



Οικονομικές επιπτώσεις της Νεφροϋπολογιστικής

Διπλωματική Εργασία της φοιτήτριας
Ζυγούρα Μαρία

Επιβλέπων Καθηγητής: Παπαδημητρίου Παναγιώτης

Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά τις οικονομικές επιπτώσεις της νεφοϋπολογιστικής. Ο βασικός σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση της έννοιας της νεφοϋπολογιστικής, των βασικών στοιχείων που την αποτελούν καθώς και των επιπτώσεων που αυτή έχει για την λειτουργία επιχειρήσεων και παρόχων υπηρεσιών, μέσα από τη βιβλιογραφική επισκόπηση.

Αρχικά, παρουσιάζονται και αναλύονται τα μέρη και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της νεφοϋπολογιστικής. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο συμβάλει στην εξοικονόμηση πόρων τόσο για τις επιχειρήσεις όσο και για τους παρόχους υπηρεσιών νέφους. Έπειτα, παρουσιάζονται κάποιες πληροφορίες για τις αρχιτεκτονικές δικτύων SDN και NFV που χρησιμοποιούνται ως λύσεις για την νεφοϋπολογιστική. Τέλος, αναπτύσσεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση, με ανάλυση των άρθρων που συγκεντρώθηκαν σχετικά με το θέμα των οικονομικών επιπτώσεων της νεφοϋπολογιστικής και παράθεση των τελικών συμπερασμάτων της εργασίας.

ABSTRACT

The present work deals with the financial implications of cloud computing. The main purpose of this work is the analysis of the concept of cloud computing, the basic elements that comprise it and the implications that it has for the operation of companies and service providers, through literature review.

First, the parts and special features of cloud computing are presented and analyzed. Next, reference is made to the way in which it helps to save resources (computing and economic) for both enterprises and cloud service providers. Subsequently, information on the SDN and NFV network architectures used as cloud computing solutions is presented. Finally, the literature review is developed, with an analysis of the articles collected on the topic of the financial implications of cloud computing and a presentation of the final conclusions of the work.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
Σκοπός και διάρθρωση εργασίας.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΝΕΦΟΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ (CLOUD COMPUTING)	10
1.1 Εισαγωγή στην Νεφοϋπολογιστική	10
1.2 Αρχιτεκτονική και τύποι Νέφους.....	10
1.2.1 Τα τρία επίπεδα της νεφοϋπολογιστικής.....	12
1.3 Ταξινόμηση των νεφών.....	15
1.4 Χαρακτηριστικά της νεφοϋπολογιστικής.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Η ΝΕΦΟΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ	20
2.1 Γενικά	20
2.2 Οφέλη της νεφοϋπολογιστικής στις επιχειρήσεις.....	21
2.2.1 Μείωση κόστους.....	21
2.2.2 Αύξηση της ανταγωνιστικότητας.....	23
2.2.3 Διευκόλυνση στην εμβάθυνση της αγοράς.....	23
2.2.4 Ευελιξία / Επεκτασιμότητα.....	24
2.2.5 Αξιοπιστία των υπηρεσιών	24
2.3 Προκλήσεις της νεφοϋπολογιστικής στις επιχειρήσεις.....	25
2.4 Υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής από επιχειρήσεις.....	26

2.4.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής	27
2.5 Οικονομικά οφέλη από την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής	29
2.5.1 Διαφορές OpEx και CapEx.....	31
2.5.2 Κόστος CapEx υπολογιστικής	31
2.5.3 Κόστος OpEx υπολογιστικής	32
2.6 Οικονομικά του Νέφους	33
2.6.1 Ανάλυση κόστους οφέλους (Cost Benefit Analysis – CBA)	34
2.6.2 Απόδοση επένδυσης (Return on Investment - ROI).....	34
2.6.3 Καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value – NPV)	35
2.6.4 Συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership - TCO).....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ	38
3.1 Γενικά	38
3.2 Software Defined Networking (SDN)	39
3.2.1 Διάρθρωση Δικτύου SDN	43
3.3 Network Functions Virtualization (NFV).....	48
3.3.1 Αρχιτεκτονική NFV	49
3.3.3 Πλεονεκτήματα του NFV	52
3.4 Νέα γενιά δικτύων 5G	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	54
4.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση	54
4.2 Συζήτηση	64

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
Μελλοντικές Κατευθύνσεις	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η νεφοϋπολογιστική (cloud computing) είναι μια έννοια που επιτρέπει την πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους όπως εφαρμογές, δίκτυα, αποθήκευση και υπηρεσίες μέσω του διαδικτύου. Οι υπολογιστικοί πόροι μπορούν να παρέχονται και να απελευθερώνονται κατ' απαίτηση με ελάχιστη αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη και παρόχου υπηρεσιών. Πολλοί ερευνητές του κλάδου πιστεύουν ότι η νεφοϋπολογιστική είναι ένας πολλά υποσχόμενος τρόπος για τους οργανισμούς να εξοικονομήσουν δαπάνες πληροφορικής, μετατοπίζοντας το κόστος από τα κεφαλαιουχικά έξοδα στα λειτουργικά έξοδα, μειώνοντας παράλληλα τους κινδύνους που σχετίζονται με την δημιουργία και τη συντήρηση υποδομών υλικού (Armburst et al., 2010). Ένας άλλος λόγος που ωθεί τις επιχειρήσεις να υιοθετήσουν την νεφοϋπολογιστική είναι η ελαστικότητα, δηλαδή η ικανότητα ενός οργανισμού να παρέχει και να απελευθερώνει υπολογιστικούς πόρους αμέσως όπως απαιτείται μέσω του δικτύου και να πληρώνει μόνο για χρησιμοποιημένους πόρους. Αυτό δίνει στους οργανισμούς την ψευδαίσθηση των άπειρων υπολογιστικών πόρων και ουσιαστικά εξαλείφει μέρος του κόστους εκκίνησης (startup cost).

Η αξία που προσφέρει η νεφοϋπολογιστική μπορεί να είναι εμφανείς σε διαφορετικά επίπεδα. Σε οργανωτικό επίπεδο, η νεφοϋπολογιστική μπορεί να έχει στρατηγική αξία προσφέροντας στους οργανισμούς επιτυχώς ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μέσω εξοικονόμησης κόστους. Επιπλέον, βοηθάει τους οργανισμούς να επικεντρωθούν σε συγκεκριμένες βασικές ικανότητες, οι οποίες μπορεί να είναι πολύ σημαντικές σε πολύ ανταγωνιστικές βιομηχανίες. Σε οικονομικό επίπεδο, η συνολική εξοικονόμηση δαπανών σε υλικό και λογισμικό πληροφορικής μπορεί να έχει μεγάλη οικονομική σημασία. Η μείωση των δαπανών ενέργειας σε μια μικρή ή μεσαία επιχείρηση μπορεί να φτάσει ακόμα και το 90%, οδηγώντας σε αύξηση της αποδοτικότητας (Aldred, 2011).

Για την επίτευξη όλων αυτών πολλές επιχειρήσεις και πάροχοι υπηρεσιών αναζητούν τις πλέον βέλτιστες τεχνικές για τη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας, τη μείωση της χρήσης ενέργειας και την επιτάχυνση της ανάπτυξης των υπηρεσιών τους. Το Network Function Virtualization (NFV), μαζί με το Software Defined Networking (SDN), έχουν αναδειχθεί ως πολλά υποσχόμενες λύσεις τα τελευταία χρόνια. Οι λύσεις αυτές, παρέχουν ένα πλήθος πλεονεκτημάτων με τα βασικότερα να αφορούν το οικονομικό μέρος των επιχειρήσεων. Η μείωση στα κεφαλαιουχικά έξοδα CAPEX αλλά

και στα λειτουργικά έξοδα OPEX, αποτελεί ένα από τα βασικά κριτήρια για τις επιχειρήσεις σχετικά με την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής.

Τα Δίκτυα οριζόμενα μέσω λογισμικού (SDN) είναι ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής που επιτρέπει στα δίκτυα να είναι πιο ευέλικτα και πολύ πιο ευέλικτα. Ο βασικός σκοπός του SDN είναι να βελτιώσει τον έλεγχο του δικτύου επιτρέποντας στις επιχειρήσεις και τους παρόχους υπηρεσιών να ανταποκρίνονται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές απαιτήσεις. Σε ένα SDN, ένας διαχειριστής μπορεί να ελέγχει την κίνηση του δικτύου από μια κεντρική κονσόλα ελέγχου χωρίς να χρειάζεται να αλληλοεπιδρά φυσικά με μεμονωμένους διακόπτες στο δίκτυο. Καθώς η Εικονικοποίηση Δικτυακών Λειτουργιών (NFV) επιτρέπει την εικονικοποίηση των λειτουργιών δικτύου και την εξάλειψη ιδιόκτητου υλικού, οι μηχανικοί δικτύου μπορούν να προσθέσουν, να μετακινήσουν ή να αλλάξουν τις λειτουργίες δικτύου σε επίπεδο διακομιστή σε μια πολύ απλοποιημένη διαδικασία.

Σκοπός και διάρθρωση εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των βασικών πτυχών των οικονομικών επιπτώσεων της νεφοϋπολογιστικής τόσο στους παρόχους υπηρεσιών νέφους όσο και στις επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες αυτές. Οι πάροχοι υπηρεσιών προσφέρουν τις υπηρεσίες τους προς τις επιχειρήσεις, οι οποίες με τη σειρά τους καταβάλουν κάποιο συμφωνημένο αντίτιμο για τις υπηρεσίες τις οποίες έκαναν χρήση. Και για τις δύο πλευρές υπάρχουν ορισμένα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την χρήση νέων τεχνολογιών νεφοϋπολογιστικής και την μετάβαση στο νέφος. Στη παρούσα διπλωματική εργασία, μέσω της διερεύνησης των οικονομικών επιπτώσεων την νεφοϋπολογιστικής, αναλύονται οι τρόποι με τους οποίους οι πάροχοι και οι επιχειρήσεις μπορούν να επιτύχουν μείωση των κεφαλαιουχικών και λειτουργικών εξόδων, καθώς αυτοί οι οικονομικοί δείκτες αποτελούν βασικές ενδείξεις για την ευημερία των επιχειρήσεων.

Μέσα από την βιβλιογραφική έρευνα, παρουσιάζονται και αναλύονται οι έννοιες της νεφοϋπολογιστικής και η επιρροή της στην διαμόρφωση της επιχειρηματική οικονομίας, μέσα από την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών αιχμής όπως το SDN και το NFV.

Η εργασία χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια, τα οποία έχουν ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρέχονται τα βασικά στοιχεία της νεφοϋπολογιστικής, μέσα από την ανάπτυξη των διάφορων αρχιτεκτονικών που χρησιμοποιούνται, τα επίπεδα στα οποία χωρίζεται το νέφος, η ταξινόμηση των διαφόρων αρχιτεκτονικών αλλά και τα κύρια χαρακτηριστικά της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα οφέλη που παρέχει η νεφοϋπολογιστική στις επιχειρήσεις, τόσο για πρακτικά θέματα όπως η ανταγωνιστικότητα, η ευελιξία και η ανάπτυξη, όσο και για οικονομικά θέματα όπως η μείωση του κόστους κεφαλαιουχικών και λειτουργικών εξόδων CAPEX και OPEX αντίστοιχα. Παράλληλα γίνεται και μια αναφορά στα οικονομικά της νεφοϋπολογιστικής.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κύριες αρχιτεκτονικές δικτύων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη και εφαρμογή του νέφους. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται οι τεχνολογίες Software Defined Networking (SDN) και Network Functions Virtualization (NFV).

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται και παρουσιάζεται η βιβλιογραφική έρευνα που διενεργήθηκε για την διερεύνηση των επιπτώσεων την νεφοϋπολογιστικής στην οικονομία των επιχειρήσεων.

Τέλος παραθέτονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της βιβλιογραφίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΝΕΦΟΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ (CLOUD COMPUTING)

1.1 Εισαγωγή στην Νεφοϋπολόγιστική

Η νεφοϋπολόγιστική αναφέρεται τόσο στις εφαρμογές που παρέχονται ως υπηρεσίες ή υποδομές μέσω Διαδικτύου, όσο και στο υλικό και στο λογισμικό συστημάτων στα κέντρα δεδομένων (data centers) που παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες.

Ο ορισμός της νεφοϋπολογιστικής, έχει αποδοθεί από πολλούς επιστήμονες του κλάδου καθώς και από επαγγελματίες και εταιρείες πληροφορικής (Stanoevska-Slabeva & Wozniak, 2010). Αρκετοί από αυτούς θεωρούν ότι για να προκύψει ένας ολοκληρωμένος ορισμός της νεφοϋπολογιστικής πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διάφορες δυνατότητες που προσφέρει η νεφοϋπολόγιστική αλλά και οι διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Προφανώς, η έννοια της νεφοϋπολογιστικής εξακολουθεί να αλλάζει και οι ορισμοί παρουσιάζουν τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται οι ερευνητές του κλάδου την νεφοϋπολογιστική σήμερα (Böhm, et al., 2010). Το νέφος αποτελεί μια μεγάλη δεξαμενή εύκολων στη χρήση και άμεσα προσβάσιμων εικονικοποιημένων πόρων (όπως υλικό, πλατφόρμες ανάπτυξης ή/και υπηρεσίες). Αυτοί οι πόροι μπορούν να αναδιαμορφωθούν δυναμικά για προσαρμογή σε μεταβλητό φορτίο (κλίμακα), επιτρέποντας επίσης τη βέλτιστη χρήση των πόρων (Valentini, Khan & Bounry, 2013).

Γενικά, η νεφοϋπολογιστική αποτελεί ένα μοντέλο παράδοσης που επιτρέπει τη βολική διαμόρφωση των πόρων υπολογιστικής. Αυτό περιλαμβάνει την αποθήκευση, τα δίκτυα, τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες που παρέχονται μέσω του Διαδικτύου σε επιχειρήσεις και σε άτομα, επιτρέποντάς τους να πληρώνουν ένα αντίτιμο για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν (Fogarty, 2009). Ο αποθηκευτικός χώρος που βασίζεται στο νέφος καθιστά δυνατή την αποθήκευσή αρχείων σε απομακρυσμένες βάσεις δεδομένων, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη χρήσης τοπικών συσκευών αποθήκευσης. Έτσι, με την προϋπόθεση ότι ένας χρήστης έχει πρόσβαση στον Ιστό, έχει πρόσβαση στα δεδομένα και στα προγράμματα λογισμικού για την εκτέλεση εργασιών.

1.2 Αρχιτεκτονική και τύποι Νέφους

Σε αυτήν την ενότητα, παρέχουμε πρώτα μια επισκόπηση των εννοιών σχετικά με τη δομή και τα στοιχεία της νεφοϋπολογιστικής. Στην διαθέσιμη βιβλιογραφία σχετικά με τη νεφοϋπολογιστική, δίνονται διαφορετικές έννοιες για τις δομές της. Όμως, παρά τις

διαφορές που εντοπίζονται στην επεξήγηση των εννοιών, η περιγραφή τους διαθέτει ένα κοινό στοιχείο.

Μια λεπτομερής περιγραφή των στοιχείων της νεφοϋπολογιστικής επιχειρήθηκε από τον Menken (2008). Σύμφωνα με τις περιγραφές του, η νεφοϋπολογιστική αποτελείται από επτά βασικά στοιχεία, συγκεκριμένα τις εφαρμογές, την υποδομή, την πλατφόρμα, την υπηρεσία, την αποθήκευση, την ισχύ επεξεργασίας και τον πελάτη. Οι Bento & Bento, (2011), υποστηρίζουν ότι τα κύρια στοιχεία και παράγοντες του νέφους είναι έξι και περιλαμβάνουν: το υλικό, το λογισμικό, τις υπηρεσίες, τις εφαρμογές, την εικονικοποίηση και τον συνδυασμό τους. Από την άλλη πλευρά, οι Youseff et al., (2008) διακρίνουν πέντε επίπεδα νεφοϋπολογιστικής, όπως η εφαρμογή νέφους, περιβάλλον λογισμικού νέφους, υποδομή λογισμικού νέφους, πυρήνας λογισμικού και λογισμικό/υλικό.

Κάποιοι άλλοι ερευνητές εστιάζουν στην υπολογιστική νέφους με βάση την εμπορικότητα του, κατατάσσοντας τα στοιχεία του νέφους σε δύο διαφορετικές κατηγορίες, όπου στην πρώτη εντάσσονται οι υπηρεσίες που παρέχονται μέσω του νέφους και στην δεύτερη οι υποδομές που παρέχονται μέσω του νέφους (Soomro & Wahba, 2010). Μια παρόμοια άποψη εξέφρασε και ο Reese (2009), καθώς διαχωρίζει την δομή του νέφους σε δύο κατηγορίες, το λογισμικό και το υλικό. Παρόλα αυτά, διαχωρίζει την έννοια της υποδομής του νέφους με βάση τρεις κατηγορίες όπως Πλατφόρμα ως Υπηρεσία, Υποδομή ως Υπηρεσία και Ιδιωτικά Νέφη, ενώ προσθέτει και μια τέταρτη κατηγορία όπου γίνεται χρήση και των τριών κατηγοριών λαμβάνοντας όλα τα προτερήματα τους.

Όλες οι παραπάνω έννοιες αν και παρέχουν αρκετές λεπτομέρειες στις περιγραφές τους, επηρεάζονται άμεσα από την οπτική γωνία του κάθε συγγραφέα σχετικά με την ευρύτερη έννοια του νέφους. Αν και οι έννοιες που περιγράφονται από τους συγγραφείς διαθέτουν διαφορετικά επίπεδα επεξήγησης, δεν είναι σε θέση να αποδώσουν μία επαρκείς και γενικά αποδεκτή περιγραφή της υποδομής και των στοιχείων που περιλαμβάνει η νεφοϋπολογιστική. Η ιδέα που χρησιμοποιείται πιο συχνά για την περιγραφή μιας γενικής δομής και των στοιχείων του νέφους είναι μια έννοια τριών επιπέδων, η οποία θα περιγραφεί με περισσότερες λεπτομέρειες στην συνέχεια.

1.2.1 Τα τρία επίπεδα της νεφοϋπολογιστικής

Η νεφοϋπολογιστική περιλαμβάνει διαφορετικές δυνατότητες πληροφορικής, συγκεκριμένα υποδομές, πλατφόρμες και λογισμικό. Αυτό μπορεί επίσης να αναφέρεται ως διαφορετικά επίπεδα ή διαφορετικοί τύποι του νέφους. Αντί να γίνεται αναφορά στις διαφορετικές δυνατότητες του νέφους, το να θεωρείται ως οντότητα διαφορετικών επιπέδων είναι πολύ πιο λογικό, διότι η υποδομή, οι πλατφόρμες και το λογισμικό χτίζονται το ένα πάνω στο προηγούμενο και συνδέονται λογικά ως διαφορετικά επίπεδα αρχιτεκτονικής του νέφους. Έτσι, έχει επικρατήσει η άποψη ότι η νεφοϋπολογιστική αποτελείται από τρία επίπεδα, το καθένα από τα οποία χρησιμοποιεί και παρέχει τους πόρους και τις δυνατότητες πληροφορικής με την μορφή υπηρεσιών (Hussein & Khalid, 2016).

Τα τρία επίπεδα αρχιτεκτονικής της νεφοϋπολογιστικής είναι:

- Λογισμικό ως υπηρεσία (SaaS)
- Πλατφόρμα ως υπηρεσία (PaaS)
- Υποδομή ως υπηρεσία (IaaS)



Εικόνα 1 Γραφική απεικόνιση των επιπέδων αρχιτεκτονικής της νεφοϋπολογιστικής (Figueira, 2015)

1.2.1.1 Λογισμικό ως υπηρεσία (SaaS)

Το Λογισμικό ως Υπηρεσία (SaaS) είναι ένα μοντέλο παράδοσης και αδειοδότησης λογισμικού, στο οποίο ένας χρήστης που έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο, μπορεί να το χρησιμοποιήσει μέσω συνδρομής χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση λογισμικού σε τοπικούς υπολογιστές (Jamsa, 2012). Με το SaaS, οι εταιρείες δεν χρειάζεται να διαχειρίζονται εφαρμογές ή να επενδύουν σε υλικό για την εκτέλεση των εφαρμογών τους. Αντιθέτως, ένας πάροχος φιλοξενεί και διαχειρίζεται την υποδομή για υποστήριξη λογισμικού, το οποίο επιτρέπει την αυτόματη και καθολική εφαρμογή ενημερώσεων και διορθώσεων κώδικα (patches), μειώνοντας έτσι το κόστος για τους χρήστες.

Το μοντέλο SaaS μπορεί να μειώσει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης υποδομής πληροφορικής όπου θα φιλοξενούνταν αρχικά το λογισμικό. Μπορεί επίσης να ελαχιστοποιήσει τον χρόνο που αφιερώνεται σε εργασίες διαχείρισης, καθώς ένας πάροχος SaaS είναι υπεύθυνος για τις σχετικές αναβαθμίσεις και την διαχείριση του λογισμικού (Kim, 2011). Πολλές επιχειρηματικές εφαρμογές είναι πλέον διαθέσιμες μέσω του μοντέλου SaaS, όπως email, διαχείριση πωλήσεων, διαχείριση πελατειακών σχέσεων, οικονομική διαχείριση, διαχείριση ανθρώπινων πόρων, χρεώσεις και εφαρμογές συνεργασίας.

1.2.1.2 Πλατφόρμα ως υπηρεσία (PaaS)

Η Πλατφόρμα ως Υπηρεσία (PaaS) είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών που παρέχεται ως υπηρεσία σε προγραμματιστές μέσω του Διαδικτύου. Διευκολύνει την ανάπτυξη εφαρμογών χωρίς το κόστος και την πολυπλοκότητα της αγοράς και της διαχείρισης της υποκείμενης υποδομής, παρέχοντας όλες τις διευκολύνσεις που απαιτούνται για την υποστήριξη του πλήρους κύκλου ζωής της ανάπτυξης και παράδοσης εφαρμογών και υπηρεσιών Ιστού πλήρως διαθέσιμων από το Διαδίκτυο. Η ιδέα του PaaS είναι ότι κάποιος μπορεί να παρέχει το υλικό (όπως στο IaaS), καθώς και εφαρμογές λογισμικού, όπως για παράδειγμα η ενσωμάτωση σε ένα κοινό σύνολο λειτουργιών προγραμματισμού ή βάσεων δεδομένων ως θεμέλιο πάνω στο οποίο μπορεί κάποιος να δημιουργήσει την δική του εφαρμογή (Jamsa, 2012).

Αυτή η πλατφόρμα αποτελείται από λογισμικό υποδομής και συνήθως περιλαμβάνει μια βάση δεδομένων, ενδιάμεσο λογισμικό και εργαλεία ανάπτυξης. Μια εικονικοποιημένη και ομαδοποιημένη αρχιτεκτονική πλέγματος είναι συχνά η βάση για αυτό το λογισμικό υποδομής. Ορισμένοι πάροχοι PaaS προσφέρουν τις υπηρεσίες τους σε συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού ή API. Για παράδειγμα, το Google

AppEngine παρέχει τις υπηρεσίες πλατφόρμας σε γλώσσες Python ή Java, ενώ το EngineYard παρέχεται σε Ruby on Rails. Μερικές φορές οι πάροχοι PaaS έχουν ιδιόκτητες γλώσσες όπως το force.com (Kim, 2011).

1.2.1.3 Υποδομή ως υπηρεσία (IaaS)

Η Υποδομή ως Υπηρεσία (IaaS) προσφέρει υπολογιστικούς πόρους όπως για παράδειγμα η επεξεργασία ή η αποθήκευση, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπηρεσία (Jamsa, 2012). Ένα παράδειγμα είναι οι Υπηρεσίες Ιστού Amazon (Amazon Web Services) οι οποίες προσφέρουν διαφορετικά είδη υπηρεσιών μέσω διαφορετικών υπολογιστικών πόρων υποδομής όπως το Ελαστικό Υπολογιστικό Σύννεφο (Elastic Compute Cloud - EC2) που προσφέρει υπηρεσίες επεξεργασίας, την Υπηρεσία Απλής Αποθήκευσης (Simple Storage Service - S3) που προσφέρει υπηρεσίες αποθήκευσης και το Joyent που παρέχει μια υψηλής επεκτασιμότητας κατ' απαίτηση υποδομή για τη λειτουργία ιστοσελίδων και εμπλουτισμένων εφαρμογών Ιστού (Bermudez et al., 2013)

Το IaaS είναι μια μορφή φιλοξενίας. Περιλαμβάνει πρόσβαση στο δίκτυο, υπηρεσίες δρομολόγησης και αποθήκευση. Ο πάροχος IaaS θα παρέχει γενικά το υλικό και τις διοικητικές υπηρεσίες που απαιτούνται για την αποθήκευση εφαρμογών και μια πλατφόρμα για την εκτέλεση εφαρμογών. Η κλιμάκωση του εύρους ζώνης, της μνήμης και του χώρου αποθήκευσης συνήθως περιλαμβάνονται και οι προμηθευτές ανταγωνίζονται την απόδοση και τις τιμές που προσφέρονται για τις υπηρεσίες τους. Ο πάροχος υπηρεσιών διαθέτει τον εξοπλισμό και είναι υπεύθυνος για τη στέγαση, τη λειτουργία και τη συντήρησή του. Το IaaS μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε με την σύναψη συμβολαίου με κάποιο πάροχο, είτε με βάση την πολιτική προπληρωμής υπηρεσιών (pay-as-you-go). Ωστόσο, οι περισσότεροι χρήστες θεωρούν ότι το βασικό όφελος του IaaS είναι η ευελιξία της τιμολόγησης, καθώς χρειάζεται να πληρώνουν μόνο για τους πόρους που χρησιμοποιούν (Brebner, 2012).

Οι πάροχοι PaaS και SaaS μπορούν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες του IaaS βάσει των τυποποιημένων υποδομών που προσφέρει. Αντί να πωλούν πρωτογενή υποδομή υλικού, οι πάροχοι IaaS προσφέρουν συνήθως εικονική υποδομή ως υπηρεσία. Τα βασικά χαρακτηριστικά του IaaS περιλαμβάνουν (Chavan et al., 2013):

- Υπηρεσία υπολογιστικής χρησιμότητας και μοντέλο χρέωσης.
- Αυτοματοποίηση διοικητικών καθηκόντων.
- Δυναμική κλιμάκωση.

- Εικονικοποίηση επιφάνειας εργασίας.
- Υπηρεσίες βάσει πολιτικής.
- Συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο.

1.3 Ταξινόμηση των νεφών

Το μοντέλο ανάπτυξης κάθε νέφους, καθορίζει τόσο τον τρόπο υλοποίησης του μοντέλου υπηρεσίας όσο και το κοινό στο οποίο είναι διαθέσιμες οι υπηρεσίες του. Γενικά, έχουν ταξινομηθεί τρία τυποποιημένα μοντέλα υπολογιστικού νέφους που μπορούν να εφαρμοστούν για να ικανοποιήσουν διαφορετικές ανάγκες χρηστών ή παρόχων. Αυτά τα μοντέλα είναι το ιδιωτικό, το δημόσιο και το υβριδικό, τα οποία διαφέρουν ανάλογα με το πού βρίσκεται το υλικό, ποια οντότητα είναι υπεύθυνη για τη συντήρηση του συστήματος και ποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει τους πόρους συστήματος.

1. Ιδιωτικό Νέφος

Ένα ιδιωτικό νέφος (μερικές φορές ονομάζεται εσωτερικό cloud) λειτουργεί όπως ένα δημόσιο νέφος, αλλά σε ένα ιδιωτικό δίκτυο που ελέγχεται και χρησιμοποιείται από έναν μόνο οργανισμό. Τα ιδιωτικά νέφη ενδέχεται να παρέχουν υπηρεσίες παρόμοιες με αυτές που παρέχονται από δημόσιους παρόχους νέφους, αλλά με λιγότερους υποτιθέμενους κινδύνους. Στο ιδιωτικό νέφος οι υπηρεσίες προορίζονται για χρήση από έναν μόνο οργανισμό, ενώ μπορεί να εξυπηρετεί διαφορετικές επιχειρηματικές μονάδες του ίδιου οργανισμού (Yang & Chen, 2010). Οι επιχειρηματικές μονάδες διαχωρίζονται λογικά, έτσι ώστε να μην παρεμβαίνουν η μία στη λειτουργία της άλλης. Η διαχείριση της υποδομής νέφους μπορεί να ανήκει στον ίδιο τον οργανισμό ή σε κάποιο τρίτο μέρος, ενώ μπορεί να βρίσκεται σε χώρο εντός ή εκτός των γραφείων του οργανισμού. Το ιδιωτικό νέφος μπορεί να παρέχει όλες τις υπηρεσίες SaaS, PaaS, IaaS και είναι προσβάσιμο μόνο από αξιόπιστους χρήστες. Παράλληλα, χαρακτηρίζεται από υψηλή ασφάλεια δεδομένων πελατών και μεγαλύτερο έλεγχο της υποδομής του. Πιθανά μειονεκτήματα περιλαμβάνουν κόστος και διοικητικές προκλήσεις που σχετίζονται με την αγορά και τη διαχείριση του απαιτούμενου υλικού και λογισμικού.

2. Δημόσιο Νέφος

Στο δημόσιο υπολογιστικό νέφος, ένας πάροχος παρέχει μία ή περισσότερες υπηρεσίες νεφοϋπολογιστικής σε μια μεγάλη ομάδα ανεξάρτητων χρηστών, όπως το

ευρύ κοινό. Οι χρήστες χρησιμοποιούν την υπηρεσία μέσω προγραμμάτων περιήγησης ιστού ή άλλων εφαρμογών λογισμικού (Jansen & Grance, 2011). Μερικά κοινά παραδείγματα υπηρεσιών που χρησιμοποιούν ένα δημόσιο μοντέλο cloud περιλαμβάνουν δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας Διαδικτύου και συγχρονισμό αρχείων και υπηρεσίες πολυμέσων που βασίζονται στον Ιστό.

Στο δημόσιο νέφος, η υποδομή του είναι ανοιχτή για το ευρύ κοινό. Εκμεταλλεύεται την πολλαπλή μίσθωση με κάθε μισθωτή να έχει έναν ξεχωριστό εικονικό χώρο. Ο χρήστης στο δημόσιο νέφος μοιράζεται την ίδια υποδομή νέφους. Ο χρήστης πληρώνει για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί και για όσο καιρό τις χρησιμοποιεί. Χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα τιμολόγησης για τον υπολογισμό του λογαριασμού για τον πελάτη (Jansen & Grance, 2011). Τα οφέλη κόστους για τον πελάτη είναι υψηλά σε αυτό το μοντέλο ανάπτυξης καθώς οι τιμές μοιράζονται μεταξύ πολλών χρηστών. Αν και τα πλεονεκτήματα τιμής και ευελιξίας σε σχέση με άλλα μοντέλα ανάπτυξης, είναι αρκετά, η ασφάλεια αποτελεί βασικό λόγο περιορισμού ή/και αποφυγής της χρήσης τους.

3. Υβριδικό νέφος

Ένα υβριδικό νέφος χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό ιδιωτικών και εξωτερικών δημόσιων παρόχων (Luo, et al., 2012). Για παράδειγμα, ένας χρήστης θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένα ιδιωτικό νέφος για να παρέχει εφαρμογές και να αποθηκεύσει τρέχοντα δεδομένα, αλλά να χρησιμοποιήσει ένα δημόσιο για αρχειοθέτηση δεδομένων. Η ευελιξία αυτού του μοντέλου ανάπτυξης μπορεί να το κάνει ιδιαίτερα ελκυστικό για πολλούς οργανισμούς.

1.4 Χαρακτηριστικά της νεφοϋπολογιστικής

Καθώς οι υπηρεσίες νεφοϋπολογιστικής ωριμάζουν τόσο εμπορικά όσο και τεχνολογικά, είναι ευκολότερο για τις εταιρείες να μεγιστοποιήσουν την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα τους εκμεταλλευόμενες των πλεονεκτημάτων της χρήσης του νέφους. Το να γνωρίζουμε τι είναι το cloud computing και τι κάνει, είναι εξίσου σημαντικό. Η νεφοϋπολογιστική ορίζεται μέσω πέντε χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

1. Κατ' απαίτηση αυτοεξυπηρέτηση

Οι πόροι υπολογιστικού νέφους μπορούν να παρασχεθούν χωρίς ανθρώπινη αλληλεπίδραση από τον πάροχο υπηρεσιών (Mell & Grance, 2011). Με άλλα λόγια, ένας κατασκευαστικός οργανισμός μπορεί να παρέχει πρόσθετους υπολογιστικούς πόρους όπως απαιτείται χωρίς να περάσει από τον πάροχο υπηρεσιών νέφους, όπως για παράδειγμα η χρήση κάποιου χώρου αποθήκευσης.

Ένας οργανισμός μπορεί να χρησιμοποιήσει μια διαδικτυακή πύλη αυτοεξυπηρέτησης ως διεπαφή για να αποκτήσει πρόσβαση στους λογαριασμούς, στις υπηρεσίες, τη χρήση, καθώς και για την παροχή υπηρεσιών στο νέφος όπως και όποτε απαιτείται. Ο οργανισμός δεν χρειάζεται πλέον να προμηθεύεται και να εγκαθιστά όλο το ειδικό λογισμικό ή υλικό καθώς το νέφος παρέχει ό, τι χρειάζεται. Αυτό εξοικονομεί χρήματα για αγορές και εκπαίδευση υπαλλήλων, ελευθερώνοντας πόρους για την ανάπτυξη προϊόντων και την εξυπηρέτηση πελατών.

2. Ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο

Οι πόροι υπολογιστικού νέφους είναι διαθέσιμοι μέσω του δικτύου και είναι προσβάσιμοι από διάφορες πλατφόρμες πελατών (Mell & Grance, 2011). Με άλλα λόγια, οι υπηρεσίες νέφους είναι διαθέσιμες μέσω ενός δικτύου, ιδανικά υψηλής σύνδεσης ευρυζωνικής επικοινωνίας, όπως το Διαδίκτυο, ή στην περίπτωση ιδιωτικού νέφους θα μπορούσε να είναι ένα τοπικό δίκτυο (LAN).

Το εύρος ζώνης δικτύου και ο λανθάνων χρόνος είναι πολύ σημαντικές πτυχές του υπολογιστικού νέφους και της ευρείας πρόσβασης στο δίκτυο, επειδή σχετίζονται με την ποιότητα της υπηρεσίας στο δίκτυο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την εξυπηρέτηση, ευαίσθητων στο χρόνο, εφαρμογών κατασκευής.

Επίσης, μέσω της χρήσης της νεφούπολογιστικής, οι υπηρεσίες να μπορούν να διατίθενται μέσω ενός ευρέος φάσματος συσκευών όπως κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές, Mac, φορητούς υπολογιστές και tablet. Για τους οργανισμούς, αυτοί οι πόροι φιλοξενούνται σε ένα ιδιωτικό δίκτυο νέφος που λειτουργεί εντός του τείχους προστασίας της εταιρείας. Αυτό σημαίνει ότι η πρόσβαση εφαρμογών και λογισμικού μέσω πολλών σημείων προέλευσης από το προσωπικό, καθιστά δυνατή την ταυτόχρονη εργασία σχεδόν οπουδήποτε χρησιμοποιώντας έξυπνα τηλέφωνα και άλλες συσκευές που διαθέτουν σύνδεση στο διαδίκτυο.

3. Πολλαπλή μίσθωση και συγκέντρωση πόρων

Οι πόροι υπολογιστικού νέφους έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν ένα μοντέλο πολλαπλών μισθώσεων (multi-tenancy). Αυτό επιτρέπει σε πολλούς πελάτες να μοιράζονται τις ίδιες εφαρμογές ή την ίδια φυσική υποδομή, διατηρώντας παράλληλα το απόρρητο και την ασφάλεια των πληροφοριών τους. Ο πάροχος υπολογιστικού νέφους διαθέτει πόρους που έχουν συγκεντρωθεί και οργανωθεί για να εξυπηρετήσει πολλούς διαφορετικούς χρήστες. Αυτό σημαίνει ότι τεράστιοι φυσικοί και εικονικοί πόροι μπορούν να εκχωρηθούν σύμφωνα με τη ζήτηση του πελάτη (Bernsmed, Jaatun & Undheim, 2011). Το σύνολο πόρων των παρόχων πρέπει να είναι πολύ μεγάλο και αρκετά ευέλικτο ώστε να εξυπηρετεί πολλαπλές απαιτήσεις πελατών και να παρέχει οικονομία κλίμακας. Όσον αφορά τη συγκέντρωση πόρων, η κατανομή πόρων δεν πρέπει να επηρεάζει τις επιδόσεις κρίσιμων εφαρμογών.

4. Ελαστικότητα και επεκτασιμότητα

Ένα από τα σπουδαία χαρακτηριστικά της νεφοϋπολογιστικής είναι η δυνατότητα γρήγορης παροχής πόρων στο νέφος την στιγμή που απαιτείται η χρήση τους από τους χρήστες (Shawky & Ali, 2012). Οι πόροι υπολογιστικού νέφους διαθέτουν ελαστικότητα, δηλαδή μπορούν να αυξηθούν ή να μειωθούν γρήγορα και, σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτόματα, ανταποκρινόμενοι στις επιχειρηματικές απαιτήσεις (Mell & Grance, 2011). Η χρήση, η χωρητικότητα και κατά συνέπεια το κόστος, μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί χωρίς να απαιτείται επιπλέον συμβόλαιο ή κυρώσεις. Η ελαστικότητα αποτελεί ένα ορόσημο της νεφοϋπολογιστικής και συνεπάγεται ότι οι οργανισμοί μπορούν γρήγορα να προμηθεύσουν και να αποσύρουν οποιονδήποτε από τους πόρους υπολογιστικής.

Με την επεκτασιμότητα υπολογιστικού νέφους, υπάρχουν λιγότερες δαπάνες από την πλευρά των χρηστών του νέφους. Αυτό συμβαίνει επειδή καθώς οι υπολογιστικοί πόροι του νέφους είναι εύκολα προσβάσιμοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανά πάσα στιγμή από τον χρήστη. Με την επεκτασιμότητα, η ανάγκη για χρήση πρόσθετων πόρων υπολογιστικής μπορεί να καλυφθεί εύκολα.

5. Μετρημένη υπηρεσία

Η χρήση των πόρων υπολογιστικού νέφους μετριέται και οι χρήστες πληρώνουν ανάλογα με την χρήση του νέφους. Η χρήση των πόρων μπορεί να βελτιστοποιηθεί αξιοποιώντας τις δυνατότητες χρέωσης ανά χρήση. Αυτό σημαίνει ότι η χρήση πόρων νέφους (είτε χρήση εικονικού διακομιστή, είτε χρήση αποθηκευτικού χώρου στο νέφος) παρακολουθείται, μετράται και αναφέρεται από τον πάροχο υπηρεσιών

νεφροϋπολογιστικής (Mell & Grance, 2011). Το μοντέλο τιμολόγησης βασίζεται στην «πληρωμή για αυτό που χρησιμοποιείται», ενώ η πληρωμή είναι μεταβλητή με βάση την πραγματική κατανάλωση από τον χρήστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Η ΝΕΦΟΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ

2.1 Γενικά

Η εμφάνιση του φαινομένου που είναι κοινώς γνωστό ως νεφοϋπολογιστική, αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο ανάπτυξης, απόκτησης, κλιμάκωσης, ενημέρωσης, συντήρησης και πληρωμής των υπηρεσιών της τεχνολογίας πληροφοριών. Η νεφοϋπολογιστική, όπως γνωρίζουμε σήμερα, αντικατοπτρίζει ένα παράδοξο. Από τη μία πλευρά, οι υπολογιστές συνεχίζουν να γίνονται εκθετικά πιο ισχυροί και το κόστος ανά μονάδα υπολογισμού συνεχίζει να μειώνεται γρήγορα, τόσο πολύ που η υπολογιστική ισχύς καθαυτή αντιμετωπίζεται σήμερα, σε μεγάλο βαθμό, ως εμπόρευμα (Lasica & Firestone, 2009). Από την άλλη πλευρά, καθώς η νεφοϋπολογιστική γίνεται πιο διαδεδομένη στους επιχειρηματικούς οργανισμούς, η αυξανόμενη πολυπλοκότητα της διαχείρισης ολόκληρης της υποδομής διαφορετικών αρχιτεκτονικών πληροφορικής, των κατανεμημένων δεδομένων και του αντίστοιχου λογισμικού, έχει καταστήσει την νεφοϋπολογιστική ένα δαπανηρό εγχείρημα για έναν οργανισμό (Marešová & Soběslav, 2017).

Αυτό που υπόσχεται η νεφοϋπολογιστική, είναι η παροχή όλων των λειτουργιών των υπαρχουσών υπηρεσιών τεχνολογίας πληροφορικής, ενώ παράλληλα μειώνει δυναμικά το αρχικό κόστος της πληροφορικής που αποτρέπει πολλούς οργανισμούς από την ανάπτυξη πολλών προηγμένων υπηρεσιών πληροφορικής (Thota, 2017). Γενικά, η ώθηση για αλλαγή αυτή τη στιγμή εξετάζεται κυρίως από την άποψη του κόστους, καθώς οι οργανισμοί ανακαλύπτουν όλο και περισσότερο ότι οι σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου τους στην τεχνολογία των πληροφοριών είναι συχνά μη αποδοτική.

Η νεφοϋπολογιστική αντιπροσωπεύει μια σύγκλιση δύο κύριων τάσεων στην τεχνολογία των πληροφοριών (Won, 2009):

- a) Την αποδοτικότητα πληροφορικής, με την οποία η ισχύς των σύγχρονων υπολογιστών χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά μέσω πόρων υλικού και λογισμικού υψηλής κλίμακας.
- b) Την ευελιξία των επιχειρήσεων, σύμφωνα με την οποία η πληροφορική μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανταγωνιστικό εργαλείο μέσω της ταχείας ανάπτυξης, της παράλληλης επεξεργασίας παρτίδων, της χρήσης υπολογιστικών επιχειρησιακών αναλύσεων και διαδραστικών εφαρμογών για κινητές

συσκευές που ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο στις απαιτήσεις των χρηστών.

Η έννοια της αποδοτικότητας της πληροφορικής συμπεριλαμβάνει επίσης τις ιδέες που ενσωματώνονται στην «πράσινη νεφοϋπολογιστική», καθώς όχι μόνο οι υπολογιστικοί πόροι χρησιμοποιούνται πιο αποτελεσματικά, αλλά επιπλέον, οι υπολογιστές μπορούν να βρίσκονται φυσικά σε γεωγραφικές περιοχές που έχουν πρόσβαση σε φθηνό ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ η υπολογιστική τους δύναμη μπορεί να προσπελαστεί από απομακρυσμένες περιοχές μέσω του Διαδικτύου. Ωστόσο, όπως υποδηλώνει ο όρος «ευελιξία των επιχειρήσεων», η νεφοϋπολογιστική δεν αφορά μόνο τη φθηνή πληροφορική, αλλά και τις επιχειρήσεις που μπορούν να χρησιμοποιούν υπολογιστικά εργαλεία που μπορούν να αναπτυχθούν και να κλιμακωθούν γρήγορα, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την ανάγκη για υψηλές επενδύσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τις εταιρίες IT.

2.2 Οφέλη της νεφοϋπολογιστικής στις επιχειρήσεις

Μέχρι σήμερα, η νεφοϋπολογιστική συνεχίζει να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην λειτουργία και στην αποδοτικότητα των επιχειρήσεων. Η καινοτομία που εισήγαγε η νεφοϋπολογιστική στην λειτουργία των οργανισμών, έχει συντελέσει ενεργά στην ανάπτυξη της ανταγωνιστικότητας, ενώ παράλληλα επιφέρει σημαντικά οφέλη, παρέχοντας νέες βελτιωμένες δυνατότητες, τις οποίες διαφορετικά, δεν θα ήταν σε θέση να αναπτύξουν και να χρησιμοποιήσουν.

Στην συνέχεια αναπτύσσονται τα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση της νεφοϋπολογιστικής στις επιχειρήσεις.

2.2.1 Μείωση κόστους

Μειώνει δραματικά το κόστος εισόδου για μικρότερες εταιρείες που προσπαθούν να επωφεληθούν από την ανάλυση εντατικής επιχείρησης που ήταν διαθέσιμες μόνο στις μεγαλύτερες εταιρείες. Αυτές οι υπολογιστικές ασκήσεις συνήθως περιλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες υπολογιστικής ισχύος για σχετικά σύντομα χρονικά διαστήματα, και το cloud computing καθιστά δυνατή τη δυναμική παροχή πόρων. Το cloud computing αντιπροσωπεύει επίσης μια τεράστια ευκαιρία σε πολλές χώρες του τρίτου κόσμου που έχουν μείνει πολύ πίσω στην επανάσταση της πληροφορικής - όπως συζητάμε αργότερα, ορισμένοι πάροχοι υπολογιστικών cloud χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα μιας πλατφόρμας cloud για να επιτρέψουν υπηρεσίες πληροφορικής

σε χώρες που θα παραδοσιακά δεν διέθετε πόρους για ευρεία ανάπτυξη υπηρεσιών πληροφορικής.

Η χρήση του cloud computing μειώνει το κόστος των κεφαλαιουχικών δαπανών, ειδικά κατά τον πρώιμο σχηματισμό των επιχειρήσεων, με αποτέλεσμα να έχει σημαντικό αντίκτυπο για την ίδια την επιχείρηση. Εφόσον είναι μια κατ' απαίτηση (on demand) υπηρεσία, ο χρήστης δύναται να την χρησιμοποιήσει όταν και όπως αυτό κριθεί απαραίτητο από τον ίδιο. Η χρήση του cloud computing οδηγεί τις επιχειρήσεις να λειτουργούν χωρίς να χρειάζεται να επενδύσουν υψηλά κεφάλαια χρησιμοποιώντας εφαρμογές που προσφέρουν υπηρεσίες όπως αυτές που χρησιμοποιούνται από μεγάλες εταιρείες. Αντιμετωπίζοντας την νεφοϋπολογιστική ως λειτουργικό κόστος (operational expenditure, Op-ex) και όχι ως κεφαλαιουχικό κόστος (capital expenditure, Cap-ex) βοηθά στη μείωση του αρχικού κόστους στον εταιρικό υπολογισμό (Iyer et al., 2013). Έτσι δίνεται η ευκαιρία και στις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες νεφοϋπολογιστικής μέσω της «ενοικίασης των υπηρεσιών» που παρέχονται από διάφορους παρόχους. Αυτή η υπηρεσία είναι σε θέση να μεταφέρει ορισμένες εργασίες των μικρομεσαίων επιχειρήσεων στους παρόχους νεφοϋπολογιστικής. Για παράδειγμα, σε υπηρεσίες αποθήκευσης νέφους, οι πάροχοι νεφοϋπολογιστικής μπορούν να αναλάβουν τα καθήκοντα της αποθήκευσης των δεδομένων μιας επιχείρησης, παρέχοντας απομακρυσμένες συσκευές αποθήκευσης δεδομένων, απαλλάσσοντας την επιχείρηση από την στη διαχείριση από την ανάγκη επένδυσης στη δημιουργία φυσικού χώρου και τεχνολογίας για την αποθήκευση των δεδομένων της, αλλά και στην διαχείριση και συντήρηση του εξοπλισμού που θα απαιτούνται.

Εκτός από το υψηλό κόστος δημιουργίας μιας ιδιόκτητης υποδομής νεφοϋπολογιστικής, κάποιες επιχειρήσεις, λόγω του αντικειμένου τους, απαιτείται να προβούν στην αγορά αδειών λογισμικού, οι οποίες ανεβάζουν το κόστος λειτουργίας τους. Με την χρήση υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής, η ανάγκη αυτή μειώνεται καθώς οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν της υπηρεσίες παρόχων, καθιστώντας το κόστος προσιτό. Αυτό είναι εφικτό είτε μέσω υπηρεσιών που απευθύνονται σε επιχειρήσεις συγκεκριμένου κλάδου, είτε μέσω των υπηρεσιών προσαρμοσμένου περιεχομένου, όπου η κάθε επιχείρηση μπορεί να λαμβάνει συγκεκριμένες υπηρεσίες που να ανταπεξέρχονται στις δικές της μοναδικές ανάγκες.

Οι εταιρείες χρειάζονται υπηρεσίες cloud computing με ενσωματωμένα, δυναμικά και εξελιγμένα ηλεκτρονικά συστήματα υπολογιστών. Με αυτόν τον τρόπο, οι εφαρμογές,

τα αρχεία και τα μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου είναι εύκολα προσβάσιμα με σύνδεση στο Διαδίκτυο, ενώ ταυτόχρονα μειώνονται οι απαιτήσεις λογισμικού και υλικού (Lawton, 2008).

2.2.2 Αύξηση της ανταγωνιστικότητας

Η χρήση της νεφοϋπολογιστικής μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της ποιότητας των προϊόντων. Αυτό επηρεάζει άμεσα την αύξηση της ανταγωνιστικότητας της εταιρείας. Από την άλλη πλευρά, η ανταγωνιστικότητα της εταιρείας αυξάνεται επίσης καθώς η νεφοϋπολογιστική προσφέρει την ταχύτητα και την αποδοτικότητα κόστους της εταιρείας, έτσι ώστε η διοίκηση να μπορεί να επικεντρωθεί σε άλλα πράγματα που έχουν μεγάλο αντίκτυπο για την εταιρεία. Γενικά, το περιβάλλον των μικρομεσαίων επιχειρήσεων είναι πολύ ανταγωνιστικό λόγω της πίεσης στις επιχειρήσεις να ακολουθήσουν τον ανταγωνισμό, να παρέχουν τα μέσα για την αύξηση της ανάπτυξης, να διαχειριστούν τις αλλαγές, να προωθήσουν τις υπηρεσίες στους πελάτες και ταυτόχρονα να παραμείνουν ανταγωνιστικές (Stieninger & Nedbal, 2014). Τέτοιες συνθήκες οδηγούν τις επιχειρήσεις αυτές στο να βελτιώσουν τις καινοτομικές τους δυνατότητες μέσα από την υιοθέτηση της τεχνολογίας. Αυτό καθιστά τη νεφοϋπολογιστική μια ελκυστική επιλογή για τις επιχειρήσεις, καθιστώντας την μέρος της υποδομής τους.

2.2.3 Διευκόλυνση στην εμβάθυνση της αγοράς

Η νεφοϋπολογιστική μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να προσεγγίζουν τους καταναλωτές μέσω του Διαδικτύου, καθώς οι καταναλωτές χρησιμοποιούν επίσης υπηρεσίες νεφοϋπολογιστικής (με κυριότερο το δημόσιο νέφος) για καθημερινές δραστηριότητες. Τόσο οι επιχειρήσεις όσο και οι καταναλωτές βρίσκονται τώρα σε μια εποχή που βασίζεται στη νεφοϋπολογιστική. Σχεδόν όλες οι επιχειρηματικές δραστηριότητες θεωρείται ότι γίνονται στο Διαδίκτυο, όπως συναλλαγές αγοράς και πώλησης. Οι ανάγκες για χρήση του διαδικτύου αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον, αυξάνοντας έτσι την δυνατότητα των επιχειρήσεων να χρησιμοποιούν το νέφος για τις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι επιχειρήσεις θα είναι σε θέση να δημιουργήσουν νέα προϊόντα, τα οποία θα προσελκύουν περισσότερους καταναλωτές από τις υπάρχουσες αγορές (Abdollahzadegan et al., 2013)

2.2.4 Ευελιξία / Επεκτασιμότητα

Οι υπηρεσίες νεφοϋπολογιστικής παρέχονται από μια εταιρία, η οποία έχει ως στόχο την παροχή των υπηρεσιών προς άλλες επιχειρήσεις. Έτσι, οι επιχειρήσεις αποκτούν ευελιξία διευκολύνοντας την λειτουργία τους, όπως για παράδειγμα η δυνατότητα πρόσβασης από οποιαδήποτε συσκευή και οποιοδήποτε σημείο, με την μόνη προϋπόθεση την ύπαρξη διαδικτύου. Ακόμη και οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις μπορούν να έχουν πρόσβαση σε εταιρικά δεδομένα από διάφορες συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των προσωπικών τους συσκευών (Abdollahzadegan et al., 2013). Οι επιχειρήσεις αναγνωρίζουν ότι αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς με την χρήση των υπηρεσιών νέφους μπορούν να βελτιώσουν την κινητικότητα των εργαζομένων. Παράλληλα, με την χρήση των υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής, οι επιχειρήσεις μπορούν να ανταπεξέλθουν άμεσα στις περιπτώσεις αύξησης του φορτίου μέσω της επεκτασιμότητας που προσφέρεται μέσω των υπηρεσιών αυτών. Έτσι οι επιχειρήσεις δεν χρειάζεται να ανησυχούν για το αν οι υποδομές τους μπορούν να ανταπεξέλθουν στις υψηλές απαιτήσεις ή όχι.

2.2.5 Αξιοπιστία των υπηρεσιών

Η χρήση των υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής μπορεί να αντικαταστήσει το ρόλο του υλικού που χρησιμοποιείται από τις επιχειρήσεις. Αυτό ακολούθως μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο ζημιών σε τεχνολογικές υποδομές, εφόσον η διαχείριση του εξοπλισμού γίνεται από τον πάροχο υπηρεσιών νέφους, προσφέροντας την απαραίτητη αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών. Κάθε επιχείρηση που σκοπεύει να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες ενός παρόχου, πρέπει πρώτα να εξετάσει την αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών, ώστε να διασφαλίσει την απρόσκοπτη λειτουργία της. Κατά τον ίδιο τρόπο εξετάζεται και η αξιοπιστία των παρόχων αναφορικά με την αποθήκευση και επεξεργασία των ευαίσθητων δεδομένων των επιχειρήσεων (Mikkonen & Khan, 2016).

Η τεχνολογία της νεφοϋπολογιστικής παρέχει υψηλή αξιοπιστία υπηρεσιών, όπως η διασφάλιση της λειτουργίας σε εικοσιτετράωρη βάση, ακόμη και κατά την διάρκεια εργασιών συντήρησης. Η στρατηγική αποθήκευσης δεδομένων σε περισσότερους από έναν τύπους διακομιστή παροχής υπηρεσιών, γίνεται επίσης για την πρόβλεψη του απροσδόκητου, για την περίπτωση που ο πάροχος υπηρεσιών είναι εκτός λειτουργίας. Από την μεριά των επιχειρήσεων, η επιβεβαίωση της επίδρασης της υιοθέτησης της νεφοϋπολογιστικής και της αξιοπιστίας των παρόχων μπορεί να γίνεται μέσω βασικών δεικτών μέτρησης της απόδοσης (Willcocks, Venters & Whitley, 2011).

Οι επιχειρήσεις παρακολουθούν τις εφαρμογές νέφους όσον αφορά την απόδοση, τη διαθεσιμότητα και την ασφάλεια τους (Rashmi & Sahoo, 2012). Κατά την παρακολούθηση, η οργανωτική διαχείριση της επιχείρησης αξιολογεί επίσης την αποτελεσματικότητα του νέφους με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- I. βελτίωση της ποιότητας,
- II. βελτίωση των επιδόσεων,
- III. βελτίωσης της παραγωγικότητας.

2.3 Προκλήσεις της νεφοϋπολογιστικής στις επιχειρήσεις

Οι επιχειρήσεις συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο την επιχειρηματική αξία που φέρνει η νεφοϋπολογιστική και οι περισσότερες από αυτές λαμβάνουν μέτρα για τη μετάβαση στο νέφος. Μια ομαλή μετάβαση συνεπάγεται την πλήρη κατανόηση των οφελών καθώς και των προκλήσεων που εμπλέκονται. Όπως κάθε νέα τεχνολογία, η υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής ενέχει τις δικές της προκλήσεις, μερικές από τις οποίες έχουν ως εξής:

- Διαθεσιμότητα προσωπικού πληροφορικής με εμπειρία στην τεχνολογία νεφοϋπολογιστικής.

Σύμφωνα με τον Lima (2018), οι επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν δυσκολία στην κάλυψη θέσεων IT, εξαιτίας της μη επαρκούς εμπειρίας, εκπαίδευσης ή πιστοποίησης των υποψηφίων. Έτσι αρκετές επιχειρήσεις, στελεχώνουν το τμήμα IT με υπαλλήλους που δεν διαθέτουν τις κατάλληλες γνώσεις τόσο για την διαχείριση όσο και για την λειτουργία του νέφους.

- Ασφάλεια

Οι πληροφορίες που βρίσκονται στο νέφος συχνά θεωρούνται πολύτιμες για άτομα με κακόβουλη πρόθεση (Mushtaq et al., 2017). Η παραμονή πολύτιμων δεδομένων εκτός του τείχους προστασίας της επιχείρησης αποτελεί μεγάλο κίνδυνο και θέμα σοβαρών ανησυχιών. Επίσης, τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο νέφος ενδέχεται να τροποποιηθούν ή και να διαγραφούν κατά λάθος από τον πάροχο υπηρεσιών. Στο δημόσιο νέφος, τα ευαίσθητα δεδομένα ενδέχεται να είναι προσβάσιμα μέσω των μη ασφαλών API και πρωτοκόλλων, ενώ οι πόροι υπολογιστικής που παρέχονται στο νέφος συνήθως μοιράζονται με διαφορετικούς «ενοικιαστές», οι οποίοι μπορεί να αποτελούν εν δυνάμει απειλή. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τους Khan & Gill, (2018),

οι κίνδυνοι απορρήτου των δεδομένων μπορούν να απεικονιστούν από διαφορετικές οπτικές γωνίες, όπως η ανεπαρκής δυνατότητα ελέγχου από τον χρήστη και η έλλειψη συμμόρφωσης με κανονισμούς. Ορισμένοι οργανισμοί ανεβάζουν αρχεία στο νέφος για σκοπούς κοινής χρήσης. Ωστόσο, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ζητήματα εμπιστευτικότητας και απορρήτου δεδομένων, όπως η προστασία προσωπικών ή επιχειρηματικών πληροφοριών των οργανισμών.

- Διαθεσιμότητα δεδομένων

Ένας σημαντικός κίνδυνος για την απρόσκοπτη λειτουργία μιας επιχείρησης στο περιβάλλον υπολογιστικού νέφους είναι η απώλεια συνδεσιμότητας στο Διαδίκτυο (που θα μπορούσε να συμβεί σε μια σειρά περιστάσεων όπως οι φυσικές καταστροφές) καθώς οι επιχειρήσεις εξαρτώνται από την πρόσβαση στο Διαδίκτυο και στα εταιρικά τους δεδομένα. Επιπλέον, εάν εντοπιστεί ευπάθεια σε μια συγκεκριμένη υπηρεσία που παρέχεται από τον πάροχο υπηρεσιών νέφους, η επιχείρηση ενδέχεται να χρειαστεί να τερματίσει κάθε πρόσβαση στον πάροχο αυτό έως ότου μπορέσουν να βεβαιωθούν ότι η ευπάθεια έχει διορθωθεί. Επίσης, αρκετοί πάροχοι νέφους εξακολουθούν να μην διαθέτουν 24ωρη υπηρεσία και μερικές φορές αντιμετωπίζουν διακοπές λειτουργίας. Η υψηλή διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής έχουν αναγνωριστεί ως μερικές από τις σημαντικές προκλήσεις στη χρήση της τεχνολογίας νέφους. (Basu et al., 2018).

2.4 Υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής από επιχειρήσεις

Με την ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας νεφοϋπολογιστικής, η υιοθέτηση των υπηρεσιών νέφους έχει γίνει σημαντικό θέμα τόσο για τους μελετητές όσο και για τους επαγγελματίες. Μελέτες (Dillon and Vossen, 2015; Yeboah-Boateng & Essandoh, 2014; Gupta, Seetharaman & Raj, 2013) έδειξαν ότι ο τομέας των Μικρών και Μεσαίων Επιχειρήσεων (ΜΜΕ) μπορεί να επωφεληθεί σε μεγάλο βαθμό από την υιοθέτηση υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής. Ωστόσο, τέτοια οφέλη μπορεί να υποβαθμιστούν σοβαρά εάν οι επιχειρήσεις δεν μπορούν να προσδιορίσουν τους βασικούς καθοριστικούς παράγοντες της υιοθέτησης της υπηρεσίας cloud computing (Gajbhiye and Shrivastva, 2014).

Για να αντιμετωπιστεί η ανάγκη κατανόησης της υιοθέτησης της νεφοϋπολογιστικής στις επιχειρήσεις, η υπάρχουσα βιβλιογραφία έχει εντοπίσει διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την απόφαση υιοθέτησης από διαφορετικές οπτικές γωνίες, όπως οπτική του κέρδους (π.χ. μειωμένο λειτουργικό κόστος), οπτική του κινδύνου (π.χ.

ανησυχία για την ασφάλεια) και η οπτική του περιορισμού (π.χ. κλιμάκωση) (Saya, Pee & Kankanhalli, 2010; Dillon & Vossen, 2015). Ωστόσο, οι υπηρεσίες cloud computing αποτελούν τη ραχοκοκαλιά των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων πολλών επιχειρήσεων.

Ουσιαστικά, η υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής αναφέρεται στον τρόπο προσφοράς υπηρεσιών που βασίζονται στο νέφος από παρόχους υπηρεσιών προς τους χρήστες του, χρησιμοποιώντας νέες τεχνολογίες ανάπτυξης. Μέσα από την διαθέσιμη βιβλιογραφία σχετικά με τη μελέτη της υιοθέτησης της νεφοϋπολογιστικής, έχει διερευνηθεί ένας αριθμός σημαντικών παραγόντων που συμβάλουν στην υιοθέτηση, οι οποίοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις τύπους:

- τους τεχνολογικούς παράγοντες,
- τους οργανωτικούς παράγοντες και
- τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Αυτό βασίζεται σε αποτελέσματα ερευνών από τις οποίες προέκυψε ότι τόσο οι τεχνολογικοί όσο και οι οργανωτικοί παράγοντες, μπορούν να επηρεάσουν ενεργά την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής από τις επιχειρήσεις, καθώς σε αρκετές περιπτώσεις συνδέονται άρρηκτα με τις διάφορες επιχειρηματικές λειτουργίες των οργανισμών όπως η αποδοτικότητα κόστους και η ασφάλεια των ευαίσθητων δεδομένων, η προσβασιμότητα και η χρήση των πόρων πληροφορικής, το απόρρητο των δεδομένων και η διευκόλυνση της ανάπτυξης της επιχειρηματικής δραστηριότητας (Mangula, van de Weerd & Brinkkemper, 2014).

2.4.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής από τις επιχειρήσεις.

2.4.1.1 Τεχνολογικοί παράγοντες

Η εξοικονόμηση κόστους είναι μια σημαντική πτυχή για κάθε επιχείρηση, καθώς η χρήση της νεφοϋπολογιστικής προσφέρει μείωση στα κόστη δημιουργίας και συντήρησης υποδομών, αλλά και αύξηση της αποδοτικότητας στην κατανάλωση ενέργειας. Τα οφέλη που μια εταιρεία αναμένει να προκύψουν από την υιοθέτηση μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας, αποτελούν παράγοντα παρακίνησης για την υιοθέτηση της, επειδή η εκτίμηση των εργαζομένων για τα σχετικά πλεονεκτήματα του

υιοθετημένου συστήματος οδηγούν τελικά στην αύξηση της αποδοτικότητας της εργασίας. Η νεφοϋπολογιστική έχει το πλεονέκτημα της αυξημένης αποτελεσματικότητας στην παροχή υπηρεσιών. Το σχετικό πλεονέκτημα της εφαρμογής υπηρεσιών νέφους θα μπορούσε να βελτιώσει την ταχύτητα των επικοινωνιών, την αποτελεσματικότητα του συντονισμού μεταξύ των διαφόρων τμημάτων των επιχειρήσεων, τις επικοινωνίες των πελατών με τις επιχειρήσεις και την πρόσβαση στην κινητοποίηση πληροφοριών της αγοράς (Joseph et al, 2010).

2.4.1.2 Οργανωτικοί παράγοντες

Σε αρκετές μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η διοίκηση μιας επιχείρησης αποτελεί βασικό παράγοντα για την λήψη των αποφάσεων σχετικά με την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής (Low et al., 2011; Alshamaila et al., 2013). Αυτός ο παράγοντας αποκτά μεγαλύτερη σημασία στην περίπτωση των μικρών και μεσαίων επιχειρήσεων, καθώς η ανώτατη διοίκηση συνήθως αποτελείται μόνο από τους ιδιοκτήτες τους, ενώ παράλληλα η στάση τους σχετικά με την τεχνολογία, αλλά και οι γνώσεις τους για οποιαδήποτε καινοτομία, όπως η νεφοϋπολογιστική, επηρεάζουν σημαντικά την υιοθέτησή της. Το μέγεθος των επιχειρήσεων αποτελεί σημαντικό παράγοντα υιοθέτησης της νεφοϋπολογιστικής. Σύμφωνα με τις μελέτες των Alshamaila et al., (2013) και Gangwar et al., (2015), το μέγεθος των μικρών επιχειρήσεων, τους επιτρέπει να υιοθετήσουν νέες καινοτομίες καθώς μπορούν να αλλάξουν το όραμα και την αποστολή τους εύκολα και με ευελιξία. Επίσης, οι νεοσύστατες εταιρείες τείνουν να ελκύονται περισσότερο από την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή κεφαλαιουχικών δαπανών.

2.4.1.3 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Οι κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις επιχειρήσεις στην υιοθέτηση των υπηρεσιών νέφους, είναι η εξωτερική πίεση και η υποστήριξη των παρόχων υπηρεσιών. Οι εξωτερικές πιέσεις, έχουν γενικά θετικό αντίκτυπο στην πρόθεση υιοθέτησης της νεφοϋπολογιστικής από τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (Gangwar et al., 2015). Αυτό σημαίνει ότι η πίεση που ασκείται από ανταγωνιστές, προμηθευτές και άλλους επιχειρηματικούς εταίρους επηρεάζει θετικά την απόφαση υιοθέτησης των τεχνολογιών νεφοϋπολογιστικής, καθώς αποτελεί ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για τις επιχειρήσεις (Lin & Lin, 2008; Low et al., 2011). Από την άλλη πλευρά, για την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής, οι επιχειρήσεις θεωρούν σημαντική την παροχή πλήρους υποστήριξης από τους παρόχους των υπηρεσιών νέφους. Όταν μια νέα τεχνολογία, οι επιχειρήσεις βασίζονται περισσότερο στην υποστήριξη των

παρόχων υπηρεσιών για την αδιάκοπη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών νέφους αλλά και την διευκόλυνση της επιχειρηματικής τους λειτουργίας (Gangwar et al., 2015; Alshamaila et al., 2013).

2.5 Οικονομικά οφέλη από την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής

Σύμφωνα με τους Espadanal & Oliveira, (2012) και Marston et al., (2011), ένας από τους κύριους λόγους που οι επιχειρήσεις υιοθετούν την νεφοϋπολογιστική είναι η μείωση του κόστους. Παρόλα αυτά, το ζήτημα του κατά πόσον η μετάβαση στο νέφος έχει πλεονεκτήματα κόστους σε σχέση με την δημιουργία υποδομών στις εγκαταστάσεις μίας επιχείρησης, συνεχίζει να αποτελεί σημαντικό θέμα του κλάδου της πληροφορικής. Βασικό ρόλο στην διερεύνηση του θέματος του κόστους, αποτελούν οι έννοιες των κεφαλαιουχικών και λειτουργικών δαπανών.

Οι κεφαλαιουχικές και λειτουργικές δαπάνες κατανέμονται ακολούθως:

- **Κεφαλαιουχικές δαπάνες (Capital expenditures - CapEx):** Ορίζεται ως το επιχειρηματικό κόστος που προκύπτει για τη δημιουργία μακροπρόθεσμων οφελών στο μέλλον, όπως η αγορά ενός περιουσιακού στοιχείου (εργοστάσιο, σύστημα υπολογιστών, εταιρικό αυτοκίνητο), για την απόκτηση των οποίων, καταναλώνονται κεφάλαια της επιχείρησης. Μια τέτοια πληρωμή, εκτελείται για ολόκληρο το περιουσιακό στοιχείο και το κόστος καταχωρείται στον ισολογισμό της εταιρείας και αποσβένεται για κάποιο χρονικό διάστημα (Maverick, 2020).. Η κατηγορία των περιουσιακών στοιχείων μπορεί να περιλαμβάνει και άλλα κόστη, όπως η συντήρηση των υποδομών, η ασφάλιση και το προσωπικό που συνδέεται με τη χρήση των περιουσιακών στοιχείων. Μερικά παραδείγματα στοιχείων πληροφορικής που εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία είναι η υποδομή πληροφορικής μιας επιχείρησης αποτελούμενη από ολοκληρωμένα συστήματα και διακομιστές, εκτυπωτές και σαρωτές ή κλιματιστικά και γεννήτριες. Η αγορά αυτών των ειδών γίνεται μία φορά και χρησιμοποιούνται από την επιχείρηση για πολλά χρόνια.
- **Λειτουργικές δαπάνες (Operational Expenditures - OpEx):** Αυτές οι δαπάνες σχετίζονται με την αγορά υπηρεσιών για μια προγραμματισμένη χρονική περίοδο, όπως π.χ. 1-2 χρόνια. Όλες οι πληρωμές OpEx κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου υπολογίζονται στην κατάσταση λογαριασμού αποτελεσμάτων και δεν επηρεάζουν άμεσα τον ισολογισμό (Murphy, 2020). Μερικά παραδείγματα λειτουργικών δαπανών περιλαμβάνουν συμβουλευτικές υπηρεσίες,

ενοικίαση/μίσθωση κτιρίων, πωλήσεις, υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, υπηρεσίες νεφοϋπολογιστικής και τέλη ενοικίασης αυτοκινήτων. Το κόστος για αυτές τις υπηρεσίες συνήθως καλύπτει όλα τα έξοδα που σχετίζονται με τις υπηρεσίες.

Σήμερα πολλά προϊόντα πληροφορικής μπορούν να αποκτηθούν είτε ως CapEx είτε ως OpEx, δίνοντας στις επιχειρήσεις περισσότερες επιλογές για να λειτουργήσουν. Για παράδειγμα, ένα λογισμικό μπορεί να αγοραστεί είτε εφάπαξ, για απεριόριστη χρήση ως κεφαλαιουχικό στοιχείο ή μπορεί αγοραστεί και με τη μορφή μηνιαίας συνδρομής ως λειτουργικό στοιχείο. Όλα εξαρτώνται από το τι ταιριάζει καλύτερα στους οικονομικούς στόχους μιας επιχείρησης, επειδή οι κεφαλαιουχικές και οι λειτουργικές δαπάνες αντιμετωπίζονται διαφορετικά φορολογικά και λογιστικά, ενώ επηρεάζουν μακροπρόθεσμα τη συνολική αξία μιας αγοράς.

Για παράδειγμα, το κεφαλαιουχικό κόστος θεωρείται επένδυση. Η αγορά μιας μακροπρόθεσμης ανάγκης ταυτόχρονα προϋποθέτει ότι το αντικείμενο έχει μεγάλη αξία και τελικά θα πληρώσει για τον εαυτό του καθώς προσφέρει οφέλη στην εταιρεία με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, δεδομένου ότι ένα στοιχείο CapEx θα χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια πολλών ετών, πρέπει είτε να αποσβένεται είτε να αποτιμάται κατά τη διάρκεια της ζωής του, αντί να αφαιρείται εξ' ολοκλήρου σε ένα φορολογικό έτος, για λογιστικούς σκοπούς. Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες απαιτούν επίσης περαιτέρω επενδύσεις για τη συντήρηση και τη διατήρηση της λειτουργίας και τελικά θα πρέπει να αντικατασταθούν, απαιτώντας μια επιπλέον επένδυση (Murphy, 2020). Αυτό γίνεται ακόμα πιο επιζήμιο για μια επιχείρηση, όταν η επένδυση αφορά εξοπλισμό πληροφορικής, ο οποίος διατρέχει τον κίνδυνο να θεωρηθεί ξεπερασμένος μέσα σε σχετικά σύντομο διάστημα, πριν ακόμα αποσβέσει το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης.

Οι λειτουργικές δαπάνες, από την άλλη πλευρά, εκπίπτουν πλήρως από τον φόρο και αφαιρούνται από τα έσοδα μιας επιχείρησης κατά τον υπολογισμό των κερδών και των ζημιών της, αυξάνοντας έτσι το περιθώριο κέρδους της (Maverick, 2020). Οι λειτουργικές δαπάνες αντικατοπτρίζουν επίσης με μεγαλύτερη ακρίβεια το κόστος της επιχειρηματικής δραστηριότητας επειδή τα οφέλη και η αξία τους αναγνωρίζονται άμεσα και εύκολα. Ένα μειονέκτημα των λειτουργικών εξόδων είναι ότι αυτές οι αγορές δεν αντικατοπτρίζουν πάντα την πραγματική ποιότητα τους και μπορεί να αποτελέσουν μια αιτία δημιουργίας επιχειρηματικού χρέους. Με τα σημερινά δεδομένα όμως, αυτό μπορεί να λυθεί σχετικά εύκολα με την παύση χρήσης μιας υπηρεσίας ή

με την αλλαγή ενός παρόχου, στην περίπτωση που η επιχείρηση δεν λαμβάνει την ικανοποίηση των αναγκών της.

2.5.1 Διαφορές OpEx και CapEx

Οι οικονομικές διαφορές του OpEx έναντι του CapEx κατά την υιοθέτηση υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή χρήσης μιας υπηρεσίας. Εάν μια επιχείρηση θέλει να αποφύγει τις δυσκολίες μιας κεφαλαιουχικής δαπάνης, είναι πιθανό να επιλέξει την χρήση μιας δημόσιας υπηρεσίας νέφους που χρησιμοποιεί το μοντέλο “pay as you go”. Αν όμως θέλει να έχει απόλυτο έλεγχο των υπηρεσιών νέφους εντός των υποδομών της επιχείρησης, μπορεί να αναθέσει στην εσωτερική της ομάδα IT, την δημιουργία ενός ιδιωτικού νέφους, όπου ο οργανισμός θα έχει την απόλυτη ευθύνη για την λειτουργία και την συντήρηση της υποδομής, αλλά και κάθε άλλο κόστος που μπορεί να προκύψει στην συνέχεια (Maverick, 2020).

Ωστόσο, για τις περισσότερες επιχειρήσεις, ένα πρόγραμμα τύπου “pay-as-you-go” για υπηρεσίες νεφοϋπολογιστικής, είναι πιθανώς η προφανής λύση. Αυτή η λύση, επιτρέπει στην επιχείρηση να λαμβάνει όλα τα οφέλη της νεφοϋπολογιστικής για την λειτουργία της, χωρίς να χρειάζεται να δαπανήσει χρήματα για την πρόσληψη εξειδικευμένου προσωπικού ή για την εκπαίδευση του υφιστάμενου προσωπικού της για την διαχείριση και λειτουργία ενός ιδιόκτητου νέφους.

2.5.2 Κόστος CapEx υπολογιστικής

Η εγκατάσταση ενός τυπικού κέντρου δεδομένων περιλαμβάνει κόσθη όπως (Kumar, 2020):

I. Υλικό και λογισμικό

Αυτό περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα υλικού και το κόστος υποστήριξής τους. Για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου τοπικού κέντρου δεδομένων, μία επιχείρηση θα πρέπει να δαπανήσει κεφάλαια για την απόκτηση του απαραίτητου εξοπλισμού. Επίσης, είτε η επένδυση αφορά στην αγορά νέου εξοπλισμού, είτε στην αναβάθμιση παλαιού εξοπλισμού, η κεφαλαιουχική δαπάνη επιβαρύνεται επιπρόσθετα με την προμήθεια λογισμικού και καθώς και τα έξοδα εγκατάστασης τόσο του εξοπλισμού όσο και του λογισμικού. Γενικά, αυτός ο τύπος επένδυσης αποτελεί ένα προσεκτικά υπολογίσιμο μέρος του προϋπολογισμού, αλλά μπορεί να επηρεάσει την άμεση ταμειακή ροή της επιχείρησης.

II. Κόστος αποθήκευσης

Αυτό περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία υλικού αποθήκευσης και το κόστος υποστήριξής του. Με βάση παράγοντες όπως η εφαρμογή και το επίπεδο ανοχής σφαλμάτων, η αποθήκευση υψηλής απόδοσης μπορεί να είναι δαπανηρή. Ορισμένοι μεγαλύτεροι οργανισμοί, δημιουργούν επίσης επίπεδα αποθήκευσης, όπου η ακριβότερη υψηλή απόδοση και ο ανεκτός σε σφάλματα χώρος αποθήκευσης, χρησιμοποιούνται για κρίσιμες εφαρμογές και χαμηλότερη απόδοση, ενώ το χαμηλότερο κόστος αποθήκευσης χρησιμοποιείται για δεδομένα χαμηλότερης προτεραιότητας.

III. Κόστος δικτύου

Η δικτύωση περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα υλικού εγκατάστασης, όπως καλωδίωση, διακόπτες, ασύρματα σημεία πρόσβασης και δρομολογητές.

IV. Έξοδα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας και αρχειοθέτησης

Η ακεραιότητα των αντιγράφων ασφαλείας και των δεδομένων είναι το κλειδί σε οποιαδήποτε επιχείρηση. Ορισμένοι οργανισμοί ενδέχεται να δημιουργήσουν ένα αντίγραφο ασφαλείας από ή προς το cloud. Υπάρχει εκ των προτέρων κόστος για το υλικό και πρόσθετο κόστος για τη συντήρηση αντιγράφων ασφαλείας και αναλώσιμα.

V. Κόστος κατασκευής υποδομών

Πρόκειται για το κόστος κατασκευής και συντήρησης των υποδομών που φιλοξενούν τον εξοπλισμό μιας επιχείρησης. Στο κόστος αυτό περιλαμβάνονται και όλα τα επιπρόσθετα έξοδα για τυχόν ανακαίνιση ή επέκταση των υποδομών.

2.5.3 Κόστος OpEx υπολογιστικής

Με την χρήση της νεφοϋπολογιστικής, εξαλείφεται η ανάγκη για δημιουργία εγκαταστάσεων IT στο φυσικό χώρο των επιχειρήσεων, με αποτέλεσμα τα κόστη α μετατρέπονται σε λειτουργικά έξοδα (OpEx), καθώς οι επιχειρήσεις κάνουν χρήση των υπηρεσιών από παρόχους. Τα έξοδα αυτά περιλαμβάνουν:

I. Εκμίσθωση λογισμικού και προσαρμογή των υπηρεσιών

Η χρήση της νεφοϋπολογιστικής αποτελεί ένα έξοδο για κάθε επιχείρηση η οποία εκμισθώνει κάποιο λογισμικό για την λειτουργία της. Για κάθε υπηρεσία που

χρησιμοποιεί μία επιχείρηση, το κόστος χρήσης αποτελεί έξοδο λειτουργίας και προσμετράτε στο OpEx της.

II. Κλιμάκωση χρεώσεων με βάση τη χρήση / ζήτηση

Το cloud computing μπορεί να έχει πολλές μεθόδους χρέωσης, όπως τον αριθμό των χρηστών ή τον χρόνο χρήσης των υπηρεσιών. Ωστόσο, οι κατηγορίες χρέωσης μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν εκχωρημένη μνήμη RAM, λειτουργίες εισόδου/εξόδου ανά δευτερόλεπτο και χώρο αποθήκευσης δεδομένων.

III. Χρέωση σε επίπεδο χρήστη ή οργανισμού

Το μοντέλο συνδρομής (pay-per-use) είναι μια υπολογιστική μέθοδος χρέωσης που έχει σχεδιαστεί τόσο για οργανισμούς όσο και για μεμονωμένους χρήστες. Ο οργανισμός ή ο χρήστης χρεώνεται για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται, συνήθως σε επαναλαμβανόμενη βάση. Έτσι οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν, να προσαρμόζουν και να κλιμακώνουν του υπολογιστικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένων πλατφορμών λογισμικού, αποθήκευσης και ανάπτυξης.

2.6 Οικονομικά του Νέφους

Η νεφοϋπολογιστική μπορεί να προσφέρει νέες ευκαιρίες στους οργανισμούς να μεταμορφώσουν το επιχειρηματικό τους μοντέλο και να επενδύσουν στην καινοτομία, καταφέροντας παράλληλα να μειώσουν το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας, να αυξήσουν την ευελιξία τους και να κερδίσουν ανταγωνιστικό κέρδος στην αγορά για νέα προϊόντα και υπηρεσίες.

Καθώς, λοιπόν, αποτελεί μια σημαντική αλλαγή στα επιχειρηματικά και οικονομικά μοντέλα για την παροχή και την κατανάλωση υπηρεσιών υπολογιστικής, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους (Williams, 2012). Με τον απλούστερο όρο, τα οικονομικά της νεφοϋπολογιστικής, επικεντρώνονται στο κόστος και τα οφέλη από την υιοθέτηση της και δεδομένου ότι πολλές επιχειρήσεις έχουν επενδύσει σε κέντρα δεδομένων και υποδομές εγκαταστάσεων, είναι σημαντικό για αυτούς τους οργανισμούς να εντοπίσουν και να κατανοήσουν τους οικονομικούς παράγοντες που θα βοηθήσουν στη λήψη των σωστών αποφάσεων. Αυτό απαιτεί μια λεπτομερή ανάλυση κόστους και οφέλους που περιλαμβάνει πολλά κριτήρια όπως η υποδομή, η διαχείριση, η υποστήριξη, οι νομικές απαιτήσεις, οι ανάγκες στελέχωσης για επιχειρήσεις, η έρευνα και η ανάπτυξη (E & A) και η ασφάλεια.

Ο υπολογισμός βασικών δεικτών όπως της απόδοσης επένδυσης (Return on Investment - ROI), του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership - TCO) καθώς και άλλων δεικτών, είναι εξαιρετικά σημαντικός για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η νεφοϋπολογιστική μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και να οδηγήσει στην εξοικονόμηση κόστους για μια επιχείρηση (Williams, 2012).

Στην συνέχεια γίνεται μια συνοπτική αναφορά σε τέσσερις βασικές οικονομικές μετρήσεις:

- Ανάλυση κόστους-οφέλους (Cost Benefit Analysis – CBA),
- Απόδοση της επένδυσης (Return on Investment - ROI),
- Καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value – NPV) και,
- Συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership - TCO).

2.6.1 Ανάλυση κόστους οφέλους (Cost Benefit Analysis – CBA)

Η ανάλυση κόστους οφέλους (Cost Benefit Analysis – CBA), είναι μια σχετικά απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική από τις επιχειρήσεις, για το εάν θα πραγματοποιήσουν ή όχι μια αλλαγή (Maresova, Sobeslav & Krejcar, 2017). Όπως υποδηλώνει το όνομά της, η τεχνική απλώς προσθέτει την αξία των πλεονεκτημάτων μιας απόφασης και αφαιρεί το κόστος που σχετίζεται με αυτήν. Το κόστος είναι είτε εφάπαξ είτε επαναλαμβανόμενο. Τα οφέλη όμως, λαμβάνονται συνήθως με την πάροδο του χρόνου και αυτή η επίδραση του χρόνου ενσωματώνεται στην ανάλυση με τον υπολογισμό μιας περιόδου απόσβεσης.

Πολλές εταιρείες αναζητούν απόσβεση κεφαλαίου σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο, π.χ. τρία χρόνια. Στην απλή του μορφή, η ανάλυση κόστους-οφέλους πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μόνο οικονομικά κόστη και οικονομικά οφέλη. Για παράδειγμα, μια απλή ανάλυση κόστους - οφέλους της χρήσης νεφοϋπολογιστικής, θα μετρήσει το οικονομικό όφελος της χρήσης της, ενώ θα αφαιρεθεί το κόστος της μετάβασης. Δεν θα μετρήσει ούτε το κόστος της εργασίας του προσωπικού, ούτε το όφελος της κινητικότητας ενός συστήματος.

2.6.2 Απόδοση επένδυσης (Return on Investment - ROI)

Γενικά, η μέτρηση ROI καθορίζει το όφελος για έναν επενδυτή για μια συγκεκριμένη επένδυση και μετρά τις μελλοντικές ταμειακές ροές σε σχέση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Αυτή η πολύ συνηθισμένη μέτρηση παρέχει στις επιχειρήσεις πληροφορίες

για την αποτελεσματικότητα μιας επένδυσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση διαφορετικών επιλογών επενδύσεων, όπως διαφορετικών προμηθευτών νέφους, στρατηγικών ή εργαλείων (Mohapatra & Laxmikant, 2014). Ενώ η απόδοση επένδυσης (ROI) είναι ένας τρόπος τοποθέτησης των κερδών στο επενδυμένο κεφάλαιο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση διαφορετικών επενδύσεων, είναι πολύ απλό να υπολογιστεί και ως εκ τούτου δεν λαμβάνει υπόψη κριτήρια όπως ο χρόνος.

$$ROI = \frac{\text{Κέρδη επένδυσης} - \text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Κόστος επένδυσης}} \times 100$$

2.6.3 Καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value – NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value – NPV) ενός έργου αντιπροσωπεύει την αλλαγή στην καθαρή αξία / ίδια κεφάλαια μιας εταιρείας που θα προέκυπτε από την αποδοχή του έργου καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (Williams, 2012). Είναι ίση με την παρούσα αξία των καθαρών εισροών του έργου μείον την αρχική επένδυση. Είναι μια από τις πιο αξιόπιστες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στον προϋπολογισμό κεφαλαίου επειδή βασίζεται στην προσέγγιση των προ εξοφλημένων ταμειακών ροών.

Οι υπολογισμοί καθαρής παρούσας αξίας απαιτούν την γνώση των ακόλουθων τιμών:

- Προβλεπόμενες καθαρές ταμειακές ροές μετά από φόρους σε κάθε περίοδο του έργου.
- Αρχική δαπάνη επένδυσης.
- Κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο,

Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίζεται σύμφωνα με αυτόν τον τύπο:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{(\text{Οφελος}_t - \text{Κόστος}_t)}{(1 + r)^t}$$

όπου το όφελος και το κόστος είναι οι τιμές του μελλοντικού ποσού στο χρόνο t, r είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο και t είναι το έτος.

Μια θετική καθαρή παρούσα αξία σημαίνει ότι η απόδοση από την επένδυση είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση και δείχνει κέρδος της επένδυσης. Εάν το NPV μιας επένδυσης είναι μηδέν, η επένδυση παράγει μόνο το

ελάχιστο ποσοστό απόδοσης και οι ταμειακές ροές μπορούν να καλύψουν μόνο το επενδυτικό κόστος και το κόστος κεφαλαίου για το απασχολούμενο κεφάλαιο.

2.6.4 Συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership - TCO)

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO) είναι ένα οικονομικό μέγεθος που προορίζεται να βοηθήσει τις εταιρείες να προσδιορίσουν το άμεσο και έμμεσο κόστος ενός προϊόντος ή συστήματος, όπως τα δικά τους κέντρα δεδομένων ή η νεφροϋπολογιστική. Για τον ΤΠ τομέα υπάρχουν τα ακόλουθα κόστη:

- Έξοδα κεφαλαίου (υλικό, άδειες λογισμικού, κτίριο κ.λπ.).
- Λειτουργικά έξοδα (συντήρηση, υποστήριξη, υπηρεσίες κ.λπ.).
- Έμμεσο κόστος (κόστος διακοπή λειτουργίας, κ.λπ.).

Η σύγκριση του κόστους μεταξύ λύσεων ιδιόκτητων εγκαταστάσεων και νεφροϋπολογιστικής, μπορεί να βοηθήσει στην ακριβή εκτίμηση του πραγματικού κόστους και των δύο επιλογών (Walterbusch, Martens, & Teuteberg, 2013). Η ανάλυση TCO έχει ως στόχο να αποκαλύψει το κόστος για την απόκτηση, τη λειτουργία και τη συντήρηση τόσο των εσωτερικών κέντρων δεδομένων όσο και της χρήσης υπηρεσιών νέφους, συμπεριλαμβανομένων των αγορών, χρηματοδότησης, συντήρησης, αναβαθμίσεων, ανάπτυξης, ασφάλειας, απόσβεσης, παροπλισμού και άλλων. Χρησιμοποιείται για την κατανόηση της διαφοράς μεταξύ του αρχικού κόστους και του συνολικού κόστους που λειτουργεί ο ΤΠ στο νέφος. Η χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του TCO εξαρτάται από εταιρικά πρότυπα που καθορίζουν πότε ξεκινά και λήγει η ιδιοκτησία.

Δεδομένου ότι τα κέντρα δεδομένων αποτελούν σημαντικό κομμάτι όλων των επιχειρήσεων, το πραγματικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας υπερβαίνει το κόστος αγοράς εξοπλισμού δικτύωσης και αποθήκευσης. Για την ανάπτυξη ενός ιδιόκτητου κέντρου δεδομένων, απαιτείται, εκτός της μέτρησης του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας (TCO), ανάλυση ROI.

Αναφορικά με την χρήση του νέφους ως υπηρεσία, ο τύπος και η φύση του κόστους είναι διαφορετικοί (π.χ. λιγότερα κεφαλαιουχικά έξοδα), επομένως η σύγκριση του TCO ενός κέντρου δεδομένων ιδιόκτητης εγκατάστασης με μια λύση νέφους μπορεί να μοιάζει άنيση. Η κατανόηση του συνολικού κόστους ενός κέντρου δεδομένων δεν είναι εύκολη υπόθεση, αλλά ο υπολογισμός βοηθά τους ιδιοκτήτες επιχειρήσεων να βελτιώσουν τις δομές και την αποτελεσματικότητα του κόστους. Η αξιολόγηση του

τρόπου αξιοποίησης της νεφοϋπολογιστικής για την επίτευξη αυτών των στόχων μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με την αποκάλυψη όλων των σχετικών με το κέντρο δεδομένων εξόδων, όπως το ενεργειακό κόστος για την ψύξη και την λειτουργία. Μερικοί από τους δύσκολους τομείς όπου οι υπολογισμοί του εσωτερικού κόστους θα μπορούσαν να αποτύχουν είναι:

- Άμεσο κόστος λειτουργίας, όπως τροφοδοσία, ψύξη, αποθήκευση και λειτουργίες πληροφορικής.
- Έμμεσο κόστος λειτουργίας, όπως υποδομή δικτύου και αποθήκευσης.
- Γενικά έξοδα όπως προμήθεια, διαχείριση πληροφορικής κ.λπ.

Το γενικό κόστος μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$TCO_T = \text{Αρχικό Κόστος} + \sum_{i=1}^T (\text{Άμεσα κόστη} + \text{Έμμεσα κόστη})$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

3.1 Γενικά

Η παροχή υπηρεσιών στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών βασίζεται παραδοσιακά σε φορείς εκμετάλλευσης δικτύου που χρησιμοποιούν φυσικές ιδιότητες συσκευές και εξοπλισμό για κάθε λειτουργία που αποτελεί μέρος μιας δεδομένης υπηρεσίας. Επιπλέον, τα στοιχεία υπηρεσίας έχουν αυστηρή αλυσίδα και/ή ιεραρχία που πρέπει να αντικατοπτρίζονται στην τοπολογία του δικτύου και στον εντοπισμό των στοιχείων υπηρεσίας. Αυτά, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις για υψηλή ποιότητα, σταθερότητα και αυστηρή τήρηση των πρωτοκόλλων, έχουν οδηγήσει σε μεγάλους κύκλους προϊόντων, πολύ χαμηλή ευελιξία υπηρεσίας και μεγάλη εξάρτηση από εξειδικευμένο υλικό.

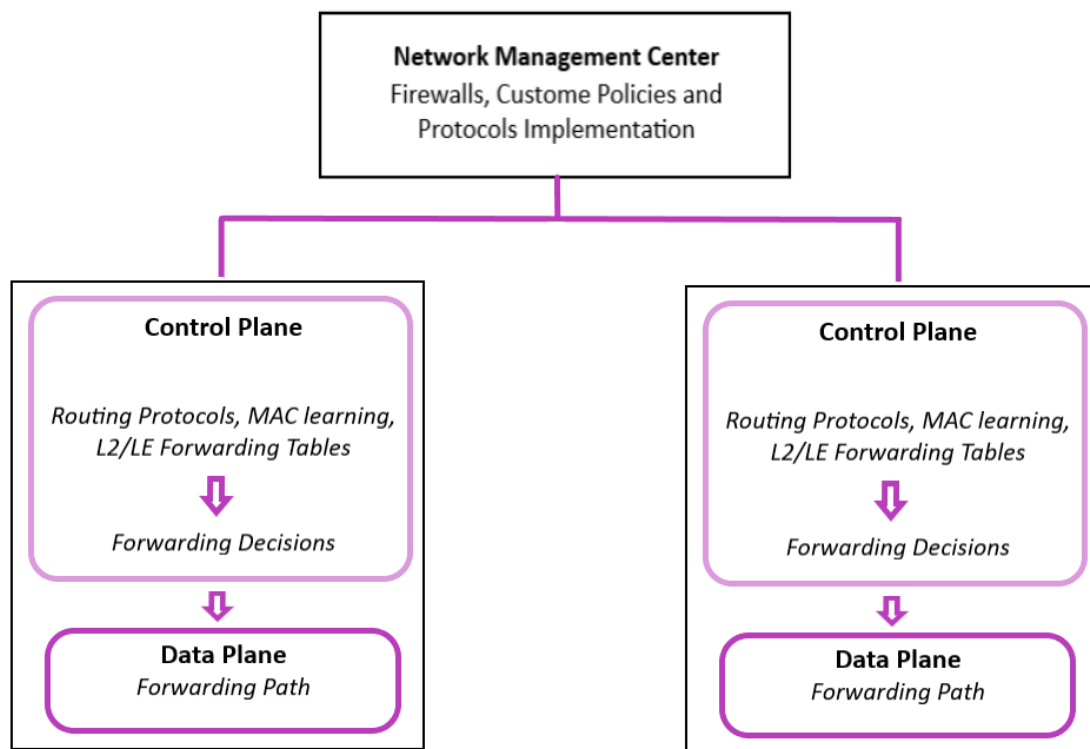
Ωστόσο, οι απαιτήσεις των χρηστών για διαφορετικές και νέες υπηρεσίες, με υψηλές ταχύτητες δεδομένων, συνεχίζουν να αυξάνονται. Επομένως, οι πάροχοι υπηρεσιών πρέπει συνεχώς να αγοράζουν, να αποθηκεύουν και να λειτουργούν νέο φυσικό εξοπλισμό. Αυτό δεν απαιτεί μόνο υψηλές και ταχέως μεταβαλλόμενες δεξιότητες για τεχνικούς που χειρίζονται και διαχειρίζονται αυτόν τον εξοπλισμό, αλλά και απαιτούν πυκνές αναπτύξεις εξοπλισμού δικτύου, όπως για παράδειγμα οι σταθμοί βάσης.

Επιπλέον, ακόμη και με αυτές τις υψηλές απαιτήσεις των πελατών, η επακόλουθη αύξηση του κεφαλαίου και του λειτουργικού κόστους δεν μπορεί να μεταφραστεί σε υψηλότερα τέλη συνδρομής, δεδομένου ότι οι πάροχοι γνωρίζουν ότι οι αλλαγές στις χρεώσεις των υπηρεσιών τους, εξαιτίας του υψηλού ανταγωνισμού, μπορεί να οδηγήσει μόνο σε απώλεια πελατών. Ως εκ τούτου, οι πάροχοι αναγκάστηκαν να βρουν τρόπους δημιουργίας πιο δυναμικών δικτύων και υπηρεσιών με γνώμονα τις υπηρεσίες, και στόχο τη μείωση των κύκλων προϊόντων, τα έξοδα λειτουργίας και κεφαλαίου και τη βελτίωση της ευελιξίας των υπηρεσιών.

Η ταχεία πρόοδος στις τεχνολογίες δικτύωσης και υπολογιστών επέτρεψε την ανάπτυξη διαφόρων εφαρμογών, με διαφορετικές απαιτήσεις στις υπηρεσίες δικτύου. Οι εξαιρετικά ποικίλες και δυναμικές υπηρεσίες δικτύου που απαιτούνται από τις τρέχουσες και τις αναδυόμενες εφαρμογές δημιουργούν νέες προκλήσεις στην παροχή υπηρεσιών για τα μελλοντικά δίκτυα. Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων αναπτύχθηκαν οι καινοτομίες των Software Defined Networking (SDN) και Network Function Virtualization (NFV).

3.2 Software Defined Networking (SDN)

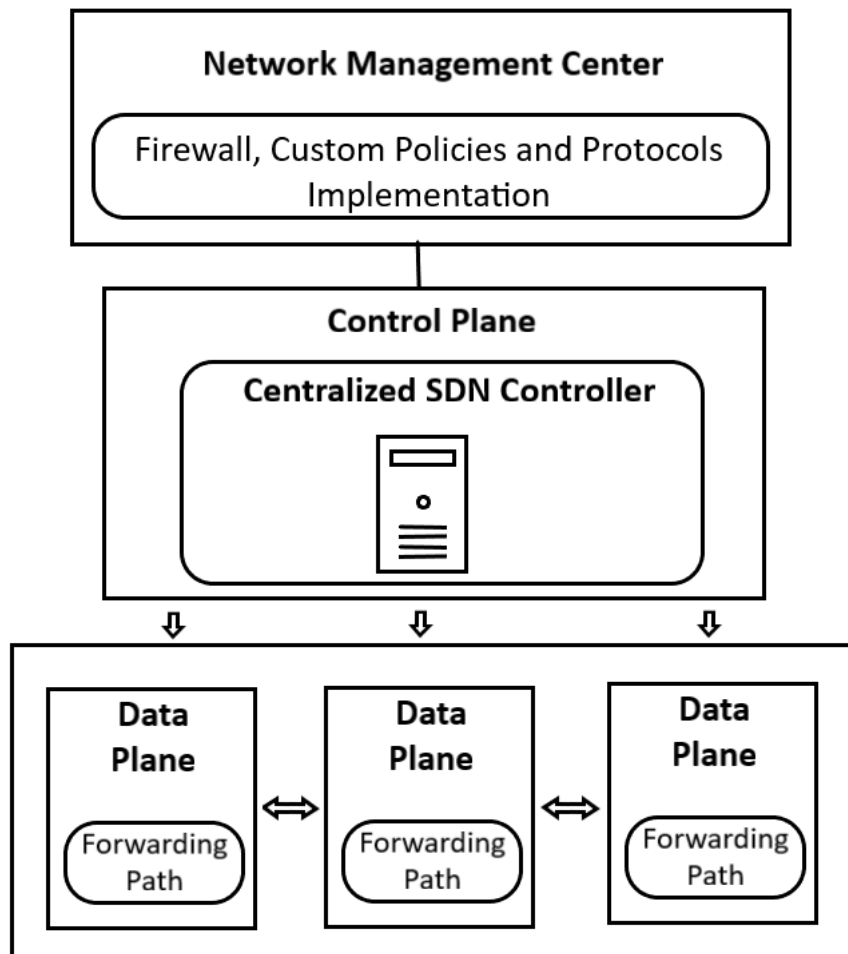
Το SDN (Network Defined Network) είναι μια προσέγγιση για τη δημιουργία δικτύων υπολογιστών που διαχωρίζει και αφαιρεί στοιχεία αυτών των συστημάτων. Αποτελεί μια αρχιτεκτονική όπου η βασική αρχή είναι ο φυσικός διαχωρισμός του επιπέδου ελέγχου δικτύου από το επίπεδο προώθησης. Πρώτον, σπάει την κάθετη ροή διαχωρίζοντας το επίπεδο ελέγχου από τους υποκείμενους δρομολογητές και διακόπτες που προωθούν την κίνηση (επίπεδο δεδομένων). Δεύτερον, με το διαχωρισμό των επιπέδων ελέγχου και δεδομένων, οι διακόπτες δικτύου καθίστανται απλές συσκευές προώθησης και η λογική ελέγχου εφαρμόζεται σε έναν συγκεντρωτικό ελεγκτή, απλοποιώντας έτσι την εφαρμογή πολιτικών αλλά και τη διαμόρφωση και εξέλιξη του δικτύου (Kim & Feamster, 2013). Μια απλοποιημένη άποψη αυτής της αρχιτεκτονικής φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 2 Αρχιτεκτονική παραδοσιακού δικτύου

Ο διαχωρισμός του επιπέδου ελέγχου και του επιπέδου δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω μιας σαφώς καθορισμένης διεπαφής προγραμματισμού μεταξύ των διακοπών και του ελεγκτή SDN (Bera, Misra & Vasilakos, 2017). Ο ελεγκτής ασκεί άμεσο έλεγχο της κατάστασης στα στοιχεία του πεδίου δεδομένων μέσω αυτής της σαφώς καθορισμένης διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογών (Application Programming Interface - API). Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός

τέτοιου API είναι το OpenFlow. Ένας διακόπτης OpenFlow έχει έναν ή περισσότερους πίνακες κανόνων χειρισμού πακέτων (πίνακας ροής). Κάθε κανόνας αντιστοιχεί σε ένα υποσύνολο της επισκεψιμότητας και εκτελεί ορισμένες ενέργειες (προώθηση, τροποποίηση κ.λπ.) στην κίνηση. Ανάλογα με τους κανόνες που έχουν εγκατασταθεί από μια εφαρμογή ελεγκτή, ένας διακόπτης OpenFlow μπορεί να συμπεριφέρεται σαν δρομολογητής, διακόπτης, τείχος προστασίας ή να εκτελεί άλλους ρόλους (π.χ. εξισορρόπηση φορτίου, διαμορφωτής κίνησης και γενικά λειτουργίες ενός middlebox).



Εικόνα 3 Αρχιτεκτονική SDN

Μια σημαντική συνέπεια των αρχών δικτύωσης που καθορίζονται από το λογισμικό είναι ο διαχωρισμός των θεμάτων που προκύπτουν μεταξύ του ορισμού των πολιτικών δικτύου, της εφαρμογής τους στην εναλλαγή υλικού και της προώθησης της κίνησης. Αυτός ο διαχωρισμός είναι το κλειδί για την δημιουργία της επιθυμητής ευελιξίας, χωρίζοντας το πρόβλημα του ελέγχου δικτύου σε ανιχνεύσιμα κομμάτια, διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο τη δημιουργία και την εισαγωγή νέων τμημάτων

δικτύωσης, απλοποιώντας τη διαχείριση του δικτύου και διευκολύνοντας την εξέλιξη και την καινοτομία του.

Αν και το SDN και το OpenFlow ξεκίνησαν ως ακαδημαϊκά πειράματα, έτυχαν σημαντικής αναγνώρισης στη βιομηχανία (Tourrilhes et al., 2014). Η δυναμική και η δυνατότητες του SDN ήταν αρκετά ισχυρά κίνητρα τα οποία ώθησαν μεγάλες εταιρίες όπως οι Google, Microsoft, Verizon και άλλες, να χρηματοδοτήσουν το Open Networking Foundation (ONF), με κύριο στόχο την προώθηση και την υιοθέτηση του SDN μέσω της ανάπτυξης ανοικτών προτύπων (Open Networking Foundation, 2016). Καθώς αντιμετωπίστηκαν οι αρχικές ανησυχίες σχετικά με την επεκτασιμότητα SDN, όπως ο μύθος ότι ο λογικός συγκεντρωτισμός υπονοούσε έναν φυσικά συγκεντρωτικό ελεγκτή, η έννοια του SDN έχει ωριμάσει και έχει εξελιχθεί από μια ακαδημαϊκή άσκηση σε μια εμπορική επιτυχία.

Γενικά το SDN ως αρχιτεκτονική δικτύου διαθέτει τέσσερις πυλώνες:

- Τα επίπεδα ελέγχου και δεδομένων αποσυνδέονται. Η λειτουργία ελέγχου καταργείται από συσκευές δικτύου που θα γίνουν απλά στοιχεία προώθησης (πακέτων).
- Οι αποφάσεις προώθησης βασίζονται στη ροή και όχι στον προορισμό. Η ροή καθορίζεται ευρέως από ένα σύνολο τιμών πεδίων πακέτων που λειτουργούν ως κριτήριο αντιστοίχισης (φίλτρο) και ένα σύνολο ενεργειών (οδηγίες). Στο πλαίσιο SDN/OpenFlow, μια ροή είναι μια ακολουθία πακέτων μεταξύ μιας πηγής και ενός προορισμού. Όλα τα πακέτα ροής λαμβάνουν πανομοιότυπες πολιτικές υπηρεσίας στις συσκευές προώθησης (Gude et al., 2008). Η αφαίρεση ροής επιτρέπει την ενοποίηση της συμπεριφοράς διαφόρων τύπων συσκευών δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των δρομολογητών, των διακοπών, των τείχους προστασίας και των middleboxes (Stabler et al., 2012). Ο προγραμματισμός ροής επιτρέπει ευελιξία, η οποία περιορίζεται μόνο στις δυνατότητες των εφαρμοζόμενων πινάκων ροής.
- Η λογική ελέγχου μετακινείται σε μια εξωτερική οντότητα, τον αποκαλούμενο ελεγκτή SDN ή το λειτουργικό σύστημα δικτύου (Network Operating System - NOS) (Lin & Wang, 2015). Το NOS είναι μια πλατφόρμα λογισμικού που λειτουργεί με τεχνολογία διακομιστή και παρέχει τους απαραίτητους πόρους για να διευκολύνει τον προγραμματισμό συσκευών προώθησης με βάση μια λογικά κεντροποιημένη και αφηρημένη προβολή δικτύου. Ο σκοπός του είναι επομένως παρόμοιος με αυτόν ενός παραδοσιακού λειτουργικού συστήματος.

- Το δίκτυο είναι προγραμματιζόμενο μέσω εφαρμογών λογισμικού που εκτελούνται πάνω στο NOS, που αλληλοεπιδρά με τις υποκείμενες συσκευές επιπέδου δεδομένων. Αυτό είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό του SDN, που θεωρείται ως η κύρια αξία του.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο λογικός συγκεντρωτισμός της λογικής ελέγχου, προσφέρει πρόσθετα οφέλη. Πρώτον, είναι πιο απλό και λιγότερο επιρρεπές σε σφάλματα κατά την τροποποίηση πολιτικών δικτύου μέσω γλωσσών υψηλού επιπέδου και στοιχείων λογισμικού, σε σύγκριση με χαμηλού επιπέδου συσκευές. Δεύτερον, ένα πρόγραμμα ελέγχου μπορεί να αντιδρά αυτόματα σε ψευδείς αλλαγές της κατάστασης του δικτύου και έτσι να διατηρεί ανέπαφες τις πολιτικές υψηλού επιπέδου. Τρίτον, ο συγκεντρωτισμός της λογικής ελέγχου σε έναν ελεγκτή με γενική γνώση της κατάστασης δικτύου απλοποιεί την ανάπτυξη πιο εξελιγμένων λειτουργιών, υπηρεσιών και εφαρμογών δικτύωσης.

Η ισχυρή σύνδεση μεταξύ των επιπέδων ελέγχου και δεδομένων έχει καταστήσει δύσκολη την προσθήκη νέων λειτουργιών στα παραδοσιακά δίκτυα. Η σύζευξη των επιπέδων ελέγχου και δεδομένων (και η φυσική της ενσωμάτωση στα στοιχεία του δικτύου) καθιστά την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση νέων δυνατοτήτων δικτύωσης (π.χ. αλγόριθμοι δρομολόγησης) πολύ δύσκολη, διότι συνεπάγεται τροποποίηση του επιπέδου ελέγχου όλων των συσκευών δικτύου - μέσω της εγκατάστασης νέου υλικού/λογισμικού και, σε ορισμένες περιπτώσεις, αναβαθμίσεων υλικού. Ως εκ τούτου, οι νέες δυνατότητες δικτύωσης εισάγονται συνήθως μέσω ακριβών και εξειδικευμένων εξοπλισμών (γνωστοί και ως middleboxes) όπως εξισορροπητές φορτίων, συστήματα ανίχνευσης εισβολής (intrusion detection systems - IDS) και τείχη προστασίας. Αυτά τα middleboxes πρέπει να τοποθετηθούν στρατηγικά στο δίκτυο, καθιστώντας ακόμη πιο δύσκολη οποιαδήποτε αλλαγή στην τοπολογία, τη διαμόρφωση και τη λειτουργικότητα του δικτύου.

Αντιθέτως, το SDN αποσυνδέει το επίπεδο ελέγχου από τις συσκευές δικτύου και μετατρέπει τον ελεγκτή σε μια εξωτερική οντότητα. Αυτή η προσέγγιση έχει πολλά πλεονεκτήματα (Kim & Feamster, 2013):

- ✓ Ο προγραμματισμός των εφαρμογών γίνεται ευκολότερος να προγραμματίσετε καθώς οι αφαιρέσεις που παρέχονται από την πλατφόρμα ελέγχου ή/και τις γλώσσες προγραμματισμού δικτύου μπορούν να κοινοποιηθούν.
- ✓ Όλες οι εφαρμογές μπορούν να επωφεληθούν από τις ίδιες πληροφορίες δικτύου (την παγκόσμια προβολή δικτύου), οδηγώντας σε πιο συνεπείς και

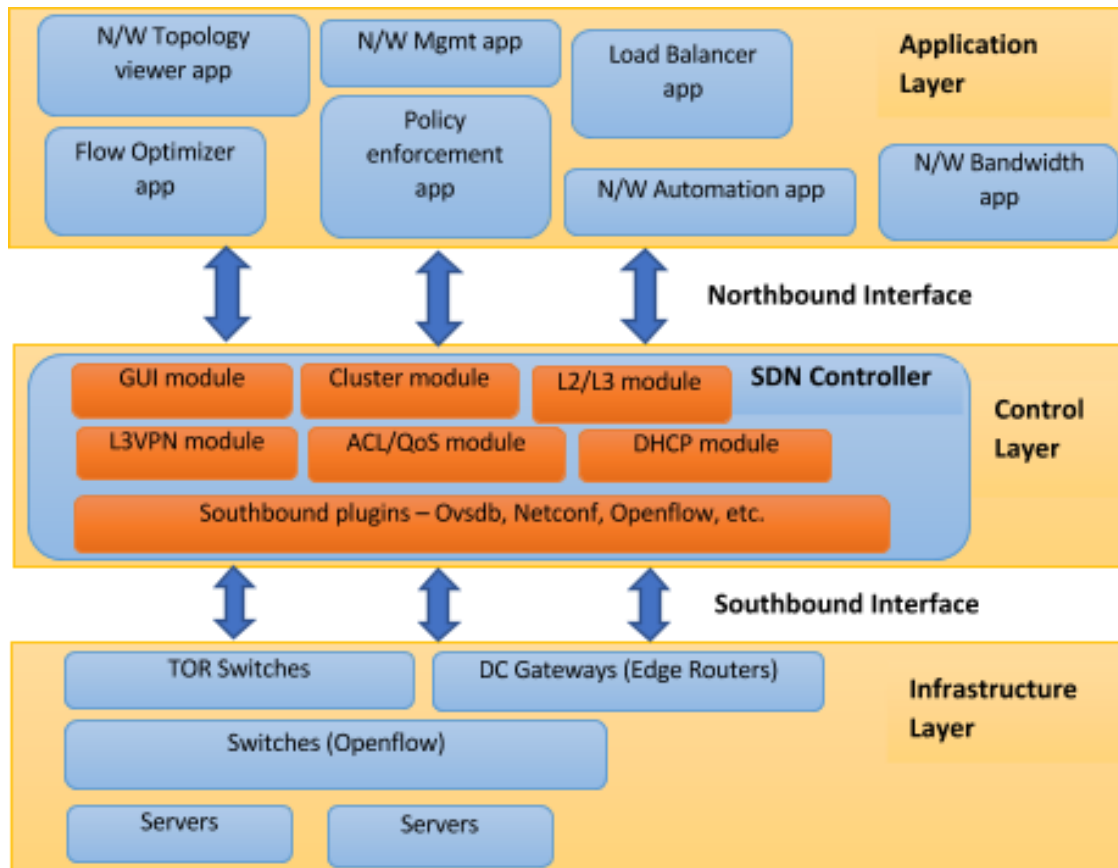
αποτελεσματικές αποφάσεις πολιτικής, επαναχρησιμοποιώντας τις μονάδες λογισμικού επιπέδου ελέγχου.

- ✓ Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να αναλάβουν ενέργειες (δηλαδή, να διαμορφώσουν εκ νέου τις συσκευές προώθησης) από οποιοδήποτε μέρος του δικτύου. Επομένως, δεν χρειάζεται να επινοήσουμε μια ακριβή στρατηγική για τη θέση της νέας λειτουργικότητας.
- ✓ Απλοποιείται η ενσωμάτωση διαφορετικών εφαρμογών. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές εξισορρόπησης φορτίου και δρομολόγησης μπορούν να συνδυαστούν διαδοχικά, με τις αποφάσεις εξισορρόπησης φορτίου να έχουν προτεραιότητα έναντι των πολιτικών δρομολόγησης.

3.2.1 Διάρθρωση Δικτύου SDN

Μια αρχιτεκτονική SDN μπορεί να απεικονιστεί ως σύνθεση διαφορετικών επιπέδων, όπως φαίνεται στην εικόνα 4. Κάθε επίπεδο έχει τις δικές του συγκεκριμένες λειτουργίες. Ενώ κάποιες από αυτές υπάρχουν σε κάθε ανάπτυξη του SDN ως αναπόσπαστα στοιχεία όπως το southbound και northbound API, τα λειτουργικά συστήματα δικτύου και οι εφαρμογές δικτύου, κάποιες άλλες μπορεί να είναι υπάρχουν μόνο σε συγκεκριμένες αναπτύξεις, όπως η εποπτεία ή η εικονικοποίηση βάσει γλώσσας.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα επίπεδα του SDN ακολουθώντας μία από κάτω προς τα πάνω προσέγγιση.



Εικόνα 4 Σχηματική απεικόνιση των επιπέδων του SDN (Himanshu & Thakur, 2020)

3.2.1.1 Το Επίπεδο Υποδομής

Το Επίπεδο Υποδομής - Infrastructure Layer αποτελείται από συσκευές μεταγωγής, π.χ. δρομολογητές στο επίπεδο δεδομένων (Blial, Ben Mamoun & Benaini, 2016). Οι συσκευές μεταγωγής είναι υπεύθυνες για το χειρισμό πακέτων με βάση τους κανόνες που παρέχει ένας ελεγκτής. Δεύτερον, συλλέγουν την κατάσταση του δικτύου και λαμβάνουν την προσωρινή μνήμη των δεδομένων και τα αποθηκεύουν σε τοπική μονάδα αποθήκευσης ή σε συγκεκριμένες συσκευές πριν τα στείλουν στους ελεγκτές. Οι πληροφορίες κατάστασης του δικτύου ενδέχεται να περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως στατιστικά κίνησης, τοπολογία δικτύου, χρήση δικτύου κ.λπ.

- I. Μεταγωγείς: Ανάλογα με το μοντέλο αναφοράς Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων (OSI - Open Systems Interconnection) που χρησιμοποιείται από το σύστημα, οι μεταγωγείς χρησιμοποιούν αντίστοιχες διευθύνσεις ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλοι πίνακες δρομολόγησης (routing tables). Οι συσκευές μεταγωγής διασυνδέονται μέσω διαφορετικών μέσων μετάδοσης, συμπεριλαμβανομένων καλωδίων Ethernet, καλωδίων χαλκού και οπτικών ινών.

- II. Μνήμη: Μία από τις κύριες προκλήσεις του επιπέδου ελέγχου είναι ο τρόπος αποτελεσματικής εξοικονόμησης μνήμης. Οι μεταγωγείς σε μεγάλα δίκτυα θα χρειαζόταν μεγαλύτερο χώρο μνήμης και, ως εκ τούτου, πρέπει να πραγματοποιείται συνεχής εκκαθάριση συσσωρευμένων δεδομένων και αναβαθμίσεις συσκευών αποθήκευσης για την αποφυγή εξάντλησης της μνήμης. Σε περίπτωση γεμάτου χώρου μνήμης, τα πακέτα θα πρέπει να ακυρωθούν ή να κατευθυνθούν στους ελεγκτές για περαιτέρω αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο επεξεργασίας τους, με αποτέλεσμα μια αργή απόδοση δικτύου. Το SDN λύνει αυτό το πρόβλημα μέσω της χρήσης προγραμματισμένων οδηγιών για τους ελεγκτές προκειμένου να μειωθεί η χρήση μνήμης.
- III. Μέσα μετάδοσης: Το SDN πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα πιθανά μέσα μετάδοσης, συμπεριλαμβανομένων ενσύρματων, ασύρματων και οπτικών συσκευών, προκειμένου να παρέχει μια καθολική κάλυψη. Ωστόσο, διαφορετικά μέσα μετάδοσης έχουν τις δικές τους προδιαγραφές διαμόρφωσης και διαχείρισης. Ως εκ τούτου, το SDN θα πρέπει να ενσωματωθεί σε αυτές τις τεχνολογίες, ανεξάρτητα από την απαιτούμενη διαμόρφωση.
- IV. Επίπεδο δεδομένων: Η κύρια λειτουργία του επιπέδου δεδομένων είναι η προώθηση πακέτων. Κατά τη λήψη ενός πακέτου δεδομένων, η πρώτη συσκευή μεταγωγής επιβεβαιώνει τον κανόνα προώθησης που ταιριάζει με το πακέτο και στη συνέχεια προωθεί το πακέτο στον επόμενο διακομιστή ή δρομολογητή αντίστοιχα (Karakus & Durresi, 2017).

3.2.1.2 Το Επίπεδο Ελέγχου

Το επίπεδο ελέγχου γεφυρώνει το επίπεδο υποδομής και το επίπεδο εφαρμογής, μέσω των δύο διεπαφών του - ένα για αλληλεπίδραση προς τα κάτω με το επίπεδο υποδομής (δηλαδή, τη southbound διεπαφή) καθορίζοντας κανόνες για τους ελεγκτές να έχουν πρόσβαση στις διάφορες λειτουργίες που παρέχονται από τους μεταγωγείς και προς τα πάνω αλληλεπίδραση (northbound διεπαφή) με το επίπεδο εφαρμογής (Karakus & Durresi, 2017).

- I. Γλώσσα προγραμματισμού: Η βασική λειτουργία του επιπέδου ελέγχου είναι η ανάλυση των απαιτήσεων εφαρμογής σε κανόνες προώθησης πακέτων. Αυτή η λειτουργία απαιτεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, π.χ. μια γλώσσα προγραμματισμού, μεταξύ του επιπέδου ελέγχου και του επιπέδου εφαρμογής πάνω από αυτό. Επομένως, είναι επιτακτική ανάγκη να παρέχεται μια γλώσσα υψηλού επιπέδου για εφαρμογές SDN, προς αλληλεπίδραση με τους ελεγκτές. Οι

οδηγίες γλώσσας πρέπει να καθορίζουν μια περιεκτική σύνταξη για εφαρμογές SDN, για να κατανοούν εύκολα τις απαιτήσεις τους και τις στρατηγικές διαχείρισης δικτύου.

- II. Ενημέρωση κανόνων: Ένας ελεγκτής SDN είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία κανόνων προώθησης πακέτων, την ανάλυση των κανόνων και την προώθησή τους σε κατάλληλες συσκευές μεταγωγής (Open Networking Foundation, 2014). Ωστόσο, οι κανόνες προώθησης πρέπει να ενημερωθούν λόγω αλλαγών διαμόρφωσης και ελέγχου δυναμικών προβλημάτων δικτύου, όπως η κατεύθυνση της κίνησης από έναν διακομιστή σε άλλο για βέλτιστη εξισορρόπηση φορτίου.
- III. Συγκέντρωση κατάστασης δικτύου: Στην ανοδική ροή, οι ελεγκτές συλλέγουν πληροφορίες στατιστικών στοιχείων δικτύου για να δημιουργήσουν μια ευρεία προβολή ολόκληρου του δικτύου και να παρέχουν στο επίπεδο εφαρμογής τις απαραίτητες πληροφορίες για να λειτουργεί καλύτερα. Τα κύρια δεδομένα κατάστασης δικτύου περιλαμβάνουν στατιστικά κίνησης, όπως χρόνο εκτέλεσης, αριθμό πακέτου, μέγεθος δεδομένων και εύρος ζώνης.
- IV. Επικύρωση πολιτικών και κανόνων: Η συνέπεια στις πολιτικές και τους κανόνες είναι ένα σημαντικό βήμα προς τη σταθεροποίηση των επιλογών δρομολόγησης στα δίκτυα SDN. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, σε δίκτυα SDN, πολλές εφαρμογές μπορούν να συνδεθούν στον ίδιο ελεγκτή και μπορούν να ρυθμιστούν πολλοί ελεγκτές για συνολική βελτίωση του δικτύου. Σε περίπτωση που υπάρχουν πολλοί κανόνες στο σύστημα, οι πολιτικές και οι κανόνες θα πρέπει να επικυρώνονται για τον εντοπισμό και την αποφυγή πιθανών συγκρούσεων.

3.2.1.3 Southbound και Northbound Διεπαφές

Οι Southbound και Northbound διεπαφές είναι οι γέφυρες σύνδεσης ανάμεσα στο επίπεδο ελέγχου με το επίπεδο δεδομένων κάτω από αυτό (southbound) και με το επίπεδο εφαρμογών πάνω από αυτό (northbound), αποτελώντας έτσι το κρίσιμο εργαλείο για τον σαφή διαχωρισμό της λειτουργικότητας του επιπέδου ελέγχου και των άλλων δύο επιπέδων.

- Οι southbound διεπαφές μεταδίδουν πληροφορίες στους διακόπτες συσκευών δικτύωσης, τους δρομολογητές, τα τείχη προστασίας, τα VM (υπολογιστικοί κόμβοι). Το OpenFlow/Open Stack είναι το πιο κοινό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για επικοινωνία προς τα κάτω. Σε γενικές γραμμές, οι southbound διεπαφές βοηθούν στην επικοινωνία των επιπέδων ελέγχου και υποδομής.

- Οι northbound διεπαφές επικοινωνούν και αλληλοεπιδρούν με τις εφαρμογές και τα επιχειρηματικά εργαλεία του επιπέδου εφαρμογών (Cabaj et al., 2014). Αυτές οι διεπαφές βοηθούν τους χρήστες ή τους διαχειριστές δικτύου να αναπτύξουν μέσω προγραμματισμού τους κανόνες δικτύου ή να διαμορφώσουν την κίνηση και να προσαρμόσουν τον έλεγχο δικτύου. Επίσης χρησιμοποιούνται και για την ενσωμάτωση του SDN Controller με εξωτερικές στοίβες αυτοματισμού και λειτουργικά συστήματα νεφούπολογιστικής όπως το OpenStack, το VCloud Director και το CloudStack.

3.2.1.4 Το Επίπεδο Εφαρμογής

Αυτό το επίπεδο περιέχει εφαρμογές που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτιστοποίηση της εμπειρίας του χρήστη. Μέσω της προγραμματιζόμενης πλατφόρμας που παρέχεται από το επίπεδο ελέγχου, οι εφαρμογές μπορούν να έχουν πρόσβαση και να ελέγχουν συσκευές μεταγωγής στο επίπεδο υποδομής. Οι εφαρμογές SDN μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, η οποία περιλαμβάνει δυναμικό έλεγχο πρόσβασης, με κινητικότητα και μετεγκατάσταση, καθώς και εξισορρόπηση φορτίου διακομιστή και εικονικοποίηση δικτύου (Open Networking Foundation, 2014).

- I. Προσαρμοσμένη δρομολόγηση: Η κύρια λειτουργία ενός δικτύου είναι η μεταγωγή πακέτων και η δρομολόγηση. Παραδοσιακά, τα σχέδια μεταγωγής και δρομολόγησης βασίζονται σε μια κατανεμημένη προσέγγιση. Ωστόσο, τέτοια κατανεμημένα σχέδια έχουν πολλά σημεία συμφόρησης, συμπεριλαμβανομένης της σύνθετης εφαρμογής, της αργής σύγκλισης και της περιορισμένης ικανότητας επίτευξης ευρέως ελέγχου δικτύου. Ως εναλλακτική λύση, το SDN προσφέρει ένα κλειστό σύνολο ελέγχων βρόχου, τροφοδοτώντας τις εφαρμογές με τακτικές έγκαιρες πληροφορίες για την κατάσταση του γενικού δικτύου και επιτρέποντας στις εφαρμογές να ελέγχουν το δίκτυο.
- II. Εξισορρόπηση φορτίου: Η εξισορρόπηση φορτίου είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για την καλύτερη χρήση του διακομιστή. Είναι μια συνήθης πρακτική τεχνικών εξισορρόπησης φορτίου σε κέντρα δεδομένων για την ανάπτυξη τεχνολογιών εξισορρόπησης φορτίου front-end για τον χειρισμό της προώθησης του αιτήματος ενός πελάτη σε ένα συγκεκριμένο σύνολο διακομιστών, με βάση κάποια μήτρα ή αντίγραφο για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, μείωση του χρόνου απόκρισης και λοιπά.

3.3 Network Functions Virtualization (NFV)

Το NFV είχε προταθεί ως τρόπος αντιμετώπισης προκλήσεων της αύξησης των απαιτήσεων στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, αξιοποιώντας την τεχνολογία εικονικοποίησης για να προσφέρει έναν νέο τρόπο σχεδιασμού, ανάπτυξης και διαχείρισης υπηρεσιών δικτύωσης (Han et al., 2015). Η κύρια ιδέα του NFV είναι η αποσύνδεση του φυσικού εξοπλισμού δικτύου από τις λειτουργίες που τρέχουν στον εξοπλισμό αυτό. Αυτό σημαίνει ότι μια λειτουργία δικτύου - όπως ένα τείχος προστασίας - μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω κάποιου παρόχου ως απλό λογισμικό. Αυτό επιτρέπει την ενοποίηση πολλών τύπων εξοπλισμού δικτύου σε διακομιστές, διακόπτες και αποθήκευση, οι οποίοι θα μπορούσαν να βρίσκονται σε κέντρα δεδομένων, κατανεμημένους κόμβους δικτύου και σε χώρους τελικών χρηστών. Με αυτόν τον τρόπο, μια δεδομένη υπηρεσία μπορεί να αποσυντεθεί σε ένα σύνολο λειτουργιών εικονικού δικτύου (Virtual Network Functions - VNFs), οι οποίες στη συνέχεια θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε λογισμικό που εκτελείται σε έναν ή περισσότερους τυπικούς βιομηχανικούς διακομιστές. Τα VNF μπορούν στη συνέχεια να μετεγκατασταθούν και να δημιουργηθούν σε διαφορετικές τοποθεσίες δικτύου (π.χ., με στόχο την εισαγωγή μιας υπηρεσίας που στοχεύει πελάτες σε μια δεδομένη γεωγραφική τοποθεσία) χωρίς να απαιτείται απαραίτητα η αγορά και εγκατάσταση νέου υλικού.

Το NFV υπόσχεται στους παρόχους μεγαλύτερη ευελιξία να διευρύνουν περαιτέρω τις δυνατότητες και τις υπηρεσίες δικτύου τους σε χρήστες και άλλες υπηρεσίες, καθώς και τη δυνατότητα ανάπτυξης ή υποστήριξης νέων υπηρεσιών δικτύου γρηγορότερα και φθηνότερα, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ευελιξία υπηρεσιών. Για να επιτευχθούν αυτά τα οφέλη, η NFV ανοίγει το δρόμο σε ορισμένες διαφορές στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η παροχή υπηρεσιών δικτύου σε σύγκριση με την τρέχουσα πρακτική. Συνοπτικά, αυτές οι διαφορές έχουν ως εξής (ETSI, 2014a):

- Αποσύνδεση λογισμικού από το υλικό. Δεδομένου ότι το στοιχείο δικτύου δεν είναι πλέον σύνθεση ολοκληρωμένων οντοτήτων υλικού και λογισμικού, η εξέλιξη και των δύο είναι ανεξάρτητη η μία από την άλλη. Αυτό επιτρέπει ξεχωριστά χρονοδιαγράμματα ανάπτυξης και συντήρηση για το λογισμικό και το υλικό.
- Ευέλικτη ανάπτυξη λειτουργίας δικτύου. Η απόσπαση λογισμικού από το υλικό βοηθά στην εκ νέου ανάθεση και κοινή χρήση των πόρων υποδομής, έτσι μαζί, το υλικό και το λογισμικό, μπορούν να εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες σε διάφορες χρονικές στιγμές. Αυτό βοηθά τους χειριστές δικτύου να αναπτύξουν νέες

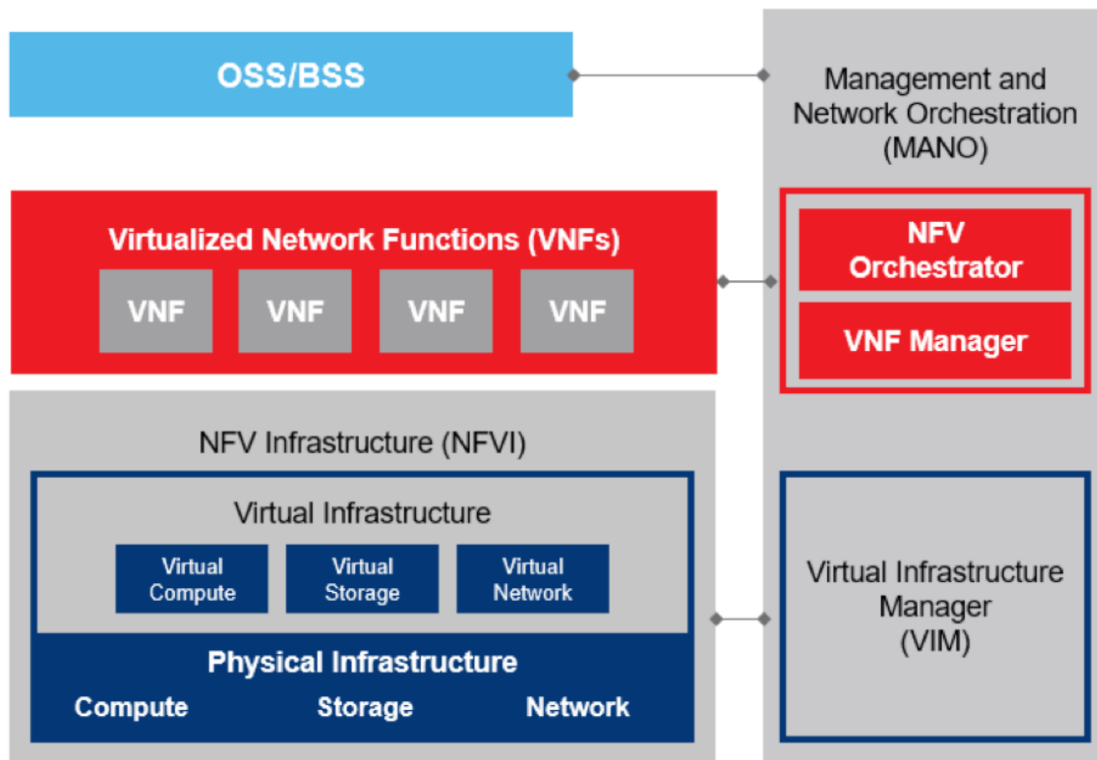
υπηρεσίες δικτύου πιο γρήγορα μέσω της ίδιας φυσικής πλατφόρμας. Επομένως, τα στοιχεία μπορούν να δημιουργηθούν σε οποιαδήποτε συσκευή με δυνατότητα NFV στο δίκτυο και οι συνδέσεις τους μπορούν να ρυθμιστούν με ευέλικτο τρόπο.

- Δυναμική κλιμάκωση. Η αποσύνδεση της λειτουργιών δικτύου σε στιγμιαία συστατικά του λογισμικού, παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στην κλιμάκωση της πραγματικής απόδοσης VNF με πιο δυναμικό τρόπο και με περισσότερη λεπτομέρεια, για παράδειγμα, σύμφωνα με την πραγματική κίνηση για την οποία ο διαχειριστής δικτύου πρέπει να παρέχει χωρητικότητα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η γενική ιδέα της αποσύνδεσης των λειτουργιών δικτύου (NF) από ειδικό υλικό δεν απαιτεί απαραίτητα εικονικοποίηση πόρων. Αυτό σημαίνει ότι οι πάροχοι θα μπορούσαν να αγοράσουν ή να αναπτύξουν λογισμικό NF και να το τρέχουν σε φυσικά μηχανήματα. Η διαφορά είναι ότι αυτά τα NF θα πρέπει να μπορούν να εκτελούνται σε εμπορεύσιμους διακομιστές. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα (όπως ευελιξία, δυναμική κλιμάκωση πόρων, ενεργειακή απόδοση) που αναμένεται από την εκτέλεση αυτών των λειτουργιών σε εικονικοποιημένους πόρους είναι πολύ ισχυρά σημεία πώλησης του NFV.

3.3.1 Αρχιτεκτονική NFV

Μια βασική νόηση των διαφόρων στοιχείων της αρχιτεκτονικής του NFV βοηθά στην κατανόηση των λόγων για τους οποίους η προσέγγιση αυτή έχει προσελκύσει την προσοχή των επιχειρήσεων που αναζητούν πιο ευέλικτες και αυτοματοποιημένες μεθόδους για την ανάπτυξη και διαχείριση ευρείας κατανεμημένης υποδομής και πόρων δικτύου. Τα κύρια συστατικά μιας αρχιτεκτονικής NFV περιλαμβάνουν τις λειτουργίες εικονικοποιημένου δικτύου (VNFs), την υποδομή NFV (NFVI) και τη διαχείριση και ενορχήστρωση NFV (MANO), όπως παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5 Σχεδιαστική απεικόνιση της αρχιτεκτονικής NFV (Leonhardt, 2019)

3.3.1.1 Υποδομή NFV (NFVI)

Το NFVI είναι ο συνδυασμός πόρων υλικού και λογισμικού που συνθέτουν το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται οι λειτουργίες εικονικοποιημένου δικτύου (VNFs). Οι φυσικοί πόροι περιλαμβάνουν το υλικό, την αποθήκευση και το δίκτυο (που αποτελείται από κόμβους και συνδέσμους) που παρέχουν επεξεργασία, αποθήκευση και συνδεσιμότητα με τις VNFs. Οι εικονικοί πόροι είναι αφαιρέσεις των πόρων υπολογιστών, αποθήκευσης και δικτύου. Η αφαίρεση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα επίπεδο εικονικοποίησης (βασισμένο σε έναν επόπτη), το οποίο αποσυνδέει τους εικονικούς πόρους από τους υποκείμενους φυσικούς πόρους. Σε ένα περιβάλλον κέντρου δεδομένων, οι πόροι υπολογιστών και αποθήκευσης μπορούν να εκπροσωπούνται σε μία ή περισσότερες εικονικές μηχανές (Virtual Machines - VM), ενώ τα εικονικά δίκτυα αποτελούνται από εικονικούς συνδέσμους και κόμβους. Ένας εικονικός κόμβος είναι ένα στοιχείο λογισμικού με λειτουργίες φιλοξενίας ή δρομολόγησης, για παράδειγμα ένα λειτουργικό σύστημα ενσωματωμένο σε ένα VM. Ένας εικονικός σύνδεσμος είναι μια λογική διασύνδεση δύο εικονικών κόμβων, που τους παρουσιάζεται ως άμεσος φυσικός σύνδεσμος με δυναμικά μεταβαλλόμενες ιδιότητες (ETSI, 2014a).

3.3.1.2 Λειτουργίες και υπηρεσίες εικονικού δικτύου

Το NF είναι ένα λειτουργικό μπλοκ σε μια υποδομή δικτύου που έχει καλά καθορισμένες εξωτερικές διεπαφές και καλά καθορισμένη λειτουργική συμπεριφορά. Παραδείγματα NF είναι στοιχεία σε οικιακό δίκτυο, συμβατικές λειτουργίες δικτύου, τείχη προστασίας κ.λπ. Επομένως, ένα VNF είναι μια εφαρμογή ενός NF που αναπτύσσεται σε εικονικούς πόρους, όπως ένα VM. Ένα μεμονωμένο VNF μπορεί να αποτελείται από πολλαπλά εσωτερικά στοιχεία, και ως εκ τούτου θα μπορούσε να αναπτυχθεί σε πολλαπλά VM, οπότε κάθε VM φιλοξενεί ένα μεμονωμένο στοιχείο του VNF (ETSI, 2014b). Μια υπηρεσία είναι μια προσφορά που παρέχεται από ένα πάροχο που διαθέτει ένα ή περισσότερα NF. Στην περίπτωση του NFV, τα NF που απαρτίζουν την υπηρεσία εικονικοποιούνται και αναπτύσσονται σε εικονικούς πόρους όπως ένα VM. Ωστόσο, από την άποψη των χρηστών, οι υπηρεσίες (είτε βασίζονται σε λειτουργίες που εκτελούν αποκλειστικό εξοπλισμό είτε σε VMs) πρέπει να έχουν την ίδια απόδοση. Ο αριθμός, ο τύπος και η σειρά των VNF που το συνθέτουν καθορίζονται από τις λειτουργικές και συμπεριφορικές προδιαγραφές της υπηρεσίας. Επομένως, η συμπεριφορά της υπηρεσίας εξαρτάται από τη συμπεριφορά των συστατικών VNFs.

3.3.1.3 Διαχείριση και ενορχήστρωση NFV (NFV MANO)

Σύμφωνα με το πλαίσιο του ETSI (2014a), για την διαχείριση και ενορχήστρωση, το NFV MANO παρέχει τη λειτουργικότητα που απαιτείται για την παροχή VNFs και τις σχετικές λειτουργίες, όπως η διαμόρφωση των VNF και η υποδομή στην οποία τρέχουν αυτές οι λειτουργίες. Περιλαμβάνει την ενορχήστρωση και την διαχείριση κύκλου ζωής φυσικών πόρων ή/και λογισμικού που υποστηρίζουν την εικονικοποίηση της υποδομής και τη διαχείριση κύκλου ζωής των VNF. Περιλαμβάνει επίσης βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των μοντέλων πληροφοριών και δεδομένων που ορίζουν τόσο την ανάπτυξη όσο και τις ιδιότητες του κύκλου ζωής των λειτουργιών, των υπηρεσιών και των πόρων. Το NFV MANO εστιάζει σε όλα τα καθήκοντα διαχείρισης που αφορούν την εικονικοποίηση και που είναι απαραίτητα στο πλαίσιο NFV. Επιπλέον, το πλαίσιο ορίζει διεπαφές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συστατικών του NFV MANO, καθώς και τον συντονισμό με παραδοσιακά συστήματα διαχείρισης δικτύου όπως το Σύστημα Υποστήριξης Λειτουργιών (Operations Support System - OSS) και το Σύστημα Υποστήριξης Επιχειρήσεων (Business Support Systems - BSS).

3.3.3 Πλεονεκτήματα του NFV

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, το NFV παρέχει τις υπηρεσίες δικτύου σε εικονικές μηχανές (VM) που λειτουργούν σε υποδομές Cloud, όπου κάθε VM εκτελεί διαφορετικές λειτουργίες δικτύου (π.χ. τείχος προστασίας, ανίχνευση εισβολής, εξισορρόπηση φορτίου κ.λπ.) (Pei et al., 2017). Ορισμένα οφέλη από την ανάπτυξη υπηρεσιών δικτύου ως εικονικών λειτουργιών είναι (ETSI, 2012):

- **Ευελιξία:** Οι χειριστές που επιθυμούν να αναπτύξουν γρήγορα νέες υπηρεσίες απαιτούν ένα πολύ πιο ευέλικτο και προσαρμόσιμο δίκτυο - ένα που μπορεί εύκολα να εγκατασταθεί και να παρασχεθεί εύκολα, παρέχοντας παράλληλα ευελιξία στην κατανομή λειτουργιών δικτύου σε υλικό γενικής χρήσης.
- **Κόστος:** Το κόστος αποτελεί κορυφαία εκτίμηση για οποιονδήποτε χειριστή ή πάροχο υπηρεσιών, από την στιγμή που μεγάλες εταιρείες όπως η Google και άλλες, έχουν αναπτύξει τεράστια κέντρα δεδομένων. Το NFV παρέχει μείωση του κόστους CAPEX με τη διαχείριση της ενεργειακής χρήσης, ενώ με την αυτοματοποίηση των επιχειρησιακών διαδικασιών, βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα, μειώνοντας το κόστος OPEX.
- **Επεκτασιμότητα:** Για γρήγορη προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες ανάγκες των χρηστών και παροχή νέων υπηρεσιών, οι χειριστές είναι σε θέση να κλιμακώσουν την αρχιτεκτονική του δικτύου τους σε πολλούς διακομιστές, αντί να περιορίζονται από αυτό που μπορεί να κάνει ένα μόνο κουτί.
- **Ασφάλεια:** Η ασφάλεια υπήρξε, και εξακολουθεί να είναι, μια μεγάλη πρόκληση στη δικτύωση. Οι χειριστές είναι σε θέση να παρέχουν και να διαχειρίζονται το δίκτυο, ενώ επιτρέπουν στους πελάτες τους να χρησιμοποιούν τον δικό τους εικονικό χώρο και τείχος προστασίας, με ασφάλεια εντός του δικτύου.
- **Εικονικοποίηση σε άλλο δίκτυο παρόχων υπηρεσιών:** Για να καλύψουν καλύτερα τις ανάγκες των πελατών, οι πάροχοι υπηρεσιών έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τις υπηρεσίες τους οπουδήποτε στον κόσμο χρησιμοποιώντας την εικονικοποίηση.

3.4 Νέα γενιά δικτύων 5G

Το 5G είναι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 5ης γενιάς. Είναι ένα νέο παγκόσμιο ασύρματο πρότυπο μετά από δίκτυα 1G, 2G, 3G και 4G. Το 5G επιτρέπει ένα νέο είδος δικτύου που έχει σχεδιαστεί για να συνδέει σχεδόν όλους και όλα μαζί, συμπεριλαμβανομένων μηχανών, αντικειμένων και συσκευών.

Η ασύρματη τεχνολογία 5G προορίζεται να παρέχει υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων πολλαπλών Gbps, εξαιρετικά χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, περισσότερη αξιοπιστία, τεράστια χωρητικότητα δικτύου, αυξημένη διαθεσιμότητα και πιο ομοιόμορφη εμπειρία χρήστη σε περισσότερους χρήστες. Η υψηλότερη απόδοση και η βελτιωμένη απόδοση ενδυναμώνουν νέες εμπειρίες χρηστών και συνδέουν νέες βιομηχανίες.

Το 5G υπόσχεται να προσφέρει ένα ενοποιημένο σύστημα που μπορεί να παρέχει νέες δυνατότητες και τρόπους χρήσης. Στοχεύει στην επιτάχυνση νέων επιχειρηματικών εγχειρημάτων, που έχουν ως στόχο την εξάλειψη των δαπανηρών και επιβλαβών προς το περιβάλλον λύσεων υπολογιστικής, προσφέροντας νέες λύσεις οι οποίες αφορούν όλο το φάσμα των επικοινωνιών, από νέους πύργους κινητής τηλεφωνίας, έως επενδύσεις σε νεφοϋπολογιστικά δίκτυα (Akraoku et al., 2017).

Μία από τις σημαντικές αλλαγές σχεδιασμού που έρχονται στο 5G είναι η δυνατότητα κυψελοειδούς μετάδοσης με όλους τους τύπους φάσματος και ζωνών να υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα νέων υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις ανάπτυξης (Akraoku et al., 2017). Προκειμένου να ανταποκριθεί στη ζήτηση της αυξανόμενης χωρητικότητας κίνησης, να επιτρέψει τα εύρη ζώνης μετάδοσης που απαιτούνται για την υποστήριξη πολύ υψηλών ταχυτήτων δεδομένων, ο σχεδιασμός 5G επεκτείνει το εύρος των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στα εύρη κινητής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση

Στις αρχές της δεκαετίας ο Gentzoglanis (2011) αναφέρει ότι το έναυσμα της ανάπτυξης του τομέα της νεφοϋπολογιστικής αποτέλεσε η αύξηση των αναγκών χρήσης πόρων πληροφορικής, τόσο από τις μεγάλες όσο και από τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Η νεφοϋπολογιστική παρέχει ουσιαστικές διευκολύνσεις μέσω της χρήσης εξωτερικών υπηρεσιών νέφους, οδηγώντας σε μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας. Αυτό το οποίο επιβεβαιώνουν και οι Misra & Mondal, (2011) και οι Georgakopoulos et al., (2016). Οι Misra & Mondal, (2011) υποστηρίζουν ότι οι επιχειρήσεις που δεν διαθέτουν ιδιόκτητες υποδομές IT, δεν επιβαρύνονται με τις διαδικασίες και τα κόστη διαχείρισης μιας τέτοιας υποδομής. Οπότε, η επιχειρήσεις έχουν την δυνατότητα να αφοσιωθούν πλήρως στην ανάπτυξη και βελτίωση των προϊόντων ή/και των υπηρεσιών τους, αυξάνοντας την παραγωγικότητα τους. Επίσης, προσθέτουν ότι οι υπηρεσίες νέφους επιτρέπουν στους υπαλλήλους των επιχειρήσεων να έχουν πρόσβαση από οποιοδήποτε σημείο. Οι Georgakopoulos et al., (2016), υποστηρίζουν ότι η χρήση των υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής, στον τομέα της βιομηχανίας, προσφέρει αύξηση της παραγωγικότητας μέσω της αυτοματοποίησης των διεργασιών παραγωγής και ελέγχου που προσφέρει στις επιχειρήσεις. Αυτό βοηθά ουσιαστικά στην μείωση του ανθρώπινου λάθους και στην διευκόλυνση των εργασιών στα διάφορα στάδια παραγωγής.

Η παραγωγικότητα αποτελεί την κινητήριου δύναμη κάθε επιχείρησης, ανεξαρτήτου μεγέθους. Η χρήση της νεφοϋπολογιστικής, επιτρέπει στις επιχειρήσεις να επενδύουν στην ανάπτυξη και βελτίωση των προϊόντων τους, στην βελτίωση της κινητικότητας των εργαζομένων αλλά και στην διευκόλυνση των διεργασιών παραγωγής και ελέγχου, συμβάλλοντας ενεργά στην αύξηση της παραγωγικότητας τους.

Η μείωση του κινδύνου αποτελεί ένα ακόμα πλεονέκτημα που προσφέρει η χρήση της νεφοϋπολογιστικής (Gentzoglanis, 2011). Η επένδυση κεφαλαίων για την δημιουργία υποδομών IT αποτελεί σημαντικό εγχείρημα για κάθε επιχείρηση. Παρόλα αυτά, η δημιουργία και η διαχείριση μιας υποδομής IT ενέχει κινδύνους που μπορούν να πλήξουν σοβαρά μια επιχείρηση. Ο εξοπλισμός από τον οποίο απαρτίζεται μια υποδομή μπορεί να υποστεί βλάβη, ή να θεωρηθεί ξεπερασμένος πριν προλάβει να αποσβέσει η επένδυση, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η επιχείρηση με κόστη επισκευής ή αλλαγής, αυξάνοντας τα έξοδα CAPEX. Με την χρήση των υπηρεσιών

νέφους, οι επιχειρήσεις μετατρέπουν τα κεφαλαιουχικά έξοδα σε λειτουργικά. Οι Brender & Markon, (2013), συμφωνούν με αυτή την άποψη, καθώς οι υπηρεσίες νεφοϋπολογιστικής μπορούν να παρέχουν στις επιχειρήσεις (ειδικά στις μικρομεσαίες) την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν λογισμικό και εξοπλισμό που δεν θα μπορούσαν να προμηθευτούν με ίδια κεφάλαια εξαιτίας του υψηλού κόστους.

Οι Naudts et al., (2012), πραγματοποίησαν μια τεχνικοοικονομική ανάλυση για την εικονικοποίηση ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Το μοντέλο που πρότειναν οι μελετητές βασιζόταν στην αρχιτεκτονική του SDN, με την εισαγωγή μίας λύσης που στηρίζεται στην εξερεύνηση του OpenFlow (OF). Για την εκπόνηση της ανάλυσης, οι ερευνητές εξέτασαν δύο σενάρια όπου το πρώτο αποτελούνταν από καθορισμένα από λογισμικό, μη κοινόχρηστα δίκτυα και το δεύτερο από εικονικοποιημένα, κοινόχρηστα δίκτυα. Και τα δύο σενάρια, συγκρίθηκαν με βάση ένα κλασικό σενάριο ενός τυπικού δικτύου με κατανεμημένη αρχιτεκτονική.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, προέκυψε ότι η αρχιτεκτονική δικτύου SDN και η χρήση του πρωτοκόλλου OpenFlow μπορούν να μειώσουν τόσο τα κεφαλαιουχικά όσο και τα λειτουργικά έξοδα. Δίνοντας έμφαση στον υπολογισμό των κεφαλαιουχικών εξόδων, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι στο σενάριο SDN η μείωση του κόστους CAPEX φτάνει το 13,81%, ενώ στο σενάριο SDN κοινής χρήσης η μείωση φτάνει στο 48,04%, σε σύγκριση με το κλασικό σενάριο. Επίσης, καταλήγουν στο ότι η εξοικονόμηση που μπορεί να πετύχει ένας πάροχος δικτύου κινητής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που βασίζονται κυρίως στις συσκευές και τα εξαρτήματα που μπορεί να χρησιμοποιήσει σε σχέση με την ζήτηση των χρηστών του δικτύου.

Η χρήση της αρχιτεκτονικής SDN φέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα για τους παρόχους δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Με την εφαρμογή ενός SDN δικτύου αλλά και την χρήση του OpenFlow πρωτοκόλλου, οι πάροχοι μπορούν να μειώσουν τα κεφαλαιουχικά τους έξοδα ακόμα και στο μισό σε σχέση με την χρήση ενός τυπικού δικτύου, επιτρέποντας και σε νέους παρόχους να εισέλθουν στην αγορά με χαμηλό κεφαλαιουχικό κόστος.

Οι Sherry et al., (2012), σχεδίασαν μια υπηρεσία για την εξωτερική ανάθεση επεξεργασίας δεδομένων εταιριών από middleboxes στο νέφος, το APLOMB. Για την εφαρμογή του, διενήργησαν έρευνα σε 57 εταιρικά δίκτυα. Στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση των τρόπων με τους οποίους τα middleboxes επηρεάζουν την λειτουργία μιας εταιρείας, τόσο σε οικονομικό όσο και σε τεχνολογικό επίπεδο καθώς και τα οφέλη που μπορεί να προκύψουν από την εξωτερική ανάθεση.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας, οι μελετητές κατέληξαν στο ότι οι εταιρίες που διαθέτουν και διαχειρίζονται δικές τους υποδομές middlebox, επιβαρύνονται σημαντικά από το κόστος και την πολυπλοκότητα διαχείρισης της υποδομής, ενώ παράλληλα πρέπει να αντιμετωπίσουν σοβαρά προβλήματα που προκύπτουν από την αδυναμία των υποδομών να παρέχουν ευελιξία και από τον κίνδυνο αστοχίας του εξοπλισμού. Με την εξωτερική ανάθεση επεξεργασίας middlebox στο νέφος, οι εταιρίες μπορούν να πετύχουν υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης κεφαλαίων για την αγορά και την εγκατάσταση του εξοπλισμού υποδομής, χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργική απόδοση της. Επίσης, οι εταιρίες μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά από την προσιτή πλέον ευελιξία και επεκτασιμότητα των δικτύων νεφοϋπολογιστικής. Από την άλλη πλευρά, ένα από τα κύρια λειτουργικά έξοδα των εταιριών, ενδέχεται να αυξηθεί εξαιτίας των τρεχόντων επιχειρηματικών μοντέλων νεφοϋπολογιστικής. Παρόλα αυτά, με την εφαρμογή του μοντέλου APLOMB, το κόστος θα μπορούσε να μειωθεί ή να διατηρηθεί σταθερό, καθώς θα προσέφερε τις υπηρεσίες εξωτερικής ανάθεσης σε χαμηλότερες τιμές από ότι οι άλλοι πάροχοι.

Η εξωτερική ανάθεση υπηρεσιών μπορεί να προσφέρει υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης κεφαλαίων για τις εταιρίες, εφόσον δεν είναι απαραίτητο να δαπανήσουν κεφάλαια για την δημιουργία υποδομών. Οι εταιρίες μπορούν με την εξωτερική ανάθεση να λάβουν πλεονεκτήματα ευελιξίας, τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την καθημερινή λειτουργία τους, ενώ η επεκτασιμότητα των υπηρεσιών νέφους μπορεί να προσφέρει τους κατ' απαίτηση απαραίτητους υπολογιστικούς πόρους κατά την διάρκεια περιόδων αιχμής.

Οι Yeboah-Boateng & Essandoh, (2014), διερεύνησαν τους παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής από τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις σε μια αναπτυσσόμενη οικονομία. Για τις ανάγκες της έρευνας τους διενήργησαν μία εμπειρική έρευνα σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις στην Γκάνα. Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποίησαν ένα ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο το οποίο έστειλαν σε επιχειρηματίες από διάφορους κλάδους, τόσο με τυχαία όσο και με σκόπιμη επιλογή. Από την ανάλυση των δεδομένων που συνέλλεξαν, προέκυψε ότι σχετικά με την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής, η μείωση του κόστους CAPEX και OPEX αποτέλεσε το πιο σημαντικό κίνητρο για την επιλογή μιας επιχείρησης να υιοθετήσει την νεφοϋπολογιστική.

Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν βρει και οι Sharma et al., (2016), σε έρευνα που διενήργησαν στην αναπτυσσόμενη οικονομία του Ομάν της Μέσης Ανατολής. Από την

έρευνα τους προέκυψε ότι εξαιτίας του οικονομικού αντίκτυπου που επέφερε η πτώση της τιμής του πετρελαίου, η δημιουργία ιδιόκτητων κέντρων δεδομένων επηρεάστηκε αρνητικά, με αποτέλεσμα να καθίσταται η χρήση ιδίων υπολογιστικών πόρων ανέφικτη για πολλούς οργανισμούς της χώρας. Έτσι η χρήση της νεφοϋπολογιστικής αποτέλεσε την βέλτιστη λύση για τις επιχειρήσεις που δεν ήταν σε θέση να χρησιμοποιήσουν ιδιόκτητα δίκτυα υπολογιστικής, μετατρέποντας το κόστος CAPEX σε OPEX, αυξάνοντας την απόδοσή τους και μειώνοντας τις δαπάνες τους.

Για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, η μετάβαση στο νέφος αποτελεί την πιο οικονομική λύση για την διευκόλυνση της λειτουργίας τους. Με την χρήση των υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής, καταφέρνουν να αποφύγουν τα κεφαλαιουχικά κόστη, χωρίς όμως να επιβαρύνονται με αυξημένα λειτουργικά έξοδα.

Οι Ananth & Sharma, (2016), σε μελέτη τους σχετικά με την επίδραση του NFV στο CAPEX και το OPEX των οργανισμών που χρησιμοποιούν τη νεφοϋπολογιστική. Για την μελέτη τους, ανέπτυξαν ένα πρωτότυπο δίκτυο νεφοϋπολογιστικής το οποίο βασίστηκε στην αρχιτεκτονική και τις αρχές εικονικοποίησης του NFV, το οποίο στην συνέχεια το σύγκριναν με ένα παραδοσιακό φυσικό δίκτυο, μετά από την εφαρμογή τους σε τρεις διαφορετικές τοπολογίες αποτελούμενες από ιδιωτικά δίκτυα και VNF. Με το πέρας της μελέτης και της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μετρήσεις του κόστους CAPEX και OPEX, οι μελετητές παρατήρησαν ότι το δίκτυο που ανέπτυξαν με βάση το NFV, βοήθησε στην μείωση των κεφαλαιουχικών και λειτουργικών εξόδων, προσφέροντας παράλληλα ευελιξία και ευκολία στον τρόπο διαχείρισης του συστήματος από τον οργανισμό.

Πιο συγκεκριμένα, από την διερεύνηση των τριών τοπολογιών που εξετάστηκαν, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο φυσικό δίκτυο και στο δίκτυο NFV. Στο φυσικό δίκτυο, το CAPEX παρουσίασε αύξηση καθώς αυξανόταν ο αριθμός συσκευών που χρησιμοποιούνταν σε κάθε τοπολογία. Στο δίκτυο νέφους που βασίστηκε στο NFV όμως, το κόστος CAPEX διατηρήθηκε σταθερό. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο παραδοσιακό δίκτυο ήταν διαφορετικός από αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στο δίκτυο NFV, καθώς στο μεν πρώτο χρησιμοποιήθηκαν RAM, επεξεργαστής, μητρική πλακέτα, μονάδα σκληρού δίσκου (HDD), καλώδια, διακόπτες δικτύου L2/L3, ενώ δε στο δεύτερο, χρησιμοποιήθηκαν RAM, επεξεργαστής, μητρική πλακέτα, μονάδα σκληρού δίσκου (HDD). Όσον αφορά τα λειτουργικά έξοδα, τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με τα αποτελέσματα του CAPEX. Στο φυσικό δίκτυο, η αύξηση των στοιχείων του

εξοπλισμού στις υπό μελέτη τοπολογίες, οδηγεί και σε αύξηση των λειτουργικών εξόδων, ενώ στο δίκτυο NFV, το κόστος παραμένει σταθερό.

Η έρευνα των Ananth & Sharma, (2016), διενεργήθηκε στα πλαίσια των ιδιόκτητων δικτύων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κεφαλαιουχικά και λειτουργικά έξοδα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι στην περίπτωση των ιδιωτικών δικτύων, τα έξοδα μπορούν να διατηρηθούν σταθερά με την χρήση της νεφοϋπολογιστικής, αλλά δεν είναι δυνατόν να εκλείψουν εντελώς. Οπότε, το κόστος CAPEX και OPEX επηρεάζεται από το μοντέλο ανάπτυξης νέφους, εφόσον σε ένα ιδιωτικό νέφος, ο οργανισμός θα πρέπει να δαπανήσει κεφάλαια για την ανάπτυξη, την εφαρμογή και την χρήση του δικτύου (Xavier & Kantarci, 2018).

Τα δίκτυα νεφοϋπολογιστικής είναι σε θέση να μειώσουν τα έξοδα CAPEX και OPEX, σε σχέση με τα φυσικά δίκτυα. Παρόλα αυτά, το μοντέλο ανάπτυξης του δικτύου παίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των εξόδων ενός οργανισμού, καθώς στα ιδιωτικά δίκτυα, η χρήση της νεφοϋπολογιστικής, μπορεί μόνο να διατηρήσει το κόστος σταθερό και όχι να το μειώσει.

Οι Hernandez-Valencia et al., (2015), εξέτασαν τους τρόπους με τους οποίους το NFV και το SDN επηρεάζουν το OPEX και τις κατηγορίες OPEX που επηρεάζονται περισσότερο από την χρήση ενός δικτύου NFV ή SDN.

Η μελέτη σχετικά με το κόστος που επιβαρύνει τους παρόχους υπηρεσιών, έδειξε ότι το OPEX μπορεί να μειωθεί εξαιτίας της ενοποίησης αλλά και της βελτιστοποίησης που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα δίκτυο με την εισαγωγή των τεχνολογιών NFV και SDN. Παρόλο που η μείωση αυτή αναμένεται να εντοπιστεί σε τομείς λειτουργιών όπως δικτύου, πληροφορικής και περιβαλλοντικού κόστους, η ακριβής προσέγγιση του OPEX απαιτεί την προσμέτρηση διαφόρων αντισταθμίσεων. Η αναμενόμενη μείωση του κόστους διαφέρει από πάροχο σε πάροχο. Παράγοντες όπως η εικονικοποίηση των ειδικών λειτουργιών δικτύου, η χρήση του δικτύου, η προθυμία εισαγωγής καινοτομίας και άλλοι, επηρεάζουν σημαντικά το ποσοστό μείωσης των λειτουργικών εξόδων. Ταυτόχρονα, ο χρόνος στον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη εξοικονόμηση στο OPEX ενός παρόχου, μπορεί να διαφοροποιείτε κατά τον ίδιο τρόπο, οπότε όσο πιο γρήγορα γίνει η μετάβαση στο NFV/SDN τόσο πιο γρήγορα θα μπορούν οι πάροχοι υπηρεσιών να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα της εξοικονόμησης στο OPEX.

Η εξοικονόμηση στο OPEX βασίζεται σε διάφορους τομείς και παρουσιάζει διαφορές για κάθε πάροχο υπηρεσιών δικτύου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό της εξοικονόμησης αφορούν τόσο την λειτουργία του δικτύου όσο και το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για την πλήρη μετάβαση από ένα κλασικό δίκτυο σε ένα NFV/SDN δίκτυο.

Οι Naudts et al., (2016), παρουσίασαν μια έρευνα σχετικά με μια αρθρωτή αρχιτεκτονική πολλαπλών επιπέδων για δίκτυα κινητής με βάση τις αρχές του SDN και του NFV. Στην έρευνα αυτή πραγματοποίησαν μια τεχνοοικονομική αξιολόγηση σχετικά με την χρήση του SDN σε ένα δίκτυο evolved packet system (EPS), με σκοπό την εξέταση της επίδρασης των παραμέτρων του συστήματος στο κόστος CAPEX και OPEX αλλά και της σκοπιμότητάς του. Για την ποσοτικοποίηση των κεφαλαιουχικών και λειτουργικών εξόδων, δημιουργήθηκαν δύο συστήματα όπου το ένα βασίζεται στις αρχές του SDN. Από την μοντελοποίηση του κόστους προέκυψε ότι τα κεφαλαιουχικά έξοδα παρουσιάζουν μείωση στο σύστημα που βασίζεται στο SDN φτάνοντας το 65%, με ταυτόχρονη μείωση του κόστους προμήθειας αδειών λογισμικού. Από την άλλη πλευρά η μείωση των λειτουργικών εξόδων μπορεί να φτάσει στο 35%, με μείωση των λειτουργικών διαδικασιών και εξοικονόμηση στις δαπάνες συντήρησης και επισκευής του εξοπλισμού.

Οι Mamushiane & Dlamini, (2017), σκιαγράφησαν τους τρόπους με τους οποίους το SDN και NFV μπορούν να επηρεάσουν θετικά τις αναπτυσσόμενες αγορές, μέσω της χρήσης τους για την εισαγωγή του 5G. Για τις ανάγκες της μελέτης τους, προτείνανε ένα μοντέλο το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία 5G αλλά οι πάροχοι δύναται να μοιράζονται ή να ενοικιάζουν την υποδομή του δικτύου επιτρέποντας σε όλους την εξοικονόμηση στα κόστη CAPEX και OPEX.

Από το πέρας της έρευνας οι ερευνητές αποφάνθηκαν ότι για την βελτίωση της κάλυψης δικτύου κινητής στις αγροτικές περιοχές, οι πάροχοι θα πρέπει να αξιοποιήσουν κάθε μέσο που θα τους επιτρέψει να αναπτύξουν υποδομές χαμηλότερου κόστους. Για το λόγο αυτό η αξιοποίηση των τεχνολογιών SDN και NFV αποτελεί την βέλτιστη λύση για την βελτίωση των υποδομών αλλά και για την ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων αγορών. Πρακτικές όπως η κοινή χρήση υποδομών μέσω του network slicing, μπορούν να δώσουν την απαραίτητη ώθηση στις επιχειρήσεις να παρέχουν ανταγωνιστικές υπηρεσίες και να εισάγουν καινοτομίες.

Με αυτό τον τρόπο, η ανάπτυξη και η εφαρμογή του δικτύου 5G θα μπορεί να πραγματοποιηθεί και για περιοχές όπου υπάρχουν προβλήματα με την κάλυψη

δικτύου, όπως οι αγροτικές περιοχές, βοηθώντας τους στο να αναπτυχθούν οικονομικά και τεχνολογικά. Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα σε παρόχους που θέλουν να εισέλθουν στην αγορά, να το πραγματοποιήσουν χωρίς να απαιτείται υψηλή δαπάνη κεφαλαίων για την δημιουργία υποδομών.

Η κοινή χρήση υποδομών που ενσωματώνουν τεχνολογίες SDN και NFV, αποτελούν την βέλτιστη λύση για την εισαγωγή δικτύων 5G στις αγροτικές περιοχές, όπου τα επίπεδα κάλυψης είναι χαμηλά και οι τιμές των υπηρεσιών απαγορευτικές. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να προσφέρουν την δυνατότητα σε παρόχους υπηρεσιών, να νοικιάσουν υποδομές δικτύου ώστε να αποφύγουν την υψηλή δαπάνη CAPEX που θα απαιτούνταν στην περίπτωση που αποφάσιζαν να χρησιμοποιήσουν ιδιωτικές υποδομές. Παράλληλα, μπορούν να επιβαρύνονται μόνο με έξοδα OPEX, χωρίς όμως υψηλά κόστη.

Οι Mamushiane et al., (2018), διερεύνησαν τον τρόπο με τον οποίο το SDN έχει συμβάλει στην μείωση του CAPEX και OPEX των διαχειριστών δικτύων στις αναπτυσσόμενες αγορές της Νοτίου Αφρικής, μέσα από την κοινή χρήση υποδομών. Για τις ανάγκες της έρευνας τους, αναπτύχθηκαν δύο σενάρια. Στο πρώτο σενάριο εξετάζεται ένα μη κοινόχρηστο περιβάλλον, το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά από έναν διαχειριστή. Στο δεύτερο σενάριο, μία υποδομή που βασίζεται στην αρχιτεκτονική SDN, μοιράζεται ενεργά από διαφορετικούς διαχειριστές. Και στα δύο σενάρια ποσοτικοποιείται ο χρόνος ανάκτησης του CAPEX με την χρήση ενός οικονομικού μοντέλου που βασίζεται σε υπολογιστικά φύλλα, που περιλαμβάνουν μια υπολογισμένη εκτίμηση του κεφαλαιουχικού και λειτουργικού κόστους.

Για την προσομοίωση αναπτύχθηκε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με στοιχεία SDN, το οποίο εφαρμόστηκε σε μια αγροτική περιοχή. Λαμβάνοντας υπόψη μόνο το ελάχιστο ποσοστό εξοικονόμησης και από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, προέκυψε ότι με την χρήση και διαχείριση μίας υποδομής ενός παραδοσιακού δικτύου σε μια αγροτική περιοχή μπορεί να καθυστερήσει αρκετά την απόσβεση της κεφαλαιουχικής επένδυσης για την ανάπτυξη του δικτύου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην παροχή υπηρεσιών κατώτερης ποιότητας και υψηλού κόστους για τους χρήστες των υπηρεσιών δικτύου.

Από την άλλη πλευρά, η κοινή χρήση μιας υποδομής με αρχιτεκτονικά στοιχεία SDN επιτρέπει την ταχύτερη απόσβεση της επένδυσης κεφαλαίων. Οι μελετητές παρατήρησαν ότι όσο πιο υψηλό ήταν το ποσοστό χρήσης του δικτύου τόσο πιο πολύ μειώνονταν ο χρόνος απόσβεσης του CAPEX. Η κοινή χρήση είτε μέρους της

υποδομής, είτε όλων των στοιχείων ενός δικτύου, μπορούσε να μειώσει των αριθμό των μηνών απόσβεσης και να επισπεύσει την έναρξη της κερδοφορίας του δικτύου, από τους 5,4 στους 1,3 μήνες, όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

Sharing Approach	CapEx Savings	OpEx Savings	Tas (Months)
RAN sharing	25%	20%	2.5
Backhaul sharing	10%	10%	3.7
Core sharing	15%	10%	3.5
RAN and backhaul	35%	30%	1.9
RAN and core	40%	30%	1.7
Backhaul and core	25%	20%	2.5
Full sharing	50%	40%	1.3

Πίνακας 1 Εξοικονόμηση CAPEX και OPEX και περίοδος ανάκτησης επένδυσης Tas σε μήνες (Mamushiane et al., 2018)

Η καθυστέρηση στην απόσβεση του CAPEX δημιουργεί σημαντικά εμπόδια για εκείνους που θέλουν να εισέλθουν στην αγορά των τηλεπικοινωνιών και της νεφοϋπολογιστικής. Ειδικά στις αναπτυσσόμενες αγορές, εξαιτίας του υψηλού κόστους που συνεπάγεται η ανάπτυξη και διαχείριση ενός παραδοσιακού δικτύου, η ένταξη στην αγορά καθίσταται αδύνατη για πολλούς εν δυνάμει παρόχους. Με αυτό τον τρόπο ευνοούνται οι συνθήκες δημιουργίας μονοπωλιακής βιομηχανίας στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Ουσιαστικά, οι πάροχοι χρεώνουν τους χρήστες με υπέρογκα ποσά εγγραφής, για να αποσβέσουν το επενδυτικό κεφάλαιο πιο γρήγορα. Με την χρήση στοιχείων αρχιτεκτονικής SDN, είναι εφικτή η ελάττωση του χρόνου απόσβεσης, η οποία μπορεί να επιτρέψει την δημιουργία καλού ανταγωνιστικού κλίματος ανάμεσα στους παρόχους, αλλά και να επιτρέψει την είσοδο νέων παρόχων στην αγορά, βοηθώντας ενεργά στην ανάπτυξη της οικονομίας.

Οι Mas Machuca et al., (2018), πρότειναν μία νέα τεχνοοικονομική προσέγγιση για την ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης τεχνολογιών SDN και NFV στα δίκτυα επικοινωνιών. Για την έρευνα τους, θεωρήθηκε ένα αιολικό πάρκο αποτελούμενο από είκοσι τουρμπίνες, με συνολική παραγόμενη ισχύ 40MW.

Κατά την δημιουργία του τεχνοοικονομικού μοντέλου, οι μελετητές θεώρησαν ότι οι παράγοντες οι οποίοι απαιτούνται για τον ακριβή υπολογισμό των οικονομικών μεγεθών του κόστους, αφορούν εργαλεία διαστασιολόγησης του δικτύου, παραμέτρους του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται και μοντέλα κοστολόγησης

(CAPEX, OPEX). Για το εργαλείο διαστασιολόγησης του δικτύου, θεωρήθηκε σημαντικό να ληφθούν υπόψη ο αριθμός των διαφόρων μερών του αλλά και η τοποθέτηση τους στο δίκτυο. Για τις παραμέτρους του εξοπλισμού ελήφθησαν υπόψη οι τιμές αγοράς, η κατανάλωση ενέργειας αλλά και τα κόστη συντήρησης. Τέλος για τα μοντέλα κοστολόγησης, ως δαπάνες CAPEX θεωρήθηκαν τα κόστη που σχετίζεται με τους διακόπτες, τις πύλες, τους δρομολογητές, τους διακομιστές, τα τείχη προστασίας κ.λπ., που απαρτίζουν το δίκτυο. Ως δαπάνες OPEX θεωρήθηκαν η διαμόρφωση δικτύου, η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος, η συντήρηση και αποκατάσταση του εξοπλισμού, κόστος μη παρεχόμενης ενέργειας (Cost of Energy Not Supplied - CENS) κ.λπ.

Από την μελέτη προέκυψε ότι το δίκτυο επικοινωνίας που βασίστηκε σε αρχές των SDN / NFV προσέφερε μειωμένα κόστη CAPEX και OPEX σε σύγκριση με ένα τυπικό δίκτυο. Παρά την σημαντική μείωση του CAPEX, τα μεγαλύτερα οφέλη προέκυψαν από την μείωση του OPEX αναφορικά με την διαμόρφωση του δικτύου και την προληπτική συντήρηση του συστήματος. Και στις δύο περιπτώσεις (τυπικό και SDN/NFV δίκτυο) τα κόστη μη παρεχόμενης ενέργειας και της επισκευής βλαβών, συνεχίζουν να παραμένουν υψηλά. Παρόλα αυτά, η μείωση που προσφέρουν τα δίκτυα SDN/NFV είναι άξια εφαρμογής και στον τομέα παραγωγής ενέργειας, καθώς δύναται να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση τόσο στα κεφαλαιουχικά έξοδα, όσο και στα λειτουργικά. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι η τοπολογία αλλά και ο εξοπλισμός του δικτύου αποτελούν τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση του κόστους της υποδομής και της διαχείρισης του.

Τα δίκτυα επικοινωνίας που βασίζονται στην τεχνολογία SDN/NFV παρέχουν σημαντικά οφέλη και στον τομέα παραγωγής ενέργειας. Η ενσωμάτωση αυτών των δικτύων μπορεί να προσφέρει επωφελή εξοικονόμηση CAPEX και OPEX μέσω της αυτοματοποίησης του δικτύου, της ορθής διαστασιολόγησης του αλλά και την λογική διάταξη της τοπολογίας ώστε να παρέχεται η βέλτιστη λύση για την λειτουργία και τον έλεγχο του συστήματος παραγωγής.

Οι Rajasingh & Wesley, (2020), καθόρισαν τους λόγους για τους οποίους οι διαχειριστές έργων υποδομής θα πρέπει να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν εικονικοποιημένους πόρους υποδομών αντί να μεταβούν στο νέφος. Στην μελέτη τους θεώρησαν ένα τυπικό κέντρο δεδομένων 300 διακομιστών, στο οποίο υπέθεσαν ότι εφαρμόζονται τεχνικές εικονικοποίησης μέσω του VMware, για διάστημα πέντε ετών.

Από τον υπολογισμό οικονομικών μεγεθών όπως το TCO και ROI, προέκυψε ότι το

ποσοστό εξοικονόμησης σε CAPEX μέσω της χρήσης εικονικοποίησης ανήλθε στο 86%, ενώ το ποσοστό εξοικονόμησης OPEX παρουσίασε 17%. Το TCO της εγκατάστασης μειώθηκε κατά 31%. Από την άλλη πλευρά, η αντίστοιχη πορεία ενός κέντρου δεδομένων στο οποίο τρέχει ένα Επίπεδο Νέφους (Cloud Layer) πάνω από τα επίπεδα εικονικοποίησης, παρουσιάζει μείωση στο CAPEX αλλά αύξηση στις δαπάνες του OPEX. Το αποτέλεσμα είναι η γενική αύξηση του TCO του κέντρου δεδομένων που εφαρμόζει τεχνικές νέφους, σε σχέση με το TCO του αντίστοιχου κέντρου δεδομένων που εφαρμόζει τεχνικές εικονικοποίησης.

Όπως αναφέρουν οι ερευνητές, η διαφορά στα δύο TCO έγκειται στο ότι το λογισμικό νέφους επιβαρύνει τα λειτουργικά έξοδα του κέντρου δεδομένων μέσω της αυξημένης απαίτησης του αριθμού των πόρων. Παρόλα αυτά, η επιλογή της χρήσης εικονικοποίησης και νέφους, επαφίεται στην κρίση των διαχειριστών των κέντρων δεδομένων, καθώς η χρήση του νέφους δύναται να βοηθήσει στην περίπτωση που υπάρχει αύξηση της ζήτησης διακομιστών και απαιτείται άμεση και μεγάλης έκτασης κλιμάκωση. Σε αυτή την περίπτωση το νέφος μπορεί να προσφέρει υψηλή επιστροφή επένδυσης και μειωμένο TCO.

Η χρήση της εικονικοποίησης έχει βοηθήσει αρκετούς διαχειριστές κέντρων δεδομένων να επιτύχουν βέλτιστη εξοικονόμηση τόσο στα κεφαλαιουχικά όσο και στα λειτουργικά έξοδα. Παρόλα αυτά, στις περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ζήτηση κλιμάκωσης και επιπρόσθετων πόρων, η χρήση του νέφους αποδεικνύεται ως η βέλτιστη λύση, η οποία μπορεί να ανταπεξέλθει των αναγκών αλλά και να προσφέρει σημαντικά οφέλη ROI και TCO.

Οι Tallon et al., (2020), εξέτασαν τα οικονομικά οφέλη και τις επιπτώσεις της μετάβασης των εταιριών IT στο νέφος. Για την έρευνα τους, όρισαν τους οικονομικούς όρους και τα οικονομικά μεγέθη που μπορούν να δώσουν μια σαφή απεικόνιση για την αξία των επιχειρήσεων IT. Στην συνέχεια εκτέλεσαν υπολογισμούς για την μέτρηση των μεγεθών τόσο για τις περιπτώσεις όπου η επιχείρηση χρησιμοποιεί αποκλειστικά δικές της εγκαταστάσεις IT, όσο και για την περίπτωση όπου η επιχείρηση χρησιμοποιεί υπολογιστικούς πόρους μέσω των υπηρεσιών νέφους από κάποιο πάροχο.

Από την έρευνα τους προκύπτει ότι η μετάβαση στο νέφος αποτελεί σημαντικό μεν εγχείρημα, αλλά σίγουρα δεν πρέπει να γίνεται χωρίς να ληφθούν υπόψη όλα τα υπέρ και τα κατά. Η νεφοϋπολογιστική μπορεί να μετατρέψει τις κεφαλαιουχικές δαπάνες σε λειτουργικά έξοδα, παρέχοντας οφέλη επεκτασιμότητα και ευελιξίας. Οι επιχειρήσεις

έχουν την δυνατότητα να αλλάξουν κατεύθυνση ή να σταματήσουν κάποιο έργο με ευκολία χωρίς να επιβαρύνονται με μη αποσβένονται κόστη. Σε κάθε περίπτωση, ακόμα και η μετάβαση στο νέφος θα πρέπει να γίνεται με σύνεση και με την βοήθεια οικονομικής ανάλυσης βιωσιμότητας πριν από κάθε λήψη απόφασης.

Η μετάβαση στο νέφος αποτελεί την βέλτιστη λύση για επιχειρήσεις που θέλουν να μετατρέψουν το κόστος CAPEX σε κόστος OPEX. Εκτός του ότι πολλές επιχειρήσεις βρίσκουν το κόστος επένδυσης για την δημιουργία ιδιόκτητων υποδομών κέντρων δεδομένων, απαγορευτικές εξαιτίας του υψηλού κόστους, η νεφοϋπολογιστική μπορεί να τους δώσει την ευκαιρία να αναπτύξουν την επιχειρηματική τους δραστηριότητα με πολύ λιγότερο κόστος. Παρόλα αυτά, η οικονομική ανάλυση του εγχειρήματος είναι απαραίτητη πριν από την μετάβαση, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις το κόστος OPEX μπορεί να είναι εξίσου υψηλό.

4.2 Συζήτηση

Η νεφοϋπολογιστική μπορεί να βοηθήσει τόσο τους παρόχους όσο και τις επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες νέφους για την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων τους. Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι τα οφέλη της νεφοϋπολογιστικής μπορούν να βοηθήσουν αμφότερους για την μείωση των δαπανών CAPEX και OPEX, όπως προκύπτει από τον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 2 Συγκεντρωτικός πίνακας βιβλιογραφικής επισκόπησης

Συγγραφέας/είς	Πάροχοι Υπηρεσιών / Επιχειρήσεις	Πλεονέκτημα νεφοϋπολογιστικής
Gentzoglanis (2011)	Επιχειρήσεις	<ul style="list-style-type: none"> - μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας μέσω της αυτοματοποίησης των διεργασιών παραγωγής και ελέγχου - μείωση του επενδυτικού κινδύνου
Yeboah-Boateng & Essandoh, (2014)	Επιχειρήσεις	<ul style="list-style-type: none"> - Σημαντικό κίνητρο υιοθέτησης η μείωση του κόστους CAPEX και OPEX
Ananth & Sharma, (2016)	Επιχειρήσεις	<ul style="list-style-type: none"> - μείωση των κεφαλαιουχικών και λειτουργικών εξόδων - ευελιξία - ευκολία στον τρόπο διαχείρισης του συστήματος - στην περίπτωση των ιδιωτικών δικτύων, διατήρηση του OPEX σε σταθερό επίπεδο

Naudts et al., (2012)	Πάροχοι Υπηρεσιών	Μείωση CAPEX και OPEX μέσω της αρχιτεκτονικής δικτύου SDN και της χρήσης του πρωτοκόλλου OpenFlow. Σε σχέση με ένα παραδοσιακό δίκτυο, μπορεί να επιτευχθεί μείωση CAPEX: <ul style="list-style-type: none"> - κατά 13.81% με την χρήση ενός δικτύου SDN - κατά 58.04% με την χρήση ενός κοινόχρηστου SDN δικτύου
Naudts et al., (2016)	Πάροχοι Υπηρεσιών	Χρήση του SDN μπορεί να επιφέρει: <ul style="list-style-type: none"> - μείωση CAPEX έως 65% - μείωση OPEX έως 35%
Karakus & Durresi, (2018)	Πάροχοι Υπηρεσιών	<ul style="list-style-type: none"> - αύξηση του κόστους όταν αυξάνεται το πλήθος του εξοπλισμού - ο αυτοματισμός και ο προγραμματισμός έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην διαμόρφωση του κόστους
Hernandez-Valencia et al., (2015)	Πάροχοι Υπηρεσιών	Η μείωση του OPEX επηρεάζεται από: <ul style="list-style-type: none"> - την εικονικοποίηση των ειδικών λειτουργιών δικτύου, - τη χρήση του δικτύου, - τη προθυμία εισαγωγής καινοτομίας
Bouras et al., (2016)	Πάροχοι Υπηρεσιών	Η εφαρμογή και η αξιοποίηση των τεχνολογιών αιχμής αποτελούν προϋπόθεση για μείωση του κόστους έως και άνω του 60% Μπορεί να προσφέρει πιθανή μείωση: <ul style="list-style-type: none"> - OPEX έως 63% - CAPEX έως 68% - TCO έως 69%

Sherry et al., (2012)	Επιχειρήσεις	Με την εξωτερική ανάθεση υπηρεσιών επιτυγχάνονται : <ul style="list-style-type: none"> - υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης CAPEX - ευελιξία - επεκτασιμότητα
Mamushiane et al., (2018)	Πάροχοι Υπηρεσιών	Η κοινή χρήση υποδομών αρχιτεκτονικής SDN επιτυγχάνει: <ul style="list-style-type: none"> - μείωση του χρόνου απόσβεσης CAPEX - Μείωση CAPEX στο 50% - μείωση OPEX στο 40% και διατήρηση σταθερού κόστους - δημιουργία ανταγωνισμού - ανάπτυξη οικονομίας αναπτυσσόμενων αγορών
Mamushiane & Dlamini, (2017)	Πάροχοι Υπηρεσιών	Η αξιοποίηση των τεχνολογιών SDN και NFV αποτελεί την βέλτιστη λύση για την βελτίωση των υποδομών <ul style="list-style-type: none"> - μειώνει τα CAPEX και OPEX - επιτρέπει την είσοδο νέων παρόχων στην αγορά - βελτιώνει τα προβλήματα κάλυψης δικτύου
Mas Machuca et al., (2018)	Επιχειρήσεις	Εξοικονόμηση CAPEX και OPEX μέσω: <ul style="list-style-type: none"> - της αυτοματοποίησης του δικτύου, - της ορθής διαστασιολόγησης του αλλά και - της λογικής διάταξης της τοπολογίας
Rajasingh & Wesley, (2020)	Παρόχους Υπηρεσιών	Η νεφοϋπολογιστική μπορεί να συνδράμει στο έργο της εικονικοποίησης μέσω της παροχής: <ul style="list-style-type: none"> - επεκτασιμότητας - ευελιξίας - κλιμάκωσης

Προσφέρει μείωση:

- CAPEX στο 86%
- OPEX στο 17%
- TCO στο 31%

Tallon et al., (2020)	Παρόχους Υπηρεσιών	<ul style="list-style-type: none">- μετατροπή κεφαλαιουχικών δαπανών σε λειτουργικά έξοδα- οφέλη επεκτασιμότητας και ευελιξίας
------------------------------	--------------------	---

Πιο συγκεκριμένα, για τους παρόχους η μετάβαση μέρους των εργασιών τους στο νέφος δύναται να προσφέρει σημαντική μείωση στο κόστος CAPEX. Ειδικά για εκείνους οι οποίοι παρέχουν υπηρεσίες SaaS, η χρήση υποδομών μέσω του νέφους μπορεί να μειώσει σημαντικά και τα έξοδα OPEX. Επίσης, σε μία σύγκριση ανάμεσα στα φυσικά δίκτυα και τα δίκτυα νεφοϋπολογιστικής, η διαμόρφωση των εξόδων επηρεάζεται σημαντικά από παράγοντες όπως το είδος του δικτύου (ιδιωτικό, δημόσιο, υβριδικό) αλλά και το μοντέλο ανάπτυξης του.

Η χρήση των αρχιτεκτονικών SDN και NFV φέρει επίσης πολλαπλά πλεονεκτήματα για τους παρόχους δικτύων. Με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, κατά την εφαρμογή ενός SDN δικτύου σε συνδυασμό με την χρήση του OpenFlow πρωτοκόλλου, οι πάροχοι μπορούν να μειώσουν τα κεφαλαιουχικά τους έξοδα ακόμα και στο μισό σε σχέση με την χρήση ενός τυπικού παραδοσιακού δικτύου. Αντίστοιχα με την χρήση του NFV, οι πάροχοι υπηρεσιών αναμένουν να μειώσουν σημαντικά το κόστος του εξοπλισμού, την κατανάλωση ενέργειας και το χρόνο εισαγωγής νέων υπηρεσιών στην αγορά και την βελτίωση της λειτουργικότητας. Λόγω της προσέγγισης που βασίζεται στο λογισμικό, το NFV επιτρέπει επίσης στους παρόχους υπηρεσιών να επιτύχουν πολύ υψηλότερο βαθμό λειτουργικού αυτοματισμού και να απλοποιήσουν τις επιχειρησιακές τους διαδικασίες.

Η εξοικονόμηση στο OPEX βασίζεται σε διάφορους τομείς και παρουσιάζει διαφορές για κάθε πάροχο υπηρεσιών δικτύου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό της εξοικονόμησης αφορούν τόσο την λειτουργία του δικτύου όσο και το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για την πλήρη μετάβαση από ένα κλασικό δίκτυο σε ένα NFV/SDN δίκτυο.

Επιπροσθέτως, η κοινή χρήση υποδομών που ενσωματώνουν τεχνολογίες SDN και NFV, μέσω της μίσθωσης (tenancy), αποτελούν την βέλτιστη λύση για την εισαγωγή δικτύων 5G σε περιοχές όπου η κάλυψη δικτύου αποτελεί σημαντικό πρόβλημα και εμπόδιο για την τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη της. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων περιοχών αποτελούν οι αγροτικές περιοχές, όπου τα επίπεδα κάλυψης είναι χαμηλά και οι τιμές των υπηρεσιών απαγορευτικές. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να προσφέρουν την δυνατότητα σε παρόχους υπηρεσιών, να μισθώσουν υποδομές δικτύου ώστε να αποφύγουν την υψηλή δαπάνη CAPEX που θα απαιτούνταν στην περίπτωση που αποφάσιζαν να χρησιμοποιήσουν ιδιωτικές υποδομές. Παράλληλα, μπορούν να επιβαρύνονται μόνο με έξοδα OPEX, χωρίς όμως υψηλά κόστη, καθώς το κόστος της μίσθωσης υποδομών μπορεί να διατηρηθεί σταθερό για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η νεφοϋπολογιστική παρέχει σημαντικές λύσεις εξαιτίας της κλιμάκωσης και της ευελιξίας που προσφέρει. Παρόλο που η χρήση της εικονικοποίησης έχει βοηθήσει αρκετούς διαχειριστές κέντρων δεδομένων να επιτύχουν βέλτιστη εξοικονόμηση τόσο στα κεφαλαιουχικά όσο και στα λειτουργικά έξοδα, στις περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ζήτηση κλιμάκωσης και πόρων δικτύου, η χρήση της νεφοϋπολογιστικής μπορεί αποδεδειγμένα να παρέχει την βέλτιστη λύση, για την παροχή των απαιτούμενων πόρων.

Όσον αφορά τις επιχειρήσεις, είτε μεγάλες εταιρίες είτε μικρομεσαίες, η μετάβαση στο νέφος αποτελεί την βέλτιστη λύση καθώς τις βοηθά να μετατρέψουν τα έξοδα CAPEX σε έξοδα OPEX. Εκτός του ότι πολλές επιχειρήσεις βρίσκουν το κόστος επένδυσης για την δημιουργία ιδιόκτητων υποδομών κέντρων δεδομένων, απαγορευτικές εξαιτίας του υψηλού κόστους, η νεφοϋπολογιστική μπορεί να τους δώσει την ευκαιρία να αναπτύξουν την επιχειρηματική τους δραστηριότητα με πολύ λιγότερο κόστος και μεγαλύτερη ευελιξία. Για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, η μετάβαση στο νέφος αποτελεί την πιο οικονομική λύση για την διευκόλυνση της λειτουργίας τους. Με την χρήση των υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής, καταφέρνουν να αποφύγουν τα κεφαλαιουχικά κόστη, χωρίς όμως να επιβαρύνονται με αυξημένα λειτουργικά έξοδα. Βέβαια, όπως κάθε επιχειρηματικό εγχείρημα, η μετάβαση στο νέφος θα πρέπει να λάβει την δέουσα οικονομική προσοχή, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις το κόστος OPEX μπορεί να είναι εξίσου υψηλό και να αποβεί ασύμφορο.

Οι επιχειρήσεις έχουν ως βασικό στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας τους, ανεξάρτητα από το μέγεθος τους. Η χρήση της νεφοϋπολογιστικής, επιτρέπει στις

επιχειρήσεις να επενδύουν στην ανάπτυξη και βελτίωση των προϊόντων τους, στην βελτίωση της κινητικότητας των εργαζομένων αλλά και στην διευκόλυνση των διεργασιών παραγωγής και ελέγχου, συμβάλλοντας ενεργά στην αύξηση της παραγωγικότητας τους. Παράλληλα, με την υιοθέτηση της νεφοϋπολογιστικής, οι επιχειρήσεις μπορούν να αποφύγουν τους επιχειρηματικούς κινδύνους που φέρει η ανάπτυξη και διαχείριση ενός ιδιόκτητου κέντρου δεδομένων. Μέσω της νεφοϋπολογιστικής, οι επιχειρήσεις δεν χρειάζεται να ανησυχούν για βλάβες και αστοχίες του εξοπλισμού, καθώς αυτό αποτελεί καθήκον των διαχειριστών δικτύου του παρόχου. Έτσι μειώνεται σημαντικά η επιβάρυνση του OPEX.

Η εξωτερική ανάθεση υπηρεσιών μπορεί επίσης να προσφέρει υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης κεφαλαίων για τις μεγάλες εταιρίες, εφόσον δεν είναι απαραίτητο να δαπανήσουν κεφάλαια για την δημιουργία υποδομών. Μέσω της εξωτερικής ανάθεσης υπηρεσιών, οι εταιρίες απολαμβάνουν πλεονεκτήματα ευελιξίας, τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την καθημερινή λειτουργία τους, ενώ η επεκτασιμότητα των υπηρεσιών νέφους μπορεί να προσφέρει τους κατ' απαίτηση υπολογιστικούς πόρους που μπορεί να απαιτούνται, για την λειτουργία τους. Έτσι οι εταιρίες δεν περιορίζονται πλέον από την ακαμψία των ιδιόκτητων κέντρων δεδομένων και μπορούν μέσω της εξοικονόμησης κεφαλαίων, να επενδύσουν σε κάτι άλλο.

Η νεφοϋπολογιστική παρέχει λύσεις και στον τομέα παραγωγής ενέργειας, προσφέροντας πολλαπλά οφέλη μέσω της ανάπτυξης και χρήσης δικτύων επικοινωνίας που βασίζονται στην τεχνολογία SDN/NFV. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να προσφέρει επωφελή εξοικονόμηση CAPEX και OPEX μέσω της αυτοματοποίησης του δικτύου, της ορθής διαστασιολόγησης του αλλά και την λογική διάταξη της τοπολογίας ώστε να παρέχεται η βέλτιστη λύση για την λειτουργία και τον έλεγχο του συστήματος παραγωγής. Σε ένα περιβάλλον NFV, για παράδειγμα, λειτουργικές διαδικασίες όπως η ανάπτυξη υπηρεσιών, η κατανομή πόρων κατ' απαίτηση, η ανίχνευση αστοχιών και η έγκαιρη ανάκτηση και οι αναβαθμίσεις λογισμικού, μπορούν να προγραμματιστούν και να εκτελεστούν με μικρή ή καθόλου ανθρώπινη παρέμβαση. Με αυτό τον τρόπο, βελτιστοποιείται η επικοινωνία ανάμεσα στα διάφορα μέρη του συστήματος παραγωγής, αυξάνεται η παραγωγικότητα του δικτύου, ενώ παράλληλα αυτοματοποιούνται οι διεργασίες του συστήματος, μειώνοντας τα κόστη που μπορεί να προκύψουν από βλάβες και αστοχίες τους εξοπλισμού, λόγω του έγκαιρου εντοπισμού τους.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το τρέχον επιχειρηματικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τον αυξανόμενο ανταγωνισμό που ενισχύεται από την παγκοσμιοποίηση και τη διάδοση της ελεύθερης αγοράς. Σε αυτό το περιβάλλον είναι όλο και πιο σημαντικό να χρησιμοποιούνται όλες οι πηγές αποτελεσματικά και στο έπακρο αλλά και να επικεντρώνεται στις κύριες διαδικασίες που προσφέρουν προστιθέμενη αξία στην επιχείρηση. Η νεφοϋπολογιστική είναι η τεχνολογία που μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη αυτών των στόχων.

Η νεφοϋπολογιστική είναι ένα μοντέλο που διευκολύνει την άνετη πρόσβαση σε ένα δίκτυο κοινόχρηστης μνήμης σε διαμορφώσιμες πηγές πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων δικτύων, διακομιστών, συσκευών αποθήκευσης που μπορούν να φορτωθούν και να εκφορτωθούν γρήγορα με ελάχιστη διαχειριστική προσπάθεια ή αλληλεπίδραση με τον πάροχο υπηρεσιών. Η νεφοϋπολογιστική διαφέρει από την κλασική φιλοξενία (hosting) προσφέροντας ευέλικτες υπηρεσίες. Σύμφωνα με τις τρέχουσες ανάγκες ενός πελάτη, οι παράμετροι των υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται μπορούν να αλλάξουν πλήρως σε αυτοεξυπηρέτηση. Η καταλληλότητα της προκύπτουσας λύσης σχετίζεται στενά τόσο με τις οργανωτικά απαιτητικές αλλαγές όσο και με την πολυπλοκότητα του υπολογισμού του κόστους της πραγματικής μετεγκατάστασης στο περιβάλλον νέφους.

Η νεφοϋπολογιστική μπορεί να επιτρέψει την καινοτομία, να μειώσει δραματικά το κεφάλαιο και το λειτουργικό κόστος, να αυξήσει την ευελιξία και να μειώσει το χρόνο στην αγορά για νέα προϊόντα και υπηρεσίες. Το νέφος προσφέρει οφέλη τόσο στην επιχείρηση, μέσω της ενεργοποίησης όσο και της ΤΠ μέσω λειτουργικών βελτιώσεων. Οι τυπικοί οργανισμοί ΤΠ ξοδεύουν σημαντικό μέρος του προϋπολογισμού τους σε υποδομές (κυρίως κέντρα δεδομένων και δίκτυα δεδομένων). Η μετατόπιση κάποιου μέρους ή όλου του έργου στο νέφος μπορεί να βοηθήσει σε σημαντική εξοικονόμηση του ετήσιου προϋπολογισμού των ΤΠ, η οποία μπορεί είτε να επιστραφεί στην εταιρεία, είτε να επανεπενδυθεί στα πλαίσια της ανάπτυξης και της καινοτομίας.

Η εξωτερική ανάθεση υπηρεσιών, μέσω της χρήσης υπηρεσιών νέφους, μπορεί να προσφέρει υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης κεφαλαίων για τις εταιρίες, εφόσον δεν είναι απαραίτητο να δαπανήσουν κεφάλαια για την δημιουργία υποδομών. Οι εταιρίες μπορούν με την εξωτερική ανάθεση να λάβουν πλεονεκτήματα ευελιξίας, τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την καθημερινή λειτουργία τους, ενώ η επεκτασιμότητα των

υπηρεσιών νέφους μπορεί να προσφέρει τους κατ' απαίτηση απαραίτητους υπολογιστικούς πόρους κατά την διάρκεια περιόδων αιχμής.

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα εταιρικά δίκτυα έχουν υποστεί ποικιλία αλλαγών υπηρεσιών και λειτουργιών δικτύου. Η τεράστια ανάπτυξη της κατακόρυφης και οριζόντιας ανάπτυξης ιδιόκτητων συσκευών δικτύου καθιστά τις αρχιτεκτονικές δικτύου εξαιρετικά περίπλοκες και δύσκολες στη διαχείριση. Ειδικότερα, οι τυπικές συσκευές δικτύου συνεπάγονται πάντοτε υψηλό κόστος επένδυσης (CAPEX) και συντήρησης (OPEX), καθώς είναι συνήθως ακριβά, ειδικά για τον προμηθευτή και περίπλοκα στη διαχείριση, δημιουργώντας πολλά προβλήματα στους διαχειριστές δικτύου.

Για την αντιμετώπιση των ζητημάτων αυτών, πολλές επιχειρήσεις και πάροχοι υπηρεσιών αναζητούν πιο αποτελεσματικές τεχνικές για τη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας, τη μείωση της χρήσης ενέργειας και την επιτάχυνση της ανάπτυξης των υπηρεσιών τους. Το Network Function Virtualization (NFV), μαζί με το Software Defined Networking (SDN), έχουν αναδειχθεί ως πολλά υποσχόμενες λύσεις τα τελευταία χρόνια.

Τα δίκτυα σήμερα μπορούν να δημιουργηθούν, να επεκταθούν και να ενημερωθούν χωρίς την ανάγκη των επιχειρήσεων να επιβαρυνθούν το κόστος και την ευθύνη για την προμήθεια, την εγκατάσταση, τη διαμόρφωση και τη συντήρηση της υποδομής υλικού δικτύου. Οι πάροχοι υπηρεσιών επικοινωνίας, δικτύου και νεφοϋπολογιστικής έχουν αναλάβει μεγάλο μέρος αυτής της ευθύνης και διευκολύνουν τις επιχειρήσεις να επωφεληθούν από τις τελευταίες δυνατότητες δικτύου. Οι πάροχοι υπηρεσιών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο να επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να συνδέονται παγκοσμίως και να διαχειρίζονται πόρους δικτύου και διασύνδεση πολύ πιο αποτελεσματικά και οικονομικά.

Οι δύο τεχνολογικές τάσεις που έχουν μετασχηματίσει τη διαχείριση δικτύου, ιδίως εκείνες που είναι ευρέως διανεμημένες και χρησιμοποιούν δημόσιες, ιδιωτικές ή υβριδικές υπηρεσίες νέφους, είναι τα δίκτυα SDN και NFV. Μαζί, οι τεχνολογίες αυτές διευκολύνουν την παροχή πόρων δικτύου, μειώνοντας το CAPEX και το OPEX και επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία δικτύου.

Το SDN επιτρέπει στα δίκτυα να ελέγχονται κεντρικά μέσω εφαρμογών λογισμικού που χρησιμοποιούν ανοιχτά API. Το NFV διαχωρίζει τις λειτουργίες δικτύου από τα στοιχεία υλικού, ώστε να μπορούν να εκτελούνται σε λογισμικό. Εικονικοποιεί ολόκληρες

κατηγορίες λειτουργιών σε μικρότερα και αρθρωτά δομικά στοιχεία που μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους για τη δημιουργία νέων υπηρεσιών.

Η χρήση των NFV και SDN έχει ορισμένα πλεονεκτήματα τόσο για τους παρόχους υπηρεσιών όσο και για τους χρήστες:

- Μειώνουν το χρόνο εισαγωγής νέων υπηρεσιών στην αγορά και μειώνουν επίσης το χρόνο που απαιτείται για την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών δικτύου.
- Βελτιώνουν την απόδοση των επενδύσεων από τις νέες υπηρεσίες.
- Επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία για κλιμάκωση, μείωση ή μεταβολή των παρεχόμενων υπηρεσιών.
- Διευκολύνουν το άνοιγμα στην αγορά εικονικών συσκευών και στους παρόχους υπηρεσιών λογισμικού.
- Παρέχουν ευκαιρίες για τη δοκιμή και την ανάπτυξη νέων καινοτόμων υπηρεσιών με χαμηλότερο κίνδυνο.
- Προσφέρουν την δυνατότητα ανάπτυξης της επιχειρηματικής λειτουργίας χωρίς την επιβάρυνση με κεφαλαιουχικό κόστος.

Από την βιβλιογραφική αναζήτηση και διερεύνηση, παρατηρήθηκε ότι η χρήση τεχνολογίας αιχμής όπως το NFV και το SDN μπορούν να έχουν θετικές επιπτώσεις στα οικονομικά τόσο των παρόχων όσο και των επιχειρήσεων που κάνουν χρήση των υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής. Καθώς η εξοικονόμηση κεφαλαίων είναι ένα από τα πρωταρχικά μέληματα των επιχειρήσεων, η εφαρμογή και χρήση των τεχνολογιών NFV και SDN μπορούν να προσφέρουν βέλτιστη εξοικονόμηση της τάξεως του 30-60%. Στην περίπτωση των επιχειρήσεων, τα κεφαλαιουχικά έξοδα μετατρέπονται σε λειτουργικά καθώς δεν απαιτείται πλέον να προμηθευτούν και να εγκαταστήσουν εξοπλισμό για να καλύψουν τις ανάγκες υπολογιστικής. Με την χρήση των υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής τα λειτουργικά έξοδα για την κάλυψη των αναγκών σε υπολογιστικούς πόρους μπορούν να διατηρηθούν σε χαμηλά επίπεδα, μέσα από την σύναψη συμβολαίου σταθερού παγίου με τους παρόχους ή με την χρήση πολιτικών "pay per use". Οι πάροχοι δύναται επίσης να λάβουν σημαντικά οικονομικά οφέλη, καθώς η επένδυση στις τεχνολογίες αιχμής NFV και SDN μπορούν να αποσβέσουν ταχύτατα και να επιφέρουν κέρδος σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ με την αυτοματοποίηση των λειτουργιών του συστήματος, ο έγκαιρος εντοπισμός αστοχιών και η άμεση αποκατάσταση τους, δύναται να διατηρήσουν τα λειτουργικά έξοδα σε χαμηλά επίπεδα ακόμα και της τάξης του 35%.

Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Ως μελλοντική κατεύθυνση, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν περαιτέρω έρευνες σχετικά με την ποσοτικοποίηση των οικονομικών επιπτώσεων της νεφοϋπολογιστικής στις επιχειρήσεις. Επίσης, η μελέτη αυτή θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και σε διαφορετικούς κλάδους, όπως για παράδειγμα στον κλάδο της εκπαίδευσης ή στον κλάδο της βιομηχανίας, στον κλάδο παροχής υπηρεσιών κλπ., ώστε να διερευνηθεί και το επίπεδο στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση στο CAPEX και OPEX.

Από την άλλη πλευρά, θα ήταν χρήσιμο, να μελετηθούν οι επιπτώσεις της νεφοϋπολογιστικής τόσο στον ιδιωτικό όσο και στον δημόσιο τομέα, με διερεύνηση των τρόπων με τους οποίους μπορούν να συμβάλουν η χρήση των τεχνολογιών αιχμής και των σύγχρονων δικτύων για την εξοικονόμηση κεφαλαίων και σε εθνικό επίπεδο.

Μια ακόμα κατεύθυνση μελλοντικής εργασίας θα μπορούσε να είναι ο σχεδιασμός ενός μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο θα μπορεί να προβλέπει και να υπολογίζει το επίπεδο της εξοικονόμησης που θα προσφέρει η χρήση της νεφοϋπολογιστικής. Αυτό το εργαλείο θα είναι σε θέση να βοηθά τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς να συγκρίνουν και να εκτιμήσουν τις κατάλληλες οικονομικές αξίες που μπορούν να τους προσφέρουν οι λύσεις υπολογιστικού νέφους και στη συνέχεια να αποφασίσουν για την χρήση τους ή την απόρριψη τους.

Επιπροσθέτως, καθώς οι παροχή υπηρεσιών νεφοϋπολογιστικής είναι ένας αρκετά απαιτητικός κλάδος υπηρεσιών με αρκετά μεγάλη ζήτηση, θα ήταν χρήσιμο να αναπτυχθούν μοντέλα υπολογισμού της εξοικονόμησης των CAPEX και OPEX και για τους παρόχους. Μέσω των μοντέλων αυτών, οι πάροχοι θα μπορούν να εξετάσουν τους τρόπους με τους οποίους η εφαρμογή των διαφόρων τεχνολογιών μπορεί να επηρεάσει τις υπηρεσίες τις οποίες προσφέρουν, μετατρέποντας τα δεδομένα σε οικονομικούς όρους, οι οποίοι θα αντιστοιχούν στα ποσοστά εξοικονόμησης ή επιβάρυνσης των δαπανών κεφαλαίου και λειτουργίας τους.

Τέλος, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ποσοτική και ποιοτική έρευνα σχετικά με το επίπεδο εξοικονόμησης που προκύπτει από την εφαρμογή των τεχνολογιών SDN και NFV, αλλά και από τον συνδυασμό των δύο. Θα ήταν επίσης χρήσιμο να εξετασθεί ο τρόπος με τον οποίο, η εξοικονόμηση θα μπορεί να επηρεάσει της επιχειρήσεις στο να αποφασίσουν να μεταβούν στο νέφος, κάνοντας χρήση προηγμένων δικτύων όπως το

5G, καθώς και την επίδραση που έχουν τα προηγμένα δίκτυα στην εξοικονόμηση του CAPEX και του OPEX τόσο για τους παρόχους όσο και για τις επιχειρήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdollahzadegan, A., Che Hussin, A. R., Moshfegh Gohary, M., & Amini, M. (2013). The organizational critical success factors for adopting cloud computing in SMEs. *Journal of Information Systems Research and Innovation (JISRI)*, 4(1), 67-74.
2. Akpakwu, G. A., Silva, B. J., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017). A survey on 5G networks for the Internet of Things: Communication technologies and challenges. *IEEE access*, 6, 3619-3647.
3. Aldred, J. (2011). Interview: Rob Bernard, the man driving Microsoft's green agenda. *The Guardian*. Ανακτήθηκε από:
<https://www.theguardian.com/environment/2011/feb/24/microsoft-green-agenda>
4. Alshamaila, Y., Papagiannidis, S., & Stamati, T. (2013, March). Cloud computing adoption in Greece. In UKAIS. p. 5.
5. Ananth, M. D., & Sharma, R. (2016, December). Cloud management using network function virtualization to reduce capex and opex. In 2016 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN) (pp. 43-47). IEEE.
6. Ananth, M. D., & Sharma, R. (2016, December). Cloud management using network function virtualization to reduce capex and opex. In 2016 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN) (pp. 43-47). IEEE.
7. Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., ... & Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.
8. Basu, S., Bardhan, A., Gupta, K., Saha, P., Pal, M., Bose, M., ... & Sarkar, P. (2018, January). Cloud computing security challenges & solutions-A survey. In *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*. IEEE. 347-356.
9. Bento, A., & Bento, R. (2011). Cloud computing: A new phase in information technology management. *Journal of Information Technology Management*, 22(1), 39-46.
10. Bera, S., Misra, S., & Vasilakos, A. V. (2017). Software-defined networking for internet of things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), 1994-2008.
11. Bermudez, I., Traverso, S., Mellia, M., & Munafo, M. (2013). Exploring the cloud from passive measurements: The Amazon AWS case. In 2013 Proceedings IEEE INFOCOM (pp. 230-234).
12. Bernsmed, K., Jaatun, M. G., & Undheim, A. (2011). Security in service level agreements for cloud computing. In *CLOSER 2011-Proceedings of the 1st International Conference on Cloud Computing and Services Science*.
13. Blial, O., Ben Mamoun, M., & Benaini, R. (2016). An overview on SDN architectures with multiple controllers. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2016.
14. Böhm, M., Leimeister, S., Riedl, C & Krcmar, H. (2010). Cloud computing and computing evolution. Technische Universität München (TUM), Germany.virtualization.

15. Bouras, C., Ntarzanos, P., & Papazois, A. (2016, October). Cost modeling for SDN/NFV based mobile 5G networks. In 2016 8th international congress on ultra modern telecommunications and control systems and workshops (ICUMT) (pp. 56-61). IEEE.
16. Brebner, P. C. (2012, April). Is your cloud elastic enough? Performance modelling the elasticity of infrastructure as a service (IaaS) cloud applications. In *Proceedings of the 3rd ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering* (pp. 263-266).
17. Brender, N., & Markov, I. (2013). Risk perception and risk management in cloud computing: Results from a case study of Swiss companies. *International journal of information management*, 33(5), 726-733.
18. Cabaj, K., Wytrebowicz, J., Kuklinski, S., Radziszewski, P., & Dinh, K. T. (2014). SDN Architecture Impact on Network Security. In *FedCSIS (Position Papers)* (pp. 143-148).
19. Chavan, P., Patil, P., Kulkarni, G., Sutar, R., & Belsare, S. (2013, December). IaaS cloud security. In *2013 International Conference on Machine Intelligence and Research Advancement*(pp. 549-553). IEEE.
20. Dillon, S., & Vossen, G. (2015). SaaS cloud computing in small and medium enterprises: A comparison between Germany and New Zealand. *International Journal of Information Technology, Communications and Convergence*, 3(2), 87-104.
21. Espadanal, M., & Oliveira, T. (2012). Cloud Computing Adoption by firms. In *MCIS (Short Papers)*. 1-10.
22. ETSI. (2012). Network Functions Virtualisation; An introduction, benefits, enablers, challenges & call for action. In White Paper, SDN and OpenFlow World Congress. Ανακτήθηκε από: https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf
23. ETSI. (2014a). ETSI GS NFV-MAN 001 V1.1.1 (2014-12), Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration. Ανακτήθηκε από: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-MAN/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-MAN001v010101p.pdf
24. ETSI. (2014b). ETSI GS NFV 002 V1.2.1 (2014-12), Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework. Ανακτήθηκε από: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.02.01_60/gs_NFV002v010201p.pdf
25. Figueira, L. (2015). Why is everyone talking about PaaS?. Ανακτήθηκε 11/1/2021 από: <https://www.boxfusionconsulting.com/article/why-is-everyone-talking-about-paas>
26. Fogarty, K. (2009). Cloud Computing definitions and solutions. Retrieved February, 11, 2013.
27. Gajbhiye, A., & Shrivastva, K. M. P. (2014, September). Cloud computing: Need, enabling technology, architecture, advantages and challenges. In *2014 5th International Conference-Confluence The Next Generation Information Technology Summit (Confluence.)* IEEE.1-7.

28. Gangwar, H., Date, H., & Ramaswamy, R. (2015). Understanding determinants of cloud computing adoption using an integrated TAM-TOE model. *Journal of enterprise information management*. Vol. 28 Iss 1 p. 107 - 130.
29. Gentzoglanis, A. (2011). Risk, financial modeling and cloud computing: a new approach. *Computer*, 9, 147-151.
30. Georgakopoulos, D., Jayaraman, P. P., Fazia, M., Villari, M., & Ranjan, R. (2016). Internet of Things and edge cloud computing roadmap for manufacturing. *IEEE Cloud Computing*, 3(4), 66-73.
31. Gude, N., Koponen, T., Pettit, J., Pfaff, B., Casado, M., McKeown, N., & Shenker, S. (2008). NOX: towards an operating system for networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 38(3), 105-110.
32. Gupta, P., Seetharaman, A., & Raj, J. R. (2013). The usage and adoption of cloud computing by small and medium businesses. *International Journal of Information Management*, 33(5), 861-874.
33. Han, B., Gopalakrishnan, V., Ji, L., & Lee, S. (2015). Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations. *IEEE Communications Magazine*, 53(2), 90-97.
34. Hernandez-Valencia, E., Izzo, S., & Polonsky, B. (2015). How will NFV/SDN transform service provider opex?. *IEEE Network*, 29(3), 60-67.
35. Himanshu, A. & Thakur, T.(2020). Software Defined Networking (SDN) - Architecture and role of OpenFlow. Ανακτήθηκε 11/1/2021 από: <https://www.howtoforge.com/tutorial/software-defined-networking-sdn-architecture-and-role-of-openflow/>
36. Hussein, N. H., & Khalid, A. (2016). A survey of cloud computing security challenges and solutions. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 14(1), 52.
37. Iyer, E. K., Pandey, N., Lamba, P. S., & Panda, T. (2013). Decision variables influencing Cloud adoption by SME sector: A Conjoint Analysis Mapping. In *National Conference on Business Analytics & Business Intelligence*. 1-7.
38. Jamsa, K. (2012). *Cloud computing: SaaS, PaaS, IaaS, virtualization, business models, mobile, security and more*. Jones & Bartlett Publishers.
39. Jansen, W. A., & Grance, T. (2011). *Guidelines on security and privacy in public cloud computing*.
40. Joseph, A. D., Fox, A., Griffith, R., Armbrust, M., Katz, R., Konwinski, A., ... & Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.
41. Karakus, M., & Durresi, A. (2017). A survey: Control plane scalability issues and approaches in software-defined networking (SDN). *Computer Networks*, 112, 279-293.
42. Karakus, M., & Durresi, A. (2018). Economic viability of software defined networking (SDN). *Computer Networks*, 135, 81-95.

43. Khan, A., & Gill, N. S. (2018). Review of Security Methods in Cloud Computing. *IJRAR-International Journal of Research and Analytical Reviews*, 5(3), 1076-1080.
44. Kim, H., & Feamster, N. (2013). Improving network management with software defined networking. *IEEE Communications Magazine*, 51(2), 114-119.
45. Kim, W. (2011). Cloud computing adoption. *International Journal of Web and Grid Services*, 7(3), 225-245.
46. Kumar, A. (2020). CapEx vs OpEx: Understand the Difference in Cloud Computing. Topic 1: Cloud Concepts in the Microsoft Azure Fundamentals Certification Series(AZ-900). Ανακτήθηκε από: <https://k21academy.com/microsoft-azure/az-900/az-900-microsoft-azure-fundamentals-cloud-computing-capex-vs-opex-model/>
47. Lasica, J. D., & Firestone, C. M. (2009). Identity in the Age of Cloud Computing: The next-generation Internet's impact on.
48. Lawton, G. (2008). Moving the OS to the Web. *Computer*, 41(3), 16-19.
49. Leonhardt, A. (2019). Defining The Elements of NFV Architectures. *NETWORKING FOR NERDS, EQUINIX*. Ανακτήθηκε από: <https://blog.equinix.com/blog/2019/10/17/networking-for-nerds-defining-the-elements-of-nfv-architectures/>
50. Lima J. M. (2018). 2018 public cloud capital expenditures set to top \$160bn (before nearly doubling by 2021). *Broad Group*. Ανακτήθηκε από: <https://www.broad-group.com/data/news/documents/b1m2y14lrl4pq8>
51. Lin, H. F., & Lin, S. M. (2008). Determinants of e-business diffusion: A test of the technology diffusion perspective. *Technovation*, 28(3), 135-145.
52. Lin, P., Bi, J., & Wang, Y. (2015). WEBridge: west–east bridge for distributed heterogeneous SDN NOSes peering. *Security and Communication Networks*, 8(10), 1926-1942.
53. Low, C., Chen, Y., & Wu, M. (2011). Understanding the determinants of cloud computing adoption. *Industrial Management & Data Systems*. Vol. 111, 7. p. 1006-1023.
54. Luo, F., Dong, Z. Y., Chen, Y., Xu, Y., Meng, K., & Wong, K. P. (2012, July). Hybrid cloud computing platform: The next generation IT backbone for smart grid. In 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting (pp. 1-7). IEEE.
55. Mamushiane, L., & Dlamini, S. (2017, October). Leveraging SDN/NFV as key stepping stones to the 5G era in emerging markets. In 2017 Global Wireless Summit (GWS) (pp. 23-27). IEEE.
56. Mamushiane, L., Lysko, A. A., & Dlamini, S. (2018, May). SDN-enabled infrastructure sharing in emerging markets: CapEx/OpEx savings overview and quantification. In 2018 IST-Africa Week Conference (IST-Africa) (pp. Page-1). IEEE.
57. Mangula, I. S., van de Weerd, I., & Brinkkemper, S. (2014). The Adoption of Software-as-Service: an Indonesian Case Study. *InPACIS* (p. 385).

58. Marešová, P., & Soběslav, V. (2017). Effective evaluation of cloud computing investment: application of cost benefit method analysis.
59. Maresova, P., Sobeslav, V., & Krejcar, O. (2017). Cost–benefit analysis–evaluation model of cloud computing deployment for use in companies. *Applied Economics*, 49(6), 521-533.
60. Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing—The business perspective. *Decision support systems*, 51(1), 176-189.
61. Mas Machuca, C., Vizarreta, P., Kellerer, W., Koulkarni, V., Einsiedler, H., Condoluci, M., ... & Abbasi, K. (2018). Techno-economic framework for SDN/NFV based industrial networks: A Wind Park case study.
62. Maverick, J.B. (2020). Capital Expenditures vs. Operating Expenditures (Expenses): An Overview. Investopedia. Ανακτήθηκε από (14-10-2020): <https://www.investopedia.com/ask/answers/020915/what-difference-between-capex-and-opex.asp>
63. Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing.
64. Menken, I. (2008). *Cloud Computing-The Complete Cornerstone Guide to Cloud Computing Best Practices Concepts, Terms, and Techniques for Successfully Planning, Implementing... Enterprise IT Cloud Computing Technology*. Emereo Pty Ltd.
65. Mikkonen, I., & Khan, I. (2016). Cloud computing: SME company point of view. *Management Challenges in the 21st Century: Digitalization of Society, Economy and Market: Current Issues and Challenges*. 59-79.
66. Misra, S. C., & Mondal, A. (2011). Identification of a company's suitability for the adoption of cloud computing and modelling its corresponding Return on Investment. *Mathematical and Computer Modelling*, 53(3-4), 504-521.
67. Mohapatra, S., & Laxmikant, L. (2014). Cloud computing and ROI. Management for Professionals. Ανακτήθηκε από: [http://www.asecib.ase.ro/cc/carti/Cloud%20Computing%20and%20ROI%20\[2014\].pdf](http://www.asecib.ase.ro/cc/carti/Cloud%20Computing%20and%20ROI%20[2014].pdf)
68. Murphy, K. (2020). CAPEX Vs OPEX: What Is The Difference?. Purchase Control. Ανακτήθηκε από (13-10-2020): <https://www.purchasecontrol.com/uk/blog/capex-vs-opex/>
69. Mushtaq, M. F., Akram, U., Khan, I., Khan, S. N., Shahzad, A., & Ullah, A. (2017). Cloud computing environment and security challenges: A review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(10), 183-195.
70. Naudts, B., Kind, M., Verbrugge, S., Colle, D., & Pickavet, M. (2016). How can a mobile service provider reduce costs with software-defined networking?. *International Journal of Network Management*, 26(1), 56-72.
71. Naudts, B., Kind, M., Westphal, F. J., Verbrugge, S., Colle, D., & Pickavet, M. (2012, October). Techno-economic analysis of software defined networking as architecture for

- the virtualization of a mobile network. In 2012 European workshop on software defined networking (pp. 67-72). IEEE.
72. Open Networking Foundation. (2014). SDN architecture Issue 1.0. Ανακτήθηκε από: https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/02/TR_SDN_ARCH_1.0_06062014.pdf
 73. Open Networking Foundation. (2016). ONF SDN Evolution Version 1.0. Ανακτήθηκε από: https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/05/TR-535_ONF_SDN_Evolution.pdf
 74. Pei, X., Telekom, D., Martiny, K., DOCOMO, N., Obana, K., Gamelas, A., ... & Lee, D. K. (2017). Network functions virtualisation (nfv). White Paper on NFV priorities for 5G, (1).
 75. Rajasingh, J. S., & Wesley, J. R. (2020). Step into the Cloud or Stop with Virtualization—The Project Manager’s Dialectic Dilemma. *Procedia Computer Science*, 172, 1077-1083.
 76. Rashmi, M. S., & Sahoo, G. (2012). A five-phased approach for the cloud migration. *International journal of emerging technology and advanced engineering*, 2(4), 286-291.
 77. Saya, S., Pee, L. G., & Kankanhalli, A. (2010, January). The Impact of Institutional Influences on Perceived Technological Characteristics and Real Options in Cloud Computing Adoption. In *ICIS (Vol. 24)*. 1-11.
 78. Sharma, S. K., Al-Badi, A. H., Govindaluri, S. M., & Al-Kharusi, M. H. (2016). Predicting motivators of cloud computing adoption: A developing country perspective. *Computers in Human Behavior*, 62, 61-69.
 79. Shawky, D. M., & Ali, A. F. (2012). Defining a measure of cloud computing elasticity. In 2012 1st International conference on systems and computer science (ICSCS) (pp. 1-5). IEEE.
 80. Sherry, J., Hasan, S., Scott, C., Krishnamurthy, A., Ratnasamy, S., & Sekar, V. (2012). Making middleboxes someone else's problem: network processing as a cloud service. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 42(4), 13-24.
 81. Soomro, T. R., & Wahba, H. (2010). Perspectives of cloud computing: An overview. In *Proceedings 14th International Business Information Management Association (IBIMA) Conference on Global Business Transformation through Innovation and Knowledge Management, Istanbul*.
 82. Stabler, G., Rosen, A., Goasguen, S., & Wang, K. C. (2012). Elastic IP and security groups implementation using OpenFlow. In *Proceedings of the 6th international workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing Date* (pp. 53-60).
 83. Stanoevska-Slabeva, K., & Wozniak, T. (2010). Cloud basics—an introduction to cloud computing. In *Grid and cloud computing*(pp. 47-61). Springer, Berlin, Heidelberg.

84. Stieninger, M., & Nedbal, D. (2014). Diffusion and acceptance of cloud computing in SMEs: towards a valence model of relevant factors. In 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE. pp. 3307-3316.
85. Tallon P.P., Mooney J.G., Duddek M. (2020) Measuring the Business Value of IT. In: Lynn T., Mooney J., Rosati P., Fox G. (eds) Measuring the Business Value of Cloud Computing. Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies. Palgrave Macmillan, Cham.
86. Thota, S. (2017). The Cloud Promise (Moving Data to Cloud). *Advances in Computing*, 7(3), 74-79.
87. Tourrilhes, J., Sharma, P., Banerjee, S., & Pettit, J. (2014). The evolution of SDN and OpenFlow: a standards perspective. *IEEE Computer Society*, 47(11), 22-29.
88. Valentini, G. L., Khan, S. U., & Bouvry, P. (2013). Energy-efficient resource utilization in cloud computing. *Large Scale Network-centric Computing Systems*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
89. Walterbusch, M., Martens, B., & Teuteberg, F. (2013). Evaluating cloud computing services from a total cost of ownership perspective. *Management Research Review*.
90. Willcocks, L., Venters, W., & Whitley, E. (2011). Cloud and the Future of Business: From Costs to Innovation. *Part Three: Impacts*. Accenture. Ανακτήθηκε από: <http://ict-industry-reports.com.au/wp-content/uploads/sites/4/2012/03/2011-Cloud-and-the-future-of-business-Part-Two-May2011.pdf>
91. Williams, B. (2012). The economics of cloud computing. Cisco Press.
92. Won, K. (2009). Cloud Computing: Today and Tomorrow. *Journal of Object Technology*. 8. 65-72.
93. Xavier, G. P., & Kantarci, B. (2018). A survey on the communication and network enablers for cloud-based services: state of the art, challenges, and opportunities. *Annals of Telecommunications*, 73(3-4), 169-192.
94. Yang, J., & Chen, Z. (2010, December). Cloud computing research and security issues. In 2010 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering (pp. 1-3). IEEE.
95. Yeboah-Boateng, E. O., & Essandoh, K. A. (2014). Factors influencing the adoption of cloud computing by small and medium enterprises in developing economies. *International Journal of Emerging Science and Engineering*, 2(4), 13-20.
96. Youseff, L., Butrico, M., & Da Silva, D. (2008, November). Toward a unified ontology of cloud computing. In *2008 Grid Computing Environments Workshop* (pp. 1-10). IEEE.