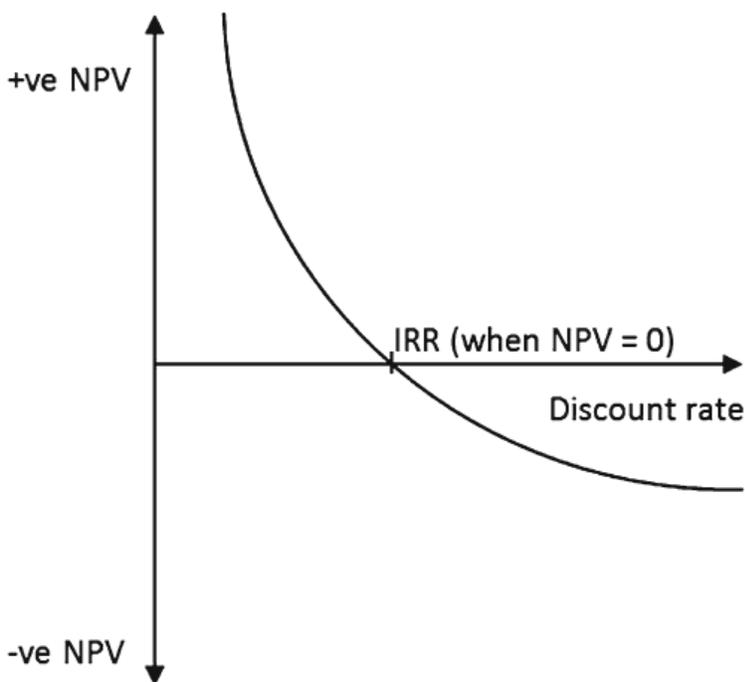
Ο δείκτης NPV:

- Λαμβάνει υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος
- Λαμβάνει υπόψη τόσο το ποσό όσο και το χρονοδιάγραμμα των ταμειακών αποτελεσμάτων του έργου
- Λαμβάνει υπόψη όλες τις σχετικές ταμειακές ροές κατά τη διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου
- Δεν λαμβάνει υπόψη τη χαμένη ευκαιρία από εναλλακτικές επενδύσεις
- Έχει σαν δεδομένο ότι το κόστος κεφαλαίου παραμένει σταθερό σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου

Ένας βασικός δείκτης για τα οικονομικά υπολογιστικού νέφους είναι ο Συντελεστής Εσωτερικής Απόδοσης IRR, ο οποίος δείχνει πόσο αποτελεσματική είναι μια επένδυση. Συγκεκριμένα είναι

ο ρυθμός με τον οποίο οι ταμειακές εισροές της επένδυσης ισούνται με τις ταμειακές εκροές της, δηλαδή η στιγμή που $NPV=0$ ^[53]. Ο IRR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση διαφορετικών επενδυτικών επιλογών cloud και τον προσδιορισμό της επιλογής που παρέχει την υψηλότερη απόδοση επένδυσης (ROI). Για παράδειγμα, μια εταιρεία τηλεπικοινωνιών μπορεί να αξιολογήσει ο IRR μιας επένδυσης σε cloud δίκτυο ραδιοπρόσβασης (cloud RAN) σε σύγκριση με μια παραδοσιακή επένδυση RAN για να προσδιορίσει ποια επένδυση παρέχει την υψηλότερη απόδοση. Ένας υψηλός IRR δείχνει ότι η επένδυση δημιουργεί υψηλότερη απόδοση από το κόστος κεφαλαίου και όσο υψηλότερο είναι το IRR, τόσο πιο κερδοφόρα είναι η επένδυση.

Ωστόσο, ο IRR έχει επίσης ορισμένους περιορισμούς. Υποθέτει ότι όλες οι ταμειακές ροές επανεπενδύονται με τον ίδιο ρυθμό, κάτι που μπορεί αυτό να μην είναι πάντα ρεαλιστικό σενάριο. Επιπλέον, ο IRR ενδέχεται να μην είναι κατάλληλο για επενδύσεις με μη συμβατικές ταμειακές ροές ή αμοιβαία αποκλειόμενα έργα και για αυτό το λόγο προτείνεται να χρησιμοποιείται να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλους δείκτες.



Εικόνα 27 Σχέση Καθαρής Παρούσας Αξίας και Συντελεστή Εσωτερικής Απόδοσης

[Πηγή: Richard Hill, Laurie Hirsch, Peter Lake, Siavash Moshiri, *Guide to Cloud Computing: Principles and Practice*, 2013, Springer]

3.6 Απόδοση Επενδύσεων – ROI

Ο δείκτης Απόδοσης Επενδύσεων ROI (Return on Investment) δηλώνει το κέρδος που προκύπτει από μια επένδυση συγκριτικά με το κόστος επένδυσης και υπολογίζεται με τον

$$ROI = \frac{(GAIN FROM INVESTMENT - COST OF INVESTMENT)}{COST OF INVESTMENT} \times 100 \quad (3.4) \quad [55].$$

Το Cloud ROI είναι μια μέτρηση που χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η απόδοση της επένδυσης σε cloud computing υπηρεσίες σε σχέση με το κόστος της υπηρεσίας. Συγκεκριμένα, υπολογίζει το καθαρό κέρδος που προκύπτει από τη μείωση των επενδυτικών δαπανών στο hardware, το λογισμικό, τον χώρο αποθήκευσης και τη συντήρηση, από τη χρήση cloud υπηρεσιών.

Στην περίπτωση μετάβασης ενός τηλεπικοινωνιακού παρόχου σε μια cloud υποδομή η προσέγγιση του ROI γίνεται περισσότερο με βάση την αξία παρά με το κέρδος, δηλαδή δίνεται έμφαση σε στοιχεία που δεν είναι άμεσα οικονομικά μετρήσιμα μεγέθη όπως η ανταγωνιστικότητα μιας εταιρείας και η ευελιξία των υποδομών. Έτσι η φόρμουλα για τον υπολογισμό του Cloud ROI διαμορφώνεται με τον ακόλουθο τρόπο.

$$Cloud ROI = \frac{(FINAL CLOUD VALUE OF INVESTMENT - INITIAL VALUE OF INVESTMENT)}{COST OF INVESTMENT} \times 100 \quad (3.5) \quad [55]$$

Όπως φαίνεται από τον υπολογισμό του Cloud ROI εισάγεται η έννοια της αξίας δικτύων νέφους cloud value που αντικαθιστά την έννοια του τελικού κέρδους και είναι συνισταμένη τεσσάρων κατηγοριών:

1. Ευελιξία

Η ευελιξία αναφέρεται στην ικανότητα ταχείας προσαρμογής και παροχής οικονομικής αποδοτικότητας στις αλλαγές του επιχειρηματικού περιβάλλοντος. Το cloud computing επιτρέπει στις εταιρείες να μειώσουν σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για τη συντήρηση και επέκταση της τηλεπικοινωνιακής υποδομής και αυτό επιταχύνει την παράδοση έργων για την αύξηση των εσόδων ή τη μείωση του κόστους.

2. Παραγωγικότητα

Οι οργανισμοί μπορούν να επιταχύνουν ή να μειώσουν τις δραστηριότητές τους για να υποστηρίξουν τους επιχειρηματικούς τους στόχους, όπως η ταχύτερη δημιουργία νέων υπηρεσιών στην αγορά για κάλυψη πελατειακών αναγκών.

3. Ποιότητα

Η cloud υποδομή μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα των υπηρεσιών διότι υπάρχει δυνατότητα αυτοματοποιημένων διαδικασιών τόσο στην ανάπτυξη όσο και στην επαναφορά του συστήματος. Εάν σε οποιοδήποτε σημείο η ανάπτυξη ή αναβάθμιση αποτύχει υπάρχουν μηχανισμοί ομαλής και γρήγορης αναίρεσης, με αποτέλεσμα να μπορούν να δοκιμαστούν αλλαγές στο live περιβάλλον χωρίς αισθητές επιπτώσεις στους τελικούς χρήστες.

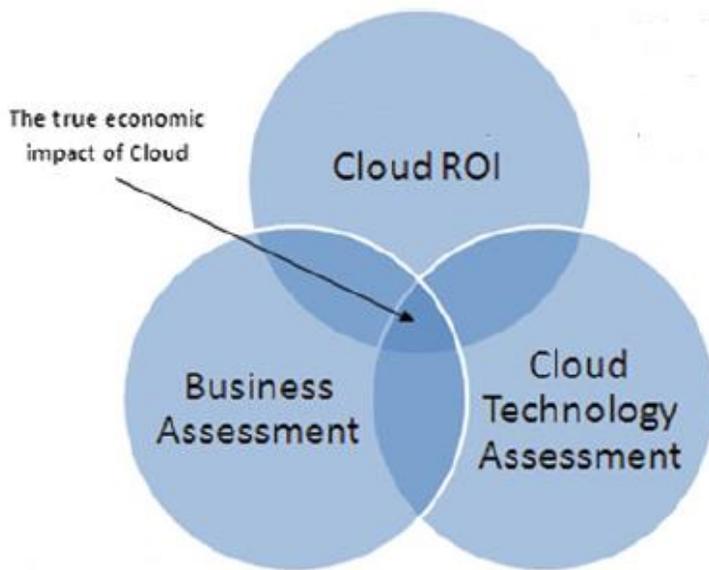
4. Μειωμένα κόστη

Με τη χρήση cloud, ένας πάροχος τηλεπικοινωνιών μπορεί να αποφύγει το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης του δικού του υλικού και λογισμικού σε κάποιο βαθμό, καθώς όλα αυτά τα καθήκοντα αναλαμβάνονται από τους παρόχους cloud. Επιπλέον, η επιχείρηση μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την κλιμάκωση της χρησιμοποιώντας περισσότερους ή λιγότερους πόρους cloud, ανάλογα με τις ανάγκες της.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η ευελιξία, η παραγωγικότητα και η ποιότητα είναι ποιοτικές κατηγορίες, γεγονός που καθιστά δύσκολο για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να τις μεταφράσουν σε αριθμητικούς όρους. Για το λόγο αυτό, η Απόδοση Επενδύσεων λειτουργεί συμπληρωματικά με άλλους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό του κόστους-οφέλους του υπολογιστικού νέφους.

3.6.1 Αξιολόγηση Cloud Τεχνολογίας

Η Αξιολόγηση Επιχειρηματικής Δραστηριότητας και η Αξιολόγηση Cloud Τεχνολογίας λειτουργούν συνεπικουρικά με Απόδοση Επενδύσεων ώστε να παρουσιαστεί μια ολοκληρωμένη πρόταση για το έργο μετάβασης στο Cloud και να γίνει κατανοητός ο οικονομικός αντίκτυπος της μετάβασης σε cloud υποδομή.



Εικόνα 28 Παράγοντες για υπολογισμό κόστος-οφέλους μετάβασης στο cloud

[Πηγή: Richard Hill, Laurie Hirsch, Peter Lake, Siavash Moshiri, *Guide to Cloud Computing: Principles and Practice*, 2013, Springer]

Η Αξιολόγηση Cloud τεχνολογίας για έναν φορέα τηλεπικοινωνιών περιλαμβάνει την αξιολόγηση της καταλληλότητας, της ετοιμότητας και των πιθανών οφελών των λύσεων cloud computing για την υποδομή δικτύου, τις υπηρεσίες και τις λειτουργίες του φορέα. Επιτρέπει στον τηλεπικοινωνιακό πάροχο να αξιολογήσει τα πιθανά οφέλη και τους κινδύνους και να αναπτύξει μια στρατηγική για τη μετάβαση στο cloud, διασφαλίζοντας παράλληλα την αξιοπιστία του δικτύου, την ασφάλεια και τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις.

Η αξιολόγηση Cloud Τεχνολογίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία ^[53].

1. Στρατηγικός προσανατολισμός: αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο το cloud εισέρχεται στο σύνολο της επιχείρησης, όπως η αρχιτεκτονική του συστήματος πληροφοριών και η ανάγκη προσαρμογής και μετάβασης σε νέα αρχιτεκτονική

2. Τεχνολογική αβεβαιότητα: αξιολόγηση των πιθανών περίπλοκων καταστάσεων και των απρόβλεπτων αλλαγών από τη μετάβαση σε μια cloud υποδομή
3. Κίνδυνος cloud υποδομής: αξιολόγηση των εξαρτήσεων από νέες ή μη δοκιμασμένες τεχνολογίες, μεθοδολογίες και δυνατότητες

3.6.2 Αξιολόγηση Επιχειρηματικής Δραστηριότητας

Η Αξιολόγηση Επιχειρηματικής Δραστηριότητας είναι η διαδικασία αξιολόγησης της τρέχουσας κατάστασης μιας επιχείρησης για τον εντοπισμό δυνατών σημείων, αδυναμιών, ευκαιριών και απειλών. Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη ανάλυση των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση μιας εταιρείας και την ικανότητά της να επιτύχει τους στόχους της. Συνήθως περιλαμβάνει μια διεξοδική ανασκόπηση των λειτουργιών μιας επιχείρησης, των οικονομικών επιδόσεων, της οργανωτικής δομής και της θέσης της στην αγορά και τον ανταγωνισμό.

Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει μια αξιολόγηση της κουλτούρας, της ηγεσίας και του εργατικού δυναμικού της εταιρείας για τον εντοπισμό τομέων βελτίωσης. Ο πρωταρχικός σκοπός μιας Αξιολόγησης Επιχειρηματικής Δραστηριότητας είναι να παρέχει πληροφορίες και συστάσεις για να βοηθήσει την εταιρεία να λάβει τεκμηριωμένες αποφάσεις και να αναπτύξει στρατηγικές που θα της επιτρέψουν να επιτύχει τους στόχους της. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό κινδύνου και πιθανών τομέων ανάπτυξης για την εταιρεία.

Για τον ψηφιακό εκσυγχρονισμό των τηλεπικοινωνιακών παρόχων η Αξιολόγηση Επιχειρηματικής Δραστηριότητας καταγράφει τα ακόλουθα στοιχεία: ^[53]

- Στρατηγική αντιστοιχία: ταίριασμα των επιχειρησιακών στόχων και της επένδυσης σε cloud υποδομή
- Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα: αξιολόγηση του βαθμού ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος που κερδίζεται και διατηρείται με την υιοθέτηση μιας νέας τεχνολογίας
- Διαχείριση πληροφοριών: αξιολόγηση δεδομένων στην αλυσίδα αξίας (σειρά συνδεδεμένων διαδικασιών) για την αποτελεσματικότερη διαχείριση αναγκών
- Κίνδυνος έργου και οργάνωσης: αξιολόγηση των απαιτούμενων ικανοτήτων, της υποδομής και του βαθμού της απαιτούμενης επιχειρηματικής αλλαγής για την υιοθέτηση της cloud υποδομής

- Ανταγωνιστικός αντίκτυπος: αξιολόγηση του βαθμού κινδύνου και του κόστους ευκαιρίας σε περίπτωση που δεν υλοποιηθεί η επιλογή υπολογιστικού νέφους

3.6.3 Περίοδος Αποπληρωμής

Η περίοδος αποπληρωμής αναφέρεται στη χρονική περίοδο που αναμένουμε να ανακτήσουμε την αρχική επένδυση στο cloud. Η συντομότερη περίοδος αποπληρωμής είναι πιο επιθυμητή, καθώς μειώνει τον κίνδυνο μακροπρόθεσμων πληρωμών. Αν και μια δημοφιλής μέθοδος αξιολόγησης επενδύσεων, η περίοδος αποπληρωμής χαρακτηρίζεται μόνο ως πρώτη τεχνική ελέγχου για την αρχική αξιολόγηση ενός έργου. Για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους η περίοδος αποπληρωμής για την μετάβαση σε cloud τεχνολογία μπορεί να οργανωθεί σε πέντε βασικούς τομείς:

1. Υλικό
2. Λογισμικό
3. Αυτοματοποίηση
4. Παραγωγικότητα
5. Διαχείριση Συστήματος

Περίοδος Αποπληρωμής Υλικού (Hardware Payback)

Υπάρχουν δύο κύριοι τομείς αποπληρωμής υλικού. Ο πρώτος είναι η μείωση των φυσικών server. Η μείωση των server επιτυγχάνεται με τη μετάβαση πολλών υπηρεσιών που λειτουργούσαν σε διαφορετικά μηχανήματα σε ένα ενιαίο. Ο δεύτερος τομέας αποτελείται από το κόστος ενέργειας και εγκαταστάσεων. Δεδομένου ότι απαιτούνται λιγότεροι διακομιστές, το κόστος απόσβεσης μπορεί να μειωθεί. Εάν υπάρχουν λιγότεροι διακομιστές που χρησιμοποιούν ενέργεια και απαιτούν χώρο, αυτό μεταφράζεται σε άμεση εξοικονόμηση κατώτατης γραμμής (μείωση λειτουργικών δαπανών). Σύμφωνα με έρευνα της IBM, η τυπική εξοικονόμηση στο συνολικό υλικό, την ενέργεια και τις εγκαταστάσεις μπορεί να κυμαίνεται από 30% έως 70%, με βάση το τρέχον μέγεθος και τις ετήσιες δαπάνες της εταιρείας ^[53].

Περίοδος Αποπληρωμής Λογισμικού (Software Payback)

Οι κύριες αιτίες του αυξημένου κόστους λογισμικού σε ένα περιβάλλον cloud είναι το κόστος του λογισμικού εικονικοποίησης και του λογισμικού διαχείρισης και ελέγχου υπηρεσιών στα

συστήματα αυτά. Κάθε ενοποιημένο σύστημα θα απαιτεί άδεια για λογισμικό εικονικοποίησης και πρόσθετο λογισμικό διαχείρισης υπηρεσιών. Το κόστος αυτό αντισταθμίζεται εν μέρει από τη μείωση του αριθμού των αδειών λειτουργικού συστήματος λόγω της μείωσης του αριθμού των server ως αποτέλεσμα ενοποίησης.

Περίοδος Αποπληρωμής Αυτοματοποίησης (Automated Provisioning Payback)

Το αυτόματο provisioning παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας εργασιών χωρίς τη χρονοβόρα και επιρρεπή σε σφάλματα χειροκίνητη διαδικασία που χρησιμοποιείται σε μη αυτοματοποιημένα περιβάλλοντα. Η υιοθέτηση cloud τεχνολογίας και εικονικοποίησης επιτρέπει τη διαδικασία δημιουργίας πανομοιότυπων αντιγράφων εικονικών μηχανών ή άλλων πόρων cloud. Αυτή η χρήση της «κλωνοποίησης» μειώνει δραματικά το χρόνο συντήρησης, αναβάθμισης, διαγραφής και δημιουργίας στην υποδομή. Πρόκειται ουσιαστικά για τον χρόνο που εξοικονομείται κατά την ανάπτυξη νέων συστημάτων και μεταφράζεται σε μεγάλη εξοικονόμηση κόστους.

Περίοδος Αποπληρωμής Παραγωγικότητας (Productivity Payback)

Αποτέλεσμα των αυτοματοποιημένων διαδικασιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι η αύξηση της παραγωγικότητας. Η χρήση αυτοματισμού οδηγεί στη μείωση του χρόνου αδράνειας ανά έργο επιτυγχάνοντας σημαντική εξοικονόμηση. Η επιτάχυνση της ολοκλήρωσης των εργασιών έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ευελιξία ενός οργανισμού τηλεπικοινωνιών να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της επιχείρησης και να ξεκινήσει νέες υπηρεσίες γρηγορότερα. Αυτό μειώνει το χρόνο διάθεσης στην αγορά και τροφοδοτεί περισσότερη καινοτομία για τη δημιουργία εσόδων.

Περίοδος Αποπληρωμής Διαχείρισης Συστήματος (System Administration Payback)

Καθώς υλοποιείται ένα περιβάλλον cloud, το υλικό ενοποιείται και τα συστήματα εικονικοποιούνται για εξοικονόμηση χρημάτων. Ωστόσο, ένας τομέας που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για να διασφαλιστεί ότι το κόστος δεν αυξάνεται πραγματικά είναι ο τομέας της διαχείρισης του συστήματος. Σε ένα περιβάλλον cloud υπάρχουν λιγότεροι φυσικοί servers, αλλά ο αριθμός των εικονικών αυξάνεται, η διαχείριση των οποίων είναι πιο περίπλοκη και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος διαχείρισης OS.

Συνοψίζοντας, για να προσδιοριστεί τόσο η απόσβεση όσο και η απόδοση επένδυσης στο cloud , το πρώτο βήμα είναι να οργανωθούν τα δεδομένα της τρέχουσας κατάστασης. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες μετρήσεις ανά κατηγορία που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Μετρήσεις Υλικού

- Αριθμός υπαρχόντων φυσικών server
- Μέση συνολική τιμή αγοράς ανά server
- Ποσοστό μέσης χρήσης υλικού

Μετρήσεις Λογισμικού

- Αριθμός υπαρχουσών αδειών χρήσης μη ελεύθερου λειτουργικού συστήματος
- Αριθμός υπαρχουσών αδειών χρήσης λογισμικού εικονικοποίησης
- Ετήσιο κόστος άδειας χρήσης λογισμικού εικονικοποίησης ανά φυσικό server
- Κόστος μη ελεύθερου λειτουργικού συστήματος
- Ετήσια συντήρηση άδειας χρήσης ανά φυσικό server

Μετρήσεις Αυτοματισμού

- Κόστος παροχής λογισμικού αυτοματισμού
- Χρόνος εκτέλεσης εργασίας χωρίς αυτοματισμό
- Χρόνος εκτέλεσης εργασίας με αυτοματισμό

Μετρήσεις Παραγωγικότητας

- Αριθμός project ανά χρόνο
- Χρόνος αδράνειας σε project με χρήση εργαλείων αυτοματισμού
- Χρόνος αδράνειας σε project χωρίς τη χρήση εργαλείων αυτοματισμού

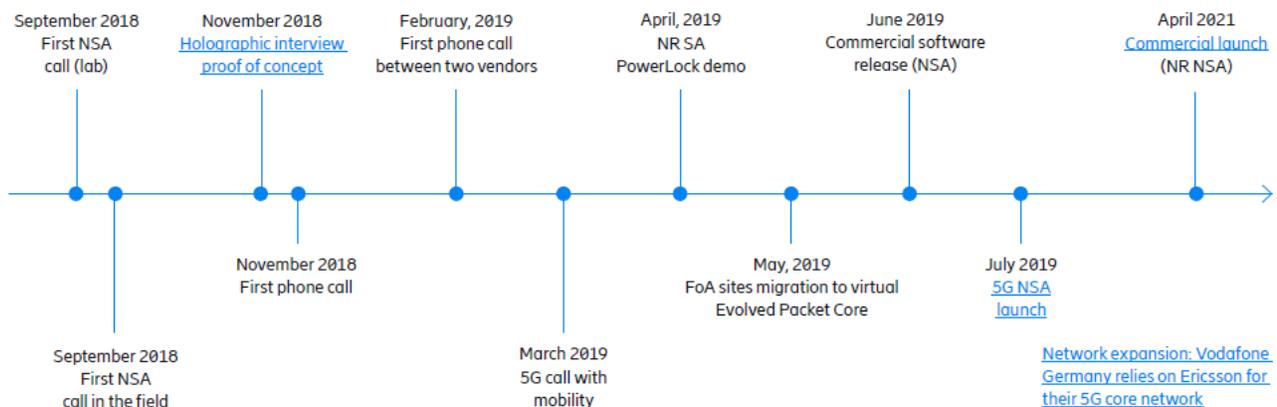
Μετρήσεις Διαχείρισης Συστήματος

- Αριθμός υπαρχόντων φυσικών server
- Αριθμός ενεργών OS οντοτήτων
- Ετήσιο κόστος ανά διαχειριστή συστήματος
- Αύξηση της παραγωγικότητας της διαχείρισης λόγω του μετασχηματισμού του cloud

Κεφάλαιο 4: Περίπτωση Μελέτης

4.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή θα μελετηθεί ως περίπτωση μελέτης η υιοθέτηση του 5G δικτύου κορμού από τη Vodafone Γερμανίας σε συνεργασία με την Ericsson και τη VMware. Τον Απρίλιο του 2021, η Vodafone Γερμανίας έγινε ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός πάροχος που ξεκίνησε το αυτόνομο (standalone-SA) 5G δίκτυο στην Ευρώπη. Σε αντίθεση με τις περιορισμένες δυνατότητες του μη αυτόνομου δικτύου 5G (NSA), η εφαρμογή του cloud native dual mode 5G Core της Ericsson έχει φέρει μαζί του πληθώρα νέων ευκαιριών και περιπτώσεων χρήσης.



Εικόνα 29 Ορόσημα συνεργασίας μεταξύ Vodafone και Ericsson

[Πηγή: *Shaping Germany's 5G future: Vodafone's deployment of Europe's first 5G standalone core network, Ericsson σε συνεργασία με Vodafone*]

Πριν από την έναρξη της 5G SA δίκτυο κορμού, η Vodafone Γερμανίας είχε ήδη ξεκινήσει το πρώτο δίκτυο NSA 5G της Γερμανίας με το Ericsson 5G Evolved Packet Core (EPC). Το EPC αναφέρεται σε ένα κομμάτι της κινητής τηλεπικοινωνιακής αρχιτεκτονικής που χρησιμοποιείται στα δίκτυα 4G LTE (Long-Term Evolution) και 5G. Είναι ένα σύνολο λογισμικού και εξοπλισμού που αναλαμβάνει να διαχειριστεί τη μεταφορά δεδομένων σε αυτά τα δίκτυα. Ενώ αυτό από μόνο του ήταν μια σημαντική αναβάθμιση του δικτύου βασίζεται στην υπάρχουσα υποδομή LTE πράγμα που σημαίνει ότι οι πελάτες δεν είναι σε θέση να εκμεταλλευτούν πλήρως τις προηγμένες δυνατότητες 5G, όπως η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση.

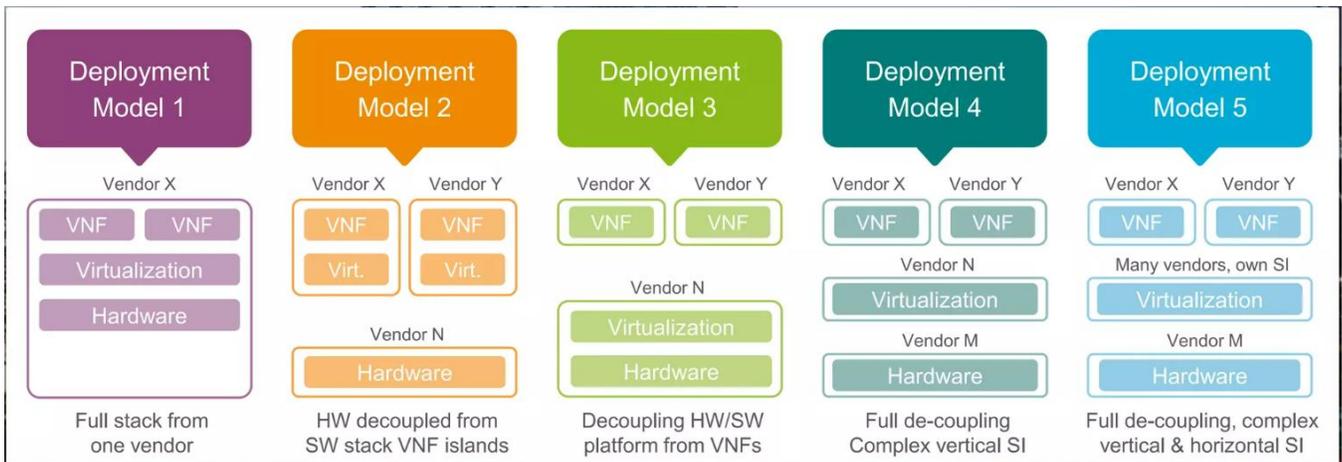
Στις 12 Απριλίου 2021, οι τεχνικοί της Vodafone Γερμανίας άλλαξαν όλους τους κινητούς ραδιοφωνικούς σταθμούς βάσης στην περιοχή 3,5GHz σε 5G, συνδέοντάς τους σε ένα ανεξάρτητο δίκτυο κορμού 5G. Με αυτόν τον τρόπο, μαζί με την Ericsson, ξεκίνησαν το πρώτο

δίκτυο 5G SA στην Ευρώπη. Με την εισαγωγή του Ericsson 5G Core στο δίκτυο, η Vodafone είναι πλέον σε θέση να προσφέρει συνδεσιμότητα από άκρο σε άκρο, την οποία διαχειρίζεται εξ ολοκλήρου η υποδομή 5G, χωρίς να χρειάζεται να τοποθετήσει το 4G στη μέση. Το νέο σύστημα εγκαταστάθηκε στο κέντρο δεδομένων της Vodafone στην Φρανκφούρτη με χιλιάδες κεραιές σε περισσότερες από 300 τοποθεσίες που υποστηρίζουν ήδη την 5G SA. Βασικές αρχιτεκτονικές και εργαλεία cloud που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση είναι τα παρακάτω:

- Αρχιτεκτονική NFVI της Ericsson
- Αρχιτεκτονική Cloud Infrastructure της Ericsson
- Προϊόν/Αρχιτεκτονική Cloud Native Dual Mode 5G Core της Ericsson
- Πλατφόρμα VMware Telco Cloud της VMware

4.2 Ericsson NFVI και Cloud Infrastructure

Η λύση NFVI (Network Function Virtualization Infrastructure) αποτελεί ένα βασικό συστατικό της cloud υποδομής που προσφέρει η Ericsson και επιτρέπει στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους να αναπτύξουν λειτουργίες εικονικού δικτύου VNF ή cloud λειτουργίες CNF (Cloud Network Function) από πολλούς προμηθευτές διατηρώντας παράλληλα το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας χαμηλό. Οι υλοποιήσεις μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας υλικό Ericsson ή επιλογές τρίτων προμηθευτών.



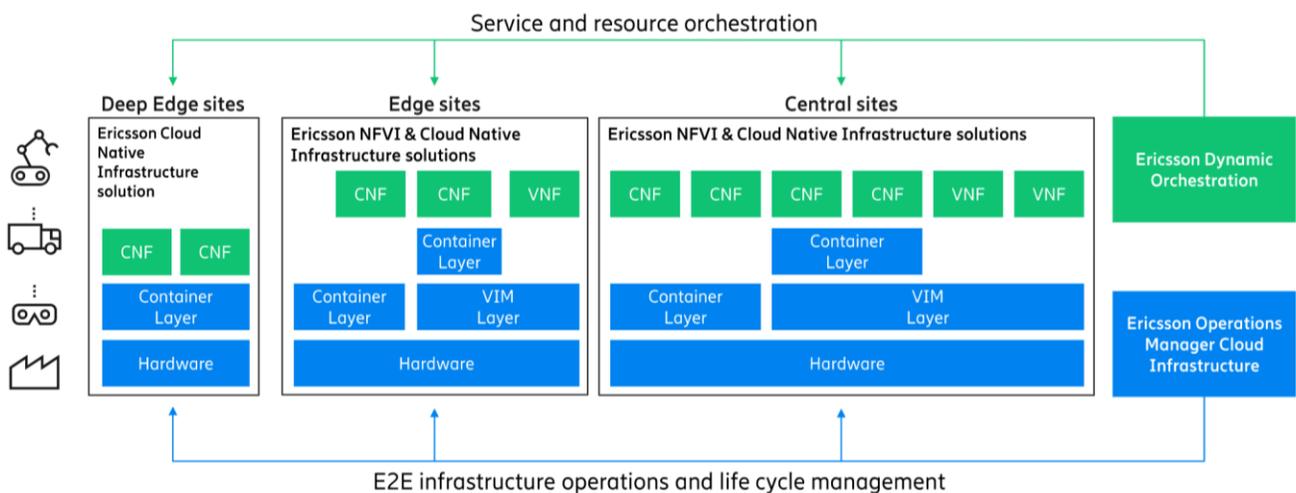
Εικόνα 30 Μοντέλα ανάπτυξης NFVI

[Πηγή: sdxcentral.com/articles/news/ericsson-offers-nfvi-platform-modular-components/2016/]

Πρόκειται για μια λύση στην οποία ο πάροχος της αρχιτεκτονικής (Ericsson) αναλαμβάνει την πλήρη ευθύνη διαχείρισης του κύκλου ζωής, συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων υλικού και λογισμικού, απλοποιώντας σημαντικά την ανάπτυξη, τις λειτουργίες και τις αναβαθμίσεις.

Μέχρι πρόσφατα, οι εφαρμογές τηλεπικοινωνιών διαχειρίζονταν εικονικές μηχανές και αναπτύσσονταν σε λύσεις υποδομής cloud. Τώρα τα container έχουν γίνει δημοφιλή επειδή παρέχουν μια ελαφρύτερη και αποτελεσματικότερη εναλλακτική λύση. Το Ericsson Cloud Container Distribution είναι προσθήκη στο NFVI και διαχειρίζεται όλες τις εφαρμογές container που αναπτύσσονται στα προϊόντα της Ericsson. Η λύση βασίζεται στο Kubernetes, την πλατφόρμα ενορχήστρωσης container ανοιχτού κώδικα και δίνει τη δυνατότητα προσθήκης στοιχείων για τη διαχείριση της δικτύωσης, της αποθήκευσης και της παρακολούθησης.

Η cloud native τεχνολογία και το edge computing αποτελούν σημαντικά συστατικά για την υποδομή cloud στο 5G που προτείνει η Ericsson ως κατασκευαστής. Ένας πολύ αποδοτικός τρόπος να υποστηριχθούν οι cloud native υπηρεσίες είναι η χρήση Kubernetes σε φυσικούς servers (Kubernetes over bare metal), μια απλοποιημένη cloud υποδομή που προσφέρει εξοικονόμηση 28% στο TCO σε σύγκριση με την εικονικά διαμορφωμένη NFVI υποδομή [61]. Η Ericsson έχει εισάγει επιπλέον μια cloud υποδομή με φυσικούς servers που ονομάζεται Ericsson Cloud Native Infrastructure Solution (CNIS) και περιλαμβάνει και αυτή το στοιχείο Ericsson Cloud Container Distribution.



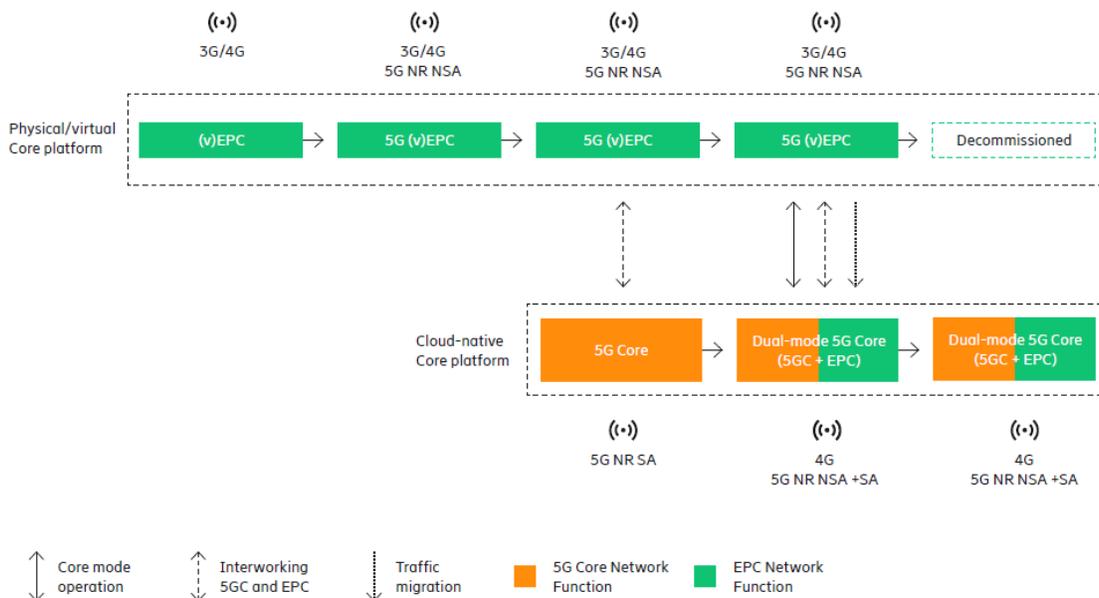
Εικόνα 31 Παράλληλη λειτουργία NFVI και CNIS

[Πηγή: ericsson.com/en/cloud-infrastructure]

Αν και η CNIS είναι το επόμενο βήμα σαν τεχνολογία από την NFVI ως προς την αποτελεσματικότητα στην τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι λειτουργίες εικονικού δικτύου θα υπάρχουν για τα επόμενα χρόνια και θα συνεχίσουν να λειτουργούν παράλληλα όπως γίνεται και στο δίκτυο κορμού της Vodafone Γερμανίας. Όπως γίνεται αντιληπτό, τόσο η NFVI λύση όσο και η CNIS βασίζονται σε OpenStack πλατφόρμα και σε CaaS (Container as a Service) μοντέλο υπηρεσίας όπως φαίνεται και στην Εικόνα 31.

4.3 Ανάπτυξη 5GC της Vodafone Γερμανίας

Μια προτεινόμενη λύση εκσυγχρονισμού του δικτύου κορμού της Vodafone Γερμανίας για τη μετάβαση της από το 4G στο 5G και την εκμετάλλευση της cloud native τεχνολογίας είναι η πρόταση της Cloud Native dual mode 5G Core δομής.



Εικόνα 32 Μετάβαση στη νέα δομή Cloud Native 5GC της Vodafone Γερμανίας

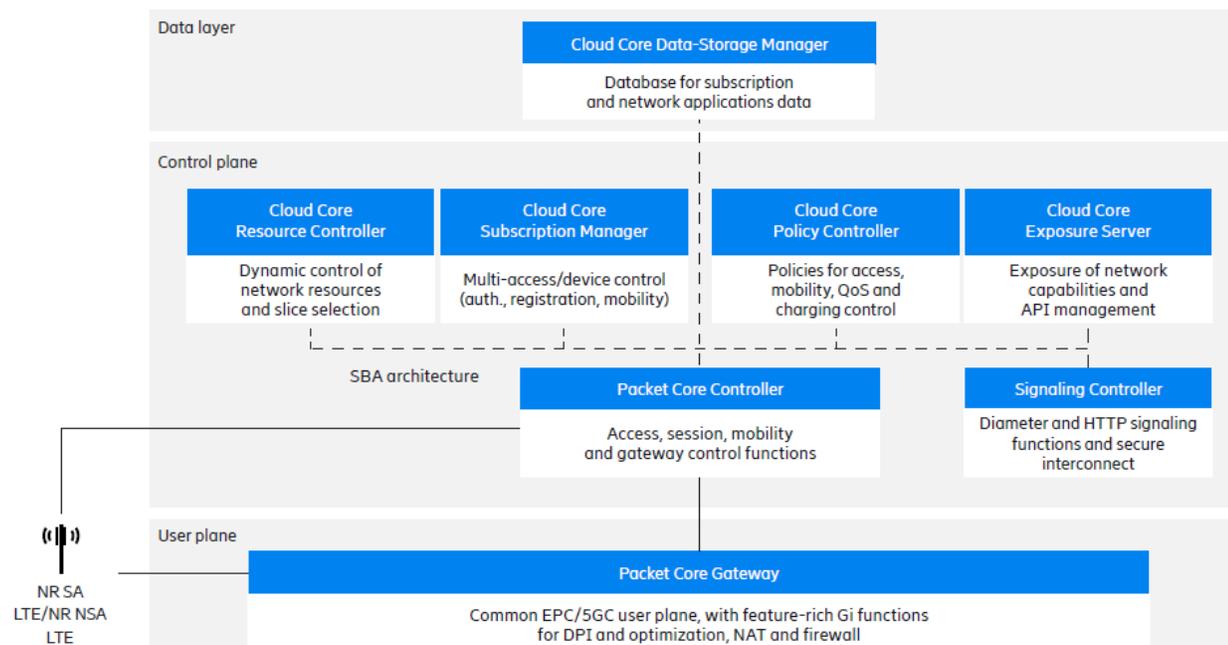
Πηγή: *Shaping Germany's 5G future: Vodafone's deployment of Europe's first 5G standalone core network, Ericsson σε συνεργασία με Vodafone*

Καθώς το 5G κερδίζει έδαφος, τα νέα δίκτυα θα συνυπάρχουν με τα υπάρχοντα 4G δίκτυα τα επόμενα χρόνια. Για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους, η ευελιξία στην εξισορρόπηση βελτιστοποιημένου κόστους έναντι βελτιστοποιημένης απόδοσης ανάπτυξης δικτύου είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της κερδοφορίας και την αξιοποίηση επιχειρηματικών ευκαιριών. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να έχουν την επιλογή μιας χρονικά ομαλής μετάβασης στο

5G και σε ευθυγράμμιση με τις επιχειρηματικές τους ανάγκες, διότι κάθε απότομη αλλαγή επηρεάζει την live συνδρομητική κίνηση και το QoS των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Το Cloud Native dual mode 5G Core δίκτυο κορμού παρέχει αυτό το είδος του επιθυμητού ελέγχου συνδυάζοντας τις λειτουργίες EPC και 5G Core σε μια κοινή cloud native πλατφόρμα.

4.3.1 Χαρακτηριστικά Cloud Native dual mode 5G Core

Η αρχιτεκτονική λύση Ericsson περιλαμβάνει υποστήριξη για 5G (NSA και SA), καθώς και για όλες τις προηγούμενες γενιές δικτύων, σε μια ενιαία πλατφόρμα λογισμικού, ομαδοποιώντας τις λειτουργίες το δικτύου κορμού σε οχτώ προϊόντα, όπως εμφανίζονται στην Εικόνα 33. Αυτό επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση microservices από διαφορετικές λειτουργίες δικτύου, υψηλότερη αποτελεσματικότητα κατά τη χρήση των πόρων υποδομής cloud και μεγαλύτερη ευελιξία για τη διαχείριση αλλαγών στην σταδιακή μετάβαση από το 4G σε 5G δίκτυο. Η αρχιτεκτονική λύση μπορεί να υλοποιηθεί πάνω στις δομές Ericsson NFVI και Ericsson Cloud Infrastructure, αλλά και σε μοντέλα CaaS εγκεκριμένων συνεργατών.



Εικόνα 33 Cloud Native 5GC

[Πηγή: One core – the best of two worlds: Ericsson’s dual-mode 5G Core solution, Ericsson]

Συνοπτικά, τα στοιχεία της Cloud Native dual mode 5G Core αρχιτεκτονικής είναι τα εξής:

- **Cloud Core Data-Storage Manager**
Πρόκειται για τηλεπικοινωνιακή βάση δεδομένων που σχεδιάστηκε ως cloud native υπηρεσία που βασίζεται σε τεχνολογία container και αποθηκεύει στατικά και δυναμικά δεδομένα (πχ. συνδρομητικά στοιχεία).
- **Cloud Core Resource Controller**
Προσφέρει δυνατότητα αυτοματοποιημένων δικτύων για μείωση του κόστους διαμόρφωσης και συντήρησης δικτύου. Για παράδειγμα, καταργεί την ανάγκη χειροκίνητης διαμόρφωσης δικτύου κάθε φορά που προστίθεται ή αφαιρείται μια νέα δικτυακή λειτουργία από το δίκτυο ή κάθε φορά που ενημερώνεται η χωρητικότητα της λόγω αναβάθμισης ή διαγραφής.
- **Cloud Core Subscription Manager**
Αποτελεί στοιχείο που βοηθά το δίκτυο κορμού να διαχειρίζεται πολλαπλά είδη συνδρομητών μέσω οποιαδήποτε πρόσβασης στο 5G δίκτυο και παρέχει υπηρεσίες ταυτοποίησης και διαχείρισης στοιχείων χρήστη και συσκευής πρόσβασης. Έχει αναπτυχθεί πλήρως με βάση τις αρχές cloud και τεχνολογία microservices πάνω σε VM, container ή φυσικό server.
- **Cloud Core Policy Controller**
Είναι το στοιχείο που διαμορφώνει κανόνες που ελέγχουν τον τρόπο ροής της κυκλοφορίας στο δίκτυο (πχ τιμολόγηση, φραγή προορισμού, απαιτούμενο QoS κλπ.)
- **Cloud Core Exposure Server**
Αξιοποιώντας αυτό, οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν εύκολα να προσφέρουν στους προγραμματιστές εφαρμογών και στις επιχειρήσεις ένα ευρύ σύνολο δυνατοτήτων για τη διαχείριση και τον έλεγχο των επικοινωνιών από και προς τις συνδεδεμένες συσκευές IoT.
- **Packet Core Controller**
Πρόκειται για στοιχείο επεξεργασίας σήματος που παρέχει τις λειτουργίες ελέγχου πρόσβασης και mobility για την υποστήριξη των νέων υπηρεσιών 5G. Έχει αναπτυχθεί με microservices (τα οποία μοιράζεται και με άλλα στοιχεία του 5GC για εξοικονόμηση πόρων) πάνω σε containers.

- Signaling Controller
Αποτελεί στοιχείο που διαχειρίζεται την υπερφόρτωση κίνησης και αναπτύχθηκε με αλγορίθμους για την αυτόματη αντιμετώπιση των peak της κίνησης.
- Packet Core Gateway
Πύλη στο δίκτυο κορμού για την επεξεργασία σήματος.

Πρόκειται για μια αρχιτεκτονική πρόταση που υιοθέτησε η Vodafone Γερμανίας διότι προσαρμόζεται εύκολα στον εκσυγχρονισμό δικτύων που σταδιακά γίνεται σε όλους τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. Βασικό μέλημα του κατασκευαστή είναι η προστασία επένδυσης του παρόχου και για το λόγο αυτό η λύση προσφέρει την πλήρη ενσωμάτωση νέων cloud, εικονικοποιημένων και φυσικών δικτυακών λειτουργιών. Έτσι υπάρχει συνεργασία δικτύων παλαιού και νέου τύπου ώστε να προσφέρεται η δυνατότητα πολλών επιλογών σταδιακής μετάβασης στο cloud χωρίς διακοπή υπηρεσίας.

4.3.2 VM Telco Cloud

Η Ericsson και η VMware δημιούργησαν μια συνεργασία το 2019 με πρωταρχικό στόχο να βοηθήσουν τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους να κατακτήσουν με επιτυχία τις προκλήσεις της σημαντικής μετάβασης σε cloud τεχνολογίες. Η αρχιτεκτονική λύση Ericsson dual mode 5GC της Vodafone εκτελείται με την εργαλεία VM Telco Cloud της VMware.

VMware Telco Cloud Platform

Η πλατφόρμα VMware Telco Cloud βοηθά να αναπτυχθούν cloud και εικονικοποιημένες λειτουργίες (CNFs και VNFs) στο ίδιο περιβάλλον με αποτέλεσμα να καθιστά εύκολη την ενσωμάτωση και την παροχή υπηρεσιών επόμενης γενιάς και κατέχει ηγετική θέση σε νέες αγορές και επιχειρηματικά μοντέλα. Βασικά πλεονεκτήματα με τη χρήση της πλατφόρμας από τους συνεργάτες της VMware είναι τα παρακάτω ^[60]:

- 40% βελτίωση του χρόνου σχεδιασμού, κατασκευής, δοκιμής και ανάπτυξης υπηρεσιών
- 50% εξοικονόμηση κόστους για την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών
- Σύντομος χρόνος (3 μήνες) ανάπτυξης για νέα ολοκληρωμένη λύση εικονικών υπηρεσιών

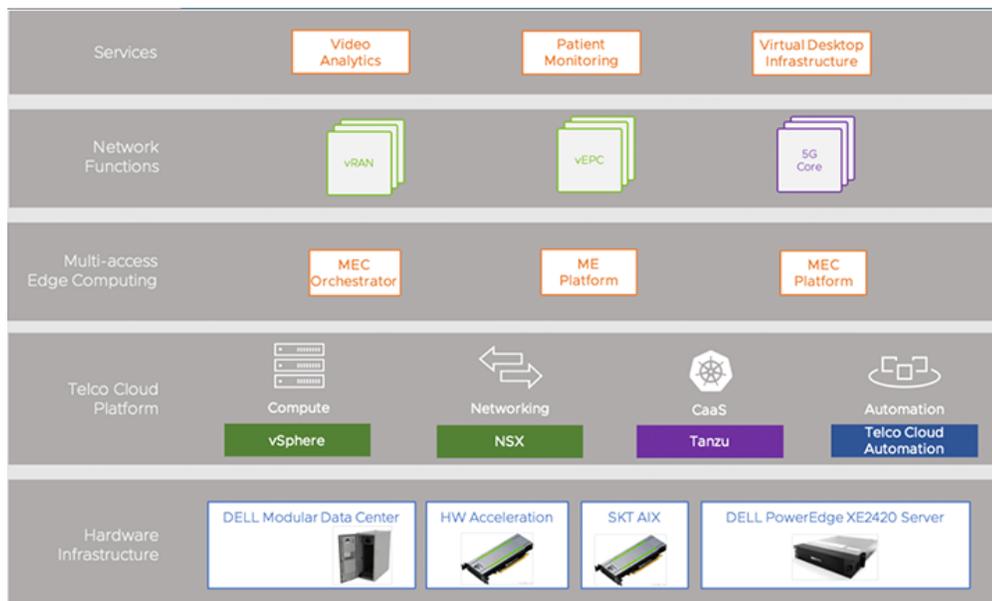
Η τελευταία έκδοση του, VMware Telco Cloud Platform 2.5, είναι πλέον επικυρωμένη από τη Vodafone για την εκτέλεση του Cloud Native dual mode 5G Core.

VM Telco Cloud Automation

Το VMware Telco Cloud Automation είναι μια πλατφόρμα αυτοματοποίησης και ενορχήστρωσης που επιταχύνει την ανάπτυξη υπηρεσιών, ενώ παράλληλα προσφέρει ενοποιημένη διαχείριση πολλαπλών cloud υποδομών (τμήματα και υπηρεσίες δικτύου και CaaS υποδομή). Προσφέρει:

- 15% βελτίωση στη διαχείριση διαμόρφωσης (configuration management) και στο χρόνο ανάπτυξης, επιταχύνοντας το χρόνο διάθεσης στην αγορά για λειτουργίες και υπηρεσίες δικτύου
- 344% απόδοση επένδυσης (ROI) σε διάστημα 5 ετών
- 23% εξοικονόμηση TCO σε διάστημα 5 ετών
- 38% εξοικονόμηση OPEX ^[60]

Η Vodafone μέσω της VM Telco Cloud Automation μπορεί να προσφέρει μια ενιαία πλατφόρμα για την αυτοματοποίηση και την ενορχήστρωση όλων των εργασιών που εκτελούνται στα βασικά της δίκτυα σε όλη την Ευρώπη με έμφαση το 5G SA δίκτυο.



Εικόνα 34 VM Telco Cloud Υπηρεσίες ως προς το σύνολο του δικτύου

[Πηγή: telco.vmware.com/]

VMware Telco Cloud Infrastructure

Η πλατφόρμα Cloud VMware Telco συνδυάζει μια σειρά προϊόντων και υπηρεσιών για να βοηθήσει τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους να εκσυγχρονίσουν και να εικονικοποιήσουν το δίκτυό τους. Προσφέρει μια ολοκληρωμένη SDN υποδομή για τη δημιουργία πολλαπλών cloud

4G υπηρεσιών· ανοίγει το δρόμο προς το cloud native 5G, προστατεύοντας παράλληλα τις τρέχουσες επενδύσεις σε υποδομές.

Βασικά πλεονεκτήματα είναι ^[60]:

- 40% βελτίωση του χρόνου σχεδιασμού, κατασκευής, δοκιμής και ανάπτυξης υπηρεσιών
- 50% ταχύτερος χρόνος διάθεσης στην αγορά πάνω από τις αναπτύξεις παλαιού τύπου

Με το συγκεκριμένο εργαλείο η Vodafone έχει επιλέξει να βοηθήσει στην ολοκλήρωση της ανάπτυξης της εικονικοποίησης του δικτύου σε όλες τις ευρωπαϊκές επιχειρήσεις της και 21 αγορές συνολικά.

4.3.3 Επιλογές Ανάπτυξης του Cloud Native dual-mode 5GC

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του World Economic Forum το 2021^[60]:

1. Το 5G θα δημιουργήσει 13,1 τρισεκατομμύρια δολάρια σε οικονομικές πωλήσεις μέχρι το 2035, υποστηρίζοντας πάνω από 22,8 εκατομμύρια θέσεις εργασίας
2. Περισσότερα από 10 τρισεκατομμύρια δολάρια αξίας από την ψηφιοποίηση στις βασικές βιομηχανίες κατά την επόμενη δεκαετία εξαρτώνται από τη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών
3. Τουλάχιστον το 75% των νέων ιδιωτικών δικτύων το 2022 θα είναι 5G (συγκριτικά με το 31% στο τέλος του 2020)
4. 50 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές IOT αναμένονται μέχρι το 2028
5. 1,1 τρισεκατομμύρια δολάρια εκτιμάται ότι θα είναι το ποσό που θα δαπανήσουν οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας σε CAPEX μεταξύ 2020 και 2025, με περισσότερο από το 75% αυτού να σχετίζεται με το 5G
6. 20–50% προβλέπεται το ποσό που οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών αναμένουν ότι οι δαπάνες για την κυκλοφορία και τις υποδομές του δικτύου θα αυξηθούν

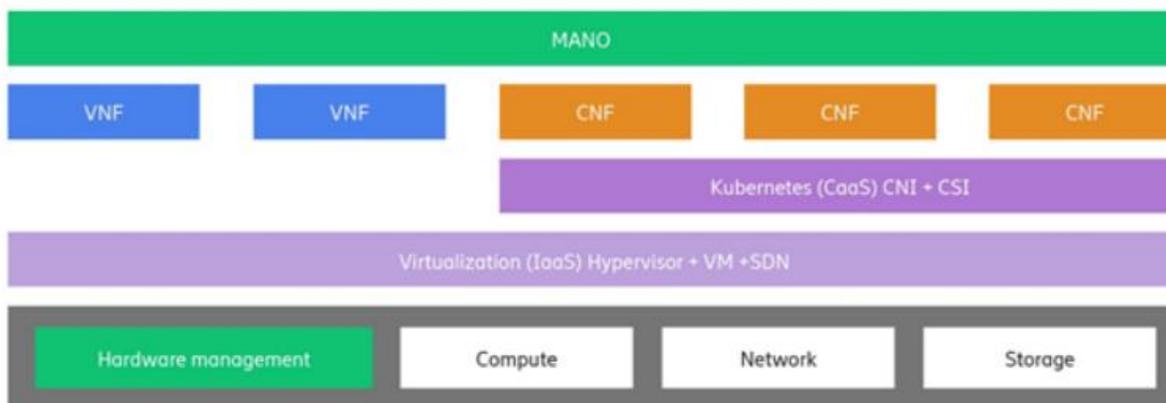
Για να ανταπεξέλθουν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι σε αυτές τις προκλήσεις πρέπει να δημιουργήσουν ένα δίκτυο με μεγαλύτερη ευελιξία και αυτοματοποίηση ώστε να μειώσουν άμεσα και έμμεσα κόστη.

Όπως αναφέρθηκε και σε αυτή την ενότητα η ανάπτυξη της Ericsson Cloud Native dual mode 5G Core αρχιτεκτονικής βασίζεται σε CaaS μοντέλο με σύστημα Kubernetes.

Για την ανάπτυξη του προϊόντος υπάρχουν δύο διαθέσιμες επιλογές:

1. Επιλογή 1

Αν ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος έχει ήδη NFVI υποδομή και έχει υιοθετήσει αρχές εικονικοποίησης και cloud στην αρχιτεκτονική του τότε αρκεί να προσθέσει και μια CaaS πλατφόρμα στην ήδη υπάρχουσα υποδομή. Το Kubernetes θα αναπτυχθεί σε VMs μέσω Openstack σε μοντέλο IaaS.

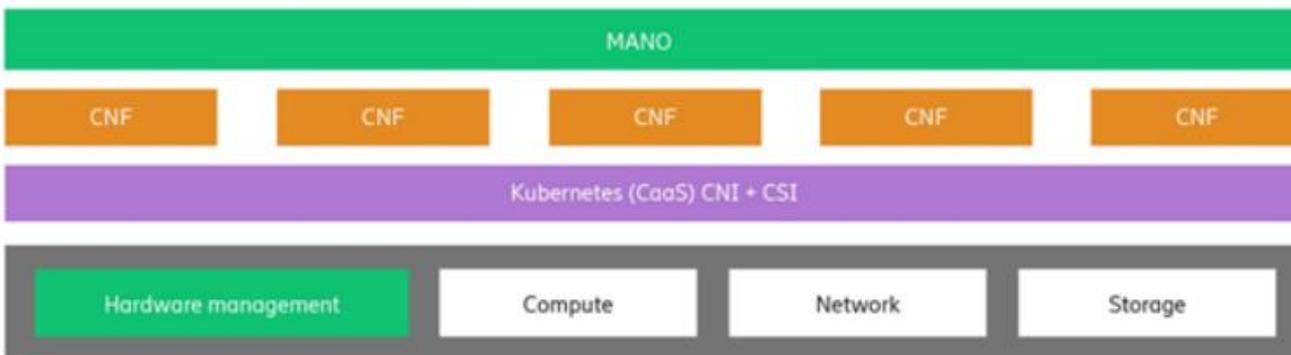


Εικόνα 35 Πρώτη επιλογή ανάπτυξης Ericsson Cloud Native dual mode 5G Core

[Πηγή: ericsson.com/en/blog/2020/10/guide-to-building-cloudnative-infrastructure]

2. Επιλογή 2

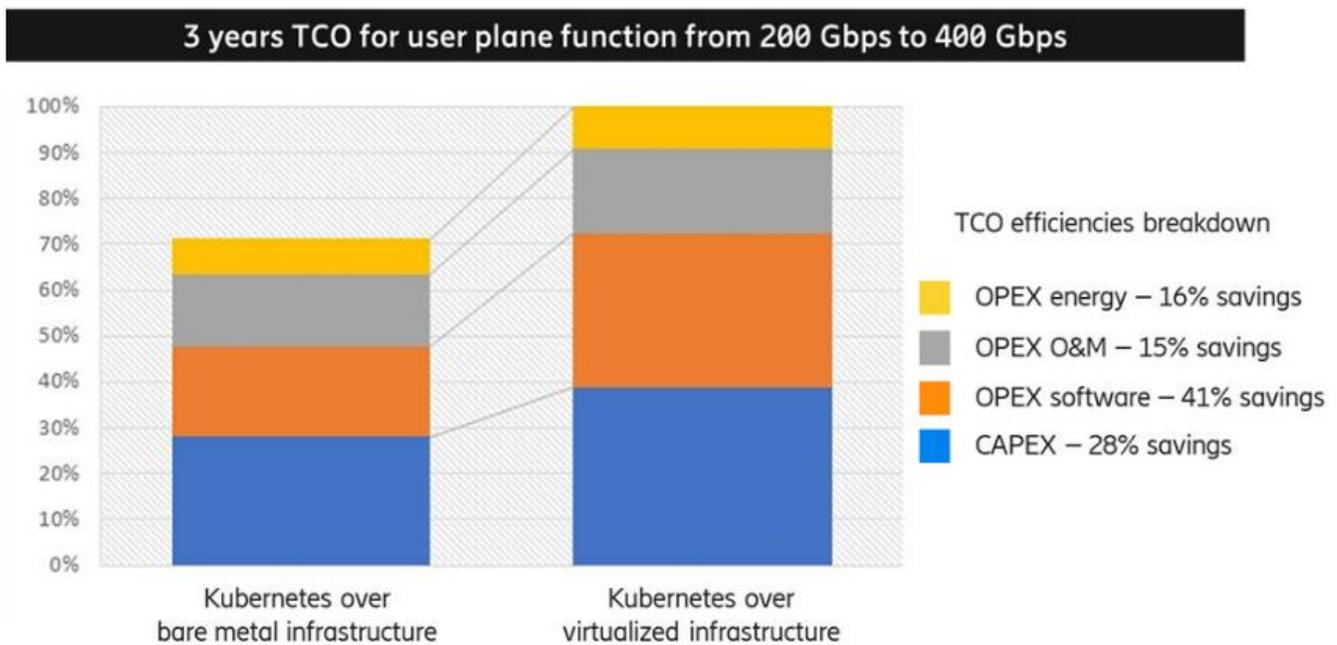
Μια εναλλακτική επιλογή είναι η ανάπτυξη cloud λειτουργιών (CNF) σε μια υποδομή φυσικών server στην οποία η πλατφόρμα CaaS που βασίζεται στο Kubernetes τρέχει απευθείας στο υποκείμενο υλικό. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική είναι πιο απλή, μπορεί να αξιοποιήσει το ήδη υπάρχον υλικό για πλήρη μετάβαση σε cloud υπηρεσίες (χωρίς εικονικοποίηση).



Εικόνα 36 Δεύτερη επιλογή ανάπτυξης Ericsson Cloud Native dual mode 5G Core

[Πηγή: ericsson.com/en/blog/2020/10/guide-to-building-cloudnative-infrastructure]

Εξετάζοντας και τις δύο επιλογές φαίνεται πιο αποδοτική η δεύτερη επιλογή με τη χρήση Kubernetes σε φυσικό server γιατί απαιτείται λιγότερη χωρητικότητα επεξεργασίας σε σύγκριση με την εικονική υποδομή. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς της Ericsson για να αυξηθεί η χωρητικότητα από 200 Gbps σε 400 Gbps σε διάστημα τριών ετών το μοντέλο Kubernetes over bare metal είναι τουλάχιστον 15% πιο αποτελεσματικό ως προς τις υπολογιστικές ανάγκες. Ο σημαντικότερος παράγοντας που συνέβαλε στο πλεονέκτημα TCO για την δεύτερη επιλογή σχετίζεται με το επαναλαμβανόμενο κόστος λογισμικού· δεν υπάρχει στρώμα εικονικοποίησης και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κόστους κατά 41%, λόγω χαμηλότερων δαπανών σε software.

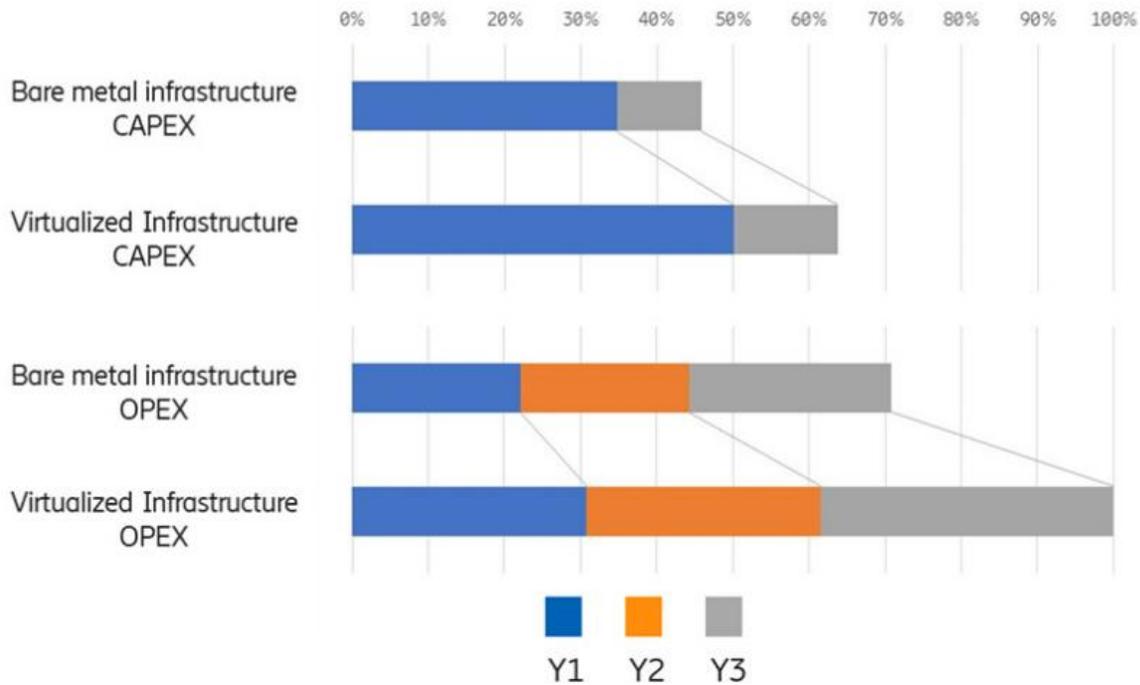


Εικόνα 37 Σύγκριση TCO των δύο επιλογών ανάπτυξης του dual mode 5GC

[Πηγή: ericsson.com/en/blog/2022/6/how-kubernetes-over-bare-metal-infrastructure-improves-tco]

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας δείχνει ότι η ανάπτυξη container σε φυσικούς server προσφέρει το καλύτερο αποτέλεσμα με

- εξοικονομήσεις CAPEX λόγω της χαμηλότερης ανάγκης για υπολογιστική χωρητικότητα
- εξοικονομήσεις OPEX λόγω της απλοποιημένης αρχιτεκτονικής με λιγότερα κόστη συντήρησης υποδομής και λογισμικού



Εικόνα 38 Σύγκριση CAPEX/OPEX των δύο επιλογών ανάπτυξης του dual mode 5G

[Πηγή: ericsson.com/en/blog/2022/6/how-kubernetes-over-bare-metal-infrastructure-improves-tco]

4.4 Τρόπος Κοστολόγησης Εικονικοποιημένου Δικτύου 5G

Στις Ενότητες 4.2 και 4.3 έγινε αναφορά σε προϊόντα της τηλεπικοινωνιακής αγοράς (Ericsson και VMware) και παρουσιάστηκε ο τρόπος εφαρμογής τους από έναν τηλεπικοινωνιακό πάροχο. Στην συγκεκριμένη ενότητα θα αναφερθούμε όχι μόνο σε δίκτυο κορμού αλλά και σε δίκτυο ραδιοπρόσβασης και θα γίνει μια τεχνο-οικονομική ανάλυση κοστολόγησης ενός προτεινόμενου NFV/SDN 5G δικτύου που παρουσιάστηκε το 2016 στο όγδοο Διεθνές Συνέδριο για τα Υπερσύγχρονα Συστήματα Τηλεπικοινωνιών και Ελέγχου από καθηγητές του Πανεπιστημίου Πατρών και του Ινστιτούτου Τεχνολογίας «Διόφαντος».

Βασικά εισαγωγικά στοιχεία της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής που θα ακολουθήσει είναι τα εξής:

- Πρόκειται για SDN δίκτυο και βασίζεται στην εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών.
- Με το διαχωρισμό του επιπέδου ελέγχου από το επίπεδο δεδομένων (SDN) μπορούν να εξαιρεθούν εξαρτήσεις από έναν συγκεκριμένο κατασκευαστή και να μειωθεί το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας.

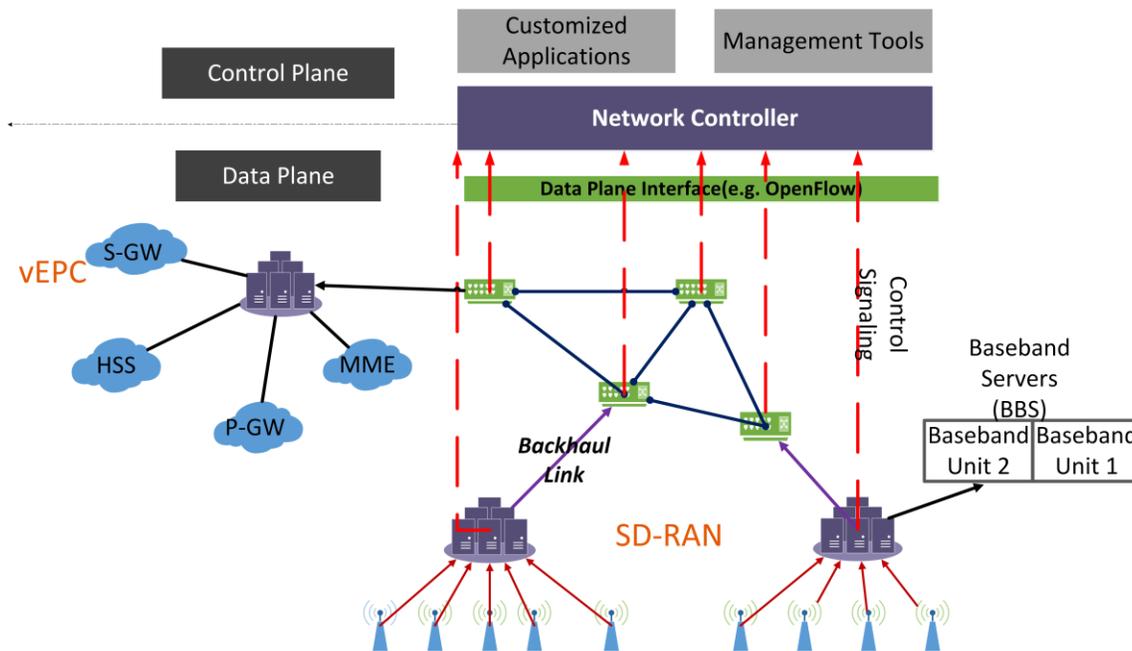
- Οι λειτουργίες δικτύου βασίζονται σε λογισμικό που εκτελείται στους servers (NFV) σε αντίθεση με τα παραδοσιακά δίκτυα που χρειάζονται εξειδικευμένο υλικό. Η εικονικοποίηση δικτύου είναι μια μέθοδος όπου οι φυσικοί πόροι σε ένα δίκτυο χωρίζονται σε τμήματα και κάθε τμήμα είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα. Επιπλέον υποστηρίζεται η εκτέλεση πολλών υπηρεσιών από ένα server.
- Υποστηρίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας OpenFlow για την άμεση πρόσβαση και τον έλεγχο στα φυσικά ή εικονικά switches (υλικό δικτύωσης για μεταφορά πακέτων από και προς τους servers).
- Το vRAN είναι μια αρχιτεκτονική που διαχωρίζει την επεξεργασία σήματος από τα μεμονωμένα συστήματα κεραιών. Η επεξεργασία σήματος εκτελείται σε κέντρο δεδομένων μειώνοντας το κόστος εξοπλισμού.
- Το Cloud RAN εκτελεί λογισμικό SBS (Super Base Station) στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν εικονικοί σταθμοί βάσης (vBS).
- Για την εικονικοποίηση του EPC θα χρησιμοποιηθούν 2 server με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στους Πίνακες 1 και 2.
- Το vEPC αποτελείται από την βάση συνδρομητικών δεδομένων HSS (Home Subscriber Server) και το MME (Mobility Management Entity) υπεύθυνο για τον έλεγχο κινητικότητας και επαλήθευσης των κινητών συσκευών και τη διαχείριση επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών.
- Το vEPC αποτελείται από τα S/P-GW (Signalling/PDN Gateway) στοιχεία υπεύθυνα για τη δρομολόγηση κίνησης και τη διαχείριση πακέτων δεδομένων.
- Θα συγκριθούν δύο περιπτώσεις με παραδοσιακό και Cloud RAN. Και στις δύο περιπτώσεις το δίκτυο πυρήνα είναι εικονικοποιημένο (vEPC).

Πίνακας 1 Υπολογιστικοί Πόροι Server ^[63]

CPU	Μνήμη	Αποθήκευση	Δίκτυο
4 πυρήνες	64 GB	2 TB	4x10GB

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά VM ανά Server ^[63]

VMs	CPU	Μνήμη	Αποθήκευση	Δίκτυο	Επεξεργασία πακέτου
4 VMs	2 πυρήνες/VM	8 GB/VM	250 GB/VM	10 Gbps	1.9 Mbps/VM



Εικόνα 39 Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική SDN/NFV 5G δικτύου

[Πηγή: Christos Bouras, Panagiotis Ntarzanos, Andreas Papazois, Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks, 2016, 8th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)]

4.4.1 Υπολογισμός CAPEX και OPEX

Ανάλυση CAPEX για vEPC

Ο υπολογισμός CAPEX για το vEPC εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

1. C_{place} : Κόστος διαμόρφωσης ή ενοικίασης χώρου για εξοπλισμό
2. $C_{servers}$: Συνολικό κόστος των server
3. $C_{license}$: Κόστος άδειας λογισμικού για HSS, MME, P-GW και S-GW

$$CAPEX(vEPC) = C_{place} + C_{servers} + C_{license} \quad (4.1) \quad [63]$$

Ανάλυση CAPEX παραδοσιακού RAN

Ο υπολογισμός του CAPEX για το παραδοσιακό RAN δίκτυο εξαρτάται από:

1. C_{BS} : Κόστος ανά σταθμό βάσης
2. C_{cs} : Κόστος ανά cell site

3. N_{BS} : Αριθμός σταθμών βάσης

$$CAPEX(RAN) = N_{BS} \times (C_{CS} + C_{BS}) \quad (4.2) \quad [63]$$

Ανάλυση CAPEX του vRAN

Ο υπολογισμός του CAPEX για το εικονικοποιημένο RAN δίκτυο εξαρτάται από:

1. n_{vs} : Αριθμός vBS ανά SBS
2. l_{sbs} : Πυκνότητα χρηστών ανά περιοχή
3. N_{sbs} : Αριθμός SBS ανά περιοχή
4. R_{max} : Μέγιστη ραδιακάλυψη ενός BS
5. C_{cs} : Κόστος ανά cell site ενός SBS
6. C_{sbs} : Συνολικό κόστος SBS

$$N_{UE} = l_{sbs} \times A = l_{sbs} \times n_{vs} \times \pi \times N_{sbs} \times R_{max}^2 \quad (4.3) \quad [63] \text{ είναι ο αριθμός χρηστών ανά περιοχή}$$

$$C_{site} = C_{cs} \times N_{sbs} \quad (4.4) \quad [63] \text{ είναι το συνολικό κόστος κατασκευής ενός site}$$

$$CAPEX(vRAN) = C_{site} + C_{sbs} = \frac{N_{UE}}{l_{sbs} \times n_{vs} \times \pi \times R_{max}^2} \times (C_{cs} + C_{sbs}) \quad (4.5) \quad [63]$$

Ανάλυση OPEX για το vEPC

Το λογισμικό εικονικοποίησης του vEPC εκτελείται σε VMs και το OPEX προέρχεται από την κατανάλωση ενέργειας των απαιτούμενων server στα οποία «τρέχουν» οι VMs. Με δεδομένα τα στοιχεία των Πινάκων 1 και 2 ο απαιτούμενος αριθμός VM υπολογίζεται ανά λειτουργία (HSS, MME κλπ) με τον ακόλουθο τρόπο:

$$VM_{CPU} = \frac{CPU_{HSS}}{CPU_{perVM}}, \quad VM_{MEMORY} = \frac{MEM_{HSS}}{MEM_{perVM}}, \quad VM_{NETWORK} = \frac{NET_{HSS}}{NETM_{perVM}}$$

$$VM_{PacketProcessing} = \frac{PP_{HSS}}{PP_{perVM}}, \quad VM_{Storage} = \frac{STR_{HSS}}{STR_{perVM}} \quad (4.6) \quad [63]$$

$$VM_{perhss} = \max(VM_{CPU}, VM_{NETWORK}, VM_{MEMORY}, VM_{PacketProcessing}, VM_{Storage}) \quad (4.7) \quad [63]$$

Ο αριθμός των server που χρειάζονται για να καλύψουν τις απαιτήσεις της HSS για παράδειγμα υπολογίζεται ως εξής:

$$n_{serversHSS} = \frac{VM_{perHSS}}{VMs_{perserver}} \quad (4.8) \quad [63]$$

$$OPEX(vEPC) = n_{serversHSS} \times Power \text{ per Server} \times C_{kwh}, C_{kwh} \text{ το κόστος kWh} \quad (4.9) \quad [63]$$

Ανάλυση OPEX παραδοσιακού RAN

Η κατανάλωση ενέργειας αποτελείται από διάφορα στοιχεία ενός σταθμού φάσης όπως:

- P_{trans} : Ισχύς πομποδέκτη
- P_{rect} : Ισχύς ανορθωτή
- P_{DSP} : Ισχύς επεξεργασίας ψηφιακού σήματος
- P_{PA} : Ισχύς ενισχυτή
- P_{mW} : mW ισχύος μετάδοσης
- P_{air} : Ισχύς ψύξης αέρα
- n_a : αριθμός κεραιών

$$P_{BS} = n_a \times (P_{trans} + P_{rect} + P_{DSP} + P_{PA} + P_{mW} + P_{air}) \quad (4.10) \quad [63]$$

$$\text{Συνεπώς } OPEX(RAN) = \text{number of BS} \times P_{BS} \times C_{kwh} \quad (4.11) \quad [63]$$

Ανάλυση OPEX vRAN

Σε ένα εικονικοποιημένο σύστημα υποθέτουμε ότι ο αριθμός SBS που λειτουργούν σε μια περιοχή A είναι N_{SBS} και κάθε ένα από αυτά περιέχει n_{vs} τμήματα (slices). Ένα SBS σύστημα απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ ψύξης αέρα και περισσότερα mW ισχύος για τη μετάδοση σήματος. Με βάση το [63] υπολογίζεται ότι η απαίτηση σε ισχύ θα είναι αυξημένη κατά 20% σε σχέση με ένα παραδοσιακό RAN δίκτυο. Η απαιτούμενη ισχύς διαμορφώνεται με βάση τους τύπους 4.13.

$$P_{airSBS} = P_{air} \times (1 + 0.2 \times n_{vs} - 1), \quad P_{mWSBS} = P_{mW} \times (1 + 0.2 \times n_{vs} - 1) \quad (4.13) \quad [63]$$

Κάθε slice ενός SBS έχει τη δική του ισχύ σήματος και οι vBS υποστηρίζουν το μοίρασμα ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ τους. Για κάθε SBS η RF ισχύς που καταναλώνεται υπολογίζεται με βάση το 4.14 και η συνολική ισχύς ενός SBS με βάση το 4.15.

$$P_{rfSBS} = (P_{trans} + P_{rect} + P_{PA}) \times (1 + 0.2 \times n_{vs} - 1) \quad (4.14) \quad [63]$$

$$P_{SBS} = n_a \times P_{rfSBS} + n_{vs} \times P_{DSP} + P_{airSBS} + P_{mWSBS} \quad (4.15) \quad [63]$$

$$\text{Συνεπώς } OPEX(vRAN) = P_{SBS} \times N_{SBS} \times C_{KWH} \quad (4.16) \quad [63]$$

Με βάση την μελέτη των ερευνητών στο [63] που βασίζεται σε τιμολόγηση προϊόντων της Dell και της Winncom κυρίως φαίνονται στους Πίνακες 3 και 4 κάποιες από τις τεχνο-οικονομικές παράμετροι του σεναρίου. Για τη γεωγραφική περιοχή που εξετάζεται υποθέτουμε ότι οι απαιτήσεις κάλυψης ικανοποιούνται από 2 SBS συστήματα και κάθε ένα από αυτά υποστηρίζει 5 vBS.

Πίνακας 3 Παράμετροι RAN δικτύου [63]

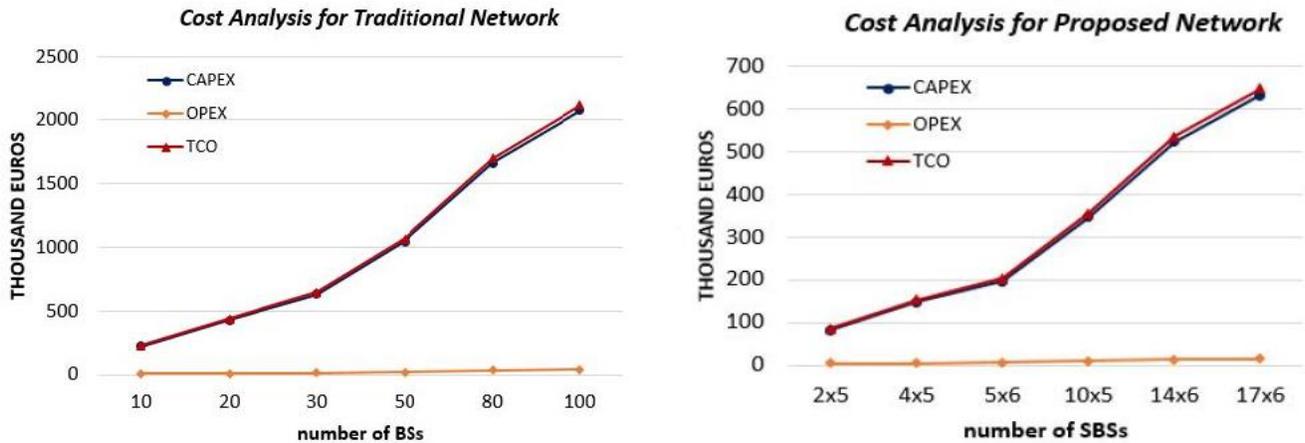
Παράμετροι	Τιμή
n_{vs}	Ως 6 vBS ανά SBS
I_{sbs}	500 χρήστες
N_{sbs}	10-100 BSs ανά km ²
C_{cs}	5000 €
P_{trans}	100 Watt
P_{rect}	100 Watt
P_{DSP}	100 Watt
P_{PA}	10.4 Watt
P_{mw}	80 Watt
P_{air}	225 Watt
n_a	4 κεραίες

Πίνακας 4 Παράμετροι vEPC δικτύου [63]

Παράμετροι	Τιμή
$C_{licence}$	5000 €
C_{place}	10000 €
P_{server}	1332 Watt
C_{server}	5262 €
C_{kwh}	0.25 €
CPU per S/P-GW	4 CPU
Mem per S/P-GW	32 GB
Net per S/P-GW	10 Gbps
Pps per S/P-GW	7 Mpps
HDD per S/P-GW	40 GB
CPU per MME	8 CPU
Mem per MME	40 GB
Net per MME	5 Gbps
Pps per MME	3.5 Mpps
HDD per MME	1000 GB
CPU per HSS	8 CPU
Mem per HSS	32 GB
Net per HSS	5 Gbps
Pps per HSS	3.5 Mpps
HDD per HSS	3000 GB

4.4.2 Αποτελέσματα Σύγκρισης

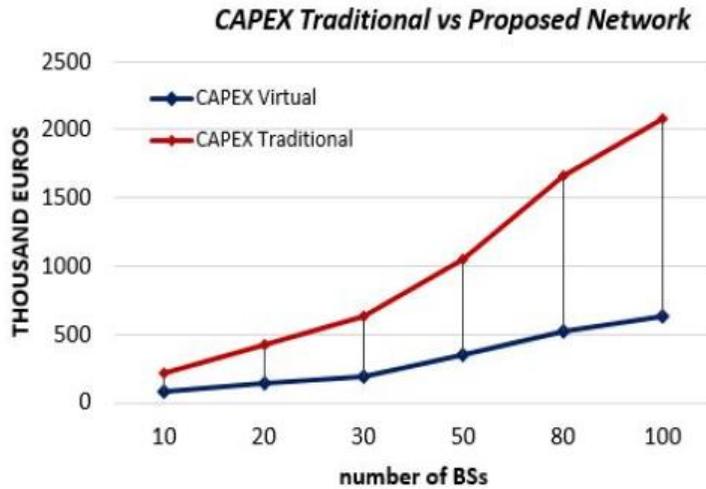
Με βάση τα στοιχεία των Πινάκων 3 και 4, τους υπολογισμούς των CAPEX και OPEX των δύο αρχιτεκτονικών και ορίζοντας ως TCO το άθροισμα CAPEX και OPEX των vEPC και (v)RAN προκύπτουν τα παρακάτω γραφήματα.



Εικόνα 40 Ανάλυση κόστους των 2 αρχιτεκτονικών

[Πηγή: Christos Bouras, Panagiotis Ntarzanos, Andreas Papazois, Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks, 2016, 8th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)]

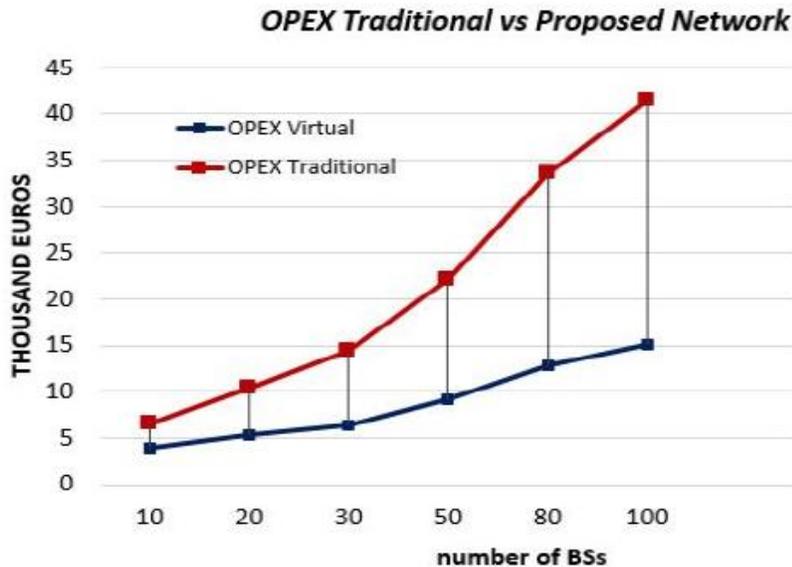
Γίνεται αντιληπτό ότι βασικός παράγοντας που επιδρά στο δείκτη CAPEX είναι ο υλικός εξοπλισμός ο οποίος μειώνεται με την εικονικοποίηση δικτύων και το «μοίρασμα» πόρων σε κάθε VM.



Εικόνα 41 Σύγκριση CAPEX

[Πηγή: Christos Bouras, Panagiotis Ntarzanos, Andreas Papazois, Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks, 2016, 8th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)]

Σε συνέχεια του παραπάνω, με την εικονικοποίηση μειώνονται τα έξοδα συντήρησης του υλικού.



Εικόνα 42 Σύγκριση OPEX

[Πηγή: Christos Bouras, Panagiotis Ntarzanos, Andreas Papazois, Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks, 2016, 8th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)]

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Με βάση τα όσα μελετήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια τα βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρει το cloudification και εικονικοποίηση δικτύων μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Μείωση δαπανών
Η μείωση δαπανών μπορεί να προκύψει από τη μείωση φυσικού υλικού (αγορά και συντήρηση), τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται και τη διαχείριση πολλαπλών λειτουργιών ανά μονάδα εικονικού ή cloud πόρου.
- Ευελιξία και Επεκτασιμότητα
Υποστηρίζεται η χρήση αυτοματοποιημένων διαδικασιών με αποτέλεσμα ρουτίνες όπως η αναβάθμιση ενός συστήματος και η απαίτηση επιπλέον μνήμης και χωρητικότητας για δεδομένα ή συνδρομητική κίνηση να κλιμακώνονται αυτόματα.
- Ανταγωνιστικό Πλεονέκτημα και Καινοτομία
Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι μπορούν να εστιάσουν περισσότερο στην καινοτομία και την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών. Με την απλοποίηση της υποδομής και των διαδικασιών, μπορούν να επικεντρωθούν στη δημιουργία και παράδοση νέων τεχνολογιών και υπηρεσιών που θα ικανοποιούν τις ανάγκες των πελατών τους.

Βασικά βήματα για τον εκσυγχρονισμό τηλεπικοινωνιακών δικτύων που πρέπει να διευκρινιστούν από τις τηλεπικοινωνιακές εταιρείες είναι:

- Εντοπισμός επιχειρησιακών αναγκών με καθορισμό ενός ξεκάθαρα στόχου, όπως η εξοικονόμηση δαπανών, η επέκταση σε νέες αγορές ή η βελτίωση της εμπειρίας πελατών.
- Επιλογή κατάλληλων συνεργατών, δηλαδή κατάλληλων κατασκευαστών και προμηθευτών όπως πχ. η Ericsson και η VMware, για την υλοποίηση του στόχου.
- Αξιολόγηση πλάνου και επιχειρηματικής δραστηριότητα για να γίνει καλύτερη δόμηση των απαιτήσεων και προσδοκιών του έργου.
- Επιλογή κατάλληλου μοντέλου ανάπτυξης υπολογιστικού νέφους (δημόσιο, ιδιωτικό ή υβριδικό cloud) ανάλογα με τις απαιτήσεις της επιχείρησης και τη προσφορά του προμηθευτή/κατασκευαστή.
- Επιλογή κατάλληλης στρατηγικής μετεγκατάστασης στο cloud κατά την οποία αποφασίζεται σε τι ποσοστό θα αλλάξει η ήδη υπάρχουσα παραδοσιακή αρχιτεκτονική.

- Η υιοθέτηση τεχνολογιών container και microservices ώστε οι υπηρεσίες να αναπτύσσονται και να ελέγχονται εύκολα αλλά και να μπορούν να λειτουργήσουν σε διαφορετικά περιβάλλοντα αν χρειαστεί.
- Να τηρούνται πρακτικές ασφάλειας για τα συνδρομητικά δεδομένα κατά τη μετάβαση σε εικονικοποιημένη ή cloud αρχιτεκτονική.
- Να υπάρχει συχνή παρακολούθηση των αποτελεσμάτων, να εφαρμοστούν έλεγχοι σε μετρήσεις και KPIs στα στάδια σχεδιασμού, εκτέλεσης και ολοκλήρωσης του έργου εκσυγχρονισμού των δικτύων για να διαπιστωθούν αστοχίες και οφέλη από το cloud. Το στάδιο αυτό είναι απαραίτητο διότι επιτρέπει σε έναν τηλεπικοινωνιακό πάροχο να αναλύει γρήγορα, να προσαρμόζει και να εφαρμόζει πιθανές αλλαγές και νέες αποφάσεις στην πορεία του έργου και να μαθαίνει από τα λάθη.
- Η αποδοτική οργάνωση και επικοινωνία μεταξύ των ομάδων της εταιρείας είναι απαραίτητη. Ο μετασχηματισμός σε cloud ή/και virtualization απαιτεί τόσο από τις επιχειρηματικές όσο και από τις τεχνικές ομάδες να οργανωθούν, ώστε οι αποφάσεις να λαμβάνονται ταχύτερα και η εφαρμογή τους να γίνει με μεγαλύτερη ευελιξία.

Βιβλιογραφία

- [1] nokia.com/networks/cloud/cloud-native/
- [2] stantonchase.com/the-evolving-role-of-telco-cloudification/
- [3] ericsson.com/en/cloud-native
- [4] opennetworking.org/sdn-definition/
- [5] opennetworking.org/news-and-events/blog/sdn-nfv-sdnfv/
- [6] thousandeyes.com/learning/glossary/vnf-virtual-network-functions
- [7] vmware.com/topics/glossary/content/telco-cloud.html
- [8] redhat.com/en/topics/cloud-computing/what-is-telco-cloud#public-and-private-use-cases
- [9] mavenir.com/blog/five-benefits-of-a-multi-vendor-telecommunications-environment-enabled-by-a-service-based-architecture/
- [10] aimprosoft.com/cloud-computing-and-telecommunications/cloud-computing-in-telecommunications
- [11] Volodymyr Krolivets, Digital Transformation in Telco (White Paper), Global Logic
- [12] Christopher Wilder, Carrier cloudification: What every telecom executive needs to know (ebook), ubuntu
- [13] uniprint.net/en/7-types-cloud-computing-structures/
- [14] research.aimultiple.com/telco-digital-transformation/
- [15] volico.com/bare-metal-server-or-cloud-servers-whats-the-difference/
- [16] blog.equinix.com/blog/how-to-speak-like-a-data-center-geek-bare-metal-vs-virtualization-vs-serverless/
- [17] ibm.com/topics/bare-metal-dedicated-servers
- [18] ibm.com/topics/virtual-machines
- [19] ibm.com/topics/cloud-server
- [20] exabytes.my/blog/cloud-vs-dedicated-server-which-suits-you-best/
- [21] Sebastien Han, Sean Cohen, Daniel Gilfix, OpenStack Storage for Dummies, 2016, John Wiley & Sons
- [22] ibm.com/topics/bare-metal-dedicated-servers
- [23] ibm.com/topics/virtual-machines
- [24] ibm.com/topics/cloud-server
- [25] exabytes.my/cloud-vs-dedicated-server-which-suits-you-best/
- [26] ibm.com/topics/containers
- [27] aws.amazon.com/microservices/
- [28] blog.dreamfactory.com/what-are-containerized-microservices/
- [29] mongodb.com/blog/post/building-modern-applications-with-microservices-part-1
- [30] thesslstore.com/blog/the-benefits-and-challenges-of-containerized-microservices/
- [31] atlassian.com/microservices/microservices-architecture/kubernetes-vs-docker
- [32] ubuntu.com/blog/kubernetes-versus-docker
- [33] semaphoreci.com/blog/deploy-microservices
- [34] microsoft.com/en-us/research/project/project-arno-cloudification-of-telecom-network-infrastructure/
- [35] intellipaat.com/blog/openstack-tutorial-for-beginners/

- [36] openstack.org/security-guide/introduction/introduction-to-openstack.html
- [37] medium.com/techmormo/what-is-virtualization-bare-metal-vs-virtual-machines-vs-containers
- [38] governance.openstack.org/tc/reference/technical-vision
- [39] rejolut.com/digital-transformation/industries/telecommunications/
- [40] Hitachi Vantara, Ravi Kalakota, Transform Telecom: A Data Driven Strategy for Digital Transformation, June 2019, liquidhub
- [41] Parminder Kocher, Microservices and Containers, March 2018, Addison-Wesley
- [42] Yousef Alsafadi, Benefit of Digital Transformation for Telecommunication Organization, February 2018, Journal of Marketing and Consumer Research
- [43] Fred Dougllis, Jason Nieh, Microservices and Containers, November 2019, IEEE Internet Computing
- [44] David Tang, What is digital Transformation?, June 2021, The EDP Audit, Control and Security Newsletter
- [45] multifunction.gr/en/virtualization/
- [46] atlantic.net/vps-hosting/what-is-cloud-hosting/
- [47] docker.com/blog/top-questions-docker-kubernetes-competitors-or-together/
- [48] openstack.org/
- [49] opentext.com/the-6-rs-strategies-for-cloud-migration/
- [50] txture.io/en/blog/6-Rs-cloud-migration-strategies
- [51] Asoke Talukder, Cloud Economics: Principles, Costs and Benefits, May 2010, ResearchGate
- [52] Isaac Odun-Ayo, Cloud Computing Economics: Issues and Developments, March 2018, International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2018
- [53] Richard Hill, Laurie Hirsch, Peter Lake, Siavash Moshiri, Guide to Cloud Computing: Principles and Practice, 2013, Springer
- [54] Eric Bauer, Improving Operational Efficiency of Application Services via Cloud Computing, IEEE Cloud Computing
- [55] Evaluating the ROI of cloud migration, Amdocs Global Services
- [56] Calculating the ROI of your cloud migration: an eBook to measure and master your cloud investment, Amdocs Global Services
- [57] Shaping Germany's 5G future: Vodafone's deployment of Europe's first 5G standalone core network, Ericsson σε συνεργασία με Vodafone
- [58] Building a cloud-native infrastructure: A guide to deploying Kubernetes over bare-metal infrastructure for 5G, Ericsson
- [59] One core – the best of two worlds: Ericsson's dual-mode 5G Core solution, Ericsson
- [60] Inside the Telco Cloud: Quantified realities from service provider network transformation case studies, VMware
- [61] ericsson.com/en/blog/2022/6/how-kubernetes-over-bare-metal-infrastructure-improves-tco
- [62] Understanding the Economics of 5G Deployments, June 2020, Ericsson

- [63] Christos Bouras, Panagiotis Ntarzanos, Andreas Papazois, Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks, 2016, 8th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)
- [64] sdxcentral.com/articles/news/ericsson-offers-nfvi-platform-modular-components/2016/
- [65] ericsson.com/en/cloud-infrastructure
- [66] ericsson.com/en/blog/2020/10/guide-to-building-cloudnative-infrastructure
- [67] telco.vmware.com/