



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **<<Lab As A Service (LaaS)>>**

**Του φοιτητή**  
**Βασιλόγλου Βασιλείου**  
**Αρ. Μητρώου: 103614**

**Επιβλέπων καθηγητής**  
**Ηλιούδης Χρήστος**

**Θεσσαλονίκη 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «Lab As A Service (LaaS)», είναι αποτέλεσμα έντονου ενδιαφέροντος για το θέμα και αναζήτησης πληροφοριών. Εκπονήθηκε από τον φοιτητή Βασίλογλου Βασίλειο. το χρονικό διάστημα από τον Σεπτέμβριο 2016 ως τον Ιούνιο του 2017.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να τονίσω το σκοπό αυτής της εργασίας. Το cloud είναι μια καινοτόμα τεχνολογία με πολλές ενδιαφέρουσες εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα το Lab As a Service είναι μία καινοτόμα υπηρεσία με πολλές εφαρμογές στα πλαίσια λειτουργίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος.

Η εργασία αυτή αποτελεί το τελευταίο στάδιο των σπουδών μου στο Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Πληροφορικής και είναι αμιγώς βιβλιογραφική.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την ανάλυση της υπηρεσίας LaaS, καθώς και την αξιολόγηση των open source λύσεων. Αναλύεται αρχικά, το Cloud ως τεχνολογία, δηλαδή, τα χαρακτηριστικά του, η ιστορική αναδρομή του, τα μοντέλα υπηρεσιών που αναπτύσσονται γύρω απ' αυτό, πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα, η ασφάλεια που το διέπει, καθώς και γίνεται ιδιαίτερη μνεία στους πιο διαδεδομένους παρόχους Cloud Υπηρεσιών.

Έπειτα, γίνεται αναφορά στην υπηρεσία LaaS. Γίνεται μια ιστορική αναδρομή από τα συμβατικά εργαστήρια ως τα Cloud εργαστήρια. Ακολουθά η μελέτη των open source λύσεων για τα Πανεπιστήμια και αναλύονται τα πλεονεκτήματα της Υπηρεσίας.

Τέλος, γίνεται η συγκριτική μελέτη των υφιστάμενων λύσεων της Υπηρεσίας LaaS, ώστε να καταλήξουμε ποια είναι η κατάλληλη για εφαρμογή.

## ABSTRACT

This dissertation aims to analyze the LaaS service, as well as to evaluate open source solutions. Cloud is originally analyzed as a technology and its features, its historical background, the service models developed around it, its advantages and disadvantages, the security that governs it, as well as particular reference is made at the most common Cloud Services providers .

Then reference is made to the LaaS service. A historical retrospection shows the course from conventional laboratories to Cloud Laboratories. Following, the study of open source solutions for Universities and the benefits of the Service are analyzed.

Finally, I compare the existing solutions of the LaaS Service in order to find out what is appropriate for implementation.

## Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή.....	7
1.1 Σκοπός και διάρθρωση της πτυχιακής.....	8
1.2 Μεθοδολογία.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing).....	12
2.1 Ορισμός και Χαρακτηριστικά Cloud Computing.....	12
Ιστορική αναδρομή.....	16
2.2 Μοντέλα Cloud Computing.....	19
2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Cloud Computing.....	23
2.4 Ασφάλεια και ιδιωτικότητα στο Cloud Computing.....	25
2.5 Πάροχοι Cloud Υπηρεσιών.....	26
2.5.1 Amazon Web Services.....	26
2.5.2 Microsoft Azure.....	28
2.5.3 Google Cloud Platform.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μοντέλα Υπηρεσιών.....	32
3.1 Λογισμικό ως υπηρεσία (Cloud Software as a service).....	32
3.2 Πλατφόρμα ως υπηρεσία (Cloud Platform as a service).....	34
3.3 Υποδομή ως υπηρεσία (Cloud Infrastructure as a service).....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εργαστήρια ως cloud υπηρεσία (Lab as a cloud Service).....	38
4.1 Από τα παραδοσιακά στα cloud εργαστήρια – Ορισμοί.....	38
4.2 Εικονοποίηση (Virtualization και Virtual Cloud Labs).....	41
4.3 Πλεονεκτήματα των Cloud Labs.....	47
4.4 Μελέτη Περίπτωσης: Open Source Lab-as-a-Service για Πανεπιστήμια.....	49
4.4.1 North Carolina State University VCL.....	50
4.4.2 Oregon State University Open Source Lab.....	54
4.4.3 GENI lab.....	58
4.4.4 Σύγκριση λύσεων για πανεπιστήμια.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Συγκριτική μελέτη Lab-as-a-service Υπηρεσιών.....	61
5.1 World Wide Technology Solutions.....	61
5.2 Netscout Lab as a Service.....	63
5.3 Quali Cloud Sandboxes Lab as a service.....	65

5.4	Open Source λύσεις.....	68
5.4.1	OpenContrail by Sandbox.....	68
5.4.2	SauceLabs.....	70
5.5	Σύγκριση Υπηρεσιών.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα – Μελλοντικές Επεκτάσεις.....		77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		80

#### Ευρετήριο Εικόνων

Figure 1.	Το υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) (Πηγή: <i>gazonindi.com</i> ).....	13
Figure 2.	Ιστορική εξέλιξη cloud computing.....	19
Figure 3.	Το ιδιωτικό υπολογιστικό νέφος (Πηγή: <i>cleanri.com</i> ).....	21
Figure 4.	Το δημόσιο υπολογιστικό νέφος (Πηγή: <i>inspirationseek.com</i> ).....	21
Figure 5.	Το υβριδικό νέφος (Πηγή: <i>webhostingsearch.com</i> ).....	22
Figure 6.	Το νέφος κοινότητας (Πηγή: <i>thirstt.com</i> ).....	23
Figure 7.	Το EC2 - Κύκλος Πλεονεκτημάτων (Πηγή: <i>thoughtexecution.com</i> ).....	27
Figure 8.	Υπηρεσίες του Microsoft Azure.....	29
Figure 9.	Google Cloud Platform (Πηγή: <i>futurism.com</i> ).....	31
Figure 10.	Χαρακτηριστικά περιβάλλοντος CLaaS.....	45
Figure 11.	Πανεπιστήμια που υιοθέτησαν LaaS λύσεις.....	50
Figure 12.	Παραδοσιακά εργαστήρια VS. Lab as a service.....	65
Figure 13.	CloudShell LaaS.....	68

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

Η εξέλιξη της τεχνολογίας κινείται, πλέον, με φρενήρεις ρυθμούς και είναι γεγονός πως η επιστήμη της πληροφορικής έχει καταφέρει σε ελάχιστο χρόνο να δημιουργήσει ριζικές κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές. Νέες τεχνολογίες, εφαρμογές και προγράμματα είναι στη διάθεση των χρηστών και διευκολύνουν τις λειτουργίες εταιρειών και οργανισμών. Ο 21ος αιώνας χαρακτηρίζεται ως ‘ο αιώνας της πληροφορίας’, εξαιτίας της μεγάλης ανάπτυξης που γνώρισε ο τομέας της Πληροφορικής και των υπολογιστών. Όσο η επιστήμη της πληροφορικής εξελίσσεται, όμως, μεγαλώνουν και οι ανάγκες σε σχέση με τη διαχείριση, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη μεταφορά των πληροφοριών. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν τα δίκτυα που εξυπηρετούν τις ανάγκες αυτές και αφορούν τον διαμερισμό των πόρων των συστημάτων και την ανταλλαγή πληροφοριών κάθε μορφής.

Η γρήγορη εξάπλωση του Internet και σε συνδυασμό με την ύπαρξη δικτύων υψηλών ταχυτήτων και την τεχνολογική ανάπτυξη των υπολογιστών αλλά και του λογισμικού, δημιούργησε νέα δεδομένα τα οποία ανοίγουν νέους δρόμους στην ανάπτυξη της τεχνολογίας. Μία τέτοια τεχνολογία είναι και το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) και οι διάφορες εφαρμογές του που έδωσαν νέα ώθηση στις δυνατότητες των μεμονωμένων χρηστών και των οργανισμών.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα μελετηθεί η υπηρεσία Lab as a Service σε περιβάλλοντα υπολογιστικού νέφους, συγκεκριμένα θα γίνει εκτενής παρουσίαση του όρου, ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των εφαρμογών της υπηρεσίας, αλλά και παρουσίαση των μεγαλύτερων

παρόχων και των χαρακτηριστικών που προσφέρουν μελετώντας τους συγκριτικά.

### 1.1 Σκοπός και διάρθρωση της πτυχιακής

Κύριος στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η βιβλιογραφική επισκόπηση και μελέτη τόσο του Cloud computing, των μοντέλων υπηρεσίας, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του, και η στοχευμένη μελέτη των υπηρεσιών Lab as a Service. Συγκεκριμένα, εκτός από την παρουσίαση της υπηρεσίας και των χαρακτηριστικών των εικονικών και απομακρυσμένων εργαστηρίων, θα ακολουθήσει αναφορά σε συγκεκριμένες μελέτες περίπτωσης πανεπιστημίων που εφάρμοσαν open source λύσεις. Επίσης, επειδή οι ανάγκες των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και των εμπορικών επιχειρήσεων διαφέρουν, θα γίνει παρουσίαση των μεγάλων παρόχων και εμπορικών πακέτων, open source λύσεων που υπάρχουν και σε αυτή την περίπτωση και θα ακολουθήσει μια συγκριτική μελέτη.

Αναλυτικά, η εργασία έχει την παρακάτω διάρθρωση:

Στο κεφάλαιο 2, γίνεται μια εκτενής εισαγωγή στο υπολογιστικό νέφος, στα χαρακτηριστικά, στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα, στο σημαντικό ζήτημα της ασφάλειας, ενώ παρουσιάζονται και οι 3 μεγάλοι πάροχοι - ηγέτες στο χώρο, Google, Amazon και Microsoft και οι υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους που παρέχουν.

Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζονται αναλυτικά τα μοντέλα υπηρεσίας του υπολογιστικού νέφους, Software as a Service, Platform as a Service, Infrastructure as a Service.

Στο κεφάλαιο 4, αναλύεται η υπηρεσία Lab as a Service και τα πλεονεκτήματά της, γίνεται μια αναδρομή από τα παραδοσιακά στα εικονικά εργαστήρια και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια της



εικονοποίησης. Το κεφάλαιο συνοψίζει με μελέτες περίπτωσης πανεπιστημίων που υιοθέτησαν open source λύσεις LaaS.

Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα εμπορικά πακέτα LaaS που απευθύνονται κυρίως σε επιχειρήσεις και πραγματοποιείται μεταξύ τους σύγκριση.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 η εργασία συνοψίζει με τα συμπεράσματα και τις μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας εργασίας, ενώ ακολουθεί η βιβλιογραφία.

## 1.2 Μεθοδολογία

Ως μεθοδολογία της πτυχιακής εργασίας, επιλέχθηκε η δευτερογενής έρευνα με κριτική ανασκόπηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, διότι αυτή η μέθοδος προσφέρει γρήγορες απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα και έχει πρόσθετα πλεονέκτημα. Επιπλέον, οι υπάρχουσες δημοσιευμένες πληροφορίες για κάθε πεδίο ενδιαφέροντος είναι το εφιαλτήριο κάθε ερευνητικής προσπάθειας με σκοπό την κατανόηση του συγκεκριμένου περιβάλλοντος (Stewart & Kamins, 1993).

Μια ουσιαστική, διεξοδική και κριτική βιβλιογραφική ανασκόπηση (Gall et al, 1996; Hart, 1998):

- οριοθετεί το ερευνητικό πρόβλημα,
- αναζητά νέες κατευθύνσεις στην έρευνα,
- αποφεύγει άσκοπες προσεγγίσεις,
- διευκολύνει την απόκτηση μεθοδολογικών γνώσεων,
- εντοπίζει σημεία για περαιτέρω έρευνα,
- υποστηρίζει τη θεμελιωμένη θεωρία,

- διακρίνει ό, τι έχει γίνει από το τι πρέπει να γίνει,
- ανακαλύπτει σημαντικές μεταβλητές σχετικές με το θέμα,
- συνθέτει μια νέα προοπτική,
- καθορίζει το πλαίσιο του θέματος ή του προβλήματος,
- εξορθολογίζει τη σημασία του προβλήματος,
- διευκολύνει την κατανόηση της δομής του θέματος,
- τοποθετεί την έρευνα σε ένα ιστορικό πλαίσιο για να δείξει τη σύνδεση με state-of-the-art εξελίξεις.

Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι μια μεθοδολογική προσέγγιση που περιλαμβάνει τις τρέχουσες γνώσεις, συμπεριλαμβανομένων των ουσιαστικών ευρημάτων, καθώς και τις θεωρητικές και μεθοδολογικές συνεισφορές σε ένα συγκεκριμένο θέμα. Οι ανασκοπήσεις βιβλιογραφίας είναι δευτερεύουσες πηγές και δεν αναφέρουν νέα ή αρχικά πειραματικά ευρήματα. Οι ανασκοπήσεις βιβλιογραφίας αποτελούν τη βάση για την έρευνα σχεδόν σε κάθε ακαδημαϊκό πεδίο. Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση φέρει τα πλεονεκτήματα της δευτερεύουσας έρευνας που αναφέρθηκαν παραπάνω και πιο συγκεκριμένα προσφέρει (Berg et al., 2004):

- **Αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης έρευνας σε ένα θέμα.** Αυτή είναι ίσως η πιο προφανής αξία της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας. Μόλις ένας ερευνητής προσδιορίσει έναν τομέα στον οποίο θα εργαστεί για ένα ερευνητικό έργο, η αναζήτηση σχετικών πηγών πληροφοριών θα βοηθήσει να προσδιοριστεί τι είναι ήδη γνωστό για το θέμα και πόσο εκτενώς το θέμα έχει ήδη ερευνηθεί.

- **Προσδιορισμός των εμπειρογνομόνων σε ένα συγκεκριμένο θέμα.** Ένα από τα πρόσθετα οφέλη που προκύπτει από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας είναι ότι θα αποκαλύψει γρήγορα ποιοι ερευνητές έχουν γράψει τα περισσότερα σχετικά με ένα συγκεκριμένο θέμα και είναι, επομένως, πιθανώς οι ειδικοί στο θέμα. Από τον αριθμό των άρθρων που γράφει ο συγγραφέας και από τον αριθμό των συγγραφέων που έχουν αναφερθεί από άλλους συγγραφείς, ένας ερευνητής θα μπορεί να υποθέσει ότι ο συγκεκριμένος συγγραφέας είναι ειδικός στον τομέα αυτό.
- **Προσδιορισμός βασικών ερωτήσεων σχετικά με ένα θέμα που χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.** Σε πολλές περιπτώσεις, ένας ερευνητής μπορεί να ανακαλύψει νέες οπτικές που χρειάζονται περαιτέρω εξερεύνηση ανατρέχοντας σε αυτό που έχει ήδη γραφτεί σε ένα θέμα.
- **Προσδιορισμός μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες μελέτες για τα ίδια ή παρόμοια θέματα.** Είναι συχνά χρήσιμο να αναθεωρηθούν οι τύποι μελετών που ξεκίνησαν οι προηγούμενοι ερευνητές ως μέσο προσδιορισμού των προσεγγίσεων και θα μπορούσαν να αποφέρουν τα περισσότερα οφέλη για την περαιτέρω ανάπτυξη ενός θέματος. Από την άλλη πλευρά, μια επισκόπηση των προηγουμένως διεξαγόμενων μελετών μπορεί να προσδοθεί στους ερευνητές που καθορίζουν μια νέα γωνία προσέγγισης της έρευνας.

Τα ερωτήματα που καλούμαστε να απαντήσουμε με την έρευνά μας, είναι κατά πόσο ευρέως διαδεδομένη είναι η παροχή υπηρεσιών LaaS, πως χρησιμοποιείται από πανεπιστήμια και από επιχειρήσεις και ποιες είναι οι διαθέσιμες open source λύσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)

Μία τέτοια τεχνολογία είναι και το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing), το οποίο θα μελετηθεί στο παρόν κεφάλαιο.

### 2.1 Ορισμός και Χαρακτηριστικά Cloud Computing

Το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) αναφέρεται στην τεχνολογία που επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες και δεδομένα τα οποία δεν φιλοξενούνται στον προσωπικό τους υπολογιστή, αλλά σε εξοπλισμό τρίτων, με μόνη προϋπόθεση την πρόσβαση στο διαδίκτυο, μέσω του οποίου λαμβάνονται οι υπηρεσίες. Με άλλα λόγια, ο χρήστης δεν χρειάζεται να είναι φυσικά και ταυτόχρονα παρών στον ίδιο χώρο με τον εξοπλισμό. Χρήσιμο είναι να δοθεί ο ορισμός του υπολογιστικού νέφους για τη βέλτιστη κατανόηση του παρόντος κεφαλαίου: «Το Cloud Computing είναι ένα μοντέλο που επιτρέπει την εύκολη και τη στιγμή που ζητείται πρόσβαση μέσω διαδικτύου σε ένα σύνολο από παραμετροποιήσιμους υπολογιστικούς πόρους (π.χ. Δίκτυα, Servers, αποθηκευτικό χώρο, εφαρμογές και υπηρεσίες), οι οποίοι μπορούν πολύ εύκολα να παρακολουθηθούν και να αποδοθούν με πολύ μικρή παρέμβαση της διαχείρισης, ή αλληλεπίδρασης από τον πάροχο των υπηρεσιών» (Mell & Grance, 2011). Όσον αφορά την ονοματοδοσία της συγκεκριμένης τεχνολογίας, προκύπτει από το γεγονός ότι τα διαγράμματα δικτύου απεικονίζουν το διαδίκτυο ως ένα «σύννεφο» το οποίο αντιπροσωπεύει όλα όσα συμβαίνουν κατά την διάρκεια λειτουργίας του δικτύου. Το Cloud Computing, λοιπόν,

προέρχεται από μία παρομοίωση του διαδικτύου. Ο χρήστης δεν είναι σε θέση να προσδιορίσει την τοποθεσία των υποδομών που χρησιμοποιεί ή τον εξοπλισμό που φιλοξενεί τις υπηρεσίες που έχει ζητήσει και του έχει δοθεί η άδεια να χρησιμοποιήσει. Θα μπορούσε κανείς να πει πως οι πόροι ανασύρονται από ένα Cloud (σύννεφο – νέφος) πόρων όταν αποδοθούν σε ένα χρήστη και αυτές επιστρέφουν σε αυτό όταν απελευθερωθούν.



**Figure 1. Το υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)**  
(Πηγή: [gazonindi.com](http://gazonindi.com))

Αυτό που συμβαίνει στην πράξη, είναι πως οι χρήστες του Cloud ζητούν, με μόνο διαθέσιμο τον προσωπικό τους υπολογιστή ή την mobile συσκευή τους και την πρόσβαση στο Internet, και μπορούν να απολαμβάνουν ένα σύνολο υπηρεσιών διαδικτύου, οι οποίες διαχειρίζονται τους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους (υλικό υπολογιστών, δίκτυο, αποθηκευτικό χώρο, λειτουργικά συστήματα, περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών, εφαρμογές κλπ). Όταν αποδοθεί ένα τμήμα πόρων σε κάποιον χρήστη του Cloud, το τμήμα αυτό είναι

ατομικά αφιερωμένο σε αυτόν το χρήστη μέχρι αυτός να το απελευθερώσει από τη χρήση του (Galen, 2008).

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας, αυτά είναι πέντε και μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (Mell & Grance, 2011; Liu, et al., 2010):

1) On-demand self-service(Εξυπηρέτηση κατά απαίτηση):

Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι ο καταναλωτής μπορεί να δεσμεύσει από μόνος του τους υπολογιστικούς πόρους που χρειάζεται ανάλογα με τις ανάγκες του χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη αλληλεπίδραση με το φορέα παροχής κάθε υπηρεσίας.

2) Broad network access (Ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο):

Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι οι δυνατότητες είναι διαθέσιμες μέσω του δικτύου και προσβάσιμες μέσω τυποποιημένων μηχανισμών που προωθούν την χρήση από ετερογενείς πλατφόρμες (π.χ. κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές κλπ).

3) Location Independent Resource pooling (Κοινή διάθεση των πόρων):

Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι οι υπολογιστικοί πόροι του παρόχου χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετήσουν πολλαπλούς καταναλωτές με τη χρήση του μοντέλου πολλαπλών μισθωτών (multi-tenant), με τους διάφορους φυσικούς και εικονικούς πόρους να ανατίθενται δυναμικά και εκ νέου ανάλογα με τη ζήτηση των καταναλωτών. Ο πελάτης δεν έχει γενικά κανέναν έλεγχο ή γνώση σχετικά με την ακριβή τοποθεσία των παρεχόμενων πόρων, αλλά μπορεί να είναι σε θέση να προσδιορίζει την τοποθεσία σε ένα υψηλότερο επίπεδο αφαίρεσης. Παραδείγματα πόρων αποτελούν οι αποθηκευτικοί

χώροι, η επεξεργασία, η μνήμη, το bandwidth του δικτύου, καθώς και οι εικονικές μηχανές.

#### 4) Rapid elasticity (Ταχεία ελαστικότητα):

Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι οι πόροι δεσμεύονται για χρήση γρήγορα και ελαστικά, και κάποιες φορές αυτόματα, έτσι ώστε να εμφανιστούν άμεσα ως μη διαθέσιμοι (scale out) και επίσης να αποδεσμευτούν γρήγορα για να εμφανιστούν ξανά ως διαθέσιμοι (scale in). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο καταναλωτής να θεωρεί ότι οι διαθέσιμες δυνατότητες για δέσμευση και χρήση είναι απεριόριστες και μπορούν να διατεθούν ανά πάσα στιγμή και σε οποιαδήποτε ποσότητα.

#### 5) Measured Service (Μετρήσιμα επίπεδα παροχής υπηρεσιών):

Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι τα συστήματα cloud ελέγχουν και βελτιστοποιούν αυτόματα τη χρήση των πόρων, αξιοποιώντας μια δυνατότητα μέτρησης σε κάποιο επίπεδο αφαίρεσης που είναι κατάλληλο για το είδος της υπηρεσίας (π.χ. αποθήκευση, επεξεργασία, bandwidth, ενεργοί λογαριασμοί χρηστών). Η χρήση των πόρων μπορεί να παρακολουθείται, να ελέγχεται, και να παρουσιάζεται με τη μορφή αναφορών, παρέχοντας διαφάνεια τόσο για τον πάροχο όσο και για τον καταναλωτή της χρησιμοποιούμενης υπηρεσίας.

## Ιστορική αναδρομή

Η προέλευση του όρου cloud computing είναι ασαφής. Η λέξη "σύνεφο" χρησιμοποιείται συνήθως στην επιστήμη για να περιγράψει μια μεγάλη συσσωμάτωση αντικειμένων που εμφανίζονται οπτικά από απόσταση ως σύννεφο και περιγράφει οποιαδήποτε ομάδα πραγμάτων, τα στοιχεία των οποίων δεν επιθεωρούνται περαιτέρω σε ένα δεδομένο πλαίσιο. Μια άλλη εξήγηση είναι ότι τα παλιά προγράμματα που σχεδίαζαν σχήματα δικτύου περιβάλλουν τα εικονίδια για εξυπηρετητές με έναν κύκλο και ένα σύμπλεγμα εξυπηρετητών σε ένα διάγραμμα δικτύου που είχε διάφορους αλληλεπικαλυπτόμενους κύκλους, που μοιάζουν με σύννεφο. Σε αναλογία με την παραπάνω χρήση, η λέξη σύννεφο χρησιμοποιήθηκε ως μεταφορά για το Διαδίκτυο και ένα τυποποιημένο σύννεφο σχήμα χρησιμοποιήθηκε για να δηλώσει ένα δίκτυο σε τηλεφωνικά σχήματα. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε για να απεικονίσει το Διαδίκτυο σε διαγράμματα δικτύου υπολογιστών. Ο όρος σύννεφο έχει χρησιμοποιηθεί αρχικά για αναφορά σε πλατφόρμες καταμεμημένων υπολογιστών. Οι αναφορές στο "cloud computing" με τη σύγχρονη έννοια εμφανίστηκαν ήδη από το 1996, με την παλαιότερη γνωστή αναφορά σε ένα εσωτερικό έγγραφο της Compaq. Η ευρεία διάδοση του όρου μπορεί να ανιχνευθεί έως το 2006, όταν η Amazon παρουσίασε το Elastic Compute Cloud.

### *1970s*

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, οι αρχικές έννοιες της κατανομής του χρόνου έγιναν δημοφιλείς μέσω του RJE (Remote Job



Entry). Αυτή η ορολογία συνδέθηκε κυρίως με μεγάλους προμηθευτές όπως η IBM και η DEC. Οι λύσεις πλήρους διάθεσης χρόνου ήταν διαθέσιμες από τις αρχές της δεκαετίας του '70 σε τέτοιες πλατφόρμες, όπως η Multics (στον εξοπλισμό GE), το Cambridge CTSS και οι πρώτες θύρες UNIX (σε υλικό DEC). Το μοντέλο "κέντρου δεδομένων", όπου οι χρήστες έστελναν εργασίες σε φορείς εκμετάλλευσης για να τρέχουν σε mainframes της IBM, που κατά κύριο λόγο ήταν ο κυρίαρχος στο χώρο.

### *1990s*

Στη δεκαετία του 1990, οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών, οι οποίες παλαιότερα προσέφεραν κυρίως αποκλειστικά κυκλώματα δεδομένων από σημείο σε σημείο, άρχισαν να προσφέρουν υπηρεσίες εικονικού ιδιωτικού δικτύου (VPN) με συγκρίσιμη ποιότητα υπηρεσιών, αλλά με χαμηλότερο κόστος. Με την εναλλαγή της κυκλοφορίας, θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το συνολικό εύρος ζώνης του δικτύου πιο αποτελεσματικά. Άρχισαν να χρησιμοποιούν το σύμβολο σύννεφο για να υποδηλώσουν το σημείο οριοθέτησης μεταξύ των θεμάτων για τα οποία ήταν υπεύθυνος ο πάροχος και ο χρήστης. Το cloud computing επέκτεινε αυτό το όριο για να καλύψει όλους τους διακομιστές καθώς και την υποδομή δικτύου. Δεδομένου ότι οι υπολογιστές έγιναν πιο διαδεδομένοι, οι επιστήμονες και οι τεχνολόγοι διερεύνησαν τρόπους για να καταστήσουν την υπολογιστική ισχύ μεγάλης κλίμακας διαθέσιμη σε περισσότερους χρήστες μέσω της χρονικής κατανομής. Πειραματίστηκαν με αλγόριθμους βελτιστοποίησης της υποδομής, της πλατφόρμας και των εφαρμογών για να δώσουν προτεραιότητα στις CPU και να αυξήσουν την αποδοτικότητα για τους τελικούς χρήστες.

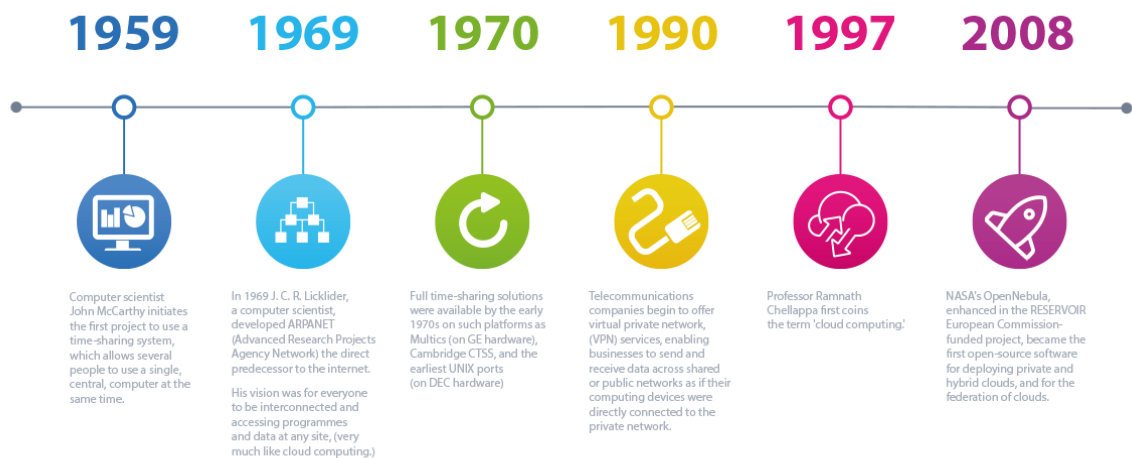
## **2000s**

Τη δεκαετία του 2000, δημιουργήθηκε το Cloud computing. Στις αρχές του 2008, το OpenNebula της NASA, αφού ανέλαβε το έργο RESERVOIR της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, έγινε το πρώτο λογισμικό ανοιχτού κώδικα για την ανάπτυξη ιδιωτικών και υβριδικών σύννεφων. Το ίδιο έτος, οι προσπάθειες επικεντρώθηκαν στην παροχή εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσιών (όπως απαιτούνται από διαδραστικές εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο) σε υποδομές με βάση το νέφος, στο πλαίσιο του έργου που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή IRMOS, με αποτέλεσμα ένα περιβάλλον cloud σε πραγματικό χρόνο.

Τον Αύγουστο του 2006 η Amazon παρουσίασε το Elastic Compute Cloud. Η Microsoft Azure ανακοινώθηκε ως "Azure" τον Οκτώβριο του 2008 και κυκλοφόρησε την 1η Φεβρουαρίου 2010 ως Windows Azure, πριν μετονομαστεί σε Microsoft Azure στις 25 Μαρτίου 2014. Για κάποιο χρονικό διάστημα, η Azure ήταν στον κατάλογο των υπερυπολογιστών TOP500. Τον Ιούλιο του 2010, η Rackspace Hosting και η NASA δρομολόγησαν από κοινού μια πρωτοβουλία λογισμικού cloud-open-source, γνωστή ως OpenStack. Το έργο OpenStack προοριζόταν να βοηθήσει οργανισμούς που προσφέρουν υπηρεσίες cloud-computing με τυπικό υλικό. Ο πρώτος κώδικας προήλθε από την πλατφόρμα Nebula της NASA καθώς και από την πλατφόρμα Cloud Files του Rackspace. Την 1η Μαρτίου 2011, η IBM ανακοίνωσε το πλαίσιο IBM SmartCloud για την υποστήριξη του Smarter Planet. Στις 7 Ιουνίου 2012, η Oracle ανακοίνωσε το Oracle Cloud. Τον Απρίλιο του 2008, η Google κυκλοφόρησε το Google App Engine σε έκδοση beta.

Τον Μάιο του 2012, το Google Compute Engine κυκλοφόρησε σε προεπισκόπηση πριν γίνει γενική διάθεση τον Δεκέμβριο του 2013.

## History of Cloud Computing Timeline



**Figure 2. Ιστορική εξέλιξη cloud computing**

## 2.2 Μοντέλα Cloud Computing

Για την καλύτερη κατανόηση της τεχνολογίας του cloud computing, είναι χρήσιμο να αναφερθεί πως μπορεί να περιγραφεί μέσω δύο προσεγγίσεων: των μοντέλων ανάπτυξης και των μοντέλων υπηρεσιών. Στην παρούσα ενότητα θα εξεταστούν τα μοντέλα ανάπτυξης, ενώ τα μοντέλα υπηρεσιών θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο. Όσον αφορά τα μοντέλα ανάπτυξης, η κατηγοριοποίηση τους γίνεται με βάση το περιβάλλον από όπου παρέχεται η cloud computing

υπηρεσία. Συνεπώς, προκύπτουν τα εξής μοντέλα (Mell & Grance, 2009; Rimal, et. al, 2009):

### **Ιδιωτικό νέφος (Private Cloud)**

Το μοντέλο αυτό λειτουργεί για την εξυπηρέτηση ενός μόνο χρήστη – πελάτη – οργανισμό και οι υποδομές του συνδέονται με ένα ιδιωτικό περιβάλλον κατ' αποκλειστικότητα. Με άλλα λόγια, ο κάθε χρήστης χρησιμοποιεί τις υποδομές και τους πόρους σαν να έχει την αποκλειστικότητά τους ακόμα και αν διαμοιράζονται φυσικά ή εικονικά με άλλους χρήστες.

Υπάρχουν δύο είδη ιδιωτικού νέφους: τα εσωτερικά και τα εξωτερικά. Συγκεκριμένα για την πρώτη κατηγορία, του εσωτερικού private cloud, οι οργανισμοί φιλοξενούν σε δικό τους χώρο το κέντρο δεδομένων τους με το πλεονέκτημα του ανωτέρου επιπέδου ασφαλείας όσον αφορά τα ευαίσθητα δεδομένα, την ευελιξία και τη συνολική βελτίωση της αποδοτικότητάς τους. Στις περιπτώσεις αυτές, ο εκάστοτε οργανισμός έχει απόλυτη ευθύνη για τη διαχείριση των υποδομών συνεπώς είναι απαραίτητη η εμπειρία και η εξοικείωση με τις τεχνολογίες αυτές. Όσον αφορά τη δεύτερη κατηγορία, το ιδιωτικό νέφος φιλοξενείται από έναν τρίτο πάροχο υπηρεσιών, ο οποίος δημιουργεί ένα αποκλειστικά ιδιωτικό περιβάλλον για τον οργανισμό και φέρει την ευθύνη για τις υποδομές και τη διαχείρισή τους.



Figure 3. Το ιδιωτικό υπολογιστικό νέφος (Πηγή: [cleanri.com](http://cleanri.com))

### Δημόσιο νέφος (Public Cloud)

Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην παροχή τυποποιημένων υπηρεσιών πληροφορικής κατάλληλο για χρήση από το ευρύ κοινό ή σε μεγάλες ομάδες οργανισμών. Το δημόσιο cloud είναι διαθέσιμο στον τελικό χρήστη μέσω μιας διαδικτυακής διεπαφής προσφέροντας πρόσβαση σε μια πολύ μεγάλη υποδομή άμεσα επεκτάσιμων υπολογιστικών πόρων, διαμορφώνοντας, επομένως, μια υποδομή τεράστιας δυναμικότητας που απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα πελατών.



Figure 4. Το δημόσιο υπολογιστικό νέφος (Πηγή: [inspirationseek.com](http://inspirationseek.com))

## Υβριδικό νέφος (Hybrid Cloud)

Το μοντέλο αυτό αποτελεί μία σύνθεση του ιδιωτικού και του δημόσιου νέφους με τρόπο που να παραμένουν μοναδικές οντότητες, αλλά να συνδέονται μεταξύ τους με τεχνολογία που επιτρέπει τη φορητότητα δεδομένων και εφαρμογών. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως ένας χρήστης ή οργανισμός επιλέγει να διατηρεί κάποιες υποδομές και δεδομένα εντός του ιδιωτικού του συστήματος, ενώ παράλληλα αναθέτει τις υπόλοιπες σε εξωτερικούς συνεργάτες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η άνεση ενός ιδιωτικού μοντέλου με την ευελιξία ενός δημοσίου, υπερκαλύπτοντας τα μειονεκτήματα των δύο μοντέλων προσφέροντας την πιο αποτελεσματική λύση για τους οργανισμούς που την επιλέγουν.



Figure 5. Το υβριδικό νέφος (Πηγή: [webhostingsearch.com](http://webhostingsearch.com))

## Νέφος κοινότητας (Community Cloud)

Ένα νέφος κοινότητας αποτελεί ένα μοντέλο, στο οποίο υπάρχουν πολλοί ενοικιαστές οι οποίοι διαμοιράζονται τις υπηρεσίες του νέφους και είναι συνυπεύθυνοι για τη διαχείριση των πόρων. Συνήθως, οι πελάτες αυτοί έχουν κοινές απαιτήσεις. Τέτοιοι πελάτες μπορεί να είναι

κυβερνητικοί οργανισμοί ή οργανισμοί με κοινές ρυθμιστικές συμμορφώσεις.

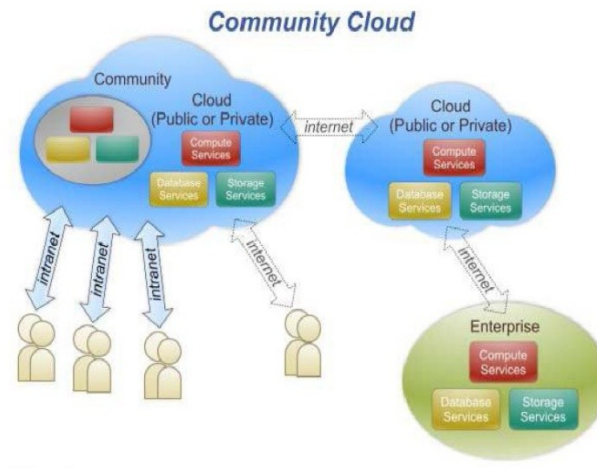


Figure 6. Το νέφος κοινότητας (Πηγή: [thirstt.com](http://thirstt.com))

### 2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Cloud Computing

Το cloud computing είναι μια καινοτόμα τεχνολογία, τα πλεονεκτήματα τα οποία απολαμβάνουν οι χρήστες και οι οργανισμοί ποικίλουν. Το μεγαλύτερο εξ αυτών είναι ότι οι υποδομές και το περιβάλλον, δεν αναπτύσσονται ούτε συντηρούνται από τους ίδιους τους χρήστες, αλλά από τους παρόχους αυτών των υπηρεσιών, επιτρέποντας έτσι στους οργανισμούς να κάνουν περισσότερα με λιγότερα.

Η ευελιξία αποτελεί βασικό πλεονέκτημα του υπολογιστικού νέφους αν αναλογιστεί κανείς ότι πλέον δεν υπάρχει φραγμός όσον αφορά τους υπολογιστικούς πόρους και την ισχύ, ενώ οι cloud εφαρμογές ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο στις μεταβαλλόμενες ανάγκες των πληροφοριακών συστημάτων. Παράλληλα, οι cloud υπηρεσίες μειώνουν

σημαντικά τα κόστη, αφού, λόγω του ανταγωνισμού μεταξύ των εταιρειών, παρέχονται οικονομικά πακέτα σε συνδυασμό με παροχή υπηρεσιών που αν αναλάμβανε ο οργανισμός να αναπτύξει, θα ήταν αρκετά κοστοβόρες (πχ συστήματα μηχανογράφησης, συστήματα ERP κλπ). Επίσης, οι cloud εφαρμογές δίνουν τη δυνατότητα της επεκτασιμότητας, δηλαδή τη δυνατότητα διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων ακριβώς τη στιγμή που απαιτείται σε ελάχιστο χρονικό διάστημα και άμεση ανταπόκριση στις μεταβολές που παρουσιάζονται. Τέλος, η δυνατότητα πρόσβασης από κάθε συσκευή ανεξάρτητα της υπολογιστικής της ισχύος και της φορητότητάς της, μαζί με τα αντίγραφα ασφαλείας και την άμεση αποκατάσταση σε περίπτωση φυσικών βλαβών, είναι επιπλέον στοιχεία που συγκαταλέγονται στα θετικά του υπολογιστικού νέφους (Armburst, et al. 2010; Kondo, et al. 2009).

Από την άλλη, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που αφορούν το υπολογιστικό νέφος, όπως η ασφάλεια των δεδομένων, η αξιοπιστία και η απουσία απαραίτητου ρυθμιστικού πλαισίου. Συγκεκριμένα, σε έρευνα που διεξήχθη (Dillon, et al. 2010) σχετικά με τα σημεία της τεχνολογίας που βρίσκονται υπό αμφισβήτηση από στελέχη μεγάλων οργανισμών, είναι η ασφάλεια, η απόδοση, το κόστος, η δυσκολία διασύνδεσης με τις τοπικές εφαρμογές και η έλλειψη κανονιστικού πλαισίου. Αυτό σημαίνει πως οι πάροχοι των cloud υπηρεσιών θα πρέπει να είναι τόσο αξιόπιστοι ώστε να μην βρεθούν σε κίνδυνο ορισμένες από τις κρίσιμες λειτουργίες των οργανισμών ή να υποκλαπούν ευαίσθητα δεδομένα.



## 2.4 Ασφάλεια και ιδιωτικότητα στο Cloud Computing

Στις υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους γίνεται λόγος συχνά για την προστασία της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας, καθώς είναι δύσκολο για τους χρήστες να ελέγχουν τις πρακτικές που εφαρμόζουν οι πάροχοι στη διαχείριση των δεδομένων. Κατά συνέπεια, πολλές φορές τίθεται θέμα νομιμότητας ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που διαβιβάζονται πολλαπλά αρχεία (Mather et. al., 2009).

Παράλληλα, η κοινή χρήση των πόρων σημαίνει ότι η δραστηριότητα ενός χρήστη cloud μπορεί να είναι ορατή και σε άλλους χρήστες cloud, που χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους και ενδέχεται μάλιστα να περιλαμβάνουν εμπιστευτικές πληροφορίες των επιχειρήσεων. Η κρυπτογράφηση θα μπορούσε να είναι μια λύση για την ασφάλεια των δεδομένων, καθώς δεν υπάρχουν δυνατότητες αναζήτησης σε κρυπτογραφημένα δεδομένα, εκτός και αν ο πάροχος έχει το κλειδί. Οι περισσότεροι πελάτες δεν είναι σε θέση να γνωρίζουν αν τα δεδομένα τους είναι κρυπτογραφημένα ή όχι, ούτε ποια μέθοδος κρυπτογράφησης έχει εφαρμοστεί. Ακόμη, αν τα δεδομένα έχουν κρυπτογραφηθεί, δεν γνωρίζουν ποιος ελέγχει τα κλειδιά κρυπτογράφησης-αποκρυπτογράφησης. Η χρήση του SSL (Secure Sockets Layer), μιας τεχνολογίας κρυπτογράφησης που προστατεύει τις ιδιωτικές πληροφορίες των επισκεπτών, ενώ είναι υπό μεταφορά μέσω του Διαδικτύου, θα μπορούσε να αποτελέσει αξιόπιστη λύση για το σκοπό αυτό. Τέλος, είναι γεγονός πως τις περισσότερες φορές, ο πιο αδύναμος κρίκος στην αλυσίδα της ασφάλειας των συστημάτων Cloud δεν είναι το λειτουργικό σύστημα, αλλά ο παράγοντας άνθρωπος, συνεπώς οι πάροχοι των υπηρεσιών πρέπει να παρακολουθούν τα συστήματα συνεχώς, να

αντιμετωπίζουν το οποιοδήποτε περιστατικό προσδιορίζοντας συγκεκριμένες απειλές μετά από σχεδιασμό και υλοποίηση συγκεκριμένων ελέγχων (Armbrust, 2010).

Οι βασικοί ρόλοι σε ένα περιβάλλον cloud είναι ο καταναλωτής και ο πάροχος υπηρεσιών. Ο χρήστης των υπηρεσιών χρειάζεται ένα ασφαλές περιβάλλον με άμεση πρόσβαση σε υπηρεσίες χαμηλού κόστους και ταυτόχρονα ευέλικτο και εύκολο στη χρήση. Από την άλλη, ο πάροχος των υπηρεσιών χρειάζεται εργαλεία ώστε να προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες και κίνητρα, για να εξασφαλίσει ότι οι καταναλωτές θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του, καθώς και τη δυνατότητα να αλλάξει τις υπηρεσίες on-demand για να παραμείνει ανταγωνιστικός απέναντι στις απειλές (Bhardwaj et. al., 2010).

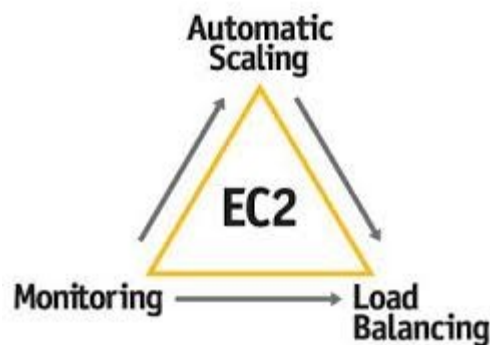
## 2.5 Πάροχοι Cloud Υπηρεσιών

### 2.5.1 Amazon Web Services

Το Amazon Web Services (AWS) αποτελεί θυγατρική εταιρεία της Amazon και προσφέρει μια σειρά από υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους με υποδομές σε 16 γεωγραφικές περιοχές σε όλο τον κόσμο. Περιλαμβάνει το Amazon Elastic Compute Cloud, γνωστό ως "EC2" και το Amazon Simple Storage Service, επίσης γνωστό ως "S3". Από το 2016 το AWS διαθέτει περισσότερες από 70 υπηρεσίες, που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, συμπεριλαμβανομένης της υπολογιστικής, της αποθήκευσης, της δικτύωσης, των βάσεων δεδομένων, των analytics, των υπηρεσιών εφαρμογής, ανάπτυξης και διαχείρισης, των εργαλείων προγραμματισμού και των εργαλείων που αφορούν το Internet of Things.

Οι Cloud υπηρεσίες της Amazon παρέχουν μεγάλη υπολογιστική ισχύ, είναι ταχύτερες και φθηνότερες από αυτές που θα διέθετε ένας οργανισμός-πελάτης με φυσικές υποδομές στις εγκαταστάσεις του (Amazon, 2011).

Όσον αφορά το Amazon Elastic Compute Cloud ή EC2, είναι μια πλατφόρμα υποδομής (IaaS, βλ. Κεφάλαιο 3), που παρέχει εικονικούς εξυπηρετητές ελεγχόμενους από μια διεπαφή χρήστη. Η υπηρεσία αυτή προσφέρει ένα πλήθος πλεονεκτημάτων, αναφέροντας ενδεικτικά τον πλήρη έλεγχο των υπολογιστικών πόρων, ο οποίος μειώνει το χρόνο που απαιτείται για την απόκτηση και την εκκίνηση νέων περιπτώσεων επιτρέποντας μεγάλη ευελιξία ιδιαίτερα καθώς αλλάζουν οι απαιτήσεις. Επιπλέον, επιτρέπει την πληρωμή μόνο για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται και διαθέτει ανεκτικά χαρακτηριστικά σε περιπτώσεις αποτυχιών, παρέχοντας έτσι μεγάλη ευκολία στους οργανισμούς. Τέλος, άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά του είναι η ασφάλεια των υπολογιστικών πόρων, το περιβάλλον αξιοπιστίας και η σύνδεση με άλλες υπηρεσίες διαδικτύου της Amazon.



**Figure 7. Το EC2 - Κύκλος Πλεονεκτημάτων (Πηγή: [thoughtexecution.com](http://thoughtexecution.com))**

Αναφορικά με το Amazon Simple Storage Service ή S3, αρχικά να αναφερθεί ότι πρόκειται για μια cloud υπηρεσία αποθήκευσης μέσω

διεπαφών. Οι χρήσεις της υπηρεσίας αφορούν μεταξύ άλλων web hosting, αποθήκευση δεδομένων εφαρμογών, αποθήκευση πολυμέσων και συστημάτων backup, προσφέροντας επεκτασιμότητα, υψηλή διαθεσιμότητα και χαμηλό κόστος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το S3 αποθηκεύει αρχεία υπολογιστή με μέγεθος έως 5 terabytes με το καθένα από αυτά να συνοδεύεται από 2 kilobytes μεταδεδομένων (Amazon, 2006). Η υψηλή ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών της Amazon φαίνεται από τους πελάτες της, αναφέροντας χαρακτηριστικά το Apache Hadoop, το Netflix, το Dropbox, το Tumbler και το Pinterest.

### 2.5.2 Microsoft Azure

Η Microsoft αποτελεί, επίσης, παράδειγμα εταιρείας που ανέπτυξε υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους για τη δημιουργία, ανάπτυξη και διαχείριση εφαρμογών μέσω του παγκόσμιου δικτύου κέντρων δεδομένων της. Η υπηρεσία αυτή ονομάζεται Microsoft Azure, παρέχοντας λογισμικό, πλατφόρμα και υποδομή ως υπηρεσία (SaaS, PaaS, IaaS, βλ. Κεφάλαιο 3) και διευκολύνοντας τους προγραμματιστές με την υποστήριξη πολλών γλωσσών προγραμματισμού (ενδεικτικά αναφέρονται Python, PHP, Node.js) αλλά και με τη δυνατότητα διαχείρισης ροών, συγχρονισμού δεδομένων και δημιουργίας λογισμικού στην πλατφόρμα της Microsoft. Ενώ στο λανσάρισμά της το 2010 ονομαζόταν Windows Azure, μετονομάστηκε το 2014 σε Microsoft Azure, αφού υποστηρίζει πλέον και το λειτουργικό σύστημα Linux. Συγκεκριμένα για τις παρεχόμενες υπηρεσίες, το Microsoft Azure προσφέρει εικονικές μηχανές (Virtual Machines), περιβάλλον εύκολης διαχείρισης ιστοσελίδων, συλλογή analytics από κινητές συσκευές σε πραγματικό χρόνο, υπηρεσίες αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων,

αλλά και υπηρεσίες μηχανικής μάθησης (Azure Machine Learning) (Microsoft Azure, 2017).

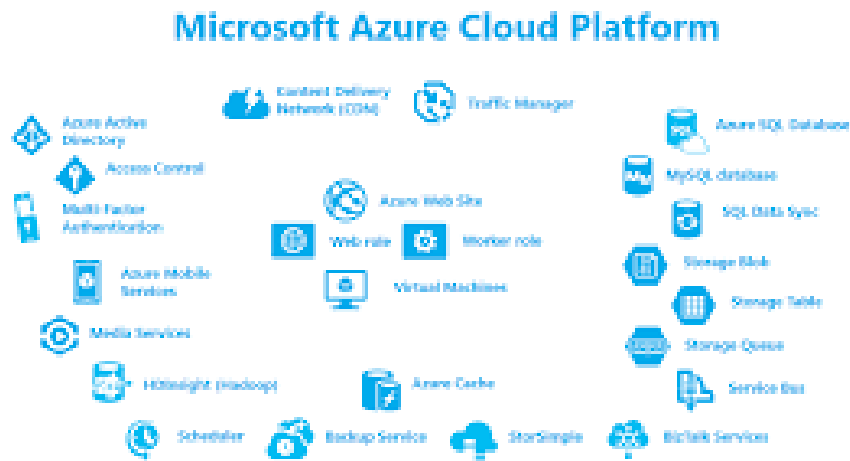


Figure 8. Υπηρεσίες του Microsoft Azure

Η ασφάλεια των δεδομένων, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, παραμένει ένα κρίσιμο ζήτημα για τις υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους, για αυτό το λόγο η υπηρεσία Azure ακολουθεί την Ευρωπαϊκή Οδηγία 95/46/EC για την προστασία των δεδομένων (EU, 1995), συμμετέχοντας παράλληλα στο ομοσπονδιακό πρόγραμμα διαχείρισης κινδύνου και εξουσιοδότησης των Ηνωμένων Πολιτειών (FedRAMP) (Council, 2012) για την αξιολόγηση της ασφάλειας. Παράλληλα, η εταιρεία δημιούργησε το Κέντρο Αξιοπιστίας Microsoft Azure για τη διαχείριση της ασφάλειας και της προστασίας της ιδιωτικότητας, δείχνοντας έτσι ιδιαίτερη ευαισθησία και τυπικότητα στα θέματα ασφάλειας των δεδομένων.

### 2.5.3 Google Cloud Platform

Το Google Cloud Platform αποτελεί τη πρόταση της Google για τις υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους, παρέχοντας απεριόριστη υποστήριξη και υποδομές στους τελικούς χρήστες, όπως είναι η πλατφόρμα αναζήτησης, το Youtube, το Google Drive κλπ. Παράλληλα, παρέχει στους προγραμματιστές την ικανότητα ανάπτυξης απλών ιστοσελίδων έως και πιο σύνθετων εφαρμογών. Στη σουίτα των υπηρεσιών που προσφέρει συγκαταλέγονται το Google App Engine και το Google Compute Engine.

Σχετικά με το Google App Engine (GAE), σημειώνεται πως ακολουθεί το μοντέλο πλατφόρμας ως υπηρεσία (PaaS, βλ. Κεφάλαιο 3) για την ανάπτυξη και φιλοξενία διαδικτυακών εφαρμογών στα κέντρα δεδομένων της. Το GAE εξειδικεύεται στην ανάπτυξη και φιλοξενία εφαρμογών πραγματικού χρόνου (Real time) που εξυπηρετούν ταυτόχρονα πολλαπλούς χρήστες χωρίς μείωση της απόδοσης (automated scaling). Όσο περισσότεροι χρήστες χρησιμοποιούν την εφαρμογή, το GAE παρέχει περισσότερους πόρους και φροντίζει για την ορθή διαχείριση αυτών. Αξίζει να αναφερθεί πως το GAE διατίθεται δωρεάν έως ένα ορισμένο επίπεδο πόρων που καταναλώνονται, ενώ η χρέωση υπέρ αυτού του ορίου αφορά μόνο τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται, όπως και στο EC2 της Amazon, ανάλογα με τον αποθηκευτικό χώρο και το εύρος ζώνης. Στα πλεονεκτήματα της πλατφόρμας της Google συγκαταλέγονται η αξιοπιστία και η υποστήριξη, καθώς το GAE μπορεί να αντιμετωπίζει πολλαπλές διακοπές στα κέντρα δεδομένων χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία της. Όσον αφορά το Google Compute Engine, είναι χρήσιμο να αναφερθεί πως ακολουθεί το μοντέλο υποδομής ως

υπηρεσίας (IaaS, βλ. Κεφάλαιο 3) και «τρέχει» όλες τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν εκατομμύρια χρήστες ανά τον κόσμο καθημερινά: την αναζήτηση, το Gmail, το Drive, το Youtube και άλλες υπηρεσίες.



Figure 9. Google Cloud Platform (Πηγή: *futurism.com*)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μοντέλα Υπηρεσιών

Τα διαθέσιμα μοντέλα υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους είναι τα Software-as-a-Service, Platform-as-a-Service και το Infrastructure-as-a-Service. Το κάθε ένα εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες και προσφέρει διαφορετικές υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν τα 3 αυτά μοντέλα και οι χρήσεις τους ανά περίπτωση.

### 3.1 Λογισμικό ως υπηρεσία (Cloud Software as a service)

Το μοντέλο «Λογισμικό ως Υπηρεσία» (SaaS) αφορά την ενοικίαση λογισμικού από έναν πάροχο υπηρεσιών αντί της αγοράς της άδειας χρήσης. Ο πάροχος της υπηρεσίας είναι υπεύθυνος για τις αναβαθμίσεις και τη συντήρηση του λογισμικού, ενώ οι υπηρεσίες είναι άμεσα διαθέσιμες στον πελάτη για χρήση μέσω του Διαδικτύου τη στιγμή που τις απαιτεί (on demand). Όπως έχει γίνει ήδη αντιληπτό και από τα προηγούμενα κεφάλαια, στις cloud εφαρμογές δεν χρειάζεται εγκατάσταση λογισμικού καθώς δεν καταναλώνουν φυσικούς πόρους του συστήματος, ενώ οι ενημερώσεις του λογισμικού γίνονται από την πλευρά του παρόχου, όπως και η διαχείριση και η επιδιόρθωση (Buxmann et. al, 2008). Με άλλα λόγια, ο χρήστης χρησιμοποιεί τις εφαρμογές του παρόχου, οι οποίες είναι προσβάσιμες από διάφορες συσκευές μέσω ενός interface, όπως ένα πρόγραμμα περιήγησης στο Web (π.χ. web-based email). Ο καταναλωτής δεν έχει τη διαχείριση ή τον έλεγχο της χρησιμοποιούμενης υποδομής νέφους συμπεριλαμβανομένων των δικτύων, των Servers, των λειτουργικών συστημάτων, των αποθηκευτικών μονάδων, ή ακόμα και μεμονωμένων δυνατοτήτων της εφαρμογής, με εξαίρεση κάποιων περιορισμένων ρυθμίσεων παραμετροποίησης του λογισμικού.



Οι υπηρεσίες SaaS, πέρα από τα προφανή πλεονεκτήματα της μη συντήρησης και ενημέρωσης του λογισμικού και της ευελιξίας, έχουν την ιδιαιτερότητα ότι καθώς αυξάνονται οι χρήστες, μειώνεται το κόστος παροχής και συντήρησης της υπηρεσίας και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται οικονομία κλίμακας στη χρήση των εργαλείων και υπηρεσιών που προσφέρονται από το λογισμικό (EPSET, 2017). Επιπλέον χαρακτηριστικά του μοντέλου SaaS αποτελούν (Creese, 2010):

A) Η εξατομίκευση (customization): ο χρήστης μπορεί να παραμετροποιεί το λογισμικό σύμφωνα με τις ανάγκες του διατηρώντας το σύνολο των προκαθορισμένων παραμέτρων του παρόχου.

B) Ταχεία παράδοση (accelerated delivery): το λογισμικό ενημερώνεται πιο συχνά μέσω ευέλικτων μεθοδολογιών.

Γ) Ανοικτά πρωτόκολλα (open integration protocols): παροχή διεπαφών που λειτουργούν σε ευρύ φάσμα πρωτοκόλλων όπως HTTP, REST και SOAP.

Δ) Συνεργατική λειτουργικότητα (collaborative functionality): πολλές εφαρμογές επιτρέπουν στους χρήστες να συνεργάζονται και να διαμοιράζονται πληροφορίες.

Οι τελευταίες τάσεις που αφορούν το μοντέλο SaaS, είναι η πρόσβαση σε πολλαπλές εφαρμογές μέσω μιας κοινής πλατφόρμας, προσφέροντας παράλληλα τη δυνατότητα στους προγραμματιστές να αναπτύσσουν γρήγορα νέες εφαρμογές και να συνδυάσουν λειτουργίες, όπως η μισθοδοσία, η διαχείριση κόστους και η διαχείριση ανθρωπίνων πόρων, προσφέροντας λύσεις εργαλείων αυτοεξυπηρέτησης για το εργατικό δυναμικό των εταιρειών (Castellina, 2011).

Σε σχετική έρευνα που διεξήχθη για τους παράγοντες υιοθέτησης των SaaS υπηρεσιών, βρέθηκε πως το πλεονέκτημα του κόστους είναι ο

πιο ισχυρός παράγοντας που επηρεάζει στην υιοθέτηση του, ενώ ακολουθεί η ευελιξία και η συνεχής βελτίωση της ποιότητας. Είναι γεγονός πως τα στελέχη αντιλαμβάνονται ότι οι SaaS υπηρεσίες μειώνουν τις κεφαλαιακές δαπάνες ενώ αυξάνουν τις ταμειακές ροές. Οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν αφορούν περισσότερο θέματα ασφάλειας δεδομένων και όχι διαχειριστικούς κινδύνους, ενώ δεν φαίνεται να υπάρχει ιδιαίτερος προβληματισμός για απώλεια ελέγχου που αφορά τους πόρους, διότι συνεχίζουν να διατηρούν τους πιο κρίσιμους σε in-house υποδομές. Συνολικά, οι ευκαιρίες υιοθέτησης SaaS υπηρεσιών είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τους κινδύνους (Benlian & Hess, 2011).

### **3.2 Πλατφόρμα ως υπηρεσία (Cloud Platform as a service)**

Το μοντέλο «Πλατφόρμα ως Υπηρεσία» αφορά τη δυνατότητα που παρέχεται στον χρήστη να αναπτύξει, να διαχειριστεί και να τρέξει εφαρμογές στο υπολογιστικό νέφος με χρήση γλωσσών προγραμματισμού, βιβλιοθήκες, τις υπηρεσίες και τα εργαλεία που υποστηρίζονται από τον πάροχο, χωρίς να χρειάζεται να διαχειρίζεται ή να ελέγχει την υποδομή, συμπεριλαμβανομένων δικτύων, εξυπηρετητών, λειτουργικών συστημάτων ή αποθήκευσης. Παρόλα αυτά έχει τον έλεγχο ανάπτυξης εφαρμογών και, ενδεχομένως, διαμορφώνει τις ρυθμίσεις του περιβάλλοντος εφαρμογής (Mell et. al., 2009). Οι πάροχοι υπηρεσιών PaaS συνήθως προσφέρουν έναν ομαδοποιημένο συνδυασμό λογισμικού και υποδομής σε μορφή προγραμματιζόμενου περιβάλλοντος. Οι υπηρεσίες PaaS περιλαμβάνουν σχεδίαση εφαρμογών, ανάπτυξη, έλεγχο, εγκατάσταση και φιλοξενία εφαρμογών.

Τα πλεονεκτήματα του μοντέλου PaaS αφορούν τη δυνατότητα για προγραμματισμό υψηλότερου επιπέδου με δραματικά μειωμένη

πολυπλοκότητα, η συνολική ανάπτυξη της εφαρμογής μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική λόγω της ενσωματωμένης υποδομής ενώ, παράλληλα, η συντήρηση και η βελτίωση της εφαρμογής είναι ευκολότερη. Επίσης, το μοντέλο αυτό διευκολύνει τις περιπτώσεις όπου οι προγραμματιστές που εργάζονται σε ένα έργο βρίσκονται σε απόσταση και όχι στο ίδιο φυσικό περιβάλλον. Από την άλλη, ένα μειονέκτημα του PaaS είναι ότι οι προγραμματιστές μπορεί να μην είναι σε θέση να χρησιμοποιούν ένα πλήρες φάσμα των συμβατικών εργαλείων (π.χ. σχεσιακές βάσεις δεδομένων). Επίσης, στις υπηρεσίες PaaS είναι ότι η μετάβαση/μεταφορά ενός έργου από κάποιον πάροχο σε άλλον είναι είτε αδύνατη είτε αρκετά δαπανηρή. Τέλος, υπάρχει ο κίνδυνος απώλειας δεδομένων σε περίπτωση που ο πάροχος διακόψει τη λειτουργία (Chang et. al., 2010).

Όσον αφορά τις λύσεις ανοιχτού λογισμικού, οι υπηρεσίες Open PaaS δεν περιλαμβάνουν τη φιλοξενία, αλλά παρέχουν το ελεύθερο λογισμικό για την εκτέλεση εφαρμογών σε ένα ανοικτό περιβάλλον. Για παράδειγμα, το AppScale επιτρέπει σε ένα χρήστη να αναπτύξει κάποιες εφαρμογές που έχουν γραφτεί για το Google App Engine με δικούς του Servers, παρέχοντας πρόσβαση αποθήκευσης δεδομένων από ένα πρότυπο SQL ή μια βάση δεδομένων NoSQL. Μερικές πλατφόρμες επιτρέπουν στους προγραμματιστές του έργου να χρησιμοποιήσουν οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού, βάση δεδομένων, λειτουργικό σύστημα ή διακομιστή για να αναπτύξουν τις εφαρμογές τους. (Kumar et. al., 2014).

### 3.3 Υποδομή ως υπηρεσία (Cloud Infrastructure as a service)

Το μοντέλο «Υποδομή ως Υπηρεσία» αφορά την ικανότητα που παρέχεται στο χρήστη να χρησιμοποιήσει θεμελιώδεις υπολογιστικούς πόρους, όπως χώρο αποθήκευσης, εικονικές μηχανές, πόρους επεξεργασίας και δίκτυα, με τους οποίους είναι σε θέση να αναπτύξει και να εκτελέσει λογισμικό, που μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργικά συστήματα και εφαρμογές. Ο χρήστης, και σε αυτή την περίπτωση δε διαχειρίζεται την υποδομή του νέφους, αλλά έχει έλεγχο στα λειτουργικά συστήματα και στις εφαρμογές που αναπτύσσονται και σε ορισμένες περιπτώσεις, περιορισμένο έλεγχο σε στοιχεία δικτύωσης (πχ host, firewalls) (Mell et. al., 2009). Σύμφωνα με την Task Force Internet Engineering (IETF), το μοντέλο IaaS είναι το πιο βασικό μοντέλο υπηρεσίας υπολογιστικού νέφους.

Οι πάροχοι υπηρεσιών IaaS προσφέρουν αυτούς τους πόρους κατά απαίτηση από μεγάλες δεξαμενές εξοπλισμού που εγκαθίσταται στα κέντρα δεδομένων. Για να δημιουργήσουν τις εφαρμογές τους οι προγραμματιστές εγκαθιστούν images λειτουργικών συστημάτων και του λογισμικού της εφαρμογής τους στην υποδομή του υπολογιστικού νέφους. Σε αυτό το μοντέλο, ο χρήστης συντηρεί τα λειτουργικά συστήματα και τις εφαρμογές. Συνήθως, οι πάροχοι των υπηρεσιών IaaS κοστολογούν τη χρήση αναλόγως με τους πόρους που διατίθενται και καταναλώνονται, ενώ υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός στους παρόχους όσον αφορά την απόδοση και την τιμολόγηση. Επιπλέον, οι υπηρεσίες IaaS μπορούν να αγοραστούν είτε με σύμβαση ή με καθεστώς pay-as-you-go. Ωστόσο, οι περισσότεροι αγοραστές θεωρούν το βασικό πλεονέκτημα του IaaS να είναι η ευελιξία της τιμολόγησης, από τη

στιγμή που θα χρειαστεί μόνο να πληρώνουν για τους πόρους που καταναλώνονται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (Bhardwaj et. al., 2010).

Συνοψίζοντας, στα πλεονεκτήματα του IaaS περιλαμβάνονται:

- A) η ευελιξία στα μοντέλα χρέωσης
- B) η αυτοματοποίηση των διοικητικών καθηκόντων
- Γ) η δυναμική κλιμάκωση (scaling)
- Δ) η σύνδεση στο Internet
- E) η εικονική επιφάνεια εργασίας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εργαστήρια ως cloud υπηρεσία (Lab as a cloud Service)

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των υπηρεσιών Lab as a Service, ενώ ταυτόχρονα θα παρουσιαστεί η έννοια της εικονοποίησης και των πλεονεκτημάτων που απολαμβάνουν οι χρήστες της υπηρεσίας. Τέλος, θα γίνει συγκεκριμένη αναφορά σε υιοθέτηση open source λύσεων από πανεπιστημιακά ιδρύματα.

### 4.1 Από τα παραδοσιακά στα cloud εργαστήρια - Ορισμοί

Οι εργαστηριακές εγκαταστάσεις είναι απαραίτητες για τη διαδικασία εκμάθησης σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους, τόσο σε σχολεία όσο και σε πανεπιστήμια. Στα εργαστήρια οι μαθητές/ φοιτητές μπορούν να διδαχθούν και να αναλύσουν έννοιες που εμπλέκονται σε μη ιδανικές καταστάσεις, να εισαχθούν στις επαγγελματικές πρακτικές και να αναπτύξουν κοινωνικές δεξιότητες και την ομαδική εργασία σε ένα τεχνικό περιβάλλον. Για το λόγο αυτό οι εργαστηριακές εγκαταστάσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές στη λειτουργία των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων. Από την άλλη πλευρά, όμως, σε ένα εργαστήριο συναντώνται προβλήματα διαχείρισης που αφορούν υλικοτεχνικά ζητήματα, ασφάλεια και προστασία, ακριβό εξοπλισμό, συνεχή συντήρηση, ειδικούς χώρους, εξειδικευμένο προσωπικό και μια σειρά σχετικών διοικητικών διαδικασιών. Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα και να υπάρξει ανταπόκριση στην αυξανόμενη ζήτηση για ερευνητικά εργαστήρια, τα τελευταία 20 χρόνια η έννοια του κλασικού «εργαστηρίου» έχει τεχνολογικά επεκταθεί ως εξής (Bochicchio & Longo, 2011):

1. Εικονικά εργαστήρια και Φυσικά Εργαστήρια:

Τα φυσικά εργαστήρια είναι απαραίτητα για την παροχή δεδομένων και διεξαγωγή πειραμάτων από φοιτητές και ερευνητές, αλλά είναι συχνά ακριβά ή δεν είναι καν διαθέσιμα. Τα εικονικά εργαστήρια από την άλλη, βασίζονται σε μαθηματικά μοντέλα και μεγάλου όγκου δεδομένα, δημιουργώντας συλλογές για την αναπαραγωγή της συμπεριφοράς του πραγματικού εργαστηριακού εξοπλισμού σε χαμηλότερο. Όπως και στις προσομοιώσεις, δεν μπορούν να διεξαχθούν όλων των ειδών τα πειράματα στα εικονικά εργαστήρια, αλλά οι φοιτητές μπορούν να εξασκηθούν με το ίδιο τρόπο όπως το κάνουν και στα φυσικά.

## 2. Επιτόπου και Απομακρυσμένα εργαστήρια:

Τα απομακρυσμένα εργαστήρια βασίζονται σε τηλεχειριζόμενο εργαστηριακό εξοπλισμό, προσφέροντας την ευκαιρία να πραγματοποιηθούν πειράματα ακόμα και εκτός του εργαστηριακού χώρου. Σήμερα, πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα χρησιμοποιούν αυτή την υπηρεσία ως βασικό εργαλείο στην εκπαίδευση και βασίζονται στην τεχνολογία των web labs.

## 3. Σύγχρονα και Ασύγχρονα εργαστήρια:

Οι εργαστηριακές υποδομές χρησιμοποιούνται για πειράματα σύντομης αλλά και μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται διαχείριση φυσικών πόρων (πχ εξοπλισμό), γεγονός που οδηγεί στην ανάπτυξη προγραμμάτων, διαδικασιών κρατήσεων, διαχειριστών ουράς και παρόμοιων εργαλείων. Τα ασύγχρονα εργαστήρια χρησιμοποιούνται, συνήθως, για πειράματα που απαιτούν μεγάλη χρονική διάρκεια και βασίζονται σε προγραμματισμένες συσκευές που ελέγχουν το εργαστήριο. Από την άλλη τα σύγχρονα εργαστήρια χρησιμοποιούνται για σύντομης

διάρκειας πειράματα και βασίζονται στη ζωντανή αναμετάδοση υποστηρίζοντας ένα ικανοποιητικό επίπεδο επικοινωνίας.

#### 4. Συνεργατικά και εργαστήρια ενός χρήστη:

Σε ορισμένα πειράματα τόσο ο χρήστης όσο και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιεί μπορεί να είναι απομονωμένα και η αλληλεπίδραση με τους άλλους δεν υποστηρίζεται ή απαγορεύεται. Γενικά, όμως, τα εργαστήρια συνδέονται στενά με την κοινωνική αλληλεπίδραση. Οι συνεργατικές δραστηριότητες στο εργαστήριο προωθούν την ενεργό μάθηση, καθοδηγούν την ερμηνεία των διαφόρων εννοιών και ενισχύουν την κατανόηση από την πλευρά του φοιτητή.

Το μοντέλο των εργαστηρίων ως υπηρεσία υπολογιστικού νέφους (στο εξής Cloud Lab as a Service - CLaaS) έχει ως στόχο να παρέχει στους χρήστες του μέσω του υπολογιστικού νέφους μια υπηρεσία διανομής εικονικού εργαστηριακού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, η κύρια ιδέα πίσω από το LaaS είναι η ανεξαρτητοποίηση από τον φυσικό χώρο του εργαστηρίου καθώς και από το υλικό από το οποίο αυτός συνοδεύεται (ηλεκτρονικοί υπολογιστές/λειτουργικά συστήματα/εξυπηρετητές κλπ). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται εικόνες λειτουργικών συστημάτων οι οποίες προσομοιώνουν το εργαστηριακό περιβάλλον και κάθε χρήστης μπορεί να τις χρησιμοποιεί και να απολαμβάνει τις υπηρεσίες αυτές χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία στον ίδιο χώρο με τον εξοπλισμό. Τα εικονικά λειτουργικά συστήματα και εργαστήρια είναι πανομοιότυπα με αυτά που θα έτρεχαν σε κάθε φυσικό εργαστήριο ή χώρο με εγκατεστημένα προγράμματα και λειτουργίες που απαιτούνται για τις ανάγκες του χώρου που τον φιλοξενεί (πανεπιστήμιο/ερευνητικό κέντρο/ επιχείρηση κλπ).



Πολλές εταιρίες πληροφορικής δημιούργησαν και παρέχουν υπηρεσίες παρόμοιες και πιο γενικές του Lab-as-a-Service μοντέλου. Έτσι, η λέξη «Lab» παίρνει μια πιο ευρεία έννοια και μπορεί να είναι ένα επιστημονικό εργαστήριο, ένα ερευνητικό εργαστήριο, ένα εργαστήριο πειραματικών δοκιμών και αποτελεσμάτων κ.ο.κ. Οι λύσεις που προσφέρουν αυτές οι εταιρείες είναι πλούσιο υλικό και πολλές και διαφορετικές λειτουργίες σε ότι αφορά τους τελικούς χρήστες.

Το μοντέλο του LaaS είναι μια λύση που είναι σχετική και προέκυψε από το την εικονοποίηση και τα εικονικά εργαστήρια (Virtual Computing Labs).

#### **4.2 Εικονοποίηση (Virtualization και Virtual Cloud Labs)**

Ο όρος Virtualization χρησιμοποιείται σε πολλά διαφορετικά πλαίσια. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο αναφέρεται στη άυλη χρήση των πόρων του υπολογιστή. Το Virtualization ουσιαστικά κρύβει πολλά από τα φυσικά χαρακτηριστικά της πληροφορικής από τον τελικό χρήστη παρέχοντας ένα «εικονικό περιβάλλον». Ο όρος εικονική μηχανή χρονολογείται από το 1960 και αναφέρεται στην πειραματική IBM μηχανή M44/44x (Vaughan-Nichols, 2006). Οι όροι virtualization και εικονική μηχανή έχουν εξελιχθεί με την πάροδο των ετών και απέκτησαν διάφορες σημασίες ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιούνται. Οι υπολογιστές σήμερα έχουν αρκετή δύναμη για να χρησιμοποιήσουν την εικονοποίηση με σκοπό τη δημιουργία πολλών μικρότερων «εικονικών μηχανών». Με άλλα λόγια, το virtualization επιτρέπει την υποδιαίρεση ή την κοινή χρήση πολλών πόρων (Barham et al., 2003).

Ένα εικονικό εργαστήριο υπολογιστών (VCL) περιγράφει σε γενικές γραμμές ένα περιβάλλον που χρησιμοποιείται από μια ομάδα ή μια τάξη. Εικονικά περιβάλλοντα εργαστηρίου έχουν χρησιμοποιηθεί από διάφορα πανεπιστήμια για πολλούς σκοπούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα εικονικό περιβάλλον έχει αναπτυχθεί για τη διδασκαλία ενός συγκεκριμένου μαθήματος είτε σε παραδοσιακές ή από απόσταση τάξεις εκπαίδευσης. Το υλικό που απαιτείται για την παροχή τεχνολογικών δεξιοτήτων, όπως η διαμόρφωση του δικτύου και η ασφάλεια είναι πάρα πολύ δαπανηρή ή απλά μη διαθέσιμη, συνεπώς το virtualization προσφέρει μια βιώσιμη λύση με κανένα κόστος πρακτικά (Anisett et al., 2007).

Ο Epelbaum πρότεινε μια λύση σύμφωνα με την οποία οι μαθητές θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν λογισμικό για να κατεβάσουν διάφορες διαδικασίες για την προσομοίωση ενός πραγματικού πειράματος, παρέχοντας έτσι στο μαθητή τα μέσα για να μάθει τις απαραίτητες δεξιότητες (Epelbaum, 2000). Τα εικονικά εργαστήρια υπολογιστών δεν περιορίζονται μόνο στη δικτύωση των υπολογιστών. Υπάρχουν πολλές προκλήσεις στη διδασκαλία ανάπτυξης web εφαρμογών, όπου η ανάπτυξη των εικονικών εργαστηρίων ανταποκρίνεται σε αυτές τις προκλήσεις (Liegle & Μέσο, 2007). Τα εικονικά εργαστήρια (στο εξής Virtual Computing Labs - VCL) είναι μια ιδέα βασισμένη στην τεχνολογία του υπολογιστικού νέφους. Αναπτύχθηκε πρώτη φορά στο North Carolina State University (NCSU) σε συνεργασία με την IBM. Σκοπός ήταν η αντιμετώπιση του ολοένα αυξανόμενου συνόλου των υπολογιστικών αναγκών και των απαιτήσεων των χρηστών για το πανεπιστήμιο. Αυτό το σύστημα μπορεί να προσφέρει λύσεις στο χρήστη, που απαιτούνται για την ποικιλία των

περιβαλλόντων υπηρεσιών οποτεδήποτε και οπουδήποτε με τη ζήτηση / κράτηση. Το VCL αποτελεί έναν συνδυασμό των τριών βασικών αρχιτεκτονικών του υπολογιστικού νέφους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο IaaS, PaaS και SaaS.

Όσον αφορά το IaaS το VCL προσφέρει μια διαφορετική υποδομή σε έναν τόπο. Συγκεκριμένα, παρέχει μια πλατφόρμα εικονικού περιβάλλοντος σε πανεπιστημιακά ιδρύματα. Έτσι οι φοιτητές/χρήστες, χρησιμοποιώντας το VCL δεν είναι αναγκασμένοι να εγκαταστήσουν κάποια φυσική υποδομή για την ανάγκη των εργασιών τους, καθώς τους παρέχονται εικονικά όλες οι υποδομές που θα χρησιμοποιούσαν και στο φυσικό εργαστήριο, όπως εικονικές μηχανές και εικονικά λειτουργικά συστήματα και αποθηκευτικός χώρος. Επίσης, ο VCL Manager διαχειρίζεται κατάλληλα τους διαθέσιμους πόρους και παρέχει τις κατάλληλες τεχνικές εικονοποίησης, ώστε οι διαθέσιμες εικόνες να είναι λειτουργικές προς τους φοιτητές/χρήστες. Για το λόγο αυτό, το VCL υιοθετεί και χαρακτηριστικά του PaaS μοντέλου καθώς δεν απαιτείται εγκατάσταση καμίας υπηρεσίας στα μηχανήματα των χρηστών. Τέλος, για την εφαρμογή του SaaS μοντέλου, το VCL επιτρέπει οποιαδήποτε των τωρινών SaaS λύσεων, όπως τα VMWare, XEN, MS Virtual Server, Virtuoso και Citrix (Kumar et al., 2015).

Τα VCL οφείλουν να ενσωματώνουν ορισμένα χαρακτηριστικά προκειμένου να είναι αποτελεσματική η λειτουργία τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά αφορούν (Padman & Memon, 2002):

A) Προσβασιμότητα (accessibility): Οι χρήστες θα πρέπει να μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ένα εικονικό εργαστήριο με τρόπο παρόμοιο όπως θα έκαναν σε ένα πραγματικό.

Β) Παρατηρησιμότητα (observability): Οι περισσότερες εργαστηριακές ασκήσεις έχουν τη μορφή πειραμάτων στα οποία οι χρήστες πρέπει να παρατηρήσουν πραγματικά περιστατικά ή αποτελέσματα του πειράματος που έχουν κάνει. Ένα εικονικό εργαστήριο δεν πρέπει να επηρεάζει αυτή τη δυνατότητα.

Γ) Δυνατότητα να προσομοιώσει ρεαλιστικά σενάρια: Η εικονική φύση του εργαστηρίου δεν πρέπει να επηρεάζει την ικανότητα του εργαστηρίου για την προσομοίωση ρεαλιστικών σεναρίων ασφαλείας. Επιπλέον, θα πρέπει η λειτουργία τους να είναι διαφανής για τους χρήστες.

Δ) Ρεαλιστική: Ένα εικονικό εργαστήριο θα πρέπει να έχει την ικανότητα να φιλοξενήσει ρεαλιστικά δίκτυα και συσκευές.

Ε) Διαχωρισμός των εικονικών δικτύων: Πολλά συμμετέχοντα ιδρύματα/κέντρα/φορείς μπορεί να είναι συνδεδεμένα με το εικονικό εργαστήριο ταυτόχρονα. Ωστόσο, κάθε εικονικό δίκτυο πρέπει να είναι απομονωμένο έτσι ώστε να μην αλληλεπιδρά με τα άλλα. Αυτή η ικανότητα διαχωρισμού είναι απαραίτητη για τη διατήρηση ενός αξιόπιστου περιβάλλοντος.

Ε) Απομακρυσμένη παραμετροποίηση: Ένα εικονικό εργαστήριο θα πρέπει να παρέχει ευέλικτους μηχανισμούς για να επιτρέψει σε κάθε χρήστη να ρυθμίσει το δίκτυο από απόσταση.

ΣΤ) Ικανότητα να μοιράζονται τους πόρους αποτελεσματικά: Οι πόροι στο εικονικό εργαστήριο πρέπει να τροφοδοτούνται κατάλληλα, έτσι ώστε η ανταλλαγή οποιουδήποτε πόρου να μην επηρεάζει αρνητικά τις ιδιότητες που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Τα εικονικά εργαστήρια ανταποκρίνονται ιδανικά στις ανάγκες των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων καθώς παρέχουν πρόσβαση σε βασικές

υπηρεσίες desktop με το λογισμικό που χρησιμοποιείται συνήθως από φοιτητές και μέλη ΔΕΠ. Λογισμικό, όπως λειτουργικά συστήματα, σουίτες γραφείου, προγράμματα στατιστικής ανάλυσης κλπ μπορούν να ενταχθούν σε μια ενιαία εικονική μηχανή (VM) χωρίς να χρειάζεται να εγκατασταθούν σε φυσικές θέσεις εργασίας. Σε ορισμένα περιβάλλοντα, μεμονωμένες εφαρμογές μπορούν να παρέχονται και σε φυσικούς υπολογιστές και να ελέγχονται από το χρήστη αντί για μια ολόκληρη μηχανή.

## CLOUD LAB FEATURES

1. Simple self service for lab
2. Workflow and approval
3. Reservations
4. Lab Creation
5. Automatic termination and Backup
6. Platform Agnostic
7. Support Orchestration of heterogeneous infrastructure
8. Budgets, Quota and Dashboards

**Figure 10. Χαρακτηριστικά περιβάλλοντος CLaaS**

Παρόλα αυτά, η ασφάλεια εικονικοποίησης παραμένει ένα σημαντικό θέμα. Μια πρόσφατη μελέτη υποδεικνύει ότι περίπου το 60% των εικονικών διακομιστών το 2012 είναι λιγότερο ασφαλείς από τους φυσικούς, ελπίζοντας ότι θα μειωθούν στο 30% μέχρι το 2015. Η ασφάλεια ενός VM εξαρτάται από το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται και ως εκ τούτου, θα πρέπει να ακολουθεί τις πρακτικές ασφαλείας. Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι πρόσβασης σε ένα VM, μέσω

του hypervisor και μέσω των συνδέσεων δικτύου. Οι επιθέσεις που θα μπορούσαν να συμβούν είναι είτε εναντίον των VM είτε στον κεντρικό διακομιστή. Στην περίπτωση του cloud περιβάλλοντος, ο κίνδυνος αυξάνεται από τη στιγμή που ο εισβολέας δεν χρειάζεται να επιτεθεί σε ένα VM για να επιτεθεί και σε άλλα VM ή στο δίκτυο, αφού απλώς μπορεί να πληρώσει για cloud υπηρεσίες και, ως καταναλωτής, να ξεκινήσει την επίθεση αποφεύγοντας τις παραδοσιακές συσκευές ασφαλείας δικτύου. Έχει αναπτυχθεί μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση που απαριθμεί πέντε αμετάβλητους νόμους της ασφάλειας εικονικοποίησης (Mishra et al., 2014):

Νόμος 1: Όλες οι υπάρχουσες επιθέσεις σε επίπεδο OS λειτουργούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

Νόμος 2: Η επιφάνεια προσβολής του hypervisor είναι προσθετική στο προφίλ κινδύνου ενός συστήματος.

Νόμος 3: Ο διαχωρισμός λειτουργικότητας και περιεχομένου σε VMs θα μειώσει τον κίνδυνο.

Νόμος 4: Η συσσωμάτωση λειτουργιών και πόρων σε μια φυσική πλατφόρμα θα αυξήσει τον κίνδυνο.

Νόμος 5: Ένα σύστημα που περιέχει ένα "αξιόπιστο" VM σε ένα "μη αξιόπιστο" κεντρικό υπολογιστή έχει υψηλότερο επίπεδο κινδύνου από ένα σύστημα που περιέχει ένα "αξιόπιστο" host με ένα "untrusted" VM.

Συνοψίζοντας, τα VCL μπορούν να αναπτύξουν ένα ευρύ φάσμα λύσεων, από σύνθετα συμπλέγματα διακομιστών, σε μπλοκ από μηχανές εγκατεστημένες με όλες τις απαραίτητες εφαρμογές λογισμικού και με εικονικές επιφάνειες εργασίας. Ως εκ τούτου, έχει έχουν χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη υπολογιστών υψηλών επιδόσεων για ερευνητές, φοιτητές και εκπαιδευτές τόσο εντός όσο και έξω από την τάξη, για την

υποστήριξη του διοικητικού προσωπικού των πανεπιστημίων, τη υποστήριξη σε εφαρμογές επιχειρήσεων, ακόμα και startup επιχειρήσεις που υποστηρίζονται από τα προγράμματα στο πανεπιστήμιο και συμβούλους, πολύτιμους για την περιφερειακή οικονομική ανάπτυξη.

### 4.3 Πλεονεκτήματα των Cloud Labs

Τα πλεονεκτήματα των εικονικών εργαστηρίων και του μοντέλου CLaaS μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- A) Προσφέρουν μια σειρά από καλά τεκμηριωμένες υπηρεσίες εργαστηρίου με υψηλά επίπεδα ποιότητας.
- B) Υπάρχει κλιμάκωση όσον αφορά τον αριθμό των εργαστηρίων και των χρηστών.
- Γ) Εφαρμόζουν τα χαρακτηριστικά ανάκτησης σε περίπτωση αποτυχιών.
- Δ) Συνεργάζονται με άλλα συστήματα πληροφοριών του πανεπιστημίου, κέντρου ή επιχείρησης που τα χρησιμοποιούν.
- E) Παρακολουθείται κάθε δραστηριότητα σχετικά με την ασφάλεια του συστήματος.
- ΣΤ) Υπάρχει κεντρικός έλεγχος του συστήματος, διατηρώντας παράλληλα την αυτονομία για κάθε εγκατάσταση εργαστηρίου.

Συγκεκριμένα, προς στήριξη της εκπαιδευτικής κοινότητας, ένα VCL έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα (Rindos et al., 2014):

- Ένα ή περισσότερα μηχανήματα, είτε ως μία ενιαία φυσική ή εικονική μηχανή ή ως διακομιστής συνδέεται με οποιοδήποτε λογισμικό που απαιτείται για τα inclass εργαστήρια ή για εκπαιδευτικές εκδηλώσεις.

- Οποιοσδήποτε αριθμός των μηχανημάτων για οποιοδήποτε αριθμό μαθητών σε μια τάξη, με οποιοδήποτε λογισμικό που είναι εγκατεστημένο σε κάθε μηχανήμα και είναι απαραίτητο για την εν λόγω κατηγορία μαθημάτων, όλα παραδίδονται αυτόματα κάθε φορά που το χρειάζεται η τάξη.
- Μια σουίτα εκπαιδευτικού λογισμικού σε μία φυσική ή εικονική μηχανή στο σπίτι, στον κοιτώνα, ή στην τάξη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διεκπεραίωση εργασιών εκτός τάξης διευκολύνοντας το φοιτητή.
- Χρησιμεύει σε εφαρμογές εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

Παράλληλα, τα απομακρυσμένα και εικονικά εργαστήρια έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν σε χαμηλό κόστος και σε πραγματικό χρόνο ανταλλαγή δεδομένων με το διαμοιρασμό του εξοπλισμού, ενώ παράλληλα δίνουν τη δυνατότητα στους φοιτητές/ χρήστες να έχουν περισσότερο χρόνο και άνεση στην εκτέλεση των πειραμάτων. Επίσης, εκτός από την περίπτωση των πανεπιστημιακών εργαστηρίων, το CLaaS δίνει λύσεις σε επιχειρήσεις που δεν μπορούν να ανταποκριθούν στην απόκτηση και διαχείριση κρίσιμων πόρων λόγω κόστους, δίνοντας τη δυνατότητα διεξαγωγής πειραμάτων και ελέγχων με πολύ μικρότερο οικονομικό κόστος.



#### 4.4 Μελέτη Περίπτωσης: Open Source Lab-as-a-Service για Πανεπιστήμια

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η περίπτωση των Virtual Cloud Labs ανταποκρίνεται ιδανικά στις ανάγκες των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων. Πολλά πανεπιστήμια έχουν υιοθετήσει τέτοιες λύσεις προκειμένου να επωφεληθούν των πλεονεκτημάτων του cloud computing. Στην περίπτωση των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων, οι λύσεις που αναπτύχθηκαν αφορούν κυρίως παροχή υποδομής δικτύων και φιλοξενίας εφαρμογών που απαιτούνται για τις ανάγκες των μαθημάτων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα πανεπιστήμια μαζί με τις λύσεις που υιοθέτησαν, ενώ αναλυτικά θα παρουσιάσουμε την περίπτωση του North Carolina State University, που ήταν και το πρώτο που ενσωμάτωσε ένα τέτοιο σύστημα και άλλων πανεπιστημίων που υιοθέτησαν τέτοιου είδους λύσεις.

University	Discription	URL
<b>George Mason University</b>	Apache VCL, general purpose computing laboratory, similar labs implemented at other Virginia state universities	<a href="http://www.vcl.gmu.edu">http:// www.vcl.gmu.edu</a>
<b>Georgia State University</b>	Apache VCL, primarily supports students using SPSS and similar software	<a href="http://www.gsu.edu/help/46646.html">http://www.gsu.edu/help/46646.html</a>
<b>GENI</b>	Citrix Xen with significant extensions, supports advanced research into distributed applications	<a href="http://www.geni.net">http://www.geni.net</a>
<b>SUNY - Buffalo</b>	Citrix XenApp, general purpose computing lab, also provides access to common data storage	<a href="http://ubit.buffalo.edu/software/virtual/index.php">http://ubit.buffalo.edu/software/virtual/index.php</a>
<b>University of Alaska - Fairbanks</b>	VMware ESX and Lab Manager, provides specialized labs for information assurance courses.	<a href="http://assert.uaf.edu/lab.html">http://assert.uaf.edu/lab.html</a>
<b>University of Maryland</b>	Citrix XenApp, primarily supports engineering students	<a href="http://eit.umd.edu/vcl">http://eit.umd.edu/vcl</a>
<b>University of New Mexico (UNM)</b>	VMware ESX and Lab Manager, provides a general purpose computing laboratory and specialized labs for information systems and information assurance	<a href="http://vlab.mgt.unm.edu">http://vlab.mgt.unm.edu</a>
<b>University of North Carolina</b>	Apache VCL, general purpose computing laboratory, similar labs used at other NC state universities	<a href="http://vcl.unc.edu">http://vcl.unc.edu</a>
<b>University of West England</b>	Citrix XenApp, general purpose computing lab, also provides access to a common data storage	<a href="http://www.uwe.ac.uk/its/corporate/services/remotefiletransfer.shtml">http://www.uwe.ac.uk/its/corporate/services/remotefiletransfer.shtml</a>

Figure 11. Πανεπιστήμια που υιοθέτησαν LaaS λύσεις

#### 4.4.1 North Carolina State University VCL

Το VCL του Κρατικού Πανεπιστημίου της Βόρειας Καρολίνας (NCSU) είναι μια απομακρυσμένη υπηρεσία, που επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν με ευκολία μια ποικιλία πόρων μέσω σύνδεσης στο Internet. Αυτό το μοντέλο αρχικά περιγράφηκε το 2004 (Averitt et al., 2004) ως εξής: το VCL επιτρέπει πρόσβαση ανεξάρτητα από την πλατφόρμα σε ένα μεγάλο φάσμα των υπολογιστών και

εφαρμογών. Το 2003, το NCSU αντιμετώπιζε διάφορα θέματα υπολογιστών στην πανεπιστημιούπολη. Οι υπεύθυνοι ήταν απογοητευμένοι με το χρονικό διάστημα (μερικές φορές μέχρι ένα έτος) που χρειάστηκε για να εγκατασταθεί το απαραίτητο λογισμικό, ενώ και οι μαθητές ήταν απογοητευμένοι από τις αστοχίες υλικού και λογισμικού των εργαστηριακών υπολογιστών. Επιπλέον, στο πανεπιστήμιο αντιμετωπίζουν μια σημαντική περικοπή της χρηματοδότησης για το κέντρο υπερυπολογιστών αναγκάζοντας να τερματιστεί η λειτουργία του το 2003.

Το VCL έγινε η ιδανική λύση για διάφορους λόγους. Αρχικά, τα φυσικά εργαστήρια δεν θα έπρεπε στο εξής να διατηρηθούν και να αναβαθμιστούν με την τεχνολογία της ομάδας. Θα μπορούσαν να εγκαταστήσουν το δικό τους λογισμικό και να παρέχουν την απαραίτητη πρόσβαση σε όλους τους μαθητές τους. Επιπλέον, οι μαθητές δεν θα περιορίζονταν χωρικά και χρονικά όπως με τη φυσική τους παρουσία στο εργαστήριο, καθώς μπορούσαν να χρησιμοποιούν τους υπολογιστές τους, χωρίς να χρειάζεται η αγορά λογισμικού μειώνοντας το οικονομικό κόστος και επιτρέποντας καλύτερη διαχείριση. Με επιχορηγήσεις από την Intel και την IBM το NCSU εγκαινίασε το εικονικό εργαστήριο το 2004. Από τότε, άλλα πανεπιστήμια και τα κοινοτικά κολέγια έχουν ακολουθήσει το παράδειγμα αυτό, όπως το George Mason που βασίστηκε στο μοντέλο NCSU για το δικό του VCL. Προφανώς, το οικονομικό κόστος ενός τέτοιου έργου είναι σημαντικό. Ωστόσο, ακόμα και με αποταμιεύσεις, τα μικρότερα πανεπιστήμια δεν μπορούν να έχουν τα κεφάλαια ή τεχνογνωσία για να αναλάβουν ένα τέτοιο έργο. Για να επεκταθεί η χρήση του μοντέλου αυτού, το NCSU και η IBM δημιούργησαν την «Πρωτοβουλία Virtual Computing», με στόχο να

δημιουργηθεί μια multi-institutional κοινών υπηρεσιών υπολογιστών με βάση το μοντέλο VCL.

Παρακάτω μελετάμε τα βασικά σημεία – κλειδιά του έργου (Murphy & McClelland,2008):

**Στόχοι:** Ο γενικός στόχος του έργου είναι να παρέχει ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό περιβάλλον που θα πληρεί τις υπολογιστικές ανάγκες των φοιτητών και των διδασκόντων.

- Μείωση του χρόνου για απαίτηση λογισμικού.
- Ευκολία στην υπερχείλιση των φυσικών εργαστηρίων με την παροχή εφαρμογών μέσω σύνδεσης στο Internet.
- Αποτελεσματική χρήση του λογισμικού με βάση τον αριθμό των χρηστών σε κάθε δεδομένη στιγμή και όχι τον αριθμό των φυσικών μηχανών.
- Μείωση του κόστους αγοράς απαραίτητου λογισμικού για τους υπολογιστές των φοιτητών παρέχοντας πρόσβαση σε αυτές τις εφαρμογές σε ένα εικονικό περιβάλλον.
- Ευρύ φάσμα εφαρμογών με έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο.
- Υποστήριξη στα αυξανόμενα προγράμματα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

**Προβλήματα:** Το κύριο πρόβλημα που είχαν οι μαθητές ήταν ο χρόνος αναμονής για την «εικόνα» ώστε να είναι διαθέσιμη για χρήση, ενώ είχαν και προβλήματα εντοπισμού των εικόνων των εφαρμογών. Τα κύρια πρωτογενή προβλήματα της πιλοτικής εφαρμογής μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Το σύστημα κρατήσεων είναι δύσκολο στην πλοήγηση.

- Ο χρόνος αναμονής δεν ήταν γενικά περισσότερο από 10 έως 15 λεπτά για την αρχική κράτηση, αλλά μερικές φορές ξεπερνούσε τα 30 λεπτά.
- Οι εικόνες φορτώνονται σε πρώτη ζήτηση, σε αντίθεση με τα προεγκατεστημένα προγράμματα. Τα υπέρ και τα κατά ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να αξιολογούνται προσεκτικά προκειμένου να εξαχθεί το μέγιστο όφελος για τους χρήστες.
- Το πανεπιστήμιο δεν παρέχει υποστήριξη και ως εκ τούτου οι μαθητές είχαν περιορισμένες επιλογές για την αναζήτηση βοήθειας.

### **Οφέλη:**

- Το λογισμικό μπορεί εύκολα να αναπτυχθεί και να αποφεύγονται οι καθυστερήσεις που υπάρχουν στα φυσικά εργαστήρια και στις αίθουσες διδασκαλίας.
- Απλοποιείται η διαχείριση των αδειών, για παράδειγμα, το πανεπιστήμιο μπορούσε να αγοράσει μόνο 50 άδειες χρήσης που μπορεί να επιτρέψει σε 50 ταυτόχρονους χρήστες σε 50 τοπικούς υπολογιστές.
- Οι υπολογιστές που έχουν πρόσβαση σε VCL μπορεί να είναι και παλιότερα μηχανήματα, δεδομένου ότι τα προγράμματα υψηλής απόδοσης εκτελούνται στην πραγματικότητα στο διακομιστή. Έτσι, δεν χρειάζονται εργαστήρια με θέσεις εργασίας υψηλής απόδοσης.

### **Επιπλέον εκπαιδευτικά οφέλη:**

- Οι εκπαιδευτές μπορούν γρήγορα να εγκαταστήσουν το λογισμικό που απαιτείται χωρίς καθυστερήσεις ή συγκρούσεις με το λογισμικό που είναι εγκατεστημένο στο εργαστήριο.
- Η πλατφόρμα της εικονικής μηχανής μπορεί να είναι διαφορετική από την πλατφόρμα της μηχανής του πελάτη - για παράδειγμα, μια εικονική

μηχανή ενός διακομιστή Linux μπορεί να εκτελεστεί σε μια επιφάνεια εργασίας των Windows.

- Οι μαθητές μπορούν να έχουν πρόσβαση στο λογισμικό από οπουδήποτε (σπίτι, πανεπιστημιακό εργαστήριο και laptop) με σύνδεση στο Internet. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο για τους φοιτητές οι οποίοι δεν έχουν την εφαρμογή σε προσωπικό υπολογιστή τους, δεν μπορούν να έχουν εύκολη πρόσβαση στο πανεπιστήμιο, η στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση.

#### 4.4.2 Oregon State University Open Source Lab

Το Oregon State University Open Source Lab (OSUOSL) παρέχει προγράμματα ανοιχτού κώδικα και κοινότητες με υπηρεσίες για την ανάπτυξη προσαρμοσμένου λογισμικού και τη φιλοξενία, συμπεριλαμβανομένου του virtualization, διαχείρισης DNS, παρακολούθησης δικτύων, διαχείρισης βάσεων δεδομένων, δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας, κατοπτρισμού FTP, αναμετάδοσης αλληλογραφίας και φιλοξενίας φυσικών διακομιστών στο κέντρο δεδομένων τους. Ως αξιόπιστος, έμπιστος και ουδέτερος τρίτος πάροχος με αποδεδειγμένη υποστήριξη της κοινότητας ανοιχτού κώδικα, το OSUOSL παρέχει υπηρεσίες που απαιτούνται σε μεγάλο βαθμό σε ένα περιβάλλον όπου οι ανάγκες τους θα ικανοποιηθούν από άλλα μέλη της κοινότητας, άτομα που μοιράζονται τους ίδιους στόχους, αξίες και ενθουσιασμό για τις μεθοδολογίες ανάπτυξης ανοιχτού κώδικα και τις συνεργατικές κοινοτικές πρακτικές.

Η αποστολή του OSUOSL είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη μεγάλων έργων λογισμικού ανοιχτού κώδικα παγκοσμίως, μέσω επαγγελματικών υπηρεσιών φιλοξενίας, προσαρμοσμένης ανάπτυξης και τεχνογνωσίας του κλάδου που παρέχονται από το προσωπικό και τους

φοιτητές του Πανεπιστημίου του Όρεγκον (OSU). Μέσω προσαρμοσμένης ανάπτυξης λογισμικού, το προσωπικό και οι φοιτητές του εργαστηρίου ενθαρρύνουν την υιοθέτηση ανοικτών πηγών στην εκπαίδευση, στη διακυβέρνηση, στην υγειονομική περίθαλψη και σε άλλους τομείς. Το εργαστήριο παρέχει επίσης μια εκπαιδευτική ευκαιρία για τους σπουδαστές της OSU, οι οποίοι έχουν την ευκαιρία να μάθουν περισσότερα για την ανάπτυξη λογισμικού ανοιχτού κώδικα, τις δυνατότητες και τις εφαρμογές μέσω μερικής απασχόλησης ή πρακτικής άσκησης (Khare et al., 2004).

Παρακάτω περιγράφονται οι υπηρεσίες που προσφέρονται από το OSUOSL και αναλύονται οι ευκαιρίες για τους σπουδαστές: i) να ενισχύσουν την εκπαιδευτική τους εμπειρία στο πανεπιστήμιο, ιδιαίτερα σε θέματα που σχετίζονται με το λογισμικό ανοιχτού κώδικα και την ανάπτυξή του. ii) να αποκτήσουν πολύτιμη εργασιακή πείρα σε πραγματικό κόσμο και να ενισχύσουν την επαγγελματική ταυτότητά τους, iii) να συμβάλουν στο μεγαλύτερο καλό των κοινοτήτων τους και iv) να βρουν απασχόληση κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την φοίτησή τους στο πανεπιστήμιο.

### **Αξία για τους σπουδαστές**

Ενώ οι μη κερδοσκοπικές οργανώσεις και τα κοινοτικά προγράμματα επωφελούνται από τις υπηρεσίες που προσφέρει το OSUOSL, τα οφέλη για τους φοιτητές είναι σημαντικά και αντιπροσωπεύουν το κύριο κίνητρο για την υποστήριξη του πανεπιστημίου στην επέκταση του εργαστηρίου. Οι σπουδαστές συμμετέχουν σε κάθε υπηρεσία, έχοντας τα ακόλουθα οφέλη:

A) Ενίσχυση της εκπαιδευτικής τους εμπειρίας στο πανεπιστήμιο, ιδιαίτερα σε θέματα που σχετίζονται με το λογισμικό ανοιχτού κώδικα

και την ανάπτυξή του. Οι φοιτητές προετοιμάζονται καλύτερα για τις εργασίες τους και για τις μελλοντικές σταδιοδρομίες τους στη βιομηχανία, καθώς μαθαίνουν διαφορετικές προσεγγίσεις στη συνεργασία και την ομαδική εργασία, την οικοδόμηση μιας κοινότητας, τον τρόπο λειτουργίας των μη κερδοσκοπικών οργανισμών και τον τρόπο με τον οποίο η συλλογή κεφαλαίων, η ανάπτυξη επιχειρήσεων και η εμπορία γίνονται σε αυτό το πλαίσιο.

Β) Αποκτούν πολύτιμη εργασιακή εμπειρία σε πραγματικές συνθήκες και βελτιώνουν την επαγγελματική τους ταυτότητα. Η εργασία σε προγράμματα ανοιχτού κώδικα όχι μόνο δίνει στους σπουδαστές μια μεγάλη ευκαιρία να χρησιμοποιούν, να κατανοούν και να συμβάλλουν στις νέες τεχνολογίες, αλλά επίσης θέτει το έργο τους στον ανοικτό χώρο όπου μπορεί να θεωρηθεί ότι εκτιμάται από τους χρήστες, τους προγραμματιστές και τους πιθανούς εργοδότες.

Γ) Συμβάλλουν με σκοπό το κοινό καλό των ανθρώπινων κοινοτήτων. Το OSUOSL είναι ισχυρός υποστηρικτής της κοινότητας ανθρωπιστικής ανοικτής πηγής, φιλοξενώντας έργα όπως το Sahana Software Foundation, ένα σύστημα λογισμικού ετοιμότητας και αντίδρασης σε καταστροφές και το OpenMRS, ένα σύστημα ιατρικών αρχείων ανοιχτού κώδικα που σχεδιάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες των μικρών κλινικών στον αναπτυσσόμενο κόσμο που παρέχουν φροντίδα σε όσους έχουν HIV και AIDS.

### **Υπηρεσίες OSUOSL**

Το OSUOSL αναπτύσσει τεχνολογία και εργαλεία για την επέκταση και διαχείριση των αναπτυσσόμενων προγραμμάτων λογισμικού ανοιχτού κώδικα. Το OSUOSL προσφέρει ένα πλήρες φάσμα υπηρεσιών φιλοξενίας και ανάπτυξης, συμπεριλαμβανομένης της



ανάλυσης απαιτήσεων, του σχεδιασμού, της κωδικοποίησης και των δοκιμών. Όλες αυτές οι υπηρεσίες προσφέρονται από το προσωπικό του OSUOSL, το οποίο περιλαμβάνει και φοιτητές.

Το OSUOSL παρέχει φιλοξενία για έργα και κοινότητες που ασχολούνται με την ανάπτυξη λογισμικού ανοιχτού κώδικα. Συνήθως το εργαστήριο αναφέρεται στον ορισμό του Open Source Initiative (OSI) για το open source, που βρίσκεται στο [opensource.org](http://opensource.org). Εάν ένα έργο ακολουθεί ένα ανοιχτό μοντέλο ανάπτυξης και είναι ελεύθερα διαθέσιμο βάσει μιας άδειας που έχει εγκριθεί από το OSI, μπορεί να δικαιούται φιλοξενία. Οι συγκεκριμένες σειρές φιλοξενίας παρατίθενται παρακάτω:

- Virtualization
- Διαχείριση DNS
- Παρακολούθηση Nagios
- Παρακολούθηση γραφημάτων
- Διαχείριση βάσεων δεδομένων
- Αντίγραφα ασφαλείας
- Αντικατοπτρισμός FTP
- Mail
- Κοινή φιλοξενία ιστοσελίδων
- Συνεγκατάσταση του έργου φιλοξενία
- Ανάπτυξη PowerPC

Το προσωπικό ανάπτυξης του OSUOSL και οι φοιτητές παρέχουν επίσης πλήρεις υπηρεσίες ανάπτυξης λογισμικού, συμπεριλαμβανομένων

των αναλύσεων απαιτήσεων, του σχεδιασμού, της κωδικοποίησης και των δοκιμών. Οι υπηρεσίες του εργαστηρίου έχουν εξυπηρετήσει πολλά προγράμματα ανοιχτού κώδικα εκτός από εκπαιδευτικούς και κυβερνητικούς οργανισμούς που θέλουν να εφαρμόσουν ή να επεκτείνουν το λογισμικό ανοιχτού κώδικα για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Το OSUOSL είναι ένας ουδέτερος συνεργάτης οργανισμών που είναι αφιερωμένος στη βοήθεια της κοινότητας και όχι μιας εμπορικής οντότητας. Το εργαστήριο διαθέτει αφοσιωμένο προσωπικό για να βοηθήσει τα έργα να αναπτυχθούν ανεξάρτητα αν είναι ή όχι σε θέση να πληρώσουν για την υπηρεσία τώρα ή στο μέλλον (Casson & Hawthorn, 2011).

#### 4.4.3 GENI lab

GENI, το Παγκόσμιο Περιβάλλον για την Καινοτομία Δικτύων (GENI, the Global Environment for Networking Innovation), είναι ένα κατακευματισμένο εικονικό εργαστήριο που χρηματοδοτείται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών των ΗΠΑ (NSF) για την ανάπτυξη και την επικύρωση μετασχηματιστικών δικτύων, των υπηρεσιών και της ασφάλειας τους. Ο βασικός σκοπός του GENI είναι η ευρεία διάδοση της οστεοποίησης του Διαδικτύου, φαινόμενο όπου τα συμφέροντα και η υποδομή περιορίζουν τις δυνατότητες καινοτομίας στο παγκόσμιο, δημόσιο Διαδίκτυο (Anderson et al., 2005). Το GENI βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ιδέα ενός περιβάλλοντος κατάλληλου για δοκιμές και για ανάπτυξη αρχιτεκτονικών δικτύου, συνδυάζοντας ετερογενείς τύπους πόρων, εικονικοποιημένους για την παραγωγή μιας πλατφόρμας για ερευνητές της επιστήμης δικτύων. Επίσης, το GENI παρέχει ένα χώρο που επιτρέπει τον αυξανόμενο αριθμό πειραμάτων πέρα από την προσομοίωση και εξελίσσεται πλέον σε μια περίοδο ευρύτερης ανάπτυξης τυποποιημένων στοιχείων. Τα κύρια στοιχεία του είναι:

A) virtualized υπολογισμός και αποθηκευτικοί πόροι

B) καθορισμένα από λογισμικό δίκτυα (SDN), δηλαδή εικονικοί, προγραμματιζόμενοι πόροι δικτύου.

Γ) WiMAX, εικονική κυψελοειδής ασύρματη επικοινωνία (εφαρμόζεται σε επιλεγμένες πανεπιστημιούπολεις).

Ο βαθμός επιτυχίας κάθε εργαστηρίου, ιδιαίτερα ενός που μοιράζεται μια μεγάλη κοινότητα, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από δύο παράγοντες - κλειδιά: τη χρησιμότητα σε ένα ευρύ φάσμα πειραμάτων και τη διαθεσιμότητα στους σχετικούς ερευνητές. Τα πειράματα που υποστηρίζονται στο GENI περιλαμβάνουν:

1) Διαφορετικότητα μεγέθους που κυμαίνεται από απλά, μικρά πειράματα σε πειράματα μεγάλης κλίμακας συμπεριλαμβανομένων πολλών πόρων ή / και μεγάλης γεωγραφικής έκτασης.

2) Ποικιλία των πρωτοκόλλων, συμπεριλαμβανομένων των συμβατών πειραμάτων ή ασυμβίβαστα με τα υπάρχοντα πρωτόκολλα Διαδικτύου, όπως, π.χ. πρωτόκολλο Internet (IP) και πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (TCP).

3) Ποικιλία περιβαλλόντων, που κυμαίνονται από σφιχτά ελεγχόμενα και επαναλαμβανόμενα σε δοκιμές εξυπηρέτησης που εκτίθενται στις ιδιοτροπίες του παγκόσμιου Διαδικτύου.

4) Ευκαιρία για τη συμπερίληψη των «πραγματικών χρηστών», που χρησιμοποιούν πειραματικές υπηρεσίες που εκτελούνται στο GENI και εκθέτουν τους ερευνητές σε πραγματικά μοντέλα χρήσης.

Ως προσπάθεια που χρηματοδοτείται από την NSF, το GENI είναι ευρέως διαθέσιμο σε ερευνητές τόσο εντός όσο και εκτός των ΗΠΑ, καθώς οι αρχικοί στόχοι του είναι η προσέγγιση των κοινοτήτων έρευνας της δικτύωσης και των κατανεμημένων συστημάτων. Αποτελέσματα από πρώιμα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία δύο χρόνια

δείχνουν ότι ένα ευρύ φάσμα ερευνητών είναι σε θέση να διεξάγουν έρευνες σε ένα εύρος θεματικών, συμπεριλαμβανομένης της δικτύωσης καθαρών δικτύων, του σχεδιασμού και αξιολόγησης πρωτοκόλλων, των προσφορών διανεμημένων υπηρεσιών, την ενσωμάτωση κοινωνικών δικτύων, τη διαχείριση περιεχομένου και το δίκτυο ανάπτυξης υπηρεσιών. Ένας αυξανόμενος αριθμός εκπαιδευτικών χρησιμοποιεί το GENI στις τάξεις τους για εργαστηριακές εργασίες και ερευνητικά έργα, ενώ χρησιμοποιείται και από ερευνητές του cloud computing (Berman et al., 2014).

#### 4.4.4 Σύγκριση λύσεων για πανεπιστήμια

Όπως περιγράφηκε και στην εικόνα 11, οι open source λύσεις που ανέπτυξαν τα πανεπιστήμια για τη λειτουργία των εικονικών εργαστηρίων έχουν κοινούς στόχους. Παρατηρείται ότι χρησιμοποιούν κατά περίπτωση τρία διαφορετικά περιβάλλοντα εικονικών μηχανών, το Apache VCL, το Citrix Xen και το VMware ESX. Τα περισσότερα από αυτά προσφέρουν υπηρεσίες εργαστηρίου γενικού σκοπού κυρίως για υπηρεσίες και εργασίες πληροφορικής και αποθήκευση δεδομένων, χωρίς να γίνεται κάποια εξειδίκευση με εξαίρεση το University of Alaska – Fairbanks και το University of New Mexico τα οποία παρέχουν εξειδικευμένα εργαστήρια για μαθήματα ασφάλειας πληροφοριακών συστημάτων. Τα πλεονεκτήματα για τους φοιτητές είναι πολλαπλά και κοινά σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς οι σπουδαστές έχουν διαθέσιμες τις υποδομές που απαιτούνται με εξοικονόμηση χρημάτων και συνολική αυξημένη αποτελεσματικότητα για κάθε ίδρυμα. Ιδιαίτερη είναι η περίπτωση του GENI, το οποίο παρέχει διευρυμένες λύσεις τόσο για πανεπιστήμια όσο και για επιχειρήσεις και ερευνητές για τη διεξαγωγή πειραμάτων και testing.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Συγκριτική μελέτη Lab-as-a-service Υπηρεσιών

Σε αντίθεση με το κεφάλαιο 4, όπου παρουσιάστηκαν case studies για πανεπιστήμια που υιοθέτησαν open source λύσεις για cloud εικονικά εργαστήρια, στο παρόν κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν και θα μελετηθούν συγκριτικά λύσεις που παρέχουν οι μεγαλύτεροι πάροχοι του κλάδου τόσο μεταξύ τους, όσο και με open source αντίστοιχες υπηρεσίες. Ακόμη μια διαφορά με την περίπτωση των πανεπιστημίων είναι ότι τα εμπορικά πακέτα παρέχουν κυρίως υποδομές για έλεγχο εφαρμογών, περιβάλλον testing, με τους απαιτούμενους πόρους, προσφέροντας στις επιχειρήσεις μείωση κόστους, βελτιστοποίηση διαδικασιών και υψηλή ποιότητα υπηρεσιών.

### 5.1 World Wide Technology Solutions

Το πακέτο υπηρεσιών Lab as a Service της World Wide Technology Inc. στοχεύει στην παροχή υπηρεσιών φιλοξενίας εργαστηρίου μαζί με άλλες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας. Η WWT συνεργάζεται άμεσα με τους πελάτες για να αναλάβει τις ακριβές και εξειδικευμένες εργασίες που σχετίζονται με τη δοκιμή των προϊόντων και λύσεων. Αυτή η υπηρεσία ανταποκρίνεται στις ανάγκες πελατών που αναζητούν εναλλακτικές λύσεις για την αντιμετώπιση ανταγωνιστικών προτεραιοτήτων, την έλλειψη σημαντικών πόρων και την διαχείριση κινδύνου σε ένα εξαιρετικά δυναμικό και πολύπλοκο περιβάλλον. Επιπλέον, είναι ιδανική για τους οργανισμούς που επιδιώκουν τη μείωση του υψηλού κόστους συντήρησης των εργαστηρίων για επαλήθευση και επικύρωση προϊόντων και αποτελεσμάτων (Udomprasert et al., 2012).

Από την ίδρυσή του, το WWT Lab as a service (LaaS) έχει απήχηση σε πελάτες σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, βελτιώνοντας τη διαδικασία ροής εργασίας και έχοντας στη διάθεσή τους νέες λύσεις

προσαρμοσμένες στις ιδιαίτερες ανάγκες τους. Εστιάζοντας στους έγκαιρους χρόνους, στη μείωση του κόστους και στη διαδικασία βελτίωσης εργαστηριακών και δοκιμαστικών περιβαλλόντων δίνεται η δυνατότητα στους πελάτες να πραγματοποιήσουν επιχειρηματικούς στόχους μαζί με την επίτευξη τεχνικών λύσεων. Η υπηρεσία αυτή αποτελεί σημαντικό μέρος του χαρτοφυλακίου του WWT και αποτελεί το διαφοροποιητή της εταιρείας στην αγορά με αποδεδειγμένη αξία για τους πελάτες.

Το WWT Lab βασίζεται σε υπηρεσίες δοκιμών που ακολουθούν ένα κύκλο ζωής με τυποποιημένη διασφάλιση ποιότητας, εκτείνεται σε πολλαπλές τεχνολογίες και περιλαμβάνει μια ποικιλία μοντέλων αλληλεπίδρασης σε διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας. Η διασφάλιση ποιότητας που παρέχεται δίνει τη δυνατότητα στους πελάτες να δοκιμάζουν προϊόντα και κρίσιμα συστήματα με το επιθυμητό επίπεδο κινδύνου και απόλυτη διαχείριση της διαδικασίας. Συγκεκριμένα, οι υπηρεσίες που περιλαμβάνονται είναι:

- **Lab Hosting**, για πολλαπλές τεχνολογίες, με επιλογές για αποκλειστικές υπηρεσίες αυτοεξυπηρέτησης ή sessions που παρακολουθούνται από το WWT.
- **Verification**, Επαλήθευση των δυνατοτήτων με βάση την εκτέλεση δοκιμών, τις μεθόδους διαδικασιών και παλινδρόμησης, σύμφωνα με την τυπική μεθοδολογία του κύκλου ζωής της ιδιοκτησίας ανάπτυξης λογισμικού.
- **Quantification**, Ποσοτικοποίηση των δυνατοτήτων προϊόντων και συστημάτων με χρήση των αποδόσεων κλίμακας.
- **Validation/Certification**, Επικύρωση / Πιστοποίηση προϊόντων και συστημάτων σύμφωνα με καθιερωμένες μετρήσεις μετάβασης.

- **Interoperability**, Δοκιμές διαλειτουργικότητας για τον προσδιορισμό της συμβατότητας και συμμόρφωση με τα πρωτόκολλα.

## 5.2 Netscout Lab as a Service

Το NetScout προσφέρει μια λύση υπηρεσίας για την εφαρμογή ενός βελτιστοποιημένου εργαστηρίου. Παρέχοντας ευκολία στη χρήση, έξυπνη, κλιμακούμενη τεχνολογία στον λογικό πυρήνα του εργαστηρίου, όλοι οι στόχοι μιας υπηρεσίας LaaS μπορούν να επιτευχθούν. Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση συνδυάζει τη μεταγωγή του Layer 1 με την ευφυΐα των επιπέδων 2-4 προκειμένου να παρέχει λειτουργίες που δεν είναι πρακτικά διαθέσιμες χρησιμοποιώντας τεχνολογία παλαιού τύπου. Λειτουργίες Layer 2-4 μπορεί να είναι η συσσώρευση ροών δοκιμών και rate conversion ώστε να παρασχεθούν μέσω μιας διεπαφής λογισμικού και χωρίς να απαιτείται φυσική πρόσβαση στο εργαστήριο.

Το NetScout nGenius® 3900 Series Packet Flow Switch, μαζί με το λογισμικό διαχείρισης TestStream™ παρέχουν την ιδανική πλατφόρμα προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα στα εργαστήρια με γνώμονα την εξυπηρέτηση να ανταποκριθούν στους βασικούς στόχους της αύξησης της χρήσης όλων των πόρων, μειώνοντας τον χρόνο για τις δοκιμές και πραγματοποιώντας σημαντικές εξοικονομήσεις κεφαλαίων από το CAPEX και το OPEX ([www.netscout.com](http://www.netscout.com)).

Η υπηρεσία του Netscout προσφέρει:

- Αύξηση αξιοποίησης  
Λιγότερες συσκευές, υψηλότερη απόδοση και βελτιστοποιημένη ροή πακέτων

Βελτιωμένη πρόσβαση σε διακομιστές, αποθήκευση και εξοπλισμό δικτύου

Λιγότερος χρόνος αναμονής και μειωμένα σφάλματα κατά τη διάρκεια της δοκιμής και της αναδιάταξης

- Μείωση χρόνου

Εκτέλεση κινήσεων τοπολογίας, άμεση και αξιόπιστη αλλαγή.

Μείωση του χρόνου του προσωπικού και αποφυγή λαθών κατά τη διάρκεια της αναδιάταξης και της αντιμετώπισης προβλημάτων.

Αύξηση του χρόνου λειτουργίας, γρήγορη απομόνωση και επίλυση προβλημάτων.

- Εξοικονόμηση χρημάτων

Μείωση του κόστους κεφαλαίου με περισσότερο εξοπλισμό και εργαλεία.

Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας μέσω αυξημένων επιδόσεων και αυτοματοποίησης.

Μείωση του κόστους κεφαλαίου με επέκταση του χρόνου ζωής δαπανηρών εργαλείων δοκιμής.



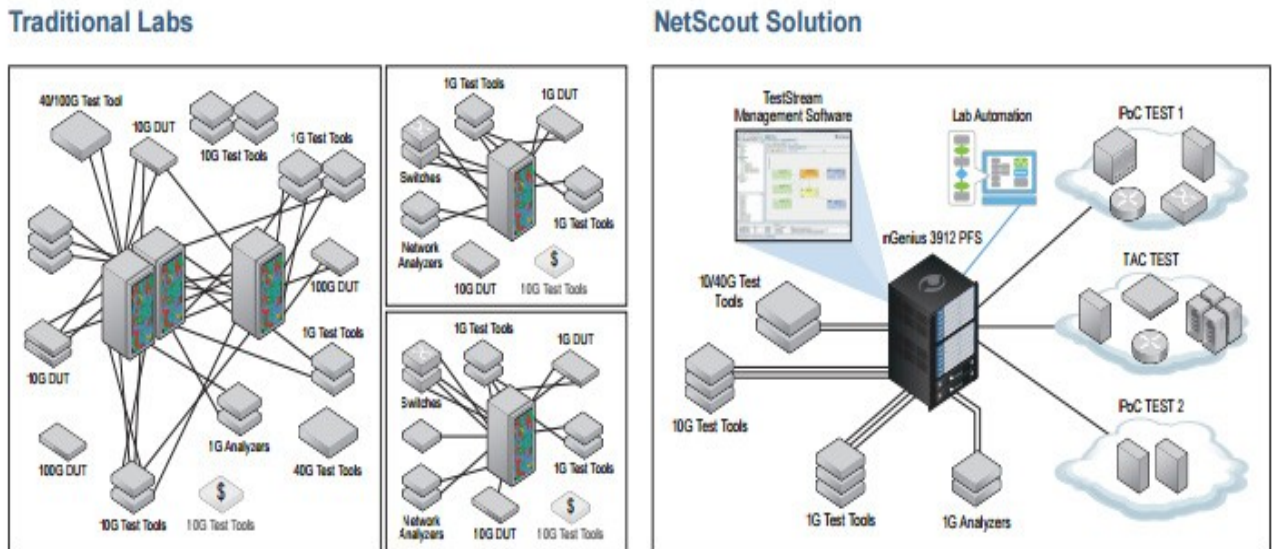


Figure 12. Παραδοσιακά εργαστήρια VS. Lab as a service

### 5.3 Quali Cloud Sandboxes Lab as a service

Το λογισμικό CloudShell Cloud Sandbox της Quali είναι μια πρωτοποριακή λύση LaaS που φέρει τα βασικά πλεονέκτημα του νέφους - αυτοεξυπηρέτηση, πολλά επίπεδα, αυτοματοποίηση και επεκτασιμότητα - στα εργαστήρια και στα δεδομένα προπαρασκευαστικών κέντρων. Το CloudShell μετατρέπει τα εργαστήρια σε ιδιωτικά σύννεφα αυτοεξυπηρέτησης. Οι τελικοί χρήστες διαμορφώνουν ταχέως και δημοσιεύουν τυποποιημένα σχέδια εργαστηριακής υποδομής: φυσικό εξοπλισμό, συνδεσιμότητα και εικονικοί πόροι.

Η έξυπνη αυτοματοποίηση του CloudShell χειρίζεται όλες τις προβλέψεις, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού συντήρησης, τη φόρτωση του λογισμικού, την ανάπτυξη των VM, τα εργαλεία δημιουργίας και την αυτοματοποίηση της συνδεσιμότητας του δικτύου.

Έως 1000 χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν την υπηρεσία, ενώ εξασφαλίζεται έλεγχος πρόσβασης, ανάλυση των πόρων και ανταλλαγή, αυτοματοποιημένο περιβάλλον, αποθήκευση και επαναφορά του συστήματος ([www.quali.com](http://www.quali.com)).

Τα βασικά χαρακτηριστικά της υπηρεσίας είναι:

- Μοντέλο οπτικού περιβάλλοντος  
Εύκολη μοντελοποίηση πολύπλοκων περιβαλλόντων εργαστηριακής υποδομής με μεταφορά και απόθεση πόρων από το εργαστήριο.  
Μοντέλα πλήρους στοίβας (full stack), συμπεριλαμβανομένων φυσικών, εικονικών και cloud πόρων, καθώς και συνδεσιμότητα δικτύου.
- Ηλεκτρονικός κατάλογος αυτοεξυπηρέτησης  
Δημοσίευση εργαστηριακών περιβαλλόντων ως σχεδιαγράμματα web-based καταλόγου που είναι προσβάσιμος οποτεδήποτε, οπουδήποτε.  
Άμεση και κατά παραγγελία ανάπτυξη των σχεδίων από πολλούς χρήστες ή ομάδες.
- Ευφυείς αυτοματισμοί  
Η αυτόματη παροχή εργαστηριακών περιβαλλόντων περιλαμβάνει εξοπλισμό διαμόρφωσης, φόρτωση firmware, παροχή δικτύων, εγκατάσταση δοκιμαστικών και άλλων εργαλείων και περιστροφή εικονικών μηχανών.  
Full Layer 1 αυτοματοποίηση σύνδεσης που επιτρέπει δυναμική επαναφορά της συνδεσιμότητας του εργαστηριακού εξοπλισμού.  
Η αυτόματη αποθήκευση και επαναφορά εξαλείφει την ανάγκη για εξοπλισμό συσσώρευσης και εργαστηριακούς πόρους.

Η εικονική αυτοματοποίηση κάνει την ανάπτυξη την ενσωμάτωσης πιο γρήγορη και εύκολο.

- Πρόσβαση και ενοποίηση απομακρυσμένων εργαστηρίων  
Επιτρέπεται σε πολλούς χρήστες και ομάδες να έχουν πρόσβαση σε εργαστηριακούς πόρους οποτεδήποτε, οπουδήποτε.  
Ένωση πολλαπλών εργαστηρίων σε ένα εργαστήριο.  
Βελτιστοποίηση πρόσβασης σε εργασιακούς πόρους ανεξαρτήτως γεωγραφικής θέσης.
- Βελτιστοποίηση πόρων  
Η αυτοματοποίηση βάσει πολιτικής εξαλείφει την εξάρτηση από ειδικές συσκευές, καθώς τα αφηρημένα εργαστηριακά περιβάλλοντα εξασφαλίζουν τη βέλτιστη επιλογή των εργασιακών πόρων.  
Η κοινή πρόσβαση στη φυσική υποδομή μεγιστοποιείται με χρήση πόρων σε εργαστήριο.  
Έξυπνη ανάλυση πόρων και ο προγραμματισμός τους εξασφαλίζει τη βέλτιστη χρήση του εργαστηριακού εξοπλισμού.
- Αναφορές και Analytics  
Παρέχονται διαδικτυακά, διαχειρίσιμα και αναλυτικά στοιχεία για άμεση παρακολούθηση στη χρήση των πόρων των εργαστηρίων.  
Παρακολουθείται ποιος και πώς χρησιμοποιεί τους πόροι και τον εξοπλισμό.

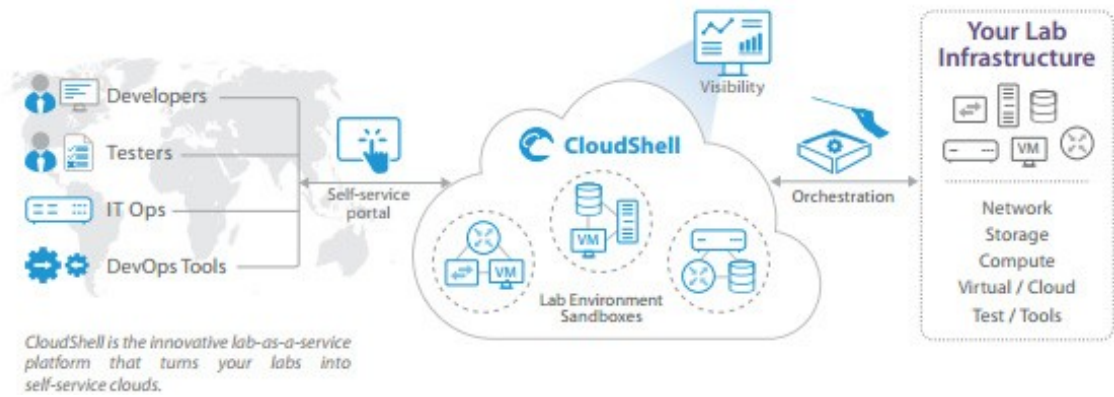


Figure 13. CloudShell LaaS

## 5.4 Open Source λύσεις

### 5.4.1 OpenContrail by Sandbox

Το OpenContrail είναι ένα έργο με άδεια χρήσης Apache 2.0 που κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα βασισμένα σε πρότυπα και παρέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για εικονικοποίηση δικτύου - ελεγκτή SDN, εικονικό δρομολογητή, μηχανισμό ανάλυσης και δημοσιευμένα APIs. Έχει ένα εκτεταμένο API REST για τη διαμόρφωση και συλλογή δεδομένων λειτουργίας και αναλύσεων από το σύστημα. Παράλληλα, το OpenContrail μπορεί να λειτουργήσει ως βασική πλατφόρμα δικτύου για την υποδομή του cloud. Οι κύριες πτυχές του συστήματος είναι:

**Εικονικοποίηση δικτύων:** Τα εικονικά δίκτυα αποτελούν το βασικό δομικό στοιχείο της προσέγγισης OpenContrail. Ο έλεγχος πρόσβασης, οι υπηρεσίες και η συνδεσιμότητα καθορίζονται μέσω πολιτικών υψηλού επιπέδου. Με την υλοποίηση της δρομολόγησης μεταξύ των δικτύων στο host, το OpenContrail μειώνει την καθυστέρηση για την κυκλοφορία των

εικονικών δικτύων. Η εξάλειψη των ενδιάμεσων πυλών βελτιώνει επίσης την ελαστικότητα και ελαχιστοποιεί την πολυπλοκότητα.

**Προγραμματισμός και Αυτοματισμοί Δικτύου:** Το OpenContrail χρησιμοποιεί ένα καλά καθορισμένο μοντέλο δεδομένων για να περιγράψει την επιθυμητή κατάσταση του δικτύου. Στη συνέχεια μεταφράζει αυτές τις πληροφορίες σε διαμόρφωση που απαιτείται από κάθε κόμβο ελέγχου και εικονικό δρομολογητή. Ορίζοντας τη διαμόρφωση του δικτύου σε σχέση με μια συγκεκριμένη συσκευή, το OpenContrail απλοποιεί και αυτοματοποιεί την ενορχήστρωση του δικτύου.

**Μεγάλα δεδομένα για υποδομή:** Ο κινητήρας της ανάλυσης έχει σχεδιαστεί για πολύ μεγάλης κλίμακας και διερεύνησης δομημένων και αδόμητων δεδομένων. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και τα ιστορικά δεδομένα είναι διαθέσιμα μέσω ενός απλού API REST, παρέχοντας προβολή σε μια μεγάλη ποικιλία πληροφοριών ([www.opencontrail.org](http://www.opencontrail.org)).

Το OpenContrail μπορεί να χρησιμοποιήσει τις περισσότερες τυπικές πλατφόρμες router ως πύλες σε εξωτερικά δίκτυα και μπορεί εύκολα να χωρέσει σε περιβάλλοντα παλαιού δικτύου. Το OpenContrail είναι αρθρωτό και ενσωματώνεται σε ανοικτές πλατφόρμες ενορχηστρώσεων cloud όπως OpenStack, Cloudstack και υποστηρίζεται αυτή τη στιγμή σε πολλαπλές διανομές Linux και hypervisors.

## **OpenContrail Governance**

Το OpenContrail είναι ένα έργο ανοικτού πηγαίου κώδικα που δεσμεύεται να προωθήσει την καινοτομία στη δικτύωση και να βοηθήσει στην προώθηση της υιοθέτησης του σύννεφου. Το OpenContrail παρέχει στους προγραμματιστές και τους χρήστες πρόσβαση σε μια πλατφόρμα έτοιμη για παραγωγή, η οποία κατασκευάζεται με αποδεδειγμένα, σταθερά, ανοικτά πρότυπα δικτύωσης και προγραμματισμό δικτύου. Σκοπός του έργου είναι η ενθάρρυνση της ουσιαστικής συμμετοχής από ένα ευρύ φάσμα συμμετεχόντων, συμπεριλαμβανομένων ατόμων και οργανισμών.

Το OpenContrail βρίσκεται στη διασταύρωση δικτύων και έργων ανοικτού κώδικα. Οι οργανισμοί μηχανικής δικτύωσης, όπως το IETF, δίνουν παραδοσιακά μεγάλη έμφαση στην ατομική συμμετοχή με βάση την αξία της συνεισφοράς τους. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί για οργανώσεις όπως το OpenStack με το οποίο το έργο contrail έχει ισχυρούς δεσμούς. Από αυτή τη στιγμή, το έργο OpenContrail επιτρέπει σε άτομα να υποβάλλουν συνεισφορές κώδικα μέσω του GitHub.

### **5.4.2 SauceLabs**

Το Sauce Labs είναι μια αυτοματοποιημένη πλατφόρμα δοκιμών που φιλοξενούνται σε cloud, web και κινητά, με έδρα το Σαν Φρανσίσκο της Καλιφόρνια. Η εταιρεία ιδρύθηκε από τον Steven Hazel, τον John Dunham και τον Jason Huggins, τον δημιουργό του Selenium, στο Σαν Φρανσίσκο τον Αύγουστο του 2008. Ο Huggins αναδείχτηκε από τον

InfoWorld ως ένας από τους κορυφαίους CTO του 2010 για το έργο του στο Sauce OnDemand.

Το εργαστήριο Sauce Labs επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν δοκιμές στο σύννεφο με περισσότερους από 700 διαφορετικές συνδυασμούς προγραμμάτων περιήγησης, λειτουργικών συστημάτων και συσκευών, παρέχοντας μια περιεκτική δοκιμαστική υποδομή για αυτοματοποιημένες και μη δοκιμές τόσο desktop όσο και κινητών εφαρμογών χρησιμοποιώντας πλαίσια δοκιμών μονάδων Selenium, Appium και JavaScript. Δεν απαιτούνται ρυθμίσεις VM ή συντήρηση, τα σημεία διακοπής είναι προσβάσιμα ενώ εκτελούνται οι δοκιμές που σας δίνουν τη δυνατότητα να διερευνήσετε ένα πρόβλημα με το χέρι. Το εργαστήριο Sauce Labs παρέχει επίσης ένα ασφαλές πρωτόκολλο δοκιμής, Sauce Connect, για τη δοκιμή εφαρμογών πίσω από τείχη προστασίας πελατών.

Σύμφωνα με το Forbes, τα εργαστήρια Sauce Labs υποστηρίζουν σήμερα περισσότερους από 500 συνδυασμούς πλατφορμών περιηγητή, λειτουργικού συστήματος και συσκευής. Η εταιρεία ανακοίνωσε πρόσφατα μια προσθήκη για το έργο JIRA της Atlassian και την έκδοση λογισμικού παρακολούθησης. Το εργαστήριο Sauce Labs έχει πελάτες ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών και παρόχων υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των Salesforce.com, Liberty Mutual, Bank of America, Twitter, PayPal, Yahoo!, Etsy, IHG, Intuit και άλλους (Vilkomir, 2012) ([www.saucelabs.com](http://www.saucelabs.com)).

## Πλεονεκτήματα

**A) Γρήγορη ανάπτυξη προγραμμάτων:** Το αυτοματοποιημένο σύννεφο δοκιμής του SauceLabs είναι βελτιστοποιημένο ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν δοκιμές για ιστότοπους και εφαρμογές κινητών παράλληλα και ώστε να επιταχυνθούν έως και 10 φορές.

**B) Αξιοποίηση υπαρχόντων εργαλείων:** Η πλατφόρμα είναι συμβατή για δοκιμές γραμμένες σε οποιαδήποτε γλώσσα και πλαίσιο. Οι χρήστες μπορούν χρησιμοποιήσουν οποιονδήποτε δρομέα δοκιμής μονάδας JS.

**Γ) Γρήγορα αποτελέσματα:** Παροχή πλήρους αναφοράς της εκτέλεσης με μεταδεδομένα, Selenium και εγγραφές κονσόλας, συμπεριλαμβανομένου ενός πλήρους καταλόγου εντολών και απαντήσεων στο τέλος κάθε δοκιμής.

**Δ) Συνεχής ενσωμάτωση:** Επίτευξη συνεχούς ολοκλήρωσης με καλύτερες γνώσεις σε κάθε διαδικασία κατασκευής και δοκιμής του λογισμικού, χρησιμοποιώντας προσθήκες για τα πιο δημοφιλή συστήματα CI.

**E) Ασφαλής έλεγχος στο cloud:** Η τεχνολογία ασφαλούς σήραγγας κρυπτογραφεί την κυκλοφορία δεδομένων μεταξύ των δοκιμών και του cloud για τη διατήρηση εμπιστευτικών δεδομένων σας. Τα VM μίας χρήσης καταστρέφονται μετά από κάθε εκτέλεση για κάθε δοκιμαστική συνεδρία.

### 5.5 Σύγκριση Υπηρεσιών

Τα βασικά χαρακτηριστικά όλων των υπηρεσιών που παρουσιάστηκαν και θα έπρεπε να διαθέτει κάθε πλατφόρμα φιλοξενίας εικονικών εργαστηρίων βρίσκονται στις στήλες του Πίνακα 11. Επίσης, προστέθηκε και η ιδιότητα του open source χαρακτήρα. Στην περίπτωση



των εμπορικών λύσεων συναντάμε κυρίως υποδομή για εικονικό έλεγχο (testing) εφαρμογών και προγραμμάτων και χρήση υπηρεσιών δικτύου. Με άλλα λόγια, δεν έχουν ακριβώς τον ίδιο σκοπό και στόχο όπως οι λύσεις για πανεπιστημιακά ιδρύματα. Σημαντικό είναι πως με όλες τις λύσεις που αναφέρονται υπάρχει σημαντική εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων για τους οργανισμούς από τη διατήρηση in-house συστημάτων εργαστηρίου. Η διαλειτουργικότητα, το να τρέχουν δηλαδή έλεγχοι είτε από διαφορετικές πλατφόρμες σε μία είτε από διαφορετικούς cloud παρόχους, είναι ένα χαρακτηριστικό που δεν ενσωματώνουν οι λύσεις. Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί πως κάθε πάροχος προσφέρει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας προκειμένου να διαφοροποιηθεί από τον ανταγωνισμό, όπως οι εξειδικευμένες υπηρεσίες χαρτοφυλακίου του NetScout που παρουσιάστηκαν και πιο πάνω. Στις open source λύσεις συναντά κανείς τα περισσότερα πλεονεκτήματα, με τη μείωση του κόστους να είναι το μεγαλύτερο, ενώ υπάρχει επίσης η ολοκληρωμένη πρόσβαση και η συνεισφορά από την κοινότητα.

**Πίνακας 1. Σύγκριση βασικών χαρακτηριστικών**

	<b>Open Source</b>	<b>Reduce time</b>	<b>Save Money</b>	<b>Testing</b>	<b>Networks</b>	<b>Interoperability</b>
<b>WWT</b>	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
<b>Quali Sandbox</b>	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι
<b>Netscout</b>	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι
<b>OpenContrail</b>	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
<b>SauceLabs</b>	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι

Ως προτεινόμενη και βέλτιστη λύση, θα προταθεί η λύση του SourceLabs καθώς λόγω του open source χαρακτήρα της και των πλεονεκτημάτων που φέρει και παρουσιάζονται στον πίνακα 2, θεωρούμε ότι είναι η βέλτιστη λύση για τους οργανισμούς.

	<b>Sauce Labs</b>	<b>Άλλες λύσεις</b>
--	-------------------	---------------------

<p>Πλήρης κάλυψη δοκιμών</p>	<p>Όλες οι ανάγκες των οργανισμών για αυτοματοποιημένες δοκιμές σε μια πλατφόρμα, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών στο Web, σε φυσικές, υβριδικές και κινητές εφαρμογές σε επιτραπέζιους υπολογιστές, σε προσομοιωτές κινητής τηλεφωνίας και πραγματικές συσκευές</p>	<p>Περιορισμένες δοκιμές εγγενούς εφαρμογής για κινητά ή περιορισμένη δυνατότητα αυτοματοποίησης των δοκιμών μόνο για Web</p>
<p>Φίλικό προς τις επιχειρήσεις</p>	<p>Εξυπηρέτηση πελατών με 24/7 υποστήριξη, επαγγελματικές υπηρεσίες και ολοκληρωμένα προγράμματα κατάρτισης</p>	<p>Συχνά είναι απλά «πλέγματα» με περιορισμένη υποστήριξη, χωρίς κατάρτιση, χωρίς διαχειριστές επιτυχίας πελατών ή επαγγελματικές υπηρεσίες</p>
<p>Open source</p>	<p>Συνεργασία με Selenium και Appium και υποστήριξη των τελευταίων εκδόσεων, ώστε να διευκολύνεται η μετάβαση από τις δοκιμές</p>	<p>Επεκτάσεις σε Selenium και Appium που κλειδώνουν και θα πρέπει να</p>

	που εκτελούνται στο εσωτερικό πλέγμα στο Sauce	τροποποιηθούν τα για να τρέξουν αλλού
Αυτόματοι testing experts	Η ολοκληρωμένη ενσωμάτωσή με πλατφόρμες CI / CD, η ολοκλήρωση JIRA με ένα κλικ και το ισχυρό API είναι το κλειδί για να εκτελούν οι χρήστες πάνω από 1,3 εκατομμύρια δοκιμές καθημερινά	Περιορισμένες ενσωματώσεις CI/CD που σημαίνει ότι απαιτείται περισσότερος χρόνος με χειροκίνητη ρύθμιση παραμέτρων και δοκιμές αντιμετώπισης προβλημάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα – Μελλοντικές Επεκτάσεις

Οι υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους έχουν εισβάλλει στις παραδοσιακές λειτουργίες των επιχειρήσεων, των οργανισμών και των χρηστών, αναδιαμορφώνοντάς τες και δίνοντας νέα ώθηση στις δυνατότητές τους. Η χρήση των εικονικών εργαστηρίων και των εργαστηρίων υπολογιστικού νέφους ως υπηρεσία αναπτύσσεται και υιοθετείται τόσο για τις ανάγκες των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων όσο και για επιχειρήσεις.

Στην περίπτωση των επιχειρήσεων οι εργαστηριακές υπηρεσίες παρέχουν αξία στις μικροεπιχειρήσεις με τρεις διαφορετικούς τρόπους: i) οι πολύ μικρές επιχειρήσεις εκτιμούν το ρόλο που διαδραματίζει το εργαστήριο στη διαδικασία καινοτομίας, ii) επωφελούνται από την υποστήριξη που μπορεί να προσφέρει και iii) οι υπηρεσίες εργαστηρίου επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα των προϊόντων ή υπηρεσιών των μικροεπιχειρήσεων και τις διαδικασίες καινοτομίας τους. Οι επιχειρήσεις αξιοποιούν τις λύσεις εικονικών εργαστηρίων καθώς μπορούν να λάβουν πολύτιμες γνώσεις από έναν εξωτερικό εταίρο που επικεντρώνεται στη διαδικασία καινοτομίας και η διαδικασία αυτή με τη σειρά της δίνει τη δυνατότητα σε αυτές να ενισχύσουν την ικανότητα καινοτομίας τους. Όσον αφορά τον πραγματικό αντίκτυπο των εργαστηριακών υπηρεσιών προς τις επιχειρήσεις, οι υπηρεσίες μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη προβολή, σε σύντομη αναπτυξιακή διαδικασία, βελτιωμένα προϊόντα και βελτιωμένη εκμάθηση και κατανόηση σχετικά με τις διαδικασίες καινοτομίας και τη συμμετοχή των χρηστών. Παράλληλα, τα εικονικά εργαστήρια υπολογιστικού νέφους που τους αφορούν παρέχουν κυρίως υπηρεσίες σχετικές με τη δικτύωση και τον έλεγχο προγραμμάτων προσφέροντάς τους λύσεις με μειωμένο κόστος και υψηλή απόδοση. Οι

open source λύσεις θεωρούνται καλύτερη επιλογή σε σχέση με άλλα εμπορικά πακέτα και από τη συγκριτική μελέτη που έγινε στην παρούσα εργασία προτείνεται αυτή της SourceLabs ως η βέλτιστη.

Όσον αφορά τα πανεπιστημιακά ιδρύματα, έχουν αναπτυχθεί open source λύσεις, είτε αυτόνομα είτε σε συνεργασία με μεγάλους παρόχους (όπως η IBM) με σκοπό τη διευκόλυνση των μαθημάτων, την παροχή απαραίτητης υποδομής στους σπουδαστές, τη διαξεγωγή πειραμάτων και εργασιών από απόσταση, ενώ παράλληλα υποστηρίζουν τους ερευνητές και το διοικητικό προσωπικό. Τα οφέλη για τους φοιτητές μπορούν να συνοψισθούν ως εξής: i) παροχή απομακρυσμένης πρόσβασης στα εργαστήρια σε διάφορους κλάδους της Επιστήμης και της Μηχανικής, ii) παρότρυνση των μαθητών να διεξάγουν πειράματα, προκαλώντας την περιέργειά τους. Αυτό θα τους βοηθήσει να μάθουν βασικές και προηγμένες έννοιες μέσω του πειραματισμού, iii) παροχή ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Εκμάθησης γύρω από τα Εικονικά Εργαστήρια όπου οι φοιτητές μπορούν να επωφεληθούν από τα διάφορα εργαλεία μάθησης, συμπεριλαμβανομένων πρόσθετων πόρων διαδικτύου, διαλέξεων βίντεο, κινούμενων επιδείξεων και αυτοαξιολόγησης, iv) διαμοιρασμός δαπανηρού εξοπλισμού και πόρων, οι οποίοι κατά τα άλλα είναι διαθέσιμοι σε περιορισμένο αριθμό χρηστών λόγω χρονικών και γεωγραφικών αποστάσεων.

Συνολικά, η ανάπτυξη υπολογιστών κινείται προς περιβάλλοντα με πολλές υπηρεσίες που παρέχονται μέσω πρόσβασης στο υπολογιστικό νέφος. Το VCL είναι μοναδικά κατασκευασμένο για να καλύπτει ανάγκες στην εκπαίδευση, καθώς και σε εμπορικές βιομηχανίες. Διαθέτει ικανότητες που απαιτούνται για την έρευνα και την υψηλή τεχνολογία συνδυασμένο σε μία εξαιρετικά προσαρμοσμένη, ευέλικτη, αποτελεσματική και επεκτάσιμη Υπολογιστική αρχιτεκτονική. Συνεπώς,

το μέλλον των εικονικών εργαστηρίων και των εργαστηρίων στο υπολογιστικό νέφος έχει πολλές προοπτικές. Πολλοί ερευνητές αλλά και πάροχοι υπηρεσιών νέφους θα στοχεύσουν σε ακόμη ποιοτικότερες υποδομές για cloud εργαστήρια, ενώ τα επόμενα χρόνια είναι βέβαιο ότι θα προκληθούν ουσιαστικές εξελίξεις στην τεχνολογική εργαστηριακή εκπαίδευση.

Μια πιθανή επέκταση της παρούσας έρευνας που αφορά τα εικονικά εργαστήρια, θα μπορούσε να αφορά συνεργατικά και ανοιχτά εργαστήρια. Τα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά ιδρύματα θα μπορούν να δημιουργούν ολοένα και περισσότερο «ανοικτά» εργαστήρια για την υποστήριξη της ομάδας εργασίας και της επίλυσης προβλημάτων, χρησιμοποιώντας κοινές cloud υποδομές, καθώς η υιοθέτηση μιας συλλογικής προσέγγισης ικανοποιείται καλύτερα από περιβάλλοντα που προωθούν τη διεπιστημονική ομαδική εργασία, όπου φοιτητές και ερευνητές θα ευδοκιμούν στην επίλυση προβλημάτων σε περιβάλλοντα που βασίζεται στην ομάδα και στη συνεργασία αξιοποιώντας υπηρεσίες Lab as a Service.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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.

Averitt, S., Bugaev, M., Peeler, A., Shaffer, H., Sills, E., Stein, S., ... & Vouk, M. (2007, May). Virtual computing laboratory (VCL). In *Proceedings of the International Conference on the Virtual Computing Initiative* (pp. 1-6).

Bochicchio, M. A., & Longo, A. (2011, October). Collaborative Web labs as a service: Challenges and opportunities. In *Global Online Laboratory Consortium Remote Laboratories Workshop (GOLC), 2011 First* (pp. 1-8). IEEE.

C. Gong, J. Liu, Q. Zhang, H. Chen and Z. Gong, (2010). "The Characteristics of Cloud Computing," *2010 39th International Conference on Parallel Processing Workshops*, San Diego, CA, pp. 275-279. doi: 10.1109/ICPPW.2010.45

Gruman, Galen (2008). "What Cloud computing really means". InfoWorld. Retrieved 2009-06-02

Kondo, D., Javadi, B., Malecot, P., Cappello, F., & Anderson, D. P. (2009). Cost-benefit analysis of cloud computing versus desktop grids. In *Parallel & Distributed Processing, 2009. IPDPS 2009. IEEE International Symposium on* (pp. 1-12). IEEE.

Rimal, B. P., Choi, E., & Lumb, I. (2009). A taxonomy and survey of cloud computing systems. *INC, IMS and IDC*, 44-51.

Peter Mell, Timothy Grance (2011). The NIST (National Institute of Standards and Technology) Definition of Cloud Computing

Dillon, T., Wu, C., & Chang, E. (2010, April). Cloud computing: issues and challenges. In *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2010 24th IEEE International Conference on* (pp. 27-33). Ieee..

Directive, E. U. (1995). 95/46/EC-The Data Protection Directive. *Official Journal of the European Communities*.

"Amazon Web Services About Us". (2011). [Amazon.com](http://Amazon.com). Retrieved 19 March 2017.

Amazon S3, Cloud Computing Storage for Files, Images, Videos. Amazon.com (2006-03-01). Retrieved 19 March 2017.

Microsoft Azure Solutions. [azure.microsoft.com](http://azure.microsoft.com). Retrieved 19 March 2017.

Council, I. A. (2012). Federal risk and authorization management program (FedRAMP).

Mather, T., Kumaraswamy, S., & Latif, S. (2009). *Cloud security and privacy: an enterprise perspective on risks and compliance*. " O'Reilly Media, Inc."

Buxmann, P., Hess, T., & Lehmann, S. (2008). Software as a Service. *Wirtschaftsinformatik*, 50(6), 500-503.

Dubey, A., & Wagle, D. (2007). Delivering software as a service. *The McKinsey Quarterly*, 6(2007), 2007.

SaaS (Software as a Service). [www.epset.gr](http://www.epset.gr). Retrieved 19 March 2017.

Creese, G., (2010). "SaaS vs. Software: The Release Cycle for SaaS Is Usually (Not Always) Faster". *Blog. Gartner*.

Castellina, N. (2011). SaaS and Cloud ERP Trends, Observations, and Performance 2011. *Analyst Inside*.

Benlian, A., & Hess, T. (2011). Opportunities and risks of software-as-a-service: Findings from a survey of IT executives. *Decision Support Systems*, 52(1), 232-246.

Padman, V., & Memon, N. (2002). Design of a virtual laboratory for information assurance education and research. In *Workshop on Information Assurance and Security* (Vol. 1, p. 1555).

Chang, W. Y., Abu-Amara, H., & Sanford, J. F. (2010). *Transforming enterprise cloud services*. Springer Science & Business Media.

Kumar, R., Gupta, N., Charu, S., Jain, K., & Jangir, S. K. (2014). Open source solution for cloud computing platform using OpenStack. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(5), 89-98.

Kumar, P., Devi, P., & Rohil, H. Cloud Computing based Computer Science Lab: Laboratory-as-a-Service.

Murphy, M. C., & McClelland, M. (2008). Computer Lab to Go: A “Cloud” Computing Implementation. In *Proc ISECON* (Vol. 2008, No. 11, pp. 1-10).

Bhardwaj, S., Jain, L., & Jain, S. (2010). Cloud computing: A study of infrastructure as a service (IAAS). *International Journal of engineering and information Technology*, 2(1), 60-63.

Rindos, A., Vouk, M., & Jararweh, Y. (2014). The virtual computing lab (vcl): an open source cloud computing solution designed specifically for education and research. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology (IJSSMET)*, 5(2), 51-63.

T. Anderson, L. Peterson, S. Shenker, J. Turner. (2005). Overcoming the Internet impasse through virtualization, *Computer* 38 (4), 34– 41.

Berman, M., Chase, J. S., Landweber, L., Nakao, A., Ott, M., Raychaudhuri, D., Ricci, R., & Seskar, I. (2014). GENI: A federated testbed for innovative network experiments. *Computer Networks*, 61, 5-23.

Mishra, A., Mathur, R., Jain, S., & Rathore, J. S. (2013). Cloud computing security. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 1(1), 36-39.

Stewart, D. W., & Kamins, M. A. (1993). *Secondary research: Information sources and methods* (Vol. 4). Sage.

Gall, M. D., Borg, W. R., & Gall, J. P. (1996). *Educational research: An introduction*. Longman Publishing.

Hart, C. (1998). *Doing a literature review: Releasing the social science research imagination*. Sage.

Khare R, Cutting D, Sitaker K, Rifkin A. Nutch: A flexible and scalable open-source web search engine. Oregon State University. 2004 Nov;1:32

Casson, A., & Hawthorn, L. (2011). Introducing the Oregon State University Open Source Lab. *Open Source Business Resource*

Udomprasert, P. S., Goodman, A. A., & Wong, C. (2012, August). WWT Ambassadors: WorldWide Telescope for Interactive Learning. In *Connecting People to Science: A National Conference on Science Education and Public Outreach* (Vol. 457, p. 149)

Vilkomir, S. (2012). Cloud testing: A state-of-the-art review. *Information & Security*, 28(2), 213