

# Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Συμβολαίων Παροχής Υπηρεσιών σε Περιβάλλοντα 5G

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΥΓΕΝΙΑ ΚΑΠΑΣΣΑ – ΑΜ: ΜΕ1742

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ | ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
Μεταπτυχιακό: Ψηφιακά Συστήματα & Υπηρεσίες  
Κατεύθυνση: Προηγμένα Πληροφοριακά Συστήματα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

---

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

**«Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Συμβολαίων Παροχής  
Υπηρεσιών σε Περιβάλλοντα 5G»**

**Ευγενία Καπασά**

**A.M.: ME1742**

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημοσθένης Κυριαζής, Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα Προηγμένα Πληροφοριακά Συστήματα.

Πειραιάς, 2019



UNIVERSITY OF PIRAEUS  
DEPARTMENT OF DIGITAL SYSTEMS

MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION SYSTEMS AND SERVICES

---

DIRECTION: ADVANCED INFORMATION SYSTEMS

**«Complete Service Level Agreements Management Framework in 5G  
Environments»**

**Evgenia Kapassa**

**A.M.: ME1742**

Supervisor:

Dimosthenis Kyriazis, Assistant Professor, University of Piraeus

Master Thesis submitted to the Department of Digital Systems of the University of Piraeus  
for the acquisition of Master Studies in Advanced Information Systems.

Piraeus, 201

## ***Επιτροπή***

Οι υπογράφοντες εξέτασαν τη διατριβή με τίτλο «Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Συμβολαίων Παροχής Υπηρεσιών σε Περιβάλλοντα 5G» που παρουσίασε η Ευγενία Καπασσά, υποψήφια για το πτυχίο Πληροφοριακά Συστήματα & Υπηρεσίες, και πιστοποιούν ότι είναι άξια αποδοχής.

---

*Ημερομηνία*

---

*Όνομα Επιβλέποντα*

---

*Ημερομηνία*

---

*Όνομα Μέλους*

---

*Ημερομηνία*

---

*Όνομα Μέλους*

*Αφιερωμένο στους γονείς μου, που σε όλα μου τα βήματα και τις προσπάθειες μου έδιναν κουράγιο, και σε εκείνους που με έκαναν, ο καθένας με τον δικό του ιδιαίτερο τρόπο, να αγαπήσω τον κλάδο της πληροφορικής και μου έμαθαν να μην τα παρατάω και να πιστεύω στις δυνατότητες και στην δύναμη μου...*

*Dedicated to my parents, who have been courageous in all my steps and efforts, and to those who have made me, in their own unique way, to love computer science and have taught me not to give up and believe in my abilities and inner strength ...*

*Με πολύ αγάπη, Ευγενία*

## *Ευχαριστίες*

Η παρούσα διπλωματική εργασία έρχεται σαν απόσταγμα μιάς πολύμηνης έρευνας, κατά την διάρκεια της οποίας είχα την πλήρη στήριξη του επιβλέπων καθηγητή μου, Κο Δημοσθένη Κυριαζή. Θέλω να τον ευχαριστήσω για την καθοδήγηση και την συμπαράσταση από την αρχή μέχρι το τέλος της προσπάθειας μου, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αλλά και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο μελέτης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Μάριο, που ήταν πλάι μου σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα για να με καθοδηγήσει, να με υποστηρίξει, να με εμπυρώσει, και να με βοηθήσει ψυχολογικά και πρακτικά, τόσο σαν συνεργάτη, όσο σαν φίλος και σύντροφος.

Θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου στο εργαστήριο 207, στο οποίο πραγματοποίησα την έρευνα μου, με τους οποίους δέθηκα τόσο μέσα από όμορφες όσο και από άσχημες καταστάσεις, ωρίμασα, έμαθα, γέλασα, μοιράστηκα ανησυχίες και άγχη. Τους ευχαριστώ που γέμισαν αυτό μου το ταξίδι με εμπειρίες.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους μου τους συνεργάτες στον ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα «5GTANGO», με τους οποίους συνεργάστηκα του τελευταίους μήνες, για τις πολύτιμες συμβουλές, κατευθυντήριες οδηγίες και γνώση που μου προσέφεραν. Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στον τεχνικό συντονιστή του προγράμματος, José Bonnet, ο οποίος με βοήθησε να εμβαθύνω στο αντικείμενο μου, και μέσα από τις πολύ-ωρες συζητήσεις μας, μου προσέφερε εποικοδομητική καθοδήγηση.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την κατανόηση που έδειξαν σε στιγμές αγωνίας, άγχους και αρκετών νεύρων από την μεριά μου, για την υποστήριξη κάθε είδους που μου παρείχαν, για την ανιδιοτελή υποστήριξη τους και για το ότι δεν έπαψαν ποτέ να πιστεύουν στις δυνατότητες μου.

*Σας ευχαριστώ όλους μέσα από την καρδιά μου,*

*Ευγενία*

## *Acknowledgements*

This diploma thesis comes as an outcome of a multi-month research, during which I had the full support of my supervising professor, Mr. Dimosthenis Kyriazis. I want to thank him for the guidance and support from the beginning, till the end of my effort, as well as for the trust he has shown me and the opportunity he has given me to deal with such an interesting subject.

Special thanks to Marios, who stood by my side in every difficulty i faced. He guided me, supported me, encouraged me, and helped me when I needed it the most, both as a friend, as a partner, and as a companion.

I also wanted to thank all my friends at the 207 lab, where I conducted my research, with whom I was bonded in good and bad times. I matured, learned, laughed but I also shared my bad moments and anxieties. I thus feel grateful for filling this trip up with some beautiful moments.

I would also like to thank all of my colleagues in the European research program "5GTANGO", with whom I have been working over the last few months, for the valuable advices, guidelines and knowledge that gained. I would like to thank the technical coordinator of the program, José Bonnet, who helped me to deep into my subject, and through our long conversations, he gave me constructive guidance.

Finally, I would like to thank my family for the understanding they showed in moments of agony, anxiety and a lot of nerves on my part, for their selfless support and for never stopping believe in my abilities.

*Thank you,  
Evgenia*

## Περίληψη

Τα δίκτυα 5G αποτελούν την επόμενη γενιά σύνδεσης κινητών συσκευών, και όχι μόνο, στο διαδίκτυο, προσφέροντας πιο γρήγορες ταχύτητες και πιο αξιόπιστες συνδέσεις. Σύμφωνα με τις τελευταίες έρευνες, τα περιβάλλοντα 5G θα μπορούν να προσφέρουν συνδέσεις κατά πολύ πιο γρήγορες από τις τρέχουσες συνδέσεις, με τις μέσες ταχύτητες λήψης στο 1Gbps, να θεωρούνται ο κανόνας.

Σε ένα τέτοιο αναδυόμενο περιβάλλον καθίστανται υποχρεωτικά τα αποτελεσματικά Συμβόλαια Παροχής Υπηρεσιών (SLA). Ένα SLA είναι ένα συμβόλαιο μεταξύ ενός παρόχου υπηρεσιών και των εσωτερικών ή εξωτερικών τελικών χρηστών του. Ο σκοπός του συμβολαίου είναι να εκφράσει ποσοτικά την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και να μεριμνήσει ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του πελάτη. Σημαντικό ρόλο στο εγχείρημα αυτό παίζει ο ρητός και σαφής καθορισμός των αναγκών και των απαιτήσεων τόσο του πελάτη, όσο και του παρόχου. Έτσι, η εγγύηση της απαιτούμενης ποιότητας υπηρεσιών στα δίκτυα 5G, και η αποτελεσματική κατανομή των πόρων της υποδομής, αποτελεί μία σημαντική πρόκληση. Ο λόγος αυτός οφείλεται στην περιορισμένη ποσότητα πληροφοριών που περνούν από το επίπεδο ελέγχου στο επίπεδο δεδομένων, με αποτέλεσμα την δυσκολία μετάφρασης των κατανοητών από τον χρήστη επιχειρηματικών όρων (π.χ. διαθεσιμότητα υπηρεσιών), σε χαρακτηριστικά πόρων χαμηλού επιπέδου (π.χ. CPU, RAM), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση πόρων στην υποδομή του κεντρικού δικτύου 5G.

Για να αντιμετωπιστούν οι παραπάνω προκλήσεις, η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει μια αρχιτεκτονική που μπορεί να υποστηρίξει τη διαχείριση ενός SLA καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας εικονικοποιημένης υπηρεσίας δικτύου σε περιβάλλοντα 5G. Το προτεινόμενο πλαίσιο διαχείρισης βασίζεται σε μια γενική προσέγγιση μαύρου κουτιού, προκειμένου να χαρτογραφηθούν υψηλού επιπέδου απαιτήσεις που εκφράζονται από τους πελάτες, σε χαμηλού επιπέδου παραμέτρους δικτύου, επιτρέποντας τη διασφάλιση της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας. Επιπλέον, ένα προσαρμοστικό πλαίσιο παρακολούθησης θα υποστηρίξει τη διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ένας προσαρμοστικός αλγόριθμος προγραμματισμού που στοχεύει στην απομάκρυνση του στατικού χρονικού διαστήματος που εφαρμόζεται στο σύστημα παρακολούθησης, με στόχο την παροχή υψηλής ακρίβειας πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να δημιουργείται περιττή κίνηση στο δίκτυο.

Εκτός από το ερευνητικό μέρος, στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε ένα πλαίσιο διαχείρισης SLA, το οποίο επιτρέπει τη διαχείριση ολόκληρου του κύκλου ζωής των SLA - από τη δημιουργία προτύπων έως την ανίχνευση παραβιάσεων. Παράλληλα, το πλαίσιο αξιολογήθηκε σε μια πραγματική πλατφόρμα εικονικοποιημένων υπηρεσιών, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το 5G, στοχεύοντας στην υποστήριξη και αλληλεπίδραση ενός καταναμημένου συνόλου χρηστών και πόρων.

Τέλος, η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με κάποιες σκέψεις για μελλοντική έρευνα και τις δυνατότητες της παρούσας μελέτης.



## ***Abstract***

5G networks are the next generation of mobile internet connectivity, delivering faster speeds and more reliable connections. According to latest researches, the 5G network will be able to provide much more fast connections than currently, with average download speeds around 1GBps, to be considered as the rule.

In such an emerging environment, efficient Service Level Agreements (SLA) management becomes mandatory. An SLA is a contract between a service provider and its internal or external end-users. The purpose of the contract is to guarantee the Quality of Service (QoS) provided, and to ensure that it meets the customer's requirements. An important role in this task is the explicit and clear definition of the needs and requirements of both the customer and the provider. Thus, guaranteeing the required QoS in 5G networks, and efficient allocation of infrastructure resources, is a challenge. The reason is the limited amount of information that passes from the control plane, to the data plane, resulting the difficulty of translating the customer-related business terms (e.g. availability of NS), into low-level resource parameters (e.g. CPU, RAM), which can be used to manage resources in the 5G Core network infrastructure.

To address the aforementioned challenges, we propose an architecture which can support the SLA management during a Network's Service (NS) lifecycle from the SLA Template generation to the violation detection. The proposed architecture is based in a generic black box approach in order to map high-level requirements expressed by users to low-level network parameters, enabling QoS provisioning. Furthermore, an adaptive monitoring framework will support the QoS assurance. We propose an adaptive scheduling algorithm, aiming at the removal of static time interval applied in the monitoring system, aiming to provide highly accurate information in real time without producing unnecessary traffic to the network.

Among with the research part, in the current Thesis it was also developed a prototype SLA Management Framework, that allows to manage the whole life-cycle of service level agreements - from template creation to violation detection. The implemented framework was evaluated in a real 5G enabled Service Platform, that aims to support the interaction between a distributed set of users and resources.

Finally, the Thesis concludes with some thoughts for future research and potentials for the current study.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....   | 13 |
| 1.1 | ΚΙΝΗΤΡΑ.....  | 13 |
| 1.2 | ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....                        | 14 |
| 1.3 | ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....                                     | 14 |
| 2   | Η ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ.....   | 15 |
| 3   | ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ.....    | 17 |
| 3.1 | ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....   | 17 |
| 3.2 | ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ.....                                 | 20 |
| 4   | ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ SLA.....                            | 24 |
| 4.1 | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ SLA.....                                      | 24 |
| 4.2 | ΤΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ SLA.....   | 24 |
| 4.3 | ΜΕΤΡΙΚΕΣ SLA.....   | 25 |
| 4.4 | ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΝΟΣ SLA.....   | 26 |
| 4.5 | ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΕΝΑ SLA.....                                      | 27 |
| 4.6 | ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ SLA ΣΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ.....                                  | 28 |
| 5   | ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 30 |
| 5.1 | ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕ ΓΝΩΜΟΝΑ ΤΟ ΠΕΛΑΤΗ.....                          | 30 |
| 5.2 | ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.....                                  | 30 |
| 5.3 | ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ.....  | 31 |
| 6   | ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ.....   | 32 |
| 6.1 | ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕΣΩ SLA.....                            | 32 |
| 6.2 | ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....                                  | 33 |
| 6.3 | ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΓΑ.....  | 34 |
| 6.4 | ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΕΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ.....                                       | 37 |
| 6.5 | ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ.....  | 39 |
| 7   | ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ SLA ΣΕ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....    | 41 |
| 7.1 | ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....                                 | 41 |
| 7.2 | ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ NFV.....  | 43 |
| 7.3 | ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ SLA.....  | 43 |
| 7.4 | ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ.....   | 57 |
| 7.5 | ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....   | 60 |
| 7.6 | ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....   | 60 |
| 8   | ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....  | 62 |
| 8.1 | ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....  | 62 |
| 8.2 | ΟΔΗΓΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....  | 63 |
| 8.3 | ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....                                     | 64 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 8.4 | ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ.....                   | 65 |
| 8.5 | ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΑ SLA ..... | 66 |
| 8.6 | ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Σ.....                        | 66 |
| 9   | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                        | 74 |
| 10  | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                         | 75 |
|     | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....                          | 78 |
|     | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....                          | 89 |

## ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ - ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

| Ακρωνύμιο | Αγγλική Ορολογία  | Ελληνική Ορολογία   |
|-----------|---|---|
| SLA       | Service Level Agreement   | Συμβόλαιο Παροχής Υπηρεσιών                                   |
| QoS       | Quality Of Service  | Ποιότητα Υπηρεσίας  |
| 5G        | 5th Generation Networks   | Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς   |
| ANN       | Artificial Neural Network   | Νευρωνικό Δίκτυο  |
| API       | Application Programming Interface                                 | Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών                             |
| BSS       | Business Support System   | Σύστημα Υποστήριξης Επιχειρήσεων                              |
| CLI       | Command Line Interface  | Διασύνδεση Γραμμής Εντολών                                    |
| CRUD      | Create, Read, Update, Delete                                      | Δημιουργία, Ανάγνωση, Ενημέρωση, Διαγραφή                     |
| Devops    | Development And Operations (Workflow And Organizational Concept)  | Ανάπτυξη Και Λειτουργίες (Ροή Εργασιών Και Οργανωτική Έννοια) |
| ETSI      | European Telecommunications Standards Institute (Sdo)             | Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων               |
| FSM       | Function Specific Manager   | Ειδικός Λειτουργός Διαχείρισης Λειτουργιών                    |
| FFNN      | Feed Forward Neural Network                                       | Νευρωνικό Δίκτυο Προώθησης Ροής                               |
| GUI       | Graphical User Interface  | Γραφικό Περιβάλλον Διεπαφής Χρήστη                            |
| KPI       | Key Performance Indicators  | Βασικοί Δείκτες Απόδοσης                                      |
| MANO      | Management and Orchestration (Layer Of The ETSI NFV Architecture) | Διαχείριση Και Ενορχήστρωση                                   |
| MEC       | Mobile Edge Computing   | Κινητή Υπολογιστική Στα Άκρα Του Δικτύου                      |
| MLPs      | Multi-Layered Perceptrons   | Πολυστρωματικά Perceptrons                                    |
| NFV       | Network Function Virtualization                                   | Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύου                            |
| NFVO      | Nfv Orchestrator (Component Of Mano)                              | Ενορχηστρωτής Εικονικοποίησης Λειτουργιών Δικτύου             |
| NS        | Network Service   | Υπηρεσία Δικτύου  |
| NSD       | Network Service Descriptor  | Περιγραφέας Υπηρεσίας Δικτύου                                 |
| OSM       | Open Source Mano  | Ανοιχτός Κώδικας Mano   |
| Pop       | Point Of Presence   | Σημείο Παρουσίας  |
| SDK       | Software Development Kit  | Κιτ Ανάπτυξης Λογισμικού                                      |
| SLO       | Service Level Objective   | Στόχος Επιπέδου Εξυπηρέτησης                                  |
| SP        | Service Platform  | Πλατφόρμα Εξυπηρέτησης Υπηρεσιών                              |
| SSM       | Service Specific Manager  | Ειδικός Διαχειριστής Υπηρεσίας                                |
| V&V       | Validation And Verification                                       | Επικύρωση Και Επαλήθευση                                      |
| VIM       | Virtual Infrastructure Manager (Component Of Mano)                | Διαχείριση Εικονικών Υποδομών (Συνιστώσα Του Mano)            |
| VM        | Virtual Machine   | Εικονική Μηχανή   |
| VN        | Virtual Network   | Εικονικό Δίκτυο   |
| VNF       | Virtual Network Function  | Λειτουργία Εικονικού Δικτύου                                  |
| VNFD      | Virtual Network Function Descriptor                               | Περιγραφέας Λειτουργιών Εικονικού Δικτύου                     |

|      |                                 |  |
|------|---------------------------------|--|
|      |                                 |  |
| VNFM | Vnf Manager (Component Of Mano) | Διαχειριστής Vnf (Συνιστώσα Του Mano)    |
| WIM  | Wan Infrastructure Manager      | Διαχειριστής Υποδομής Wan                |
| -    | Software                        | Λογισμικό                                |
| -    | Hardware                        | Υλικό Υπολογιστών                        |
| -    | Controller                      | Ελεγκτής                                 |
| -    | Management                      | Διαχείριση                               |
| -    | Virtualization                  | Εικονικοποίηση                           |
| -    | Service Provider                | Πάροχος Υπηρεσιών                        |
| -    | Network Operator                | Πάροχος Δικτύου                          |
| -    | Router                          | Δρομολογητής                             |
| -    | Switch                          | Μεταγωγέας                               |
| -    | Control Plane                   | Επίπεδο Ελέγχου                          |
| -    | Data Plane                      | Επίπεδο Δεδομένων                        |
| -    | Control Interface               | Διεπαφή Ελέγχου                          |
| -    | Software Defined Networks       | Δίκτυα Προγραμματιζόμενα Μέσω Λογισμικού |
| -    | Sdn Controllers                 | Ελεγκτές Προγραμματιζόμενων Δικτύων      |
| -    | 5g Radio Access Network         | 5g Ασύρματο Δίκτυο Πρόσβασης             |
| -    | 5g Core Network                 | 5g Δίκτυο Πυρήνα                         |
| -    | Endpoint                        | Ακραίο Σημείο                            |

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

|           |  |
|-----------|--|
| Εικόνα 1  | Αρχιτεκτονική SDN                                      |
| Εικόνα 2  | Πρωτόκολλο Openflow                                    |
| Εικόνα 3  | Αρχιτεκτονική NFV                                      |
| Εικόνα 4  | Μοντέλο Ποιότητας Υπηρεσιών                            |
| Εικόνα 5  | Κύκλος Ζωής SLA Σε 5G Περιβάλλοντα                     |
| Εικόνα 6  | Αρχιτεκτονική Προγράμματος SONATA                      |
| Εικόνα 7  | Αρχιτεκτονική Προγράμματος 5GTANGO                     |
| Εικόνα 8  | Αρχιτεκτονική Προγράμματος MATILDA                     |
| Εικόνα 9  | Αρχιτεκτονική OSM                                      |
| Εικόνα 10 | Αρχιτεκτονική ONAP                                     |
| Εικόνα 11 | Αρχιτεκτονική Netcracker                               |
| Εικόνα 12 | Αρχιτεκτονική NOKIA Cloudband                          |
| Εικόνα 13 | Αρχιτεκτονική Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης SLA |
| Εικόνα 14 | Πλαίσιο Διαχείρισης SLA                                |

|           |   |
|-----------|---|
| Εικόνα 15 | Δημιουργία Προτύπου SLA   |
| Εικόνα 16 | Χαρτογράφηση Απαιτήσεων   |
| Εικόνα 17 | Μοντέλο Δεδομένων Περιγραφέα SLA  |
| Εικόνα 18 | Ροή Εργασίας Δημιουργίας Προτύπων SLA                                   |
| Εικόνα 19 | Ροή Εργασίας Προσαρμογής Προτύπων SLA                                   |
| Εικόνα 20 | Ροή Εργασίας Επικύρωσης SLA – Μέρος 1 <sup>ο</sup>                      |
| Εικόνα 21 | Ροή Εργασίας Επικύρωσης SLA – Μέρος 2 <sup>ο</sup>                      |
| Εικόνα 22 | Ροή Εργασίας Επικύρωσης SLA – Μέρος 3 <sup>ο</sup>                      |
| Εικόνα 23 | Πλαίσιο Παρακολούθησης  |
| Εικόνα 24 | Αρχιτεκτονική Συστήματος Παρακολούθησης «Prometheus»                    |
| Εικόνα 25 | Διεπαφή Χρήστη Του Πλαισίου Παρακολούθησης «Grafana»                    |
| Εικόνα 26 | Διάγραμμα Διασύνδεσης Επιμέρους Vnf Της Υπηρεσίας «Communication Suite» |
| Εικόνα 27 | Ροή Εργασιών Μελέτης Περίπτωσης   |
| Εικόνα 28 | Δημιουργία Προτύπου SLA Μέσω Ιστοσελίδας Διαχείρισης                    |
| Εικόνα 29 | Επιλογή Χαμηλού Επιπέδου Πολιτικής Μέσω Ιστοσελίδας Διαχείρισης         |
| Εικόνα 30 | Εκκίνηση Λειτουργίας Υπηρεσίας Μέσω Της Ιστοσελίδας Διαχείρισης         |
| Εικόνα 31 | Εμφάνιση Παραβιάσεων SLA Μέσω Της Ιστοσελίδας Διαχείρισης               |
| Εικόνα 32 | Τερματισμός Υπηρεσίας Μέσω Της Ιστοσελίδας Διαχείρισης                  |

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

|           |  |
|-----------|--|
| Πίνακας 1 | Διεπαφές Προγραμματισμού Για Τα Πρότυπα SLA      |
| Πίνακας 2 | Διεπαφές Προγραμματισμού Για Τα SLA              |
| Πίνακας 3 | Διεπαφές Προγραμματισμού Για Τις Παραβιάσεις SLA |
| Πίνακας 4 | Διεπαφές Προγραμματισμού Διαχείρισης SLA         |
| Πίνακας 5 | Στόχοι Επιπέδου Υπηρεσίας                        |
| Πίνακας 6 | Αποτέλεσμα Χαρτογράφησης Απαιτήσεων              |

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα που πρόκειται να μελετήσουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία, ενώ περιγράφονται τα κίνητρα που ώθησαν στην μελέτη και έρευνα με το συγκεκριμένο θέμα, οι κύριοι στόχοι και ο σκοπός της εργασίας, συνοδευόμενοι από το πρόβλημα που καλούμαστε να λύσουμε. Επιπλέον, δίνεται μια σύντομη επεξήγηση της διάρθρωσης της εργασίας, στην οποία αναφέρονται τα κεφάλαια που περιέχει, με τα αντίστοιχα περιεχόμενα.

## 1.1 ΚΙΝΗΤΡΑ

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα έχουν γίνει ένα κρίσιμο κομμάτι της υποδομής κάθε κοινωνίας που τροφοδοτεί την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία. Οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται από τα σημερινά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα βασίζονται καθημερινά σε εκατομμύρια ανθρώπους. Αυτά τα δίκτυα και υπηρεσίες συνεχίζουν να εξελίσσονται, υποστηρίζοντας συνεχώς αυξανόμενο φόρτο εργασίας και αυξάνοντας την κυκλοφορία και την ποικιλομορφία των υποστηριζόμενων υπηρεσιών. Αυτή η εξέλιξη αναγκάζει τις υποκείμενες τεχνολογίες δικτύου να αλλάξουν, αυξάνοντας το επίπεδο προγραμματισμού και την ευελιξία της διαμόρφωσης, μειώνοντας παράλληλα το συνολικό κόστος που σχετίζεται με τις λειτουργίες του δικτύου. Σε ευθυγράμμιση με το όραμα των 5G δικτύων, αυτό ξεπερνά την απλή αύξηση της ταχύτητας ή της αξιοπιστίας του δικτύου και αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική μετατόπιση στην τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών, όπου το δίκτυο προσφέρει μοναδικά χαρακτηριστικά σε κάθε μία από τις εξελισσόμενες υπηρεσίες που υποστηρίζει. Το Δίκτυο Λογισμικού συνδυάζει τα δίκτυα που βασίζονται σε λογισμικό (SDN) και την εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV), με αποτέλεσμα να είναι ένας σημαντικός τομέας έρευνας και καινοτομίας [1]. Αυτές οι τεχνολογίες είναι απαραίτητες για την υποστήριξη πολλών πτυχών της αναμενόμενης λειτουργικότητας που προσφέρουν τα δίκτυα 5G. Η έκφραση «*Δίκτυα Λογισμικού*» αναφέρεται σε μια γενική μετατόπιση παραδείγματος στην αρχιτεκτονική τηλεπικοινωνιών από «πλαίσια» σε «λειτουργίες» και από «πρωτόκολλα» σε «API». Παράλληλα, η μετατόπιση αυτή οδηγεί επίσης σε σύγκλιση μεταξύ τηλεπικοινωνιακών υποδομών και υποδομών πληροφορικής, δημιουργώντας μια λύση πληροφορικής η οποία παρέχει μία πλατφόρμα υπηρεσιών, στην οποία εφαρμόζονται τα Δίκτυα Λογισμικού. Ενώ αυτή η ουσιαστική μετατόπιση των παραδειγμάτων φέρνει επανάσταση στην τηλεπικοινωνιακή επιχείρηση, υπάρχει επίσης μια μεγάλη κληρονομιά στους τηλεπικοινωνιακούς φορείς, με αποτέλεσμα να πρέπει να αποδειχθεί προσεκτικά το κατάλληλο πρόγραμμα μετάβασης προς την επιχειρησιακή υιοθέτηση των Δικτύων Λογισμικού. Είναι επίσης απαραίτητο να παρέχεται μια ευέλικτη πλατφόρμα υπηρεσιών που να μπορεί να υποστηρίζει τα λογισμικά δίκτυα σε μια σειρά από διαφορετικά επιχειρησιακά μοντέλα με διαφορετικά επίπεδα ωριμότητας [2].

Παράλληλα, τα Δίκτυα Λογισμικού μειώνουν τα εμπόδια εισόδου προς τις πλατφόρμες που παρέχουν απλές λειτουργίες εικονικού δικτύου (VNF) ή σύνθετες υπηρεσίες δικτύων (NSs). Αυτό συνεπάγεται την ανάγκη διεξαγωγής λεπτομερούς ελέγχου αυτών των υπηρεσιών και των προσόντων τους προτού προχωρήσουμε σε ανάπτυξη σε επιχειρησιακά περιβάλλοντα. Ακόμη περισσότερο, οι οντότητες τρίτων θα πρέπει να έχουν την άδεια να ελέγχουν ορισμένες πτυχές της παροχής υπηρεσιών, προκειμένου να παρέχουν εξειδικευμένες, κάθετες υπηρεσίες δικτύου. Αυτά μπορεί να υποδηλώνουν αντίστοιχες πτυχές ποιότητας υπηρεσιών (QoS) και ποιότητας εμπειρίας (QoE) μέσω Συμβολαίων Παροχής Υπηρεσιών (SLA) διατηρώντας τα επίπεδα εμπιστοσύνης.

## 1.2 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα δίκτυα 5G καθώς και τα δίκτυα προγραμματιζόμενα μέσω λογισμικού αποτελούν βασικό τομέα έρευνας και καινοτομίας. Οι πάροχοι δικτύων και υπηρεσιών προβλέπουν ότι έως το 2020, το 70% των δικτύων θα βασίζεται σε υποδομές Cloud, λειτουργίες εικονικού δικτύου, καθώς και ελεγκτές προγραμματιζόμενων δικτύων πολλαπλών τομέων [3]. Το 5G θεωρείται ότι είναι ένα δίκτυο πολλαπλών υπηρεσιών και πολλαπλών τομέων, υποστηρίζοντας ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων χρήσης, με διαφορετικές απαιτήσεις. Διάφορες εφαρμογές όπως η εικονική πραγματικότητα ή τα αυτόνομα οχήματα, απαιτούν τα αντίστοιχα SLAs, τα οποία καλύπτουν διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Για το σκοπό αυτό, υπάρχουν SLAs μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών και των πελατών. Οι πελάτες δηλώνουν τις επιθυμητές απαιτήσεις από μια συγκεκριμένη υπηρεσία, και ο πάροχος οφείλει βάση του SLA να τις φέρει εις πέρας. Οι απαιτήσεις των παρουσών υπηρεσιών καθορίζονται με βάση τους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPIs), όπως η απόδοση, η καθυστέρηση, η διαθεσιμότητα, η κάλυψη δικτύου κλπ. Πολλοί πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών μάλιστα, δηλώνουν πως δελεάζονται από υποσχέσεις ποιότητας υπηρεσιών όπως είναι η υψηλή αξιοπιστία του δικτύου, η αυξημένη χωρητικότητα, η διαθεσιμότητα, καθώς και η δυναμική κατανομή εύρους ζώνης που προσφέρεται από τα 5G Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης (5G RAN) και τα 5G Δίκτυα Πυρήνα (5G Core) [4].

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία είναι ο ρόλος μιας πλατφόρμας εξυπηρέτησης πάνω από το 5G Core δίκτυο, η οποία θα εξυπηρετεί τη χαρτογράφηση των απαιτήσεων υπηρεσίας που ορίζονται από τους πελάτες και των πολιτικών του εικονικοποιημένου δικτύου (δηλαδή, σε χαμηλού επιπέδου χαρακτηριστικά πόρων δικτύου) [5]. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι απαιτήσεις ποιότητας που υποβάλλονται από τους πελάτες δηλώνονται σε ένα SLA, καθίσταται απαραίτητο για τους παρόχους υπηρεσιών η εκτίμηση των απαραίτητων πόρων δικτύου, πριν ολοκληρωθεί η υπογραφή του συμβολαίου.

## 1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελείται από δέκα διαφορετικά κεφάλαια και δύο παραρτήματα. Στην αρχή κάθε κεφαλαίου υπάρχει μια εισαγωγή, όπου συνοψίζεται το περιεχόμενο του. Πιο συγκεκριμένα, τα κεφάλαια διαχωρίζονται ως εξής:

- Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή
- Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Η πορεία προς τα 5G δίκτυα
- Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Προγραμματιζόμενα δίκτυα και εικονικοποιημένες υπηρεσίες δικτύου
- Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Βασικές έννοιες και λειτουργίες των SLA
- Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Προκλήσεις και απαιτήσεις για την κατάλληλη κατανομή πόρων δικτύου
- Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : Υφιστάμενες λύσεις
- Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> : Σύστημα διαχείρισης SLA σε εικονικοποιημένη πλατφόρμα υπηρεσιών
- Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup> : Μελέτη περίπτωσης
- Κεφάλαιο 9<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα
- Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> : Βιβλιογραφία
- Παράρτημα Α : Παράδειγμα σχήματος και περιγραφέα εικονικοποιημένης υπηρεσίας δικτύου
- Παράρτημα Β : Παράδειγμα σχήματος και περιγραφέα SLA



## 2 Η ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ

Το ασύρματο δίκτυο 5ης γενιάς ή αλλιώς 5G, αναμένεται να κυκλοφορήσει το 2020, και είναι το κινητό δίκτυο για το διαδίκτυο των πραγμάτων (*Internet of Things*) και των μεγάλων δεδομένων (*Big Data*). Παρόλο που δεν έχει οριστεί τυπικό πρότυπο για το 5G, οι συνδέσεις 5G θα βασίζονται στην εμπειρία των χρηστών, την απόδοση του συστήματος, τις βελτιωμένες υπηρεσίες, τα επιχειρηματικά μοντέλα και τις λειτουργίες διαχείρισης και λειτουργίας. Οι ερευνητές προβλέπουν ότι το 5G θα είναι τρεις φορές πιο γρήγορο από το τρέχον πρότυπο 4G. Παρακάτω, παρουσιάζεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή στα δίκτυα και την πορεία τους προς τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς [6].

**Η πρώτη γενιά (1G)** του ασύρματου προτύπου κυκλοφόρησε αρχικά στο Τόκιο το 1973, και έως το 1984 εξαπλώθηκε σε ολόκληρη την Ιαπωνία από το Nippon Telegraph and Telephone. Το 1983, οι ΗΠΑ ξεκίνησαν το πρώτο δίκτυο 1G χρησιμοποιώντας το κινητό τηλέφωνο Motorola DynaTAC, με άλλες χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και τον Καναδά να ακολουθούν λίγα χρόνια αργότερα.

**Η δεύτερη γενιά (2G)** εμπορικά ξεκίνησε από το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (*GSM*) στη Φινλανδία το 1991, και έφερε ένα ασύρματο πρότυπο πολύ ανώτερο από ό, τι είχε να προσφέρει η πρώτη γενιά. Με σημαντικά καλύτερες ασύρματες συνδέσεις, το 2G παρείχε για πρώτη φορά υπηρεσίες δεδομένων για κινητά, συμπεριλαμβανομένων μηνυμάτων SMS και ψηφιακά κρυπτογραφημένων συνομιλιών. Σημαντικά οφέλη στο δεύτερο πρότυπο μπορούσαν να εντοπιστούν στην ποιότητα των ψηφιακών φωνητικών κλήσεων, με σημαντική μείωση του στατικού θορύβου και του ραγισμένου φόντου. Αλλά ακόμα σημαντικότερο, το 2G επέτρεψε μια τεράστια πολιτισμική μεταστροφή. Τα μηνύματα κειμένου, τα εικονομηνύματα και τα μηνύματα πολυμέσων (MMS) έγιναν εφικτά, δημιουργώντας έναν εντελώς νέο τρόπο επικοινωνίας. Η αλλαγή αυτή στο ψηφιακό σύστημα σήμαινε ότι εκπέμφθηκαν μικρότερες ποσότητες ραδιοφωνικών σημάτων, πράγμα που σημαίνει ότι το φάσμα του τηλεφώνου μειώθηκε, με αποτέλεσμα την ανάγκη για περισσότερους κινητούς πύργους κυψελών σε μικρότερη περιοχή.

**Η τρίτη γενιά (3G)** ήταν διαθέσιμη στην Ιαπωνία, τον Οκτώβριο του 2001, και το 2003 στο Ηνωμένο Βασίλειο, με κάποιες καθυστερήσεις λόγω της διαθεσιμότητας κινητών τηλεφώνων με δυνατότητα 3G. Η Hutchison Whamroa, η οποία κατέχει το κινητό δίκτυο «*Three*», ξεκίνησε το 2003 να παρέχει ένα από τα πρώτα κινητά τηλέφωνα 3G, και σύμφωνα με το BBC, τα τηλέφωνα της θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για «τηλεδιάσκεψη και κλιπ από ποδοσφαιρικούς αγώνες». Όπως η δεύτερη γενιά έκανε στη πρώτη, το 3G πρόσφερε ένα ανώτερο επίπεδο σύνδεσης από τον προκάτοχό του 2G. Οι χρήστες 3G ήταν σε θέση να χρησιμοποιούν υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας, να παρακολουθούν κινητές τηλεοράσεις, να συμμετέχουν σε τηλεδιάσκεψη και να παρακολουθούν βίντεο κατόπιν αιτήματος.

**Η τέταρτη γενιά (4G)** εισήχθη για πρώτη φορά στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2012, με την Ευρωπαϊκή Ένωση να παρέχει υπηρεσίες 4G σε 11 μεγάλες πόλεις, όπως το Λονδίνο, το Μάντσεστερ, το Μπρίστολ, το Μπέρμιγχαμ, το Κάρντιφ, το Εδιμβούργο, το Λιντς, το Λίβερπουλ, το Σέφιλντ, τη Γλασκόβη και το Σαουθάμπτον. Τη στιγμή της εκτόξευσής της, η ΕΕ δήλωσε ότι το δίκτυο 4G θα προσφέρει ταχύτητες έως 12Mbps, πέντε φορές πιο γρήγορο από την προηγούμενη γενιά.

**Η πέμπτη γενιά (5G)** παρόλο που δεν είναι ακόμη εμπορικά διαθέσιμη, είναι συνδεδεμένη με πολύ ταχύτερο ρυθμό από ό, τι ο προκάτοχός της 4G και έχει τη ικανότητα να δώσει μεγάλες δυνατότητες σε βιομηχανίες δεδομένων, όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων και τα έξυπνα σπίτια ή πόλεις. Λέγεται ότι το 5G προσφέρει απεριόριστες ποσότητες δεδομένων σε *gigabyte* ανά μήνα και χρήστη, οι οποίες θα μπορούσαν να επιτρέψουν στους χρήστες να μεταδώσουν μεγάλους όγκους μέσω υψηλής ευκρίνειας, μέσω μίας κινητής συσκευής η οποία είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο. Είναι εμφανές πως

η χρηστικότητα και τα χαρακτηριστικά αυτού του κυψελοειδούς συστήματος είναι πολύ πέρα από τις προσδοκίες των ανθρώπων. Με την εξαιρετικά υψηλή ταχύτητά του, θα φέρει επανάσταση στην έννοια της «χρηστικότητας του κινητού τηλεφώνου». Εκτός από την ελάχιστη καθυστέρηση, η τεχνολογία 5G προσφέρει περισσότερες επιλογές παιχνιδιών και πολυμέσων. Χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των αρχείων, η τεχνολογία 5G προωθεί την αδιάκοπη ανταλλαγή βίντεο υψηλής ποιότητας, ήχων και άλλων αρχείων πολυμέσων. Διαθέτει ευρύ φάσμα εφαρμογών, με ταχύτητα σχεδόν 10 Gbps, ταχύτερο χρόνο απόκρισης, μεγαλύτερες επιλογές λογισμικού για αναβάθμιση, καθολική συνδεσιμότητα και μεγαλύτερη χωρητικότητα.

### 3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε θέματα εικονικοποίηση που πρέπει να γνωστοποιηθούν ώστε να γίνει κατανοητή η παρούσα διπλωματική εργασία. Συγκεκριμένα περιγράφονται λεπτομερώς τα δίκτυα προγραμματιζόμενα μέσω λογισμικού και η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύων, καθώς και τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις που παρουσιάζουν.

#### 3.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

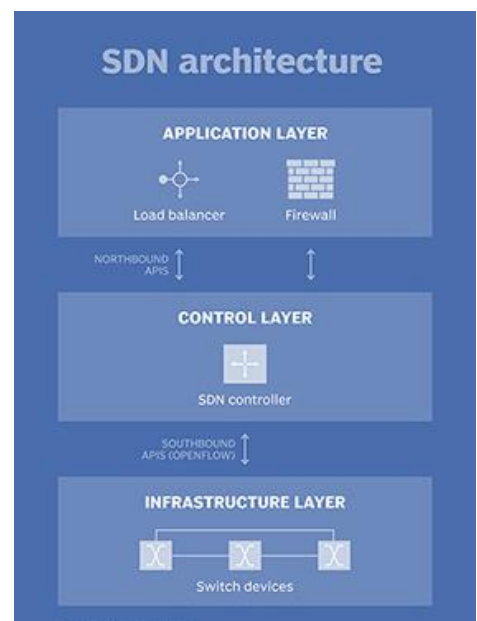
##### 3.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Τα προγραμματιζόμενα δίκτυα μέσω λογισμικού, ακολουθούν μια αρχιτεκτονική που στοχεύει να καταστήσει τα δίκτυα ευέλικτα. Κύριως στόχος τους είναι να βελτιώσουν τον έλεγχο του δικτύου, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις και στους παρόχους υπηρεσιών να ανταποκρίνονται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές απαιτήσεις. Σε ένα δίκτυο προγραμματισμένο από λογισμικό, ένας μηχανικός δικτύου ή ένας διαχειριστής δικτύου μπορεί να διαμορφώσει την κυκλοφορία από μια κεντρική κονσόλα ελέγχου χωρίς να χρειαστεί να αγγίξει μεμονωμένους διακόπτες στο δίκτυο. Ο κεντρικός ελεγκτής προγραμματιζόμενου δικτύου κατευθύνει τους διακόπτες ώστε να παρέχουν υπηρεσίες δικτύου όποτε χρειάζονται, ανεξάρτητα από τις συγκεκριμένες συνδέσεις μεταξύ του διακομιστή και των συσκευών. Μέσω αυτής της διαδικασία απομακρυνόμαστε από την παραδοσιακή αρχιτεκτονική του δικτύου, στην οποία μεμονωμένες συσκευές δικτύου λαμβάνουν αποφάσεις κυκλοφορίας βάσει των διαμορφωμένων πινάκων δρομολόγησης τους [7].

##### 3.1.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Μια τυπική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής δικτύων προγραμματιζόμενων μέσω λογισμικού, περιλαμβάνει τρία βασικά επίπεδα: το επίπεδο εφαρμογής, το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο υποδομής [8]. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται συνοπτικά η αρχιτεκτονική ενός δικτύου προγραμματιζόμενου από λογισμικό.

- **Το επίπεδο εφαρμογής – Application Layer** αποτελείται από τις τυπικές εφαρμογές δικτύου ή από λειτουργίες που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν συστήματα ανίχνευσης εισβολών, εξισορρόπηση φορτίου ή τείχη προστασίας. Ενώ ένα παραδοσιακό δίκτυο χρησιμοποιεί μια εξειδικευμένη συσκευή, όπως ένα τείχος προστασίας ή εξισορρόπησης φορτίου, ένα δίκτυο προγραμματισμένο από λογισμικό αντικαθιστά την εν λόγω συσκευή με μια εικονικοποιημένη εφαρμογή ή υπηρεσία, η οποία εκμεταλλεύεται τον ελεγκτή για τη διαχείριση της συμπεριφοράς του επιπέδου δεδομένων.
- **Το επίπεδο ελέγχου – Control Layer** αντιπροσωπεύει το κεντρικό λογισμικό του ελεγκτή του δικτύου, που λειτουργεί ως ο εγκέφαλος του καθορισμένου από το



Εικόνα 1 – Αρχιτεκτονική SDN

λογισμικό δίκτυο. Ο ελεγκτής βρίσκεται σε ένα διακομιστή και διαχειρίζεται τις πολιτικές και τη ροή της κυκλοφορίας σε όλο το δίκτυο.

- **Το επίπεδο υποδομής** αποτελείται από τους φυσικούς διακόπτες του δικτύου.

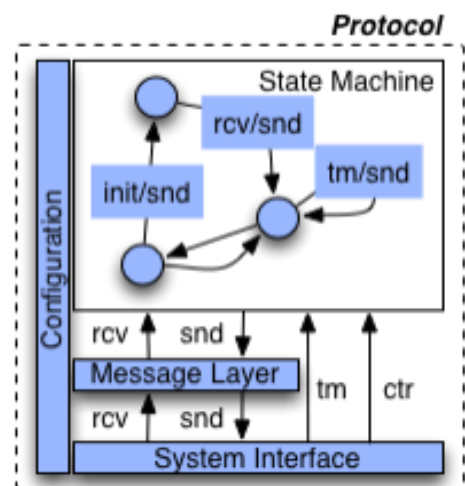
Τα προαναφερθέντα τρία επίπεδα, επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογής (APIs) στο βορρά (*northbound API*) και στο νότο (*southbound API*). Για παράδειγμα, οι εφαρμογές μιλούν στον ελεγκτή μέσω της διασύνδεσής του στο βορρά, ενώ ο ελεγκτής και οι διακόπτες επικοινωνούν χρησιμοποιώντας συνδέσεις προς νότο, μέσω για παράδειγμα του πρωτοκόλλου OpenFlow [9,10]. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει τυπικό πρότυπο για το API του βόρειου ελέγχου του ελεγκτή, όπως υπάρχει για το νότιο το OpenFlow [xxx], ως γενική διεπαφή. Ένα ευρέως διαδεδομένο API ωστόσο, είναι αυτό του NorthDaylight, του ελεγκτή του OpenDaylight [11].

### 3.1.2.1 OPENFLOW

Το OpenFlow είναι ένα σύνολο προδιαγραφών που τηρούνται από το Open Foruming Forum (ONF). Στον πυρήνα των προδιαγραφών αυτών είναι ο ορισμός μιας αφηρημένης μηχανής επεξεργασίας πακέτων, που ονομάζεται διακόπτης. Ο διακόπτης επεξεργάζεται τα πακέτα χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό περιεχομένων πακέτων και την κατάσταση διαμόρφωσης του διακόπτη. Για τον χειρισμό της κατάστασης διαμόρφωσης του διακόπτη καθώς και για την λήψη ορισμένων συμβάντων διακοπών, καθορίζεται ένα πρωτόκολλο. Τέλος, ένας ελεγκτής είναι ένα στοιχείο που «μιλάει» το πρωτόκολλο. Ωστε να διαχειριστεί την κατάσταση διαμόρφωσης πολλών διακοπών και να ανταποκριθεί στα συμβάντα. [12]

Το πρωτόκολλο OpenFlow χωρίζεται στο επίπεδο μηνύματος, στη μηχανή κατάστασης, στην διεπαφή συστήματος και στην διαμόρφωση. Η Εικόνα 2 απεικονίζει αυτά τα στοιχεία και την αλληλεπίδρασή τους.

- **Το επίπεδο μηνύματος (Message Layer)** είναι ο πυρήνας της στοίβας πρωτοκόλλου, καθώς ορίζει την έγκυρη δομή και τη σημασιολογία για όλα τα μηνύματα. Ένα τυπικό επίπεδο μηνύματος υποστηρίζει τη δυνατότητα κατασκευής, αντιγραφής, σύγκρισης, εκτύπωσης και χειρισμού μηνυμάτων.
- **Η μηχανή κατάστασης (State Machine)** ορίζει τη βασική συμπεριφορά χαμηλού επιπέδου του πρωτοκόλλου. Συνήθως, χρησιμοποιείται για να περιγράψει δράσεις όπως η διαπραγμάτευση, η ανακάλυψη δυνατοτήτων, ο έλεγχος ροής κλπ.
- **Η διεπαφή του συστήματος (System Interface)** ορίζει πώς αλληλεπιδρά το πρωτόκολλο με τον έξω κόσμο. Συνήθως προσδιορίζει απαραίτητες και προαιρετικές διεπαφές μαζί με την προβλεπόμενη χρήση τους, όπως τα TLS και TCP ως κανάλια μεταφοράς.
- **Η διαμόρφωση (Configuration)** μπορεί να καλύψει οτιδήποτε από τα προεπιλεγμένα μεγέθη του buffer και τα διαστήματα απάντησης στα πιστοποιητικά X.509, καθώς σχεδόν όλες οι πτυχές του πρωτοκόλλου έχουν διαμορφώσεις ή αρχικές τιμές.



Εικόνα 2 - Πρωτόκολλο Openflow

### 3.1.2.2 OPENDAYLIGHT

Το OpenDaylight (ODL), είναι ένα έργο ανοικτού κώδικα που στοχεύει στην ενίσχυση της δικτύωσης που έχει καθοριστεί από τα δίκτυα προγραμματιζόμενα από λογισμικό, προσφέροντας ένα πλαίσιο που υποστηρίζεται τόσο από την κοινότητα όσο και από τη βιομηχανία. Δεδομένου ότι η πλατφόρμα OpenDaylight προσφέρει πολλαπλά πρωτόκολλα, οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν έναν ελεγκτή για να καλύψουν κάθε είδος ανάγκης. Αυτή η προσέγγιση δίνει στους διαχειριστές δικτύων τη δυνατότητα να επιλέγει ένα μοναδικό πρωτόκολλο ή να επιλέγει πολλαπλά πρωτόκολλα για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων.

Ο ελεγκτής OpenDaylight εκθέτει τα ανοικτά API του βορρά, μέσω του NorthDaylight, τα οποία χρησιμοποιούνται από τις εφαρμογές. Οι εφαρμογές χρησιμοποιούν τον ελεγκτή για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με το δίκτυο, την εκτέλεση αλγορίθμων για τη διεξαγωγή αναλυτικών στοιχείων και, στη συνέχεια, τη χρήση του OpenDaylight ελεγκτή για τη δημιουργία νέων κανόνων σε όλο το δίκτυο.

### 3.1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Με τα προγραμματιζόμενα μέσω λογισμικού δίκτυα, ένας διαχειριστής μπορεί να τροποποιήσει οποιονδήποτε κανόνα του διακόπτη δικτύου, όποτε αυτό κρίνεται απαραίτητο. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο επειδή επιτρέπει στον διαχειριστή δικτύου να διαχειρίζεται το φορτίο κυκλοφορίας με ευέλικτο και αποτελεσματικό τρόπο. Ουσιαστικά, αυτό επιτρέπει στον διαχειριστή να χρησιμοποιεί λιγότερο δαπανηρούς διακόπτες και να έχει περισσότερο έλεγχο της ροής δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Επιπλέον, με την έλευση των προγραμματιζόμενων δικτύων, ο διαχειριστής δικτύου πρέπει να ασχολείται μόνο με έναν κεντρικό ελεγκτή για τη διανομή πολιτικών στους συνδεδεμένους διακόπτες, αντί για τη διαμόρφωση πολλών επιμέρους συσκευών. Αυτή η δυνατότητα είναι επίσης ένα πλεονέκτημα ασφαλείας, καθώς ο ελεγκτής μπορεί να παρακολουθεί την κυκλοφορία και να αναπτύσσει πολιτικές ασφάλειας πολύ πιο εύκολα και άμεσα. Παράλληλα, μέσω της εικονικοποίησης που προσφέρουν τα προγραμματιζόμενα μέσω λογισμικού δίκτυα, παρατηρείται σημαντική μείωση των λειτουργικών εξόδων. Επιπλέον, η δικτύωση που έχει καθοριστεί από το λογισμικό συνέβαλε στην εμφάνιση τεχνολογίας ευρείας περιοχής (SD-WAN) καθορισμένης από το λογισμικό. Το SD-WAN χρησιμοποιεί την εμφάνιση εικονικής επικάλυψης της τεχνολογίας προγραμματιζόμενων δικτύων, αφαιρώντας τους συνδέσμους σύνδεσης ενός οργανισμού σε όλο το WAN, δημιουργώντας ένα εικονικό δίκτυο που μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σύνδεση που ο ελεγκτής κρίνει κατάλληλη.

### 3.1.4 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, τα προγραμματιζόμενα δίκτυα μέσω λογισμικού είναι ένα ελκυστικό παράδειγμα αρχιτεκτονικής δικτύου. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή τους είναι γεμάτη προκλήσεις. Ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις προκύπτουν από την τροπή της αρχιτεκτονικής του δικτύου προς την εικονικοποίηση, με αποτέλεσμα να επανεξετάζονται συγκεκριμένοι στόχοι, όπως είναι η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα [13]. Η τεχνολογία των προγραμματιζόμενων δικτύων μέσω λογισμικού, προέκυψε με πολλή δημοσιότητα γύρω στο 2011, μαζί με το πρωτόκολλο OpenFlow. Από τότε, η υιοθέτηση ήταν σχετικά αργή, ιδίως μεταξύ των επιχειρήσεων που έχουν μικρότερα δίκτυα και λιγότερους πόρους. Επίσης, πολλές επιχειρήσεις αναφέρουν ότι το κόστος ανάπτυξης του τέτοιου είδους δικτύων αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα. Κύριοι υιοθετώντες του ωστόσο, περιλαμβάνουν οι πάροχοι υπηρεσιών, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, οι τηλεπικοινωνίες, και εταιρείες κολοσσοί, όπως το Facebook και η Google, οι οποίες διαθέτουν όλα τα μέσα για να αντιμετωπίσουν και να συμβάλουν σε μια αναδύομενη τεχνολογία.

## 3.2 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

### 3.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών, η Εικονικοποίηση Δικτυακών Λειτουργιών (NFV) είναι μία αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες εικονικοποίησης για να εξομοιώσει λειτουργίες κόμβων δικτύων σε δομικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, με στόχο να δημιουργήσουν υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι με τον όρο «εικονικοποίηση», εννοούμε την τεχνολογία με την οποία τα φυσικά συστήματα μετατρέπονται σε ιδεατά, δηλαδή σε Εικονικές Μηχανές (EM). Κάθε φυσικός πόρος (επεξεργαστική ισχύς, μνήμη, δίκτυο, storage κλπ.) γίνεται ένας ενιαίος πόρος και μοιράζεται ταυτόχρονα σε πολλά εικονικά συστήματα [14].

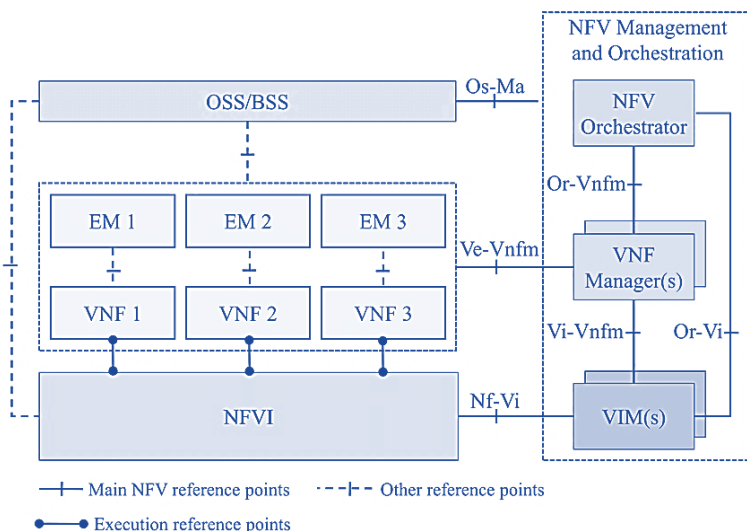
### 3.2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η Εικονικοποίηση Δικτυακών Λειτουργιών αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Κατάλληλος εξοπλισμός υλικού
- Λογισμικό εικονικοποίησης - hypervisor
- Λογισμικό διαχείρισης

Σημαντικό σε αυτό το σημείο είναι πως με την εικονικοποίηση, ο εξοπλισμός διαχωρίζεται από το λογισμικό. Ο hypervisor είναι ένα νέο επίπεδο εικονικοποίησης μεταξύ του υλικού και του λογισμικού, που ενοποιεί τους φυσικούς πόρους και τους διαμοιράζει στις εικονικές μηχανές. Οι εικονικές μηχανές συνεχίζουν να νομίζουν ότι επικοινωνούν απευθείας με το υλικό, αλλά στην πραγματικότητα επικοινωνούν με το επίπεδο εικονικοποίησης. Αυτό επιτρέπει τη μετακίνηση επεξεργαστικής ισχύος, μνήμης ή/και αποθήκευσης από μία εικονική μηχανή σε μία άλλη, εν ώρα λειτουργίας και ανάλογα με τις ανάγκες της υποδομής. Το αποτέλεσμα είναι η καλύτερη εκμετάλλευση των πόρων, μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και φυσικού χώρου και ευκολότερη διαχείριση της υποδομής.

Η αρχιτεκτονική αποτελεί πρότυπο μέσω της Ομάδα Προδιαγραφών του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) (ISG NFV), η οποία την για να διευκολύνει την ανάπτυξη και τη σύνδεση των υπηρεσιών, καθώς αποσυνδέονται από τις αποκλειστικές φυσικές συσκευές και μετακινούνται σε εικονικές μηχανές. Η αρχιτεκτονική της Εικονικοποίησης Δικτυακών Λειτουργιών όπως έχει οριστεί και καθοριστεί από το ETSI, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3 – Αρχιτεκτονική NFV

### 3.2.2.1 OSS/BSS

Τα συστήματα υποστήριξης λειτουργιών (OSS) και τα συστήματα υποστήριξης επιχειρήσεων (BSS), παρέχουν δεδομένα δικτύων και πελατών για δραστηριότητες «back office». Ενώ ο μηχανισμός με τον οποίο λειτουργούν τα δύο συστήματα είναι παρόμοιος, η τελική τους χρήση και οι ομάδες χρηστών ενδέχεται να διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με τη ρύθμιση διαχείρισης πληροφοριών σε έναν οργανισμό [15].

- **Τα Συστήματα Υποστήριξης Λειτουργιών (OSS)** υποστηρίζουν εσωτερικές απαιτήσεις δικτύου, όπως σχεδιασμό δικτύων, διατήρηση απογραφής δικτύου, παροχή υπηρεσιών, διαμόρφωση συνιστωσών δικτύου, διαχείριση βλαβών καθώς και διευκόλυνση και αυτοματοποίηση των λειτουργιών, των διοικήσεων, της συντήρησης και της παροχής υπηρεσιών.
- **Τα Συστήματα Υποστήριξης Επιχειρήσεων (BSS)** παρέχουν τη δυνατότητα για συναλλαγές με πελάτες, υποστηρίζοντας διαδικασίες όπως λήψη παραγγελιών, επεξεργασία λογαριασμών και είσπραξη πληρωμών.

Τα OSS και BSS εξελίχθηκαν από την ανάγκη για λειτουργικά δεδομένα σχετικά με την υποδομή και τους πελάτες, αντίστοιχα. Το OSS παρέχει δεδομένα όπως διαθεσιμότητα δικτύου και πληροφορίες απόδοσης δικτύου, επιτρέποντας στους χρήστες να διαχειρίζονται ενεργά δίκτυα και συστήματα για να προσφέρουν θετική εμπειρία χρήστη σε οποιαδήποτε σύνδεση. Το BSS, από την άλλη πλευρά, παρέχει πληροφορίες συνδρομής, όπως νέες εγγραφές, δημογραφικά στοιχεία και δημογραφικά στοιχεία χρηστών καθώς και πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση των σχέσεων με τους πελάτες. Τα στοιχεία που παρέχονται τόσο από το OSS όσο και από το BSS αποτελούν βασικές πληροφορίες για τον γενικό προγραμματισμό των κεφαλαιουχικών δαπανών (CAPEX) και των λειτουργικών εξόδων (OPEX), και είναι απαραίτητες για τη διαμόρφωση των προϋπολογισμών που καλύπτουν τις δαπάνες υποδομής.

### 3.2.2.2 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ & ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ – VIRTUAL NETWORK FUNCTIONS (VNFS) AND NETWORK SERVICES (NSS):

Μια εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου είναι ένα λειτουργικό μπλοκ μέσα σε μια υποδομή δικτύου που έχει σαφώς καθορισμένες εξωτερικές διεπαφές και σαφώς καθορισμένες λειτουργίες και συμπεριφορά [16]. Επομένως, μία VNF είναι μια εφαρμογή που αναπτύσσεται σε εικονικές πόρους όπως μία Εικονική Μηχανή. Μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο VNF ή πολλαπλά, συνδεδεμένα με συνιστώσες, αποτελώντας μία Υπηρεσία Δικτύου (*Network Service-NS*). Κάθε εικονική μηχανή ωστόσο φιλοξενεί μία μόνο συνιστώσα του VNF [17]. Ωστόσο, από την πλευρά των χρηστών, οι υπηρεσίες, είτε βασίζονται σε λειτουργίες που λειτουργούν με υλικό είτε είναι εικονικές, πρέπει να έχουν την ίδια απόδοση. Επομένως, ο αριθμός, ο τύπος και η σειρά των συνδεδεμένων VNF που καθιστούν μία Υπηρεσία Δικτύου, καθορίζονται από τις λειτουργικές και συμπεριφορικές προδιαγραφές της υπηρεσίας, με αποτέλεσμα, η συμπεριφορά της υπηρεσίας να εξαρτάται από τη συμπεριφορά των VNF.

### 3.2.2.3 ΥΠΟΔΟΜΗ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ - NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION INFRASTRUCTURE (NFVI):

Το NFVI είναι ο συνδυασμός υλικών και λογισμικών πόρων, οι οποίοι αποτελούν το περιβάλλον στο οποίο ανήκουν και υλοποιούνται οι εικονικές λειτουργίες δικτύου. Οι φυσικοί πόροι περιλαμβάνουν το «commercial-off-the-shelf» υπολογιστικό υλικό, τον αποθηκευτικό χώρο και το δίκτυο το οποίο παρέχει επεξεργασία, αποθήκευση και συνδεσιμότητα των εικονικών λειτουργιών. Οι εικονικοί πόροι είναι αφαιρέσεις (*abstractions*) της υπολογιστικής ισχύς, αποθήκευσης και των πόρων δικτύου. Η

αφαίρεση αυτή επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το επίπεδο εικονικοποίησης (βασισμένο στον hypervisor), που αποσυνδέει τους εικονικούς πόρους από τους φυσικούς. Σε ένα περιβάλλον κέντρου δεδομένων, η υπολογιστική ισχύς και οι πόροι αποθήκευσης μπορούν να εικονικοποιηθούν από μία ή περισσότερες εικονικές μηχανές, ενώ παράγονται εικονικά δίκτυα δημιουργία εικονικών συνδέσμων και κόμβων [18].

#### 3.2.2.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ & ΕΝΟΡΧΗΣΤΡΩΣΗ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ - NFV MANAGEMENT AND ORCHESTRATION (MANO)

Σύμφωνα με το πλαίσιο MANO του ETSI [19], το NFV MANO παρέχει τη λειτουργικότητα που απαιτείται για την παροχή VNF και τις συναφείς λειτουργίες, όπως η διαμόρφωση των VNF και της υποδομής στην οποία λειτουργούν. Περιλαμβάνει την ενορχήστρωση και τη διαχείριση του κύκλου ζωής των φυσικών πόρων και/ή λογισμικού, που υποστηρίζουν την εικονικοποίηση υποδομών και τη διαχείριση του κύκλου ζωής των VNF. Περιλαμβάνει επίσης βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των μοντέλων πληροφοριών και δεδομένων που καθορίζουν τόσο τις ιδιότητες ανάπτυξης, όσο και τις λειτουργίες, τις υπηρεσίες και τους πόρους του κύκλου ζωής. Το NFV MANO επικεντρώνεται σε όλα τα ειδικά καθήκοντα διαχείρισης που είναι απαραίτητα για την εικονικοποίηση. Επιπλέον, το πλαίσιο ορίζει διεπαφές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επικοινωνίες μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών του NFV MANO, καθώς και για τον συντονισμό μεταξύ των συμβατικών συστημάτων διαχείρισης, όπως το σύστημα υποστήριξης λειτουργιών (OSS) και τα συστήματα υποστήριξης επιχειρήσεων (BSS).

Το NFV MANO διαθέτει τρία βασικά λειτουργικά τμήματα: διαχειριστές NFV, διευθυντές VNF και εικονικούς διαχειριστές υποδομής (VIM). Μαζί, αυτά τα μπλοκ είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξη και τη σύνδεση λειτουργιών και υπηρεσιών όταν χρειάζονται σε όλο το δίκτυο.

- **Ενορχηστρωτές NFV (NFV Orchestrators):** Οι ενορχηστρωτές NFV αποτελούνται από δύο στρώματα - ενορχήστρωση υπηρεσιών και ενορχήστρωση πόρων - τα οποία ελέγχουν την ενσωμάτωση των νέων υπηρεσιών δικτύου και των VNF σε ένα εικονικό πλαίσιο. Οι διαχειριστές NFV επικυρώνουν επίσης και εξουσιοδοτούν τα αιτήματα πόρων NFV υποδομής (NFVI).
- **Διαχειριστές VNF (VNF Manager):** Οι διαχειριστές VNF επιβλέπουν τον κύκλο ζωής των παρουσιών VNF.
- **Εικονικός Διαχειριστής Υποδομής (Virtual Infrastructure Manager – VIM):** Οι VIM ελέγχουν και διαχειρίζονται την υποδομή NFV, η οποία περιλαμβάνει υπολογιστές, αποθηκευτικούς πόρους, πόρους δικτύου.

#### 3.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σημαντικό όφελος της εικονικοποίησης των λειτουργιών του δικτύου, είναι η υψηλή διαθεσιμότητα. Οι λύσεις εικονικοποίησης περιλαμβάνουν τεχνικές όπως η συσπείρωση (*clustering*) για την αντιμετώπιση προβλημάτων σε ένα φυσικό διακομιστή, χωρίς διακοπή λειτουργίας [20]. Έτσι όλα τα ιδεατά συστήματα επωφελούνται από τις τεχνικές αυτές χωρίς να χρειάζεται κάτι πρόσθετο σε αυτά. Επιπλέον, είναι δυνατή η δημιουργία στιγμιότυπων των εικονικών μηχανών ενώ αυτές λειτουργούν, και η επαναφορά τους σε οποιαδήποτε παλαιότερη κατάσταση με ασφάλεια. Εκεί όμως που παρατηρείται μεγάλη διαφορά είναι η ευκολότερη διαχείριση όλου του συστήματος. Μπορούμε σε ελάχιστο χρόνο να δημιουργήσουμε ένα νέο εικονικό σύστημα, να αυξήσουμε τη CPU, τη μνήμη και το χώρο στον δίσκο που χρησιμοποιεί μία εικονική μηχανή, εργασίες που με φυσικά συστήματα απαιτούσαν περίπλοκους και χρονοβόρους χειρισμούς. Παράλληλα, επειδή αποσυνδέει τις λειτουργίες δικτύου από το υλικό, και τις συγκεντρώνει σε διακομιστές δικτύου, η αρχιτεκτονική του δικτύου



καθίσταται εξαιρετικά ευέλικτη, λόγω της γρήγορης και προσαρμόσιμης αναδιάρθρωση του. Επίσης αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι με τη μετάβαση σε τεχνικές εικονικοποίησης, πολλοί πάροχοι υπηρεσιών αναμένεται να επαναπροσδιορίσουν τις λειτουργίες δικτύου για να υποστηρίξουν ένα λειτουργικό μοντέλο όπου οι υπηρεσίες δικτύου και οι πόροι του δικτύου διαχειρίζονται αναλόγως.

### **3.2.4 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ**

Ακόμη και με όλα τα οφέλη και παρά την τεράστια ταχύτητα με την οποία γίνονται αποδεκτά τόσο από τον ακαδημαϊκό χώρο όσο και από τη βιομηχανία, η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου βρίσκεται ακόμα σε πρώιμα στάδια. Παραμένουν ακόμα σημαντικές πτυχές που πρέπει να διερευνηθούν και να καθοριστούν. Μέρος της πρόκλησης για υιοθέτηση του NFV είναι ο αριθμός των προτύπων και των έργων ανοιχτού κώδικα που διεξάγονται για την προώθηση της ανάπτυξης του. Για παράδειγμα, μια σύντομη λίστα περιλαμβάνει το ETSI, το Open Platform for NFV, την πλατφόρμα αυτοματοποίησης ανοιχτού δικτύου, το MANO ανοιχτού κώδικα και το MEF. Με τόσες ανταγωνιστικές προσεγγίσεις, όλες υποστηριζόμενες από διάφορους παρόχους υπηρεσιών και φορείς εκμετάλλευσης, που επιλύουν μια προσέγγιση που προσφέρει χρήσιμες δυνατότητες για ολόκληρο τον κλάδο, είναι προβληματική. Ως αποτέλεσμα, ορισμένοι πάροχοι υπηρεσιών είναι αβέβαιοι ποια πρότυπα θα υιοθετηθούν και διστάζουν περισσότερο να επενδύσουν σε αυτά. Επιπλέον, προκειμένου να επιτευχθεί η κλίμακα οικονομίας που αναμένεται από το NFV, οι φυσικοί πόροι πρέπει να χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά. Έχει αποδειχθεί ότι η προεπιλεγμένη ανάπτυξη ορισμένων περιπτώσεων χρήσης μπορεί να οδηγήσει σε λανθάνουσα κατανομή και κατανάλωση πόρων [21].

## 4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ SLA

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές έννοιες των SLA, όπως για παράδειγμα τί είναι και σε ποιους απευθύνονται, από τι αποτελούνται, και τι είδους μετρικές μπορούν να υποστηρίξουν. Επιπλέον παρουσιάζεται ο τρόπος που παρακολουθείται ένα SLA, και τα πλεονεκτήματα που μπορεί να φέρει σε έναν οργανισμό η ορθή εδραίωση του.

### 4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ SLA

Τα Συμβόλαια Επιπέδου Υπηρεσιών (SLA), αποτελούν μία σύμβαση μεταξύ ενός παρόχου υπηρεσιών και των εσωτερικών ή εξωτερικών πελατών του που καταγράφει ποιες υπηρεσίες θα προσφέρει ο πάροχος, ενώ παράλληλα καθορίζει τα πρότυπα υπηρεσιών που υποχρεούται να καλύψει [22].

Από την μία μεριά, οι πάροχοι υπηρεσιών χρειάζονται SLA για να τους βοηθήσουν να διαχειριστούν τις προσδοκίες των πελατών τους και να καθορίσουν τις συνθήκες κάτω από τις οποίες δεν ευθύνονται για διακοπές ή προβλήματα επιδόσεων. Από την άλλη, οι πελάτες μπορούν επίσης να επωφεληθούν από τα SLA επειδή σε αυτά περιγράφονται τα χαρακτηριστικά απόδοσης της υπηρεσίας, τα οποία μπορούν να συγκριθούν με τα SLA άλλων παρόχων, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν τα μέσα για την αποκατάσταση ζητημάτων εξυπηρέτησης.

Σε γενικές γραμμές, ένα SLA περιλαμβάνει συνήθως μια δήλωση στόχων, έναν κατάλογο υπηρεσιών που καλύπτονται από τη συμφωνία και ορίζει επίσης τις ευθύνες του παρόχου υπηρεσιών και του πελάτη στο πλαίσιο του SLA. Ο πελάτης, για παράδειγμα, θα είναι υπεύθυνος για τη διάθεση ενός αντιπροσώπου διαθέσιμου για την επίλυση ζητημάτων με τον πάροχο υπηρεσιών σε σχέση με το SLA. Ο πάροχος υπηρεσιών θα είναι υπεύθυνος για την κάλυψη του επιπέδου υπηρεσίας όπως ορίζεται από το SLA.

Τα SLA μπορούν να είναι είτε στατικά είτε δυναμικά. Ένα στατικό SLA παραμένει γενικά αμετάβλητο για πολλαπλά χρονικά διαστήματα μιας υπηρεσίας. Τα χρονικά διαστήματα εξυπηρέτησης μπορεί να είναι ημερολογιακοί μήνες για μια επιχειρηματική διαδικασία ή μπορεί να είναι μια συναλλαγή ή οποιαδήποτε άλλη μετρήσιμη και σχετική χρονική περίοδος. Ένα δυναμικό SLA αλλάζει από την περίοδο υπηρεσίας στην περίοδο εξυπηρέτησης, ώστε να εξυπηρετεί τις αλλαγές στην παροχή υπηρεσιών.

### 4.2 ΤΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ SLA

Η μέτρηση του επιπέδου υπηρεσίας σε ένα SLA σε 5G περιβάλλοντα, περιλαμβάνει την παρακολούθηση των εικονικοποιημένων υπηρεσιών δικτύου μέσω υποδομών πολλαπλών τομέων (γεωγραφικών, τεχνολογικών, εφαρμογών και προμηθευτών). Σε ένα τυπικό σενάριο, κάθε VNF μπορεί να αλληλεπιδράσει με πολλά άλλα NSs. Κάθε μία από αυτές τις αλληλεπιδράσεις μπορεί δυνητικά να διέπεται από ένα SLA. Οι μετρήσεις που επιβάλλονται από το υπογεγραμμένο SLA, από τον πάροχο υπηρεσιών με τον πελάτη, πρέπει να συσχετίζονται με τους γενικούς στόχους των υπηρεσιών [23].

Η αξιοπιστία των SLA είναι απαραίτητη για τη λειτουργία μιας τέτοιας αγοράς υπηρεσιών. Οι αναξιόπιστες διαφημίσεις SLA μειώνουν τη συνολική ευημερία της αγοράς, δεδομένου ότι οι πελάτες δεν έχουν ακριβείς πληροφορίες για να προγραμματίσουν την επιχείρησή τους [24]. Καθώς οι πελάτες συνήθως καλούνται να πληρώσουν για ένα SLA πριν λάβουν την ζητούμενη υπηρεσία, οι πάροχοι έχουν την ευκαιρία να εξαπατήσουν. Μπορούν να παρέχουν χαμηλότερη ποιότητα από ό,τι

διαφημίζουν. Είναι επομένως απαραίτητο να δημιουργηθούν κίνητρα για τους παρόχους υπηρεσιών να σέβονται τα διαφημιζόμενα SLA τους (Πρότυπα SLA), αναφέροντας τις κυρώσεις όταν η παραδοθείσα ποιότητα υπηρεσιών είναι μικρότερη από αυτή που υπογράφηκε.

Επομένως, ένα SLA μπορεί να περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

- **Σκοπός:** Το πεδίο αυτό περιγράφει τους λόγους για τη δημιουργία του SLA.
- **Μέρη:** Το πεδίο αυτό περιγράφει τα μέρη που εμπλέκονται στο SLA και τους αντίστοιχους ρόλους τους, π.χ. πάροχος υπηρεσιών και καταναλωτής υπηρεσιών (πελάτης).
- **Περίοδος ισχύος:** Το πεδίο αυτό καθορίζει το χρονικό διάστημα που θα καλύψει το SLA. Αυτό οριοθετείται από την αρχή και τη λήξη της περιόδου συμφωνίας.
- **Πεδίο εφαρμογής:** Το πεδίο αυτό ορίζει τις υπηρεσίες που καλύπτονται από τη συμφωνία.
- **Περιορισμοί:** Αυτό το πεδίο καθορίζει τα απαραίτητα βήματα που πρέπει να γίνουν προκειμένου να παρέχονται τα ζητούμενα επίπεδα υπηρεσιών.
- **Στόχοι επιπέδου εξυπηρέτησης:** Το πεδίο αυτό καθορίζει τα επίπεδα υπηρεσιών που συμφωνούν τόσο οι πελάτες υπηρεσιών όσο και οι πάροχοι υπηρεσιών. Συνήθως περιλαμβάνει ένα σύνολο δεικτών επιπέδου υπηρεσιών, όπως η διαθεσιμότητα, οι επιδόσεις και η αξιοπιστία. Κάθε μία από αυτές τις πτυχές του επιπέδου υπηρεσιών θα έχει ένα επιδιωκόμενο επίπεδο επίτευξης.
- **Κυρώσεις:** Το πεδίο αυτό καθορίζει ποιες κυρώσεις πρέπει να ισχύουν σε περίπτωση που ο πάροχος υπηρεσιών δεν είναι σε θέση να επιτύχει τους καθορισμένους στόχους.
- **Όροι αποκλεισμού:** Το πεδίο αυτό ορίζει τι δεν καλύπτεται από το SLA.
- **Διοίκηση:** Αυτό το πεδίο περιγράφει τις διαδικασίες και τους μετρήσιμους στόχους σε ένα SLA και ορίζει την οργανωτική αρχή για την επίβλεψή τους.

### 4.3 ΜΕΤΡΙΚΕΣ SLA

Οι τύποι μετρήσεων που συμπεριλαμβάνονται σε ένα SLA, εξαρτώνται από τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Πολλά στοιχεία μπορούν να παρακολουθούνται ως τμήμα ενός SLA, αλλά το σύστημα πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν απλούστερο για να αποφεύγεται η σύγχυση και το υπερβολικό κόστος και από τις δύο πλευρές. Κατά την επιλογή μετρήσεων, εξετάζεται η λειτουργία της υπηρεσίας, και αποφασίζεται τι είναι πιο σημαντικό. Θεωρητικά, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί οποιαδήποτε ποιότητα υπηρεσίας σε ένα SLA [25], υπό την προϋπόθεση ότι όλα τα μέρη κατανοούν τον τρόπο μέτρησης και/ή επαλήθευσης της επίτευξής της. Οι μετρικές που μπορούν να συμπεριληφθούν σε ένα SLA χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) μετρήσιμες (π.χ. το ποσοστό του χρόνου που είναι διαθέσιμο ένα σύστημα) και β) μη μετρήσιμες (π.χ. ο καθορισμός του κόστους αλλαγής μιας υπηρεσίας).

#### 4.3.1 ΜΕΤΡΗΣΙΜΕΣ ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

- **Διαθεσιμότητα** - Η διαθεσιμότητα αφορά τον μέσο χρόνο αποτυχίας για τις υπηρεσίες. Η διαθεσιμότητα συνήθως μετριέται με την πιθανότητα να λειτουργήσει το σύστημα όταν χρειάζεται. Είναι δυνατό να προσδιορίσει:
  - την απάντηση του συστήματος σε περίπτωση αποτυχίας,
  - τον χρόνο που χρειάζεται για να αναγνωριστεί μια δυσλειτουργία,
  - το χρόνο που χρειάζεται για την ανάκτηση από μια αποτυχία,
- **Χωρητικότητα** - Η χωρητικότητα είναι ο αριθμός των ταυτόχρονων αιτημάτων που μπορεί να χειριστεί η υπηρεσία σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Είναι δυνατό να καθοριστεί ο μέγιστος αριθμός ταυτόχρονων αιτημάτων που μπορούν να αντιμετωπιστούν από μια υπηρεσία σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.

- **Κόστος** - Το κόστος αφορά το κόστος κάθε αιτήματος παροχής υπηρεσιών. Είναι δυνατό να προσδιοριστεί,
  - ο το κόστος ανά αίτηση,
  - ο το κόστος που βασίζεται στο μέγεθος των δεδομένων,
  - ο το κόστος που σχετίζεται με τους χρόνους αιχμής χρήσης της υπηρεσίας.
- **Καθυστέρηση** - Η καθυστέρηση αφορά το μέγιστο χρονικό διάστημα μεταξύ της άφιξης του αιτήματος και της ολοκλήρωσης του αιτήματος.
- **Αξιοπιστία** - Η αξιοπιστη ανταλλαγή μηνυμάτων αφορά την εγγύηση της παράδοσης μηνυμάτων.
- **Επεκτασιμότητα**- Η επεκτασιμότητα αφορά την ικανότητα της υπηρεσίας να αυξήσει τον αριθμό επιτυχημένων ενεργειών για μια δεδομένη χρονική περίοδο.

### 4.3.2 ΜΗ ΜΕΤΡΗΣΙΜΕΣ ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

- **Διαλειτουργικότητα** - Η διαλειτουργικότητα αφορά την ικανότητα μιας συλλογής επικοινωνούντων οντοτήτων να μοιράζονται συγκεκριμένες πληροφορίες και να λειτουργούν σε αυτήν σύμφωνα με μια συμφωνημένη επιχειρησιακή σημασιολογία.
- **Τροποποίηση** - Η τροποποιησιμότητα, ασχολείται με το πόσο συχνά μια υπηρεσία είναι πιθανό να αλλάξει.
- **Ασφάλεια** - Η ασφάλεια ασχολείται με την ικανότητα του συστήματος να αντιστέκεται σε απόπειρα μη εξουσιοδοτημένης χρήσης, παρέχοντας παράλληλα στους νόμιμους χρήστες πρόσβαση στην υπηρεσία.

## 4.4 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΝΟΣ SLA

Η παρακολούθηση και η μέτρηση της υπηρεσίας δημιουργεί αδιάσειστα αποδεικτικά στοιχεία για το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών και ο πάροχος δεν μπορεί να τα αμφισβητήσει σε κάποια πιθανή δικαστική διαμάχη με τον πελάτη. Έτσι ο τελευταίος διασφαλίζεται απέναντι σε μια τέτοια δύσκολη κατάσταση και προφυλάσσει αποτελεσματικά τα συμφέροντά του. Οι δύο πρώτες ερωτήσεις που καλούμαστε να απαντήσουμε είναι: «Τι θέλουμε να παρακολουθήσουμε;» και «Τι μπορούμε να παρακολουθήσουμε;». Για να απαντηθεί η πρώτη ερώτηση έχει δημιουργηθεί ένα μοντέλο ποιότητας υπηρεσιών λογισμικού και πρότυπα που σχετίζονται με την ποιότητα, ειδικά στον τομέα των υπηρεσιών διαδικτύου [26]. Το μοντέλο αυτό όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4, βασίζεται στο πρότυπο ISO / IEC 9126 [27].



Εικόνα 4 – Μοντέλο ποιότητας υπηρεσιών (ISO / IEC 9126)

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σύναψης SLA, αφού συμφωνηθούν τα βασικά στοιχεία του, ο πελάτης και ο πάροχος μπορούν να καθορίσουν τρίτους συμμετέχοντες οι οποίοι μπορούν να εκτελούν καθήκοντα παρακολούθησης των υπογεγραμμένων SLA. Όταν ολοκληρωθεί το SLA, τόσο ο πάροχος όσο και ο πελάτης καθιστούν το SLA διαθέσιμο για ανάπτυξη [28].

Η *υπηρεσία ανάπτυξης* είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της εγκυρότητας του SLA και τη διανομή του είτε πλήρως είτε εν μέρει στα υποστηρικτικά μέρη. Οι υπηρεσίες που μπορούν να ανατεθούν σε τρίτους είναι είτε υπηρεσίες μέτρησης είτε υπηρεσίες αξιολόγησης της κατάστασης.

Η *υπηρεσία μέτρησης* διατηρεί πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα διαμόρφωση του συστήματος και τις πληροφορίες χρόνου εκτέλεσης σχετικά με τις μετρικές του SLA. Μετράει παραμέτρους SLA, όπως η διαθεσιμότητα ή ο χρόνος απόκρισης, είτε από το εσωτερικό είτε με ανάκτηση μετρήσεων πόρων απευθείας από τους διαχειριζόμενους πόρους ή εκτός του τομέα του παρόχου υπηρεσιών. Για παράδειγμα, με ανίχνευση ή παρεμπόδιση συναλλαγών πελατών. Μια υπηρεσία μέτρησης μπορεί να μετρήσει όλα ή ένα υποσύνολο των παραμέτρων SLA. Οι πολλαπλές υπηρεσίες μέτρησης μπορούν ταυτόχρονα να μετρήσουν τις ίδιες μετρήσεις, όπως μια υπηρεσία μέτρησης μπορεί να βρίσκεται εντός του τομέα του παρόχου ενώ μια άλλη υπηρεσία μέτρησης ανιχνεύει την υπηρεσία που προσφέρει ο πάροχος μέσω του διαδικτύου από διάφορες τοποθεσίες.

Η *υπηρεσία αξιολόγησης* της κατάστασης είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση της συμμόρφωσης των παραμέτρων του SLA κατά το χρόνο εκτέλεσης, με τον συμφωνημένο Στόχο Επιπέδου Εξυπηρέτησης (SLO), συγκρίνοντας τις μετρούμενες παραμέτρους με τα κατώτατα όρια που ορίζονται στο SLA και κοινοποιώντας τις υπηρεσίες διαχείρισης του πελάτη και του παρόχου. Λαμβάνει μετρημένες τιμές παραμέτρων SLA από μία ή περισσότερες υπηρεσίες μέτρησης και τις ελέγχει έναντι των εγγυήσεων που παρέχονται στο SLA. Αυτό μπορεί να γίνει κάθε φορά που είναι διαθέσιμη μια νέα τιμή ή περιοδικά, από το σύστημα παρακολούθησης.

Τέλος, τόσο ο πελάτης όσο και ο πάροχος υπηρεσιών έχουν μια *υπηρεσία διαχείρισης*. Μετά τη λήψη μιας ειδοποίησης, η υπηρεσία διαχείρισης λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα για τη διόρθωση ενός προβλήματος, όπως ορίζεται στο SLA. Ο κύριος σκοπός της υπηρεσίας διαχείρισης είναι να εκτελέσει διορθωτικές ενέργειες για λογαριασμό του διαχειριζόμενου περιβάλλοντος, εάν μια υπηρεσία αξιολόγησης της κατάστασης ανακαλύψει ότι έχει παραβιαστεί ένας όρος SLA. Ένα σημαντικό αποτέλεσμα της διαχείρισης SLA αποτελείται από αναφορές που περιέχουν αναλύσεις των μετρήσεων. Αυτές οι αναφορές μπορούν να καθοδηγήσουν τον προγραμματισμό και την υλοποίηση βελτιώσεων στην εικονικοποιημένη υποδομή του δικτύου, με στόχο την βέλτιστη παροχή υπηρεσιών.

## 4.5 ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΕΝΑ SLA

Ένα καλό SLA έχει μεγάλη σημασία τόσο για τον πάροχο υπηρεσιών όσο και για τον πελάτη, επειδή θέτει όρια και προσδοκίες για τις ακόλουθες πτυχές της παροχής υπηρεσιών κέντρου δεδομένων [29]. Κατά την υπογραφή ενός SLA, όχι μόνο ο πάροχος, αλλά και ο ίδιος ο πελάτης, μπορούν να έχουν πολλές εγγυήσεις ότι η σχέση μεταξύ τους θα είναι παραγωγική και διαφανής. Για να είναι αποτελεσματική αυτή η συνεργασία, πρέπει να βασιστούμε σε μια σειρά δεικτών που επιτρέπουν τη διαφάνεια μεταξύ των μελών, όπως αυτοί παρουσιάζονται στην συνέχεια:

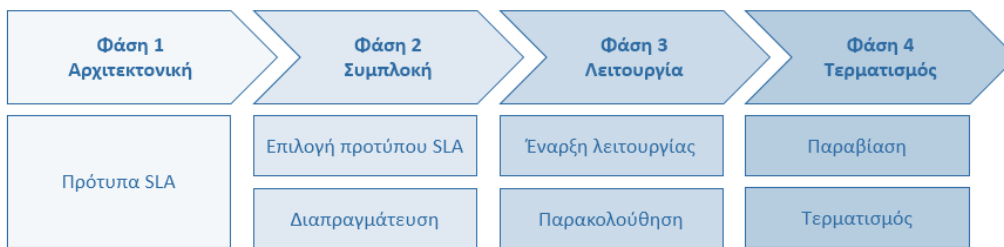
- **Δεσμεύσεις πελατών:** Οι σαφώς καθορισμένες υποσχέσεις μειώνουν τις πιθανότητες απογοήτευσης ενός πελάτη.
- **Βασικοί δείκτες απόδοσης για την εξυπηρέτηση πελατών:** Με τον καθορισμό αυτών των δεικτών, είναι εύκολο να κατανοηθεί πώς μπορούν να ενσωματωθούν σε μια διαδικασία βελτίωσης

της ποιότητας. Με αυτόν τον τρόπο, η βελτίωση της ικανοποίησης των πελατών παραμένει ένας σαφής στόχος.

- **Βασικοί δείκτες απόδοσης για τους εσωτερικούς οργανισμούς.** Ένα SLA οδηγεί σε εσωτερικές διαδικασίες καθορίζοντας ένα σαφές, μετρήσιμο επίπεδο απόδοσης. Κατά συνέπεια, οι εσωτερικοί στόχοι καθίστανται σαφέστεροι και ευκολότεροι στη μέτρηση.
- **Το κόστος της μη συμμόρφωσης με τους όρους.** Εάν το SLA έχει κυρώσεις, η μη συμμόρφωση με τους υπογεγραμμένους όρους μπορεί να είναι δαπανηρή. Ωστόσο, με τον καθορισμό των κυρώσεων, ο πελάτης αντιλαμβάνεται ότι ο πάροχος πιστεύει πραγματικά στην ικανότητά του να επιτύχει τα καθορισμένα επίπεδα επιδόσεων. Κάνει τη σχέση σαφή και θετική.

## 4.6 ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ SLA ΣΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ

Ο κύκλος ζωής ενός SLA αποτελεί σημαντικό μέρος της παροχής μιας υπηρεσίας δικτύου. Στον τομέα των 5G δικτύων, ο κύκλος ζωής των SLA διαχειρίζεται από την εκάστοτε πλατφόρμα παροχής υπηρεσιών (Service Platform), και είναι ελαφρώς διαφορετικός από τον παραδοσιακό, όπως αυτός περιγράφεται από την IBM [30]. Η διαχείριση των SLA στο περιβάλλον των 5G, είναι μια δυναμική διαδικασία που αποτελείται από τέσσερις κύριες φάσεις: α) την Αρχιτεκτονική (Architecture), β) την Συμπλοκή (Engagement), γ) την Λειτουργία (Operation) και δ) τον Τερματισμό (Termination), όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5 – Κύκλος Ζωής SLA σε 5G περιβάλλοντα

Ο συνολικός κύκλος ζωής ευθυγραμμίζεται πλήρως με τις αρχές των 5G και εκτελείται παράλληλα με τον Κύκλο Ζωής Υπηρεσιών Δικτύου [31] και αποτελείται από τις παρακάτω φάσεις:

1. **Φάση 1<sup>η</sup> – Αρχιτεκτονική:** Η πρώτη φάση ξεκινάει με την επιλογή μιας εικονικοποιημένης υπηρεσίας δικτύου και τον ορισμό των απαιτήσεων από τον προγραμματιστή της. Συνήθως, ο πάροχος του δικτύου είναι εκείνος που είναι υπεύθυνος να εξετάσει τις εν λόγω απαιτήσεις, να λάβει υπόψη σημαντικές επιχειρηματικές ανάγκες και να δημιουργήσει πρότυπα SLA ως αρχικές προσφορές προς τους πελάτες.
2. **Φάση 2<sup>η</sup> – Συμπλοκή:** Κατά τη διάρκεια της φάσης συμπλοκής, η επιλογή του επιθυμητού NS λαμβάνει χώρα. Η επιλογή ενός παρόχου υπηρεσιών εξαρτάται από την επιθυμητή υπηρεσία δικτύου (NS), τις ιδιότητές της και την ποιότητα υπηρεσίας που έχει διαφημίσει ο εκάστοτε πάροχος, μέσω των προτύπων SLA. Οι προσδοκίες των πελατών ωστόσο από μία συγκεκριμένη υπηρεσία, τους ωθούν να διαπραγματεύονται συγκεκριμένα επίπεδα ποιότητας με τους παρόχους υπηρεσιών πριν τελικά αποφασίσουν πιο SLA θα υπογράψουν.
3. **Φάση 3<sup>η</sup> – Λειτουργία:** Μετά την επιτυχή επιλογή του NS και την αντίστοιχη διαδικασία διαπραγμάτευσης ενός SLA, λαμβάνει χώρα η φάση λειτουργίας. Αυτή η φάση περιλαμβάνει την εκτέλεση της υπηρεσίας. Επιπλέον, κατά την φάση λειτουργίας το SLA παρακολουθείται με βάση δεδομένα από την υποδομή, συνήθως σε πραγματικό χρόνο, για την αποφυγή ή / και τη διαχείριση απρόβλεπτων παραβιάσεων.

- 4. Φάση 4<sup>η</sup> – Τερματισμός:** Τέλος, η φάση τερματισμού ασχολείται με το τέλος της σχέσης μεταξύ του παρόχου υπηρεσιών και του πελάτη, συμπεριλαμβανομένου του τέλους της νομικής σχέσης. Όταν η διάρκεια του συμβολαίου λήξει, τότε επέρχεται και ο τερματισμός του SLA. Ο παροχος από τη μεριά του θα πρέπει να διαγράψει από τα συστήματά του όλες εκείνες τις πληροφορίες και τις παραμέτρους που αφορούν τον πελάτη.

## 5 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Κατά την διάρκεια διαχείρισης εικονικοποιημένων πόρων, και συγκεκριμένα των SLA που υπογράφονται, παρουσιάζονται αρκετές προκλήσεις. Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί ότι η παροχή εικονικοποιημένου λογισμικού σε ένα εκατομμύριο χρήστες ως υπηρεσία μέσω ενός κέντρου δεδομένων, είναι πολύ πιο πολύπλοκη σε σύγκριση με τη παραδοσιακή παροχή λογισμικού σε μεμονωμένους και ορθά κατανεμημένους προσωπικούς τους υπολογιστές. Οι πάροχοι υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας SLAs για να καθορίσουν τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσιών που απαιτούνται, γνωρίζουν πώς οι πελάτες και τελικοί χρήστες εκτιμούν τις αιτήσεις τους, ως εκ τούτου, μπορούν να παρέχουν μηχανισμούς ανάδρασης για να ενθαρρύνουν ή/και να αποθαρρύνουν την υποβολή αιτημάτων [32].

### 5.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕ ΓΝΩΜΟΝΑ ΤΟ ΠΕΛΑΤΗ

Ο *Yeo* και οι συν-συγγραφείς του στο [33], έχουν επισημάνει την ικανοποίηση του πελάτη ως έναν κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας για να υπερέχουν οι πάροχοι υπηρεσιών και ως εκ τούτου, πρότεινε τρεις στόχους για τους χρήστες στο πλαίσιο ενός παρόχου υπηρεσιών, οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν στην ικανοποίηση του πελάτη. Αναμφίβολα ωστόσο, υπάρχουν πολλοί παράγοντες ποιότητας υπηρεσιών που μπορούν να επηρεάσουν την ικανοποίηση των πελατών [34-35]. Παράγοντες που προσφέρουν εξατομικευμένη προσοχή στους πελάτες περιλαμβάνουν την παροχή της δυνατότητας επικοινωνίας ώστε να ενημερώνεται ο πελάτης και να λαμβάνει γνώση από αυτούς, αυξάνοντας την πρόσβαση και την προσβασιμότητα στους πελάτες και κατανοώντας τις συγκεκριμένες ανάγκες των πελατών. Άλλοι παράγοντες που προάγουν την εμπιστοσύνη και την αξιοπιστία προς τους πελάτες είναι τα μέτρα ασφαλείας που λαμβάνονται ενάντια στους κινδύνους και τις αμφιβολίες και την ευγένεια προς τους πελάτες.

### 5.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Τα προγραμματιζόμενα δίκτυα, έχοντας σαν βάση και γνώμονα το Cloud (το οποίο θεωρείται ως η πρώτη πλήρως αποδεκτή και εφαρμοσμένη λύση για την παροχή υπηρεσιών πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών), μας παρέχει διάφορα παραδείγματα στοιχείων στη διαχείριση των πόρων που μπορούν να θεωρηθούν ως κίνδυνοι [36]. Για παράδειγμα, αν το SLA με έναν πελάτη παραβιάζεται για να εκπληρώσει την ποιότητα ενός αιτήματος κάποιοι άλλου πελάτη, υπάρχει κίνδυνος ποινής και δυσαρέσκειας των πελατών και από τις δύο πλευρές. Για τον λόγο αυτό, η ανάλυση των κινδύνων γύρω από τον οικονομικό τομέα, μπορεί να θεωρηθεί ως μια πιθανή λύση. Ωστόσο, η διαδικασία διαχείρισης των κινδύνων περιλαμβάνει πολλά βήματα και συνεπώς πρέπει να μελετηθεί διεξοδικά, ώστε να εφαρμοστεί πλήρως η αποτελεσματικότητά της στη διαχείριση των κινδύνων [37-38]. Η διαδικασία διαχείρισης κινδύνου περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Καθορισμός του πλαισίου,
- Προσδιορισμός των σχετικών κινδύνων,
- Αξιολόγηση καθενός από τους εντοπισμένους κινδύνους,
- Προσδιορισμός τεχνικών διαχείρισης κάθε κινδύνου ξεχωριστά και
- Δημιουργία, εφαρμογή και αναθεώρηση του σχεδίου διαχείρισης κινδύνου.



### 5.3 ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ

Οι απαιτήσεις υπηρεσιών των χρηστών μπορούν να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου και συνεπώς μπορεί να απαιτούν τροποποιήσεις των αρχικών αιτημάτων εξυπηρέτησης. Ως εκ τούτου, ένα κέντρο δεδομένων πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζεται τη διαδικασία προσφοράς εγγυήσεων, παρακολουθώντας τις τρέχουσες αιτήσεις παροχής υπηρεσιών, τροποποιώντας τα μελλοντικά αιτήματα παροχής υπηρεσιών και προσαρμόζοντας ανάλογα τα χρονοδιαγράμματα και τις τιμές για νέες και τροποποιημένες αιτήσεις παροχής υπηρεσιών. Υπάρχουν επίσης και άλλες πτυχές της αυτονομίας, όπως τα εξαρτήματα αυτοσυντονισμού για την ικανοποίηση νέων απαιτήσεων υπηρεσίας. Ως εκ τούτου, πιο αυτόνομα και έξυπνα κέντρα δεδομένων είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική διαχείριση της περιορισμένης προσφοράς πόρων με τη δυναμικά μεταβαλλόμενη ζήτηση υπηρεσιών. Για τους χρήστες, μπορεί να υπάρχουν συστήματα διαμεσολάβησης που ενεργούν εξ ονόματός τους για να επιλέξουν τους καταλληλότερους παρόχους και να διαπραγματευτούν μαζί τους για να επιτύχουν τις καλύτερες συμβάσεις παροχής υπηρεσιών. Έτσι, οι πάροχοι απαιτούν επίσης τη διαχείριση αυτόνομων πόρων για να επιλέγουν επιλεκτικά τα κατάλληλα αιτήματα αποδοχής και εκτέλεσης ανάλογα με έναν αριθμό λειτουργικών παραγόντων, όπως η αναμενόμενη διαθεσιμότητα και ζήτηση υπηρεσιών, καθώς και τις υφιστάμενες υποχρεώσεις παροχής υπηρεσιών.

## 6 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται υπάρχουσες λύσεις και έρευνες οι οποίες έχουν υλοποιηθεί στα πλαίσια τόσο των δικτύων 5G γενικότερα, όσο και στην διαχείριση του επιπέδου ποιότητας των εικονικοποιημένων υπηρεσιών και την παρακολούθησή τους. Τα ερευνητικά έργα αλλά και τα εμπορικά προϊόντα τα οποία παρουσιάζονται, αποτελούν την βάση και το σημείο έναρξης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 6.1 ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕΣΩ SLA

Είναι αναμφισβήτητο πως έχει πραγματοποιηθεί ενεργή και εκτενής έρευνα γύρω από τη διαχείριση SLA στο Cloud και πρόσφατα και για δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς. Επομένως, υπάρχουν πολλές έρευνες για λύσεις που χειρίζονται τις παραμέτρους QoS και παρακολουθούν με αποτελεσματικό τρόπο τις τα επίπεδα ποιότητας. Στο [39] παρουσιάζεται ένα πλαίσιο αξιοποίησης της ποιότητας υπηρεσιών. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιείται ένα μοντέλο απόδοσης για τον υπολογισμό του χρόνου απόκρισης και του μοντέλου τιμολόγησης για τον προσδιορισμό του κόστους διεξαγωγής μιας εργασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι μια βασική γραμμή για την παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται στο [40], όπου περιγράφεται η αρχιτεκτονική ενός συστήματος διαχείρισης SLA. Ένα άλλο ενδιαφέρον έργο περιγράφεται στο [41], το οποίο καταδεικνύει τη σημασία της εφαρμογής των ANNs στον τομέα των υπηρεσιών. Στην προσέγγιση αυτή, ο κύριος στόχος του ANN είναι να θέσει τεχνικούς στόχους όσον αφορά τους ποιοτικούς στόχους για τα χαρακτηριστικά σχεδίασης των συστημάτων διαδικτυακών υπηρεσιών. Επιπλέον, το πλαίσιο LoM2HiS παρουσιάζεται στο [42], στο οποίο οι συγγραφείς παρέχουν ένα παράδειγμα που εφαρμόζει την αντίστροφη διαδικασία αυτής που προτείνουμε, όπου οι προδιαγραφές χαμηλού επιπέδου μεταφράζονται σε απαιτήσεις υψηλού επιπέδου που χρησιμοποιούνται στο SLA. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη χαρτογράφηση των απαιτήσεων μπορούν να βρεθούν στα [43, 44]. Προχωρώντας προς τα εμπρός, στην επόμενη γενιά δικτύων, ο 5G Network Slice Broker [45] είναι ένα πρωτοποριακό χαρακτηριστικό δικτύου που βασίζεται στο μπλοκ λειτουργίας του μεσίτη χωρητικότητας για προηγμένη κατανομή RAN που εξετάζεται από το 3GPP. Χαρτογράφει τις εισερχόμενες απαιτήσεις SLA σε φυσικούς πόρους σε σχέση με τα αιτήματα «διαμοιρασμού δικτύου», έχοντας ως αποτέλεσμα να πάρει ένα «κομμάτι» των σχετικών στοιχείων του δικτύου ραδιοεπικοινωνιών (RAN) [46]. Επιπλέον, έχει πραγματοποιηθεί εκτενής έρευνα για την παροχή εγγυημένης QoS για βελτιωμένη εμπειρία χρήστη. Υπήρξε μια μετάβαση από τη διαχείριση QoS σε επίπεδο εξοπλισμού χρήστη, στη διαχείριση QoS σε επίπεδο δικτύου κατά την εξέλιξη του μηχανισμού διαχείρισης QoS σε δίκτυα 3GPP, μια μετατόπιση που διατηρήθηκε επίσης σε δίκτυα 5G [47]. Το επίπεδο QoS που παρέχεται στα συστήματα 5G θα πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις της μελλοντικής βιομηχανίας του διαδικτύου και να υπερβεί αυτό που μπορεί σήμερα να επιτευχθεί με οποιαδήποτε τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας. Οι βασικές απαιτήσεις QoS στα συστήματα 5G που εξετάζονται επί του παρόντος περιλαμβάνουν: α) μέγιστη αποδεκτή καθυστέρηση από το τέλος έως το τέλος μικρότερη από 5ms και β) αξιοπιστία περίπου 10-9% ή 99,999% [48-49]. Εναλλακτικά, η θεωρία της προσφοράς QoS με στατιστική καθυστέρηση έχει προταθεί και αποδειχθεί χρήσιμη μέθοδος για τον χαρακτηρισμό και την εφαρμογή με περιορισμένη καθυστέρηση για ασύρματη κυκλοφορία, σε πραγματικό χρόνο [50]. Επιπλέον, αρκετά έργα έχουν προτείνει λύσεις στο πλαίσιο του προγραμματισμού QoS [51], συμπεριλαμβανομένου του προγραμματισμού πολλαπλών QoS όπως ερευνήθηκε στα [52, 53]. Αντ' αυτού, οι συγγραφείς στα [54,55] υποστήριξαν ότι οι υπάρχοντες μηχανισμοί QoS δεν υποστηρίζουν την εφαρμογή συγκεκριμένων πολιτικών για μια ομάδα χρηστών του δικτύου. Πρέπει να επισημανθεί ότι μια προκαταρκτική περιγραφή της δουλειάς μας μπορεί να βρεθεί στα [56-58], όπου οι συγγραφείς

παρουσίασαν μια προσέγγιση για τη χαρτογράφηση των υψηλού επιπέδου απαιτήσεων τελικού χρήστη στις παραμέτρους πολιτικής χαμηλού επιπέδου και πρότεινε ταυτόχρονα μηχανισμό για την υποβολή των σημαντικότερων παραμέτρων QoS στον πάροχο υπηρεσιών / υποδομής, προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη διασφάλιση QoS. Στην παρούσα εργασία, προχωρούμε πέρα από ένα μεμονωμένο πλαίσιο διαχείρισης SLA, προσπαθώντας να υποστηρίξουμε τις επιχειρηματικές εγγυήσεις σε όλο το κύκλο ζωής των εικονικοποιημένων υπηρεσιών δικτύου. Για το σκοπό αυτό, «ενώνουμε» το προτεινόμενο «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA» με ένα «Κατάλογο NFV», καθώς και με ένα προηγμένο «Πλαίσιο Παρακολούθησης» για αποτελεσματικό εντοπισμό παραβιάσεων των υπογεγραμμένων SLA.

## 6.2 ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΠΑΡΟΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Ωστόσο, πέρα από την αξιόπιστη παροχή ποιότητας, υπάρχει η ανάγκη παρακολούθησης του δικτύου, η οποία αποτελεί βασικό παράγοντα για την αποτελεσματική διαχείριση του. και αρκετές έρευνες απευθύνονται σε αυτόν τον τομέα. Όπως αναφέρεται στο [59], παρουσιάστηκε το OpenTM, όπου τα ενσωματωμένα χαρακτηριστικά που παρέχονται στους διακόπτες OpenFlow χρησιμοποιούνται για την άμεση και ακριβή μέτρηση της χαμηλής εναέριας κυκλοφορίας. Το OpenTM χρησιμοποιεί επίσης τις γνώσεις δρομολόγησης που αποκτούνται από τον ελεγκτή OpenFlow για την έξυπνη επιλογή των διακοπών από τους οποίους μπορούν να ληφθούν στατιστικά στοιχεία ροής, μειώνοντας το φορτίο στα στοιχεία μεταγωγής. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [60] παρουσίασαν τη μέθοδο FlowSense, μια προσέγγιση βασισμένη στην ώθηση, για την παρακολούθηση επιδόσεων σε δίκτυα που βασίζονται σε ροή, όπου επιτρέπουν στο δίκτυο να ενημερώνεται σχετικά με τις αλλαγές απόδοσης, αντί να ζητά πληροφορίες σχετικά με τις μετρήσεις κατόπιν ζήτησης. Το βασικό σημείο του FlowSense είναι ότι τα μηνύματα ελέγχου που αποστέλλονται από τους διακόπτες στον ελεγκτή, περιέχουν πληροφορίες που επιτρέπουν την εκτίμηση της απόδοσης. Επιπλέον, παρουσιάζεται ακόμα ένα πλαίσιο παρακολούθησης για τα SDNs στο [61], όπου περιγράφεται το OpenSketch. Οι συγγραφείς προτείνουν μια αρχιτεκτονική μέτρησης κυκλοφορίας καθορισμένη από το λογισμικό που διακρίνει το επίπεδο δεδομένων από το επίπεδο ελέγχου. Το OpenSketch προσφέρει έναν απλό σωλήνα τριών σταδίων στο επίπεδο δεδομένων, που μπορεί να εφαρμοστεί με εξαρτήματα διακόπτη εμπορευμάτων και να υποστηρίξει πολλές εργασίες μέτρησης. Στο επίπεδο ελέγχου, το OpenSketch παρέχει μια βιβλιοθήκη μετρήσεων που ρυθμίζει αυτόματα τον αγωγό και κατανέμει πόρους για διαφορετικές εργασίες μέτρησης. Επιπλέον, στο [62], οι συγγραφείς παρουσιάζουν μια επέκταση του Prometheus.io, ενός πλαισίου παρακολούθησης που εφαρμόστηκε και ενσωματώθηκε στο έργο SONATA [63]. Εν ολίγοις, το πλαίσιο παρακολούθησης SONATA συγκεντρώνει και επεξεργάζεται δεδομένα από πολλές πηγές, επιτρέποντας στον προγραμματιστή να ενεργοποιεί μετρήσεις και κατώτατα όρια για τη λήψη γενικών ή συγκεκριμένων συμπεριφορών. Επιπλέον, ο προγραμματιστής μπορεί να ορίσει κανόνες που βασίζονται σε μετρήσεις που συλλέγονται από ένα ή περισσότερα VNF, σε ένα ή περισσότερα NFVIs, για να λαμβάνουν ειδοποιήσεις σχετικά με το χρόνο εκτέλεσης. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [64] πρότειναν μια προσέγγιση για την ολοκληρωμένη και λεπτομερή παρακολούθηση των 5G κινητών δικτύων, τα οποία χαρακτηρίζονται από λογισμικό, και η οποία χρησιμοποιεί ένα σύστημα βασισμένο σε IoT. Το αντίστοιχο πλαίσιο παρακολούθησης έχει σχεδιαστεί για τη συλλογή οποιουδήποτε τύπου δεδομένων είτε σε κείμενο είτε σε αριθμητική μορφή σε μια βάση δεδομένων στο Cloud. Έτσι, χρησιμοποιώντας αυτή τη γνώση, οι ελεγκτές SDN λαμβάνουν τις αποφάσεις σχετικά με το δίκτυο αναπροσαρμογή σύμφωνα με τις τρέχουσες συνθήκες. Ένα μεγάλο έργο δημοσιεύθηκε επίσης σε [65]. Σε αυτό το άρθρο, προτάθηκε μια παρακολούθηση βάσει λογισμικού, ενώ υπογραμμίζεται ο τρόπος με τον οποίο τα SDM μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση των σημερινών περιορισμών στα συστήματα παρακολούθησης παλαιού τύπου. Η

προτεινόμενη προσέγγιση είναι σε θέση να παρακολουθεί τόσο τα εικονικά όσο και τα φυσικά περιβάλλοντα των δικτύων με οικονομικό και αποδοτικό τρόπο. Αρχικά, η αρχιτεκτονική SDM που προτάθηκε από τους συγγραφείς χρησιμοποιήθηκε μόνο για την παρακολούθηση του δικτύου 5G backhaul. Τελευταία αλλά όχι ασήμαντη, είναι η παρουσίαση της αυτόματη διαχείρισης παρακολούθησης για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G [66]. Συγκεκριμένα, προτάθηκε μία αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στο 5G για την ενσωμάτωση τεχνολογιών SDN και NFV για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του κύκλου ζωής του συνόλου, λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες του επιπέδου ελέγχου δικτύου. Αυτή η αρχιτεκτονική διαχειρίζεται αυτόματα πόρους δικτύου για να ενορχηστρώσει υπηρεσίες παρακολούθησης δικτύου. Η παρακολούθηση VNF περιγράφεται από τη συλλογή πληροφοριών από διαφορετικές και ποικίλες πηγές, όπως δεδομένα δικτύου, υπηρεσίες διαχείρισης δικτύου και πληροφορίες επικοινωνίας του χρήστη με το δίκτυο.

## 6.3 ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΓΑ

### 6.3.1 SONATA

Το SONATA [67] είναι ένα έργο του H2020 5GPPP [68] με τους ακόλουθους στόχους:

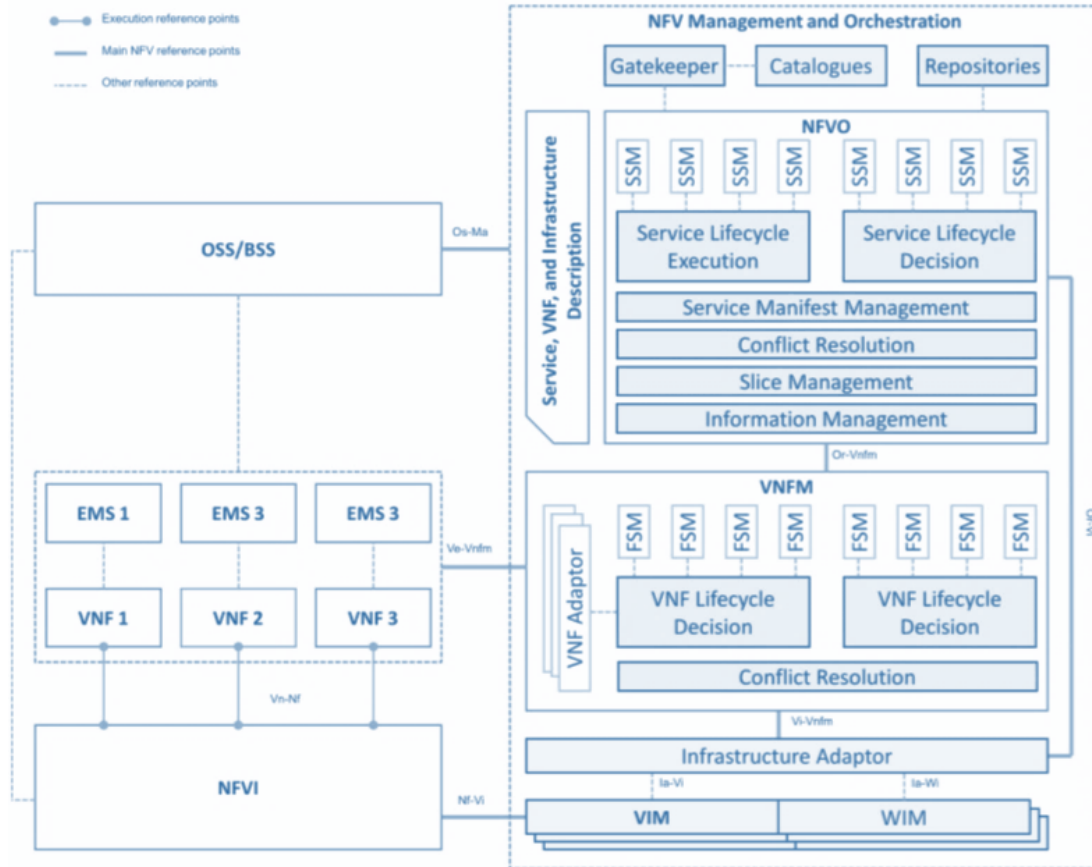
1. Μείωση του χρόνου που απαιτείται για την αγορά δικτυακών υπηρεσιών μειώνοντας την ανάπτυξη των υπηρεσιών.
2. Βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων και μείωση του κόστους ανάπτυξης και λειτουργίας των υπηρεσιών.
3. Επιτάχυνση της υιοθέτησης δικτύων λογισμικού στη βιομηχανία.
4. Προώθηση και τυποποίηση των αποτελεσμάτων του έργου.

Οι παραπάνω στόχοι επιτευχθήκαν στο SONATA με την ανάπτυξη των ακόλουθων στοιχείων:

- Ένα Kit ανάπτυξης λογισμικού (SDK) που βοηθά και καθοδηγεί τον προγραμματιστή VNF στην κατασκευή υπηρεσιών δικτύου και VNF Descriptor, και στην ενσωμάτωσή τους στην πλατφόρμα εξυπηρέτησης.
- Μια πλατφόρμα υπηρεσιών που επικυρώνει ποιος προσεγγίζει τους πόρους, αποθηκεύει υπηρεσίες δικτύου και VNF περιγραφείς, κατανέμει τους πόρους για κάθε αίτηση προς λειτουργία μιας υπηρεσίας και τέλος παρακολουθεί κάθε υπηρεσία η οποία «τρέχει» πάνω από την πλατφόρμα υπηρεσιών.

#### 6.3.1.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ SONATA

Η Εικόνα 6 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του SONATA. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο χαρτογραφείται στο μοντέλο ETSI, μέσω των καθορισμένων σημείων αναφοράς. Σε αυτό το πλαίσιο, οι Διευθυντές Ειδικών Υπηρεσιών (SSM) και Διευθυντές Ειδικών Λειτουργιών (FSM) είναι ιδιαίτερα εμφανείς, δίνοντας έμφαση σε μία από τις καινοτομίες του SONATA. Ο Ενορχηστρωτής παρέχει έναν διαχειριστή αποπληθωρισμού για κάθε υπηρεσία δικτύου (στο επίπεδο NFVO) και VNF (στο επίπεδο VNFM), και παράλληλα επιτρέπει την προσαρμογή της γενικής συμπεριφοράς από κάθε προγραμματιστή για κάθε υπηρεσία δικτύου / VNF, λαμβάνοντας υπόψη τα απαιτούμενα επίπεδα ασφαλείας που πρέπει να ικανοποιηθούν.



Εικόνα 6 – Αρχιτεκτονική προγράμματος SONATA

### 6.3.2 5GTANGO

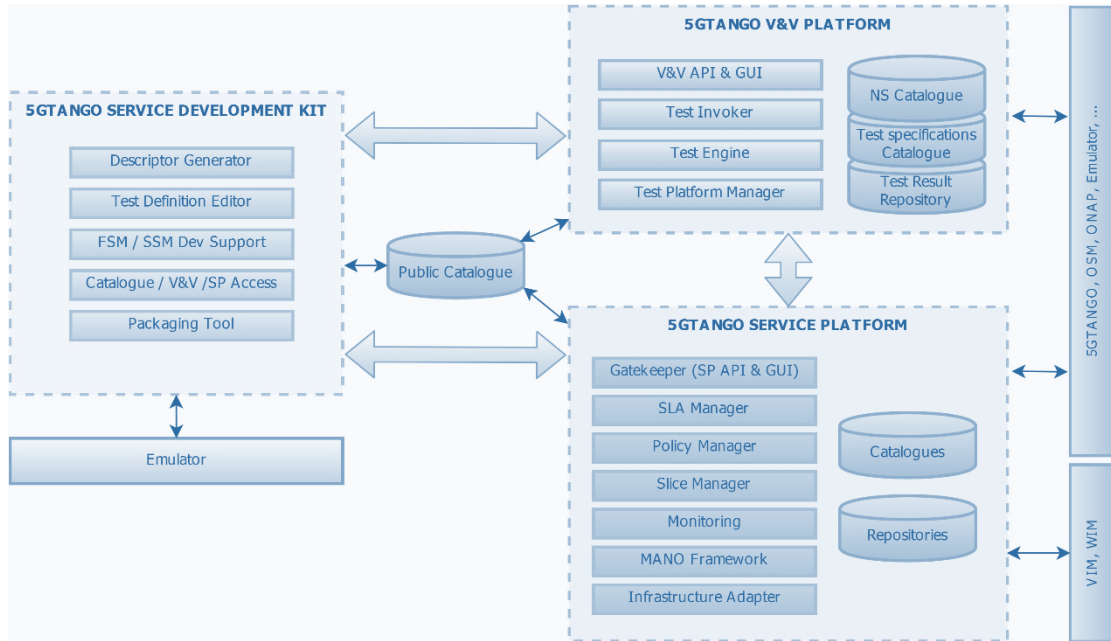
Το 5GTANGO [69] είναι ένα πρόγραμμα της δεύτερης φάσης της κοινότητας 5GPPP, το οποίο επιτρέπει τον ευέλικτο προγραμματισμό 5G δικτύων προσφέροντας: α) ένα κιτ ανάπτυξης υπηρεσιών (SDK) με δυνατότητες NFV, β) μία πλατφόρμα αποθήκευσης με προηγμένους μηχανισμούς επικύρωσης και επαλήθευσης για τα εικονικοποιημένες λειτουργίες δικτύου (V&V) και γ) μια πλατφόρμα υπηρεσιών με έναν καινοτόμο ενορχηστρωτή (SP), προκειμένου να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ των επιχειρησιακών αναγκών και των λειτουργικών συστημάτων διαχείρισης δικτύων.

Το 5GTANGO έχει τέσσερις κύριους στόχους:

- Μείωση της χρονικής διάρκειας προς την αγορά για δικτυακές υπηρεσίες με τη συντόμευση του κύκλου ανάπτυξης υπηρεσιών και την εξειδίκευση των υπηρεσιών δικτύου που πρόκειται να υιοθετηθούν.
- Μείωση του εμποδίου εισόδου σε τρίτους προγραμματιστές, υποστήριξη δημιουργίας και σύνθεσης λειτουργιών εικονικού δικτύου (VNF) και των στοιχείων εφαρμογής ως "Υπηρεσίες δικτύου".
- Ενεργοποίηση νέων επιχειρηματικών ευκαιριών με την προσαρμογή του δικτύου στις απαιτήσεις των εφαρμογών. Επιταχύνει επίσης την πρόσληψη NFV στη βιομηχανία μέσω ενός εκτεταμένου μοντέλου DevOps και την επικύρωση σε κλίμακα των δυνατοτήτων υπηρεσιών δικτύου της πλατφόρμας 5GTANGO σε κατακόρυφες περιπτώσεις χρήσης.

### 6.3.2.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ 5GTANGO

Τα κύρια αρχιτεκτονικά στοιχεία της πλατφόρμας 5GTANGO φαίνονται στην Εικόνα 7. Με κύριο στόχο να υποστηρίξει τους κατασκευαστές υπηρεσιών, τις εταιρείες πιστοποίησης υπηρεσιών και τους φορείς παροχής υπηρεσιών, στο 5GTANGO διακρίνονται τρία βασικά στοιχεία: SDK, V&V και SP. Οι υπηρεσίες που αναπτύσσονται σε αυτό το σύστημα, λειτουργούν πάνω από την υποκείμενη εικονικοποιημένη υποδομή, η οποία είναι προσβάσιμη μέσω των Διαχειριστών Εικονικών Υποδομών (VIMs).



Εικόνα 7 - Αρχιτεκτονική προγράμματος 5GTANGO

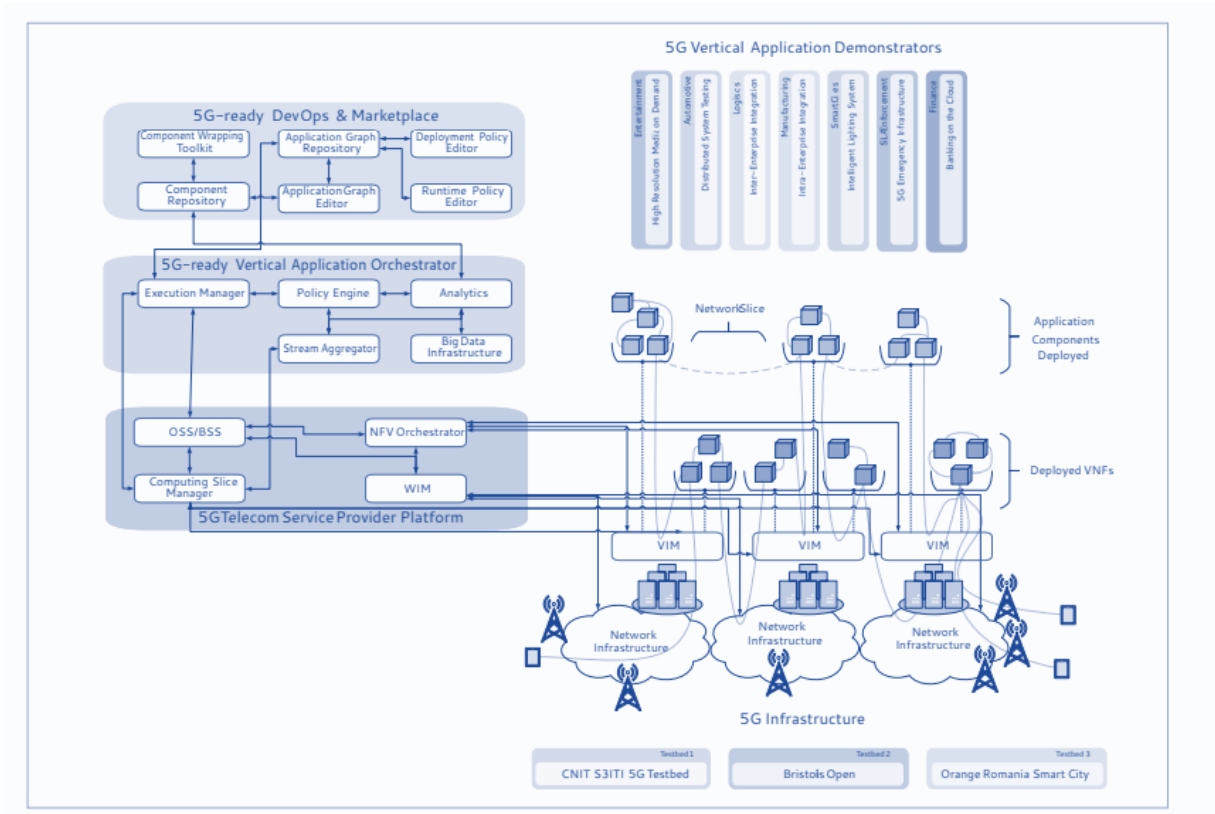
### 6.3.3 MATILDA

Το MATILDA [70] στοχεύει στην ανάπτυξη και υλοποίηση μιας ριζικής μετατόπισης σε κάθετες εφαρμογές που είναι έτοιμες για 5G, παρέχοντας τα εργαλεία για την προώθηση και επιτάχυνση της επέκτασης/εξέλιξης του Cloud στο οικοσύστημα 5G, γεφυρώνοντας εγγενώς τις εφαρμογές και τους τομείς υπηρεσιών δικτύου. Λεπτομερέστερα, σε ένα όραμα που προβλέπει ισχυρότερη ενσωμάτωση των περιβαλλόντων Cloud Computing και Mobile Edge Computing (MEC), το MATILDA αναγνωρίζει και συμμορφώνεται με τις εξελίξεις και θα προσφέρει σαφείς διεπαφές για τη διαχείριση πολλών σημείων του Cloud και του Edge και στο Internet of Things (IoT), που υποστηρίζονται από έναν διαχειριστή υποδομής με εικονικό περιβάλλον πολλαπλών τοποθεσιών. Βάσει αυτού του παραδείγματος, υποστηρίζει τη δημιουργία και τη συντήρηση εφαρμογών έτοιμων για 5G περιβάλλοντα. Υποστηρίζονται επίσης μηχανισμοί ανάλυσης, προσανατολισμένοι στο δίκτυο και στην εφαρμογή, βασιζόμενοι τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και εκ των υστέρων στην επεξεργασία των συλλεγόμενων δεδομένων από ένα σύνολο ροών παρακολούθησης.

#### 6.3.3.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ MATILDA

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, εφαρμόζονται έξυπνοι, ενοποιημένοι και ιεραρχικοί μηχανισμοί ενορχήστρωσης για την αυτοματοποιημένη τοποθέτηση των εφαρμογών έτοιμων για 5G και τη δημιουργία και συντήρηση των τυποποιημένων παραλλαγών δικτύου. Η ιδέα της πρόθεσης του

«διαμελισμού του δικτύου» επιτρέπει στον εντοπιστή του επιπέδου εφαρμογής να ζητήσει, να διαπραγματευτεί, να αναπτύξει, να διατηρήσει και να διακόψει την κατάλληλη εφαρμογή που βασίζεται και προσαρμόζεται στις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής, παρέχοντας επίσης ένα σύνολο μηχανισμών για προσαρμογή κατά την εκτέλεση της εφαρμογής, βάσει πολιτικών που ορίζονται για λογαριασμό του παρόχου υπηρεσιών. Ως δράση καινοτομίας, ένας άλλος σημαντικός στόχος του MATILDA είναι να αποδείξει την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων μηχανισμών και των αρχιτεκτονικών επιλογών του σε ένα σύνολο δοκιμαστικών κλινών επίδειξης 5G, και σε περιπτώσεις βιομηχανικής χρήσης, όπως παρουσιάζεται μέσω της αρχιτεκτονικής του στην Εικόνα 8.



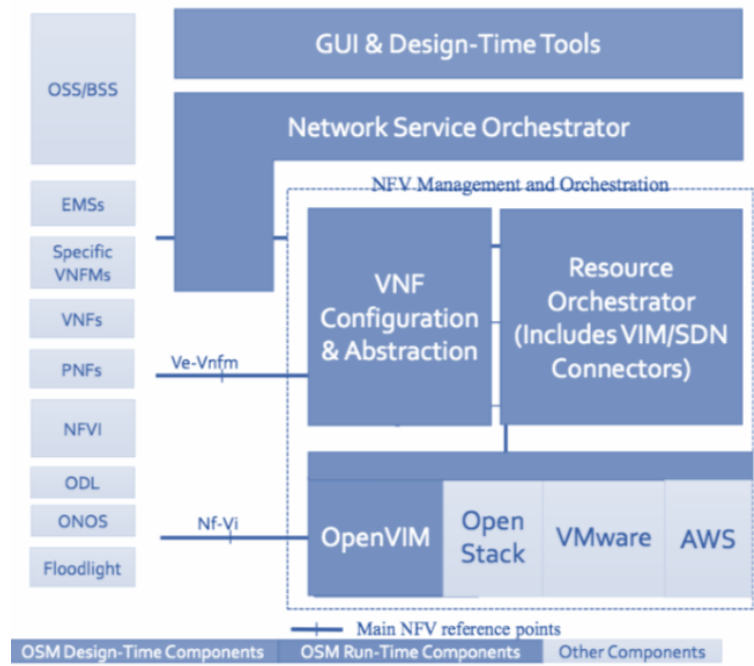
Εικόνα 8 - Αρχιτεκτονική προγράμματος MATILDA

## 6.4 ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΕΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ

### 6.4.1 OPEN SOURCE MANO (OSM)

Το ETSI OSM [71] είναι μια κοινότητα του ETSI, η οποία προσφέρει ένα ολοκληρωμένο σύστημα MANO ανοιχτού κώδικα, ευθυγραμμισμένη με τα μοντέλα πληροφοριών των προτύπων του ETSI

NFV. Η κοινότητα OSM έχει θέσει ως στόχο να προσφέρει μια λύση παγκόσμιας κλάσης, έτοιμη για την παραγωγή. Η Τρίτη έκδοση του OSM αντιπροσωπεύει ακόμα ένα σημαντικό βήμα σε αυτή τη διαδρομή. Το OSM έχει κατασκευαστεί, δοκιμαστεί και τεκμηριωθεί ώστε να είναι ένα λειτουργικό και ολοκληρωμένο σύστημα, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει τις διαδικασίες RFX του χειριστή και αποτελεί βασικό συστατικό για εσωτερικές / εργαστηριακές και εξωτερικές δοκιμές, καθώς και για δοκιμές διαλειτουργικότητας και κλιμάκωσης λειτουργιών και υπηρεσιών εικονικών δικτύων. Η κοινότητα OSM έχει καθορίσει ένα εκτεταμένο πεδίο εφαρμογής, που καλύπτει τόσο το σχεδιασμό όσο και το χρόνο εκτέλεσης. Η Εικόνα 9 δείχνει την κατά προσέγγιση χαρτογράφηση του πεδίου μεταξύ των συνιστωσών OSM και του πλαισίου MANO ETSI NFV.

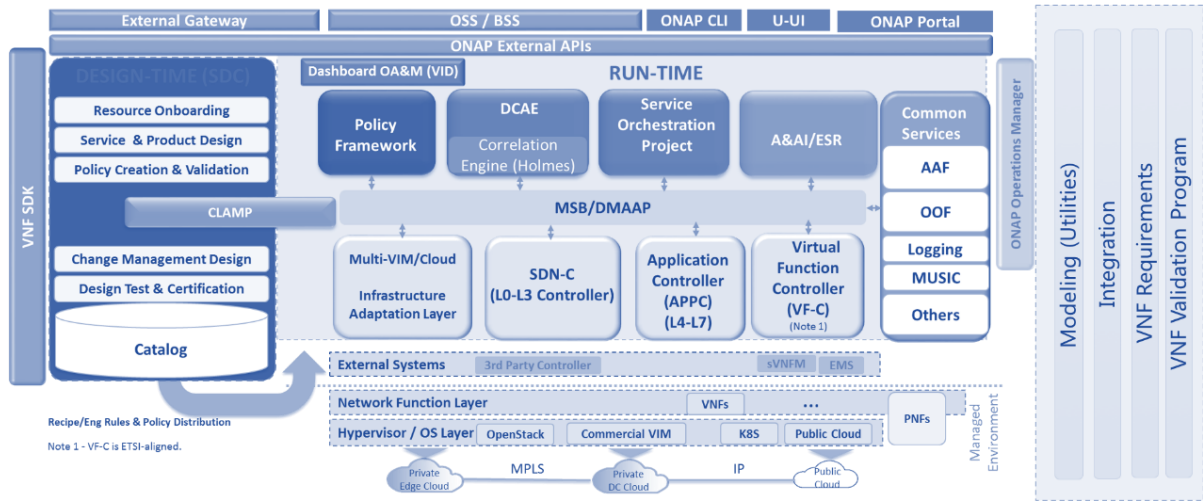


Εικόνα 9 – Αρχιτεκτονική OSM

#### 6.4.2 ONAP

Η ανοιχτή πλατφόρμα αυτοματοποίησης δικτύου (ONAP) [72] επικεντρώνεται στην ενορχήστρωση που βασίζεται σε πολιτικές (policies), σε πραγματικό χρόνο. Η πλατφόρμα ONAP παρέχει δυνατότητες ανεξάρτητες από το προϊόν για το σχεδιασμό, τη δημιουργία και τη διαχείριση του κύκλου ζωής των υπηρεσιών δικτύου. Το ONAP προσφέρει ένα λειτουργικό πλαίσιο για τον σχεδιασμό, την εφαρμογή, την ανάλυση και τη διαχείριση του κύκλου ζωής των υπηρεσιών μεγάλης κλίμακας φόρτους εργασίας. Με το ONAP, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων μπορούν να ενορχηστρώσουν συγχρονισμένα τις φυσικές και εικονικές λειτουργίες δικτύου. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης να επωφεληθούν από τις υπάρχουσες επενδύσεις δικτύου. Παράλληλα, το άνοιγμα και η πανταχού παρούσα αποδοχή από τους μεγάλους παρόχους δικτύων σε όλο τον κόσμο επιταχύνει την ανάπτυξη ενός ζωντανού οικοσυστήματος VNF. Η Εικόνα 10 παρουσιάζει τη συνολική αρχιτεκτονική του ONAP που σχεδιάστηκε για την πρώτη κυκλοφορία του [73].



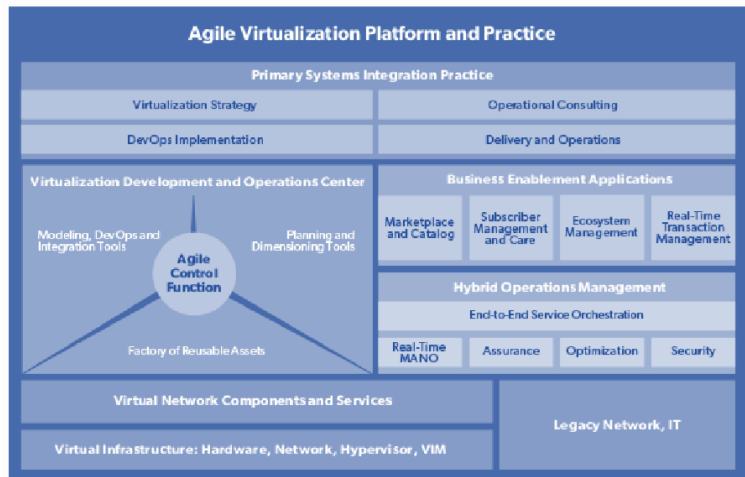


Εικόνα 10 – Αρχιτεκτονική ONAP

## 6.5 ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

### 6.5.1 NETCRACKER AVP

Η πλατφόρμα της NEC - NetCracker Agile Virtualization Platform [74] είναι μία πλατφόρμα εξυπηρέτησης που απευθύνεται κυρίως στους παρόχους τηλεπικοινωνιών. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 11, το NetCracker AVP αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων που προσανατολίζονται προς το MANO σε ένα τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον. Ένας από τους κύριους στόχους του NetCracker AVP είναι η διασφάλιση υπηρεσιών καθ' όλο το μήκος του πλαισίου. Για το σκοπό αυτό, το AVP προσφέρει εκτεταμένες δυνατότητες παρακολούθησης. Αυτές οι δυνατότητες παρακολούθησης αποτελούν τη βάση για τις δοκιμές των υπηρεσιών, τόσο στους λειτουργικούς τομείς όσο και στους τομείς απόδοσης. Ένα κομμάτι του πλαισίου είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση δοκιμών, τη συλλογή πληροφοριών παρακολούθησης και αποτελεσμάτων και την παρουσίασή τους στους χρήστες. Επιπλέον, οι κατάλογοι χρησιμοποιούνται ευρέως εντός του NetCracker AVP, προκειμένου να αποθηκεύονται και να μοιράζονται πληροφορίες σε πολλαπλά σημεία του πλαισίου και σε εξωτερικούς χρήστες.

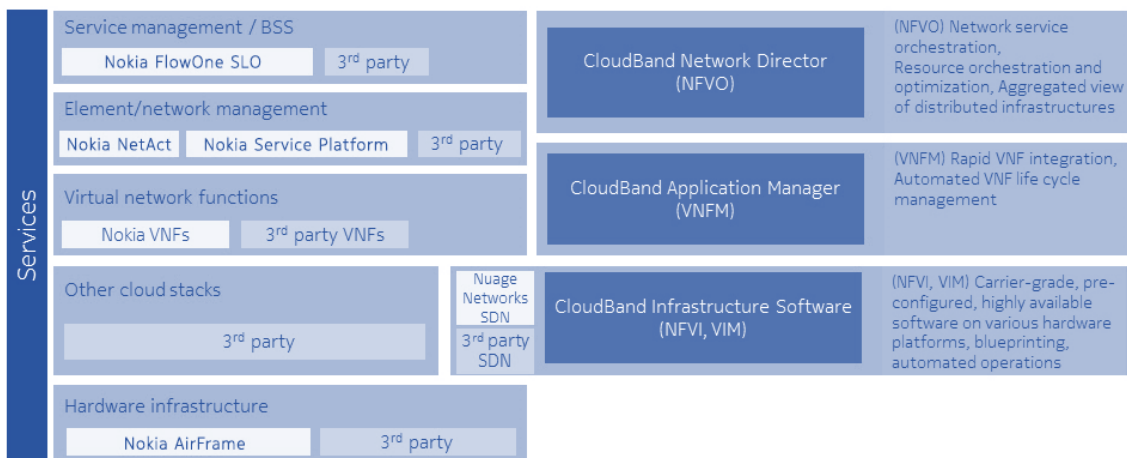


Εικόνα 11 - Αρχιτεκτονική NetCracker

### 6.5.2 NOKIA CLOUDBAND

Το Nokia CloudBand [75] απευθύνεται στους παρόχους υπηρεσιών, ώστε να τους προσφέρει την δυνατότητα να παρέχουν μια καλύτερη κατηγορία υπηρεσιών cloud. Η Nokia CloudBand καθιστά απλό την φιλοξενία, την ενορχήστρωση, την αυτοματοποίηση και την διαχείριση εικονικοποιημένων

λειτουργιών και υπηρεσιών. Τα ευέλικτα προϊόντα της συμβάλλουν στη μείωση του χρόνου προς νέες υπηρεσίες και τη χρήση της αυτοματοποίησης και βελτιστοποίησης, με στόχο οι λειτουργίες του δικτύου να γίνουν πιο άκαμπτες. Το CloudBand επωφελείται από τον ταχύ ρυθμό της καινοτομίας ανοιχτού κώδικα και παρέχει ένα προϊόν που είναι έτοιμο προς την αγορά.



Εικόνα 12 – Αρχιτεκτονική NOKIA CloudBand

## 7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ SLA ΣΕ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφεί η σχεδίαση και υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης SLA σε μια εικονικοποιημένη πλατφόρμα υπηρεσιών, εστιάζοντας στα κύρια στοιχεία της πλατφόρμας εξυπηρέτησης. Το κεφάλαιο παρέχει μια ευρεία επισκόπηση των εσωτερικών στοιχείων καθώς και των διεπαφών μεταξύ τους. Επίσης, ορίζει τις αλληλεπιδράσεις της πλατφόρμας εξυπηρέτησης με εξωτερικές οντότητες και φορείς, συμβάλλοντας έτσι στη σαφή κατανόηση της συνολικής εικόνας.

### 7.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Στο κεφάλαιο 7.1 περιγράφεται η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας λογισμικού που δημιουργήθηκε, η οποία διαμερίζει το συνολικό σύστημα σε μικρότερα κομμάτια που εξυπηρετούν συγκεκριμένους σκοπούς (μικρο-υπηρεσίες).

#### 7.1.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Η ανάπτυξη της πλατφόρμας υπηρεσιών που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, βασίζεται σε ορισμένες κατευθυντήριες αρχές. Αυτές οι αρχές επιλέχθηκαν για να εξασφαλίσουν την ομαλή εξέλιξη, την επαναχρησιμοποίηση, τη συντηρησιμότητα και τη σταθερότητα της πλατφόρμας, και είναι οι ακόλουθες:

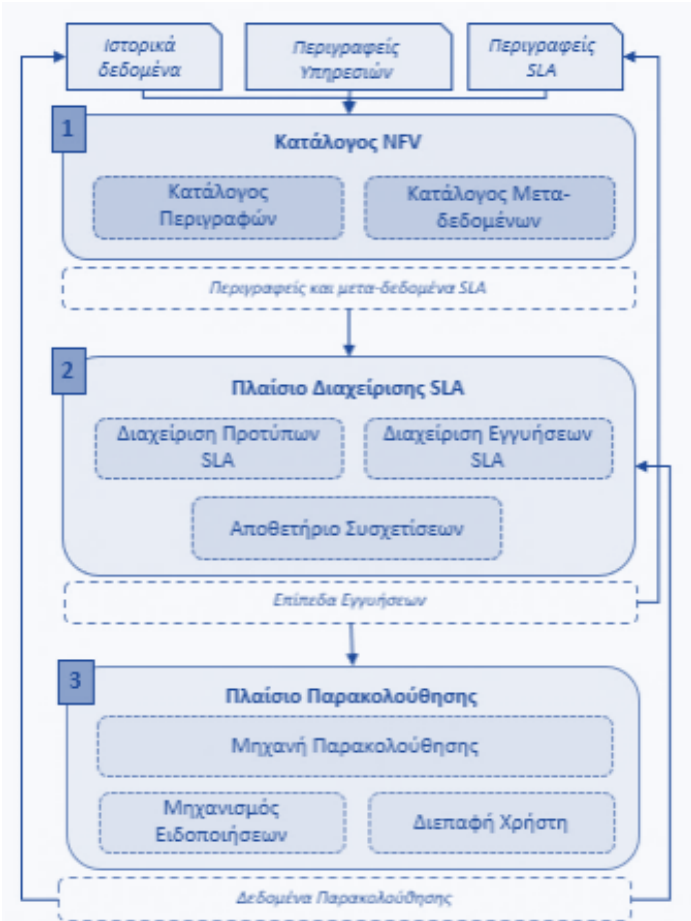
- **Απλότητα:** Τα στοιχεία της πλατφόρμας ακολουθούν τη φιλοσοφία Unix, δηλαδή να κάνουν μόνο ένα πράγμα και να το κάνουν καλά. Πιο εξεζητημένη λειτουργικότητα εξέρχεται από το συνδυασμό πολλαπλών υπο-κομματιών. Αυτή η κατευθυντήρια οδηγία έχει σχεδιαστεί για να προάγει τη διατηρησιμότητα των ανεπτυγμένων στοιχείων. Καθώς τα συστατικά εστιάζουν στην πραγματοποίηση μιας συγκεκριμένης λειτουργίας, είναι πιο εύκολο να γίνει κατανοητή η λειτουργικότητά τους. Η πολυπλοκότητα μειώνεται και η υλοποίηση αναμένεται να έχει λιγότερα σφάλματα από τα μεγάλα εξαρτήματα με ποικίλες λειτουργίες.
- **Χαλαρή σύζευξη:** Η αρχή της χαλαρής σύζευξης επιλέχθηκε για να εξασφαλιστεί η ανάπτυξη ενός αρθρωτού συστήματος που επιτρέπει την ανεξάρτητη ανάπτυξη και εξέλιξη των επιμέρους συστατικών. Οι πτυχές της χαλαρής σύζευξης περιλαμβάνουν την αποφυγή API που παρουσιάζουν λεπτομέρειες εφαρμογής, όπως δομές δεδομένων και λειτουργική αποσύνθεση. Αντ' αυτού, τα API έχουν σχεδιαστεί ώστε να μοιάζουν όσο το δυνατόν περισσότερο με τον τομέα της εφαρμογής. Λεπτομέρειες εφαρμογής, όπως η χρήση μιας σχεσιακής βάσης δεδομένων, πρέπει να αποκρύπτονται από τους χρήστες ενός στοιχείου. Ένα σημαντικό αποτέλεσμα της χαλαρής σύζευξης είναι η σχετική δυνατότητα αντικατάστασης εξαρτημάτων. Εάν το API δεν εκθέτει λεπτομέρειες εσωτερικής υλοποίησης, τα συστατικά στοιχεία του διακομιστή προβλέπουν ότι το API μπορεί να αντικατασταθεί με λειτουργικά ισοδύναμα στοιχεία, χωρίς να το παρατηρούν οι πελάτες. Παρομοίως, οι πελάτες μπορούν να αντικατασταθούν με νέους που πληρούν τα ίδια ή διαφορετικά χαρακτηριστικά, χωρίς να το παρατηρεί ο διακομιστής ή να χρειάζεται να αλλάξει.
- **Μικρο-υπηρεσίες:** Η πλατφόρμα υλοποιείται από μικρο-υπηρεσίες, οι οποίες είναι μικρά ανεξάρτητα αναπτυσσόμενα συστατικά στοιχεία τα οποία υλοποιούν την αρχή της χαλαρής σύζευξης. Ενθαρρύνουν επίσης τη χρήση της αρχής της απλότητας, καθώς προσανατολίζονται προς μικρά, αποκλειστικά συστατικά, τα οποία είναι τυπικά λειτουργικά συγκεκριμένα («*κάνουμε ένα πράγμα*») και πλήρη («*τα κάνουμε καλά*»).

- Υποστήριξη φυσικής και εικονικής υποδομής:** Η πλατφόρμα στοχεύει στην υποστήριξη υπηρεσιών πέραν εκείνων που παρέχονται από παραδοσιακούς διαχειριστές δικτύων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προέρχονται από βιομηχανικές και μεσαίες επιχειρήσεις. Για την ορθή υποστήριξη αυτών, η χρήση φυσικού εξοπλισμού, π.χ. μηχανές κατασκευής, αισθητήρες και κάμερες, είναι υποχρεωτική. Οι υπηρεσίες υποστήριξης υπηρεσιών καθαρού λογισμικού θα αναπτυχθούν σε εικονικά περιβάλλοντα.

### 7.1.2 ΣΥΝΟΨΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ SLA

Λαμβάνοντας υπόψη τις προκλήσεις που παρουσιάζονται στην Ενότητα 5 του παρόντος εγγράφου, το αναπτυγμένο πλαίσιο, επιτρέπει τη διαχείριση ολόκληρου του κύκλου ζωής των συμφωνιών επιπέδου υπηρεσιών (SLAs), από τη δημιουργία προτύπων έως την ανίχνευση παραβίασης. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη τη διασύνδεση μεταξύ ενός καταναμημένου συνόλου χρηστών και πόρων, η υλοποίηση του παρόντος συστήματος διαχείρισης στοχεύει στην καθοδήγηση αυτής της αλληλεπίδρασης. Δεδομένου ότι κάθε εξωτερική υπηρεσία επηρεάζει δυνητικά τη συνολική συμπεριφορά της πλατφόρμας υπηρεσιών, οποιαδήποτε παράμετρος υψηλού επιπέδου (π.χ. απόδοση, διαθεσιμότητα, ασφάλεια) που καθορίζεται σε ένα SLA, θα συνδέεται με απαιτήσεις χαμηλού επιπέδου διαχείρισης πόρων υποδομής.

Αρχικά, ένα σύνολο από NSs, SLAs και ιστορικά δεδομένα παρακολούθησης, συμπεριλαμβανομένων των μετα-δεδομένων τους, αποθηκεύονται σε ένα αποθετήριο εν ονόματι «Κατάλογος NFV». Μόλις αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες, το σύστημα διαχείρισης, εν ονόματι «Σύστημα Διαχείρισης SLA» εκτελείται σε δύο φάσεις: α) τη Διαχείριση Προτύπων SLA και β) τη Διαχείριση Εγγυήσεων SLA. Κατά τη διάρκεια της φάσης διαχείρισης προτύπων SLA, διαμορφώνεται ένα βελτιστοποιημένο πρότυπο SLA, χαρτογραφώντας τις υψηλού επιπέδου απαιτήσεις που εκφράζει ο πελάτης σε χαρακτηριστικά πόρων χαμηλού επιπέδου που απαιτούνται από τον πάροχο υπηρεσιών και την εικονικοποιημένη υποδομή. Από την άλλη, η φάση της διαχείρισης των εγγυήσεων των SLA ξεκινά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας NS και είναι υπεύθυνη για τη λήψη δεδομένων παρακολούθησης από το σύστημα παρακολούθησης ονόματι «Πλαίσιο Παρακολούθησης», το οποίο βρίσκεται στο κατώτερο μέρος της αρχιτεκτονικής. Το εφαρμοσμένο «Πλαίσιο Παρακολούθησης» παρέχει υποστήριξη για τη διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών, παρέχοντας προσαρμόσιμη ανατροφοδότηση παρακολούθησης βάσει των αναγκών της υποδομής. Η Εικόνα 13 απεικονίζει τη συνολική αρχιτεκτονική του αναπτυγμένου συστήματος, ενώ όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία εξηγούνται στις ακόλουθες υπο-ενότητες.



Εικόνα 13 – Αρχιτεκτονική ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης SLA

## 7.2 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ NFV

Ως αρχικό στάδιο, ο «Κατάλογος NFV» δημιουργήθηκε ώστε να καλύπτει τις ανάγκες αποθήκευσης και διαχείρισης των διαφόρων οντοτήτων της αρχιτεκτονικής, όπως είναι για παράδειγμα περιγραφείς NS και οι περιγραφείς SLA. Ο κύριος στόχος του «Καταλόγου NFV» είναι να παρέχει ένα αποθετήριο για την αποθήκευση των ανεπτυγμένων VNFs/NS και των αντίστοιχων SLAs τους, συνδέοντάς τα με πρόσθετα μετα-δεδομένα, τα οποία εκμεταλλεύονται για να αξιοποιήσουν τις λειτουργίες και τις διεπαφές τους για αποθήκευση, αναζήτηση και ανάκτηση δεδομένων και πληροφοριών. Επιπλέον, επιπρόσθετες πληροφορίες, όπως τα μετρικά αποτελέσματα και οι πληροφορίες που σχετίζονται με την ποιότητα υπηρεσίας, αποθηκεύονται ως μετα-δεδομένα των αντίστοιχων VNF/NS. Έτσι, ο «Κατάλογος NFV» μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια πολύπλευρη αποθήκευση δεδομένων, που αντιμετωπίζει τις διαφορετικές ανάγκες των οντοτήτων του 5G περιβάλλοντος το οποίο διαχειρίζεται.

Η λειτουργικότητα του «Καταλόγου NFV» βασίζεται κατά κύριο λόγο στα μετα-δεδομένα για τους περιγραφείς NS και SLA. Πριν από τη σύνδεση των μετα-δεδομένων, μέσω ενός RESTful API του καταλόγου, ο έλεγχος της εγκυρότητας της δομής του εγγράφου είναι ένα κρίσιμο και αναγκαίο βήμα. Δεδομένου ότι τα έγγραφα καθορίζονται σε μορφές αναγνώσιμες από μηχανές, η ανασκόπηση της μορφής συμβάλλει στην εξάλειψη ελαττωμάτων στον κατάλογο NFV. Επιπλέον, ο «Κατάλογος NFV» ευθυγραμμίζεται με την αρχή της μόνιμης αποθήκευσης, επεκτείνοντας την με πολύτιμα πεδία για την επιτυχή ολοκλήρωση των δεδομένων, την ακρίβεια στη μορφή του εγγράφου, τον επιβεβαιωμένο χρόνο δημιουργίας κλπ. Με αυτόν τον τρόπο, την ανάπτυξη βελτιωμένων λειτουργιών για την δημιουργία, την ανάκτηση, την ενημέρωση και τη διαγραφή (CRUD operations) περιγραφών SLA (SLA descriptors) μέσα στον κατάλογο NFV, ενώ βεβαιώνει τη σωστή μορφή δεδομένων των αποθηκευμένων εγγράφων (π.χ. πρότυπα SLA).

## 7.3 ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ SLA

Στο δεύτερο στάδιο της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής, η διαχείριση των SLAs λαμβάνει χώρα. Σε αυτό το στάδιο, τα πρότυπα SLA δημιουργούνται με τον βέλτιστο τρόπο, ως αρχικές προσφορές στους τελικούς χρήστες και μετά την επιτυχή υλοποίηση και έναρξη λειτουργίας του NS μαζί με το αντίστοιχο SLA, η υπογεγραμμένη συμφωνία αρχίζει να παρακολουθείται για να εκπληρώσει τους κατάλληλους στόχους επιπέδου υπηρεσιών προς τον τελικό χρήστη. Το παρών στάδιο χωρίζεται σε δύο φάσεις: α) Διαχείριση προτύπων SLA, που λαμβάνει χώρα πριν από την λειτουργία των NS, και β) την Διαχείριση Εγγυήσεων που λαμβάνει χώρα κατά την λειτουργία των NS, λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες από το «Πλαίσιο Παρακολούθησης» το οποίο θα περιγραφεί στη Ενότητα 6.4. Η εσωτερική αρχιτεκτονική και η συνολική ροή μέσα στο «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA» παρουσιάζεται στην Εικόνα 14.



Εικόνα 3 – Πλαίσιο Διαχείρισης SLA

### 7.3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

#### 7.3.1.1 Αποθετήριο Συσχετίσεων

Δεδομένου του μεγάλου όγκου των δεδομένων που δημιουργούνται και αναλύονται στο παρών πλαίσιο, ένα εσωτερικό αποθετήριο, το «Αποθετήριο Συσχετίσεων», είναι απαραίτητο ώστε να αποθηκεύονται και να διαχειρίζονται όλες οι συσχετίσεις μεταξύ των τελικών χρηστών, των υπηρεσιών δικτύου, των προτύπων, των παραβιάσεων, καθώς και τα αποτελέσματα χαρτογράφησης των απαιτήσεων, τα οποία θα παρουσιαστούν παρακάτω. Συγκεκριμένα, αποθηκεύει τις συσχετίσεις μεταξύ των απαιτήσεων υψηλού και χαμηλού επιπέδου για μελλοντική ανάλυση. Επιπλέον, παρακολουθεί όλες τις συσχετίσεις μεταξύ των παραγόμενων προτύπων και των συνδεδεμένων υπηρεσιών δικτύου. Ταυτόχρονα αποθηκεύονται πληροφορίες όσον αφορά την αυθεντικοποίηση των πελατών.

#### 7.3.1.2 Διαχείριση Προτύπων SLA

Η διαχείριση προτύπων SLA είναι η πρώτη φάση της «Διαχείρισης Προτύπων SLA» και είναι υπεύθυνη για τη λήψη των επιθυμητών επιχειρηματικών εγγυήσεων (π.χ. παραμέτρων QoS υψηλού επιπέδου) από διάφορους ενδιαφερόμενους (π.χ. παρόχους NS, πελάτες), με στόχο να διατυπώσει το πρότυπο SLA με έναν αποτελεσματικό τρόπο, σαν αρχική διαφήμιση των παρεχόμενων επιπέδων ποιότητας. Επιπλέον, κατά την φάση αυτή γίνεται η χαρτογράφηση απαιτήσεων υψηλού επιπέδου, σε χαρακτηριστικά πόρων χαμηλής επιπέδου, που θα συμπεριληφθούν στο πρότυπο και αργότερα θα παρακολουθούνται αναλόγως μέσω του συμφωνηθέντος SLA. Η φάση «Διαχείρισης Προτύπων SLA» αποτελείται από τέσσερις μηχανισμούς που θα περιγραφούν λεπτομερώς στις ακόλουθες υπο-ενότητες: α) Μηχανισμός Δημιουργίας Προτύπων, β) Μηχανισμός Χαρτογράφησης και γ) Μηχανισμός Ανάλυσης Παραμέτρων.

##### 7.3.1.2.1 Μηχανισμός Δημιουργίας Προτύπων

Ένα σημαντικό κομμάτι του πλαισίου διαχείρισης SLA είναι η «Μηχανισμός Δημιουργίας Προτύπων» που δημιουργεί αρχικά τα πρότυπα SLA για τον πάροχο υπηρεσιών, και αφετέρου, διατυπώνει το

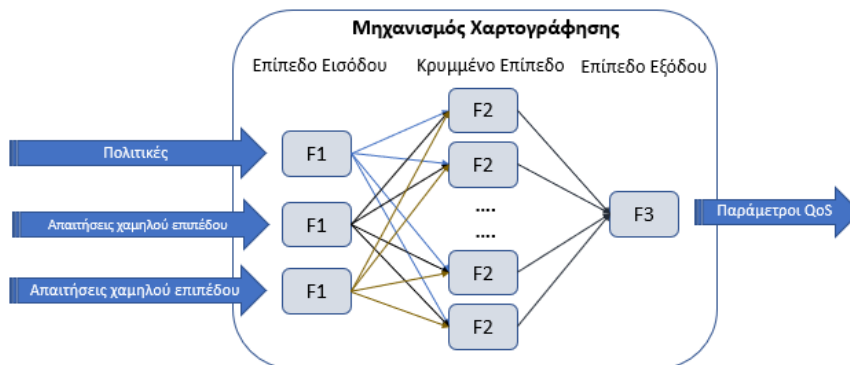
τελικό SLA. Ο «Μηχανισμός Δημιουργίας Προτύπων», όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 15, δέχεται ιστορικές πληροφορίες παρακολούθησης των εικονικοποιημένων υπηρεσιών, καθώς και βασικές πληροφορίες όσον αφορά των πελάτη και τον πάροχο. Ο σκοπός είναι να τα αναλύσει και να τα συσχετίσει, με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο ώστε να κατασκευάσει το βέλτιστο δυνατό πρότυπο SLA.



Εικόνα 45 – Δημιουργία Προτύπου SLA

### 7.3.1.2.2 Μηχανισμός Χαρτογράφησης

Μόλις δημιουργηθεί ένα αρχικό πρότυπο SLA, υπάρχει η ανάγκη να αποσυντεθούν οι απαιτήσεις υψηλού επιχειρηματικού επιπέδου, σε χαμηλού επιπέδου χαρακτηριστικά πόρων δικτύου, τα οποία μπορούν να παρακολουθούνται σύμφωνα με το «Πλαίσιο Παρακολούθησης». Με άλλα λόγια, ο προτεινόμενος «Μηχανισμός Χαρτογράφησης» είναι υπεύθυνος για τη χαρτογράφηση των απαιτήσεων υψηλού επιπέδου που περιγράφονται από τον τελικό χρήστη, σε μετρήσιμες χαμηλού επιπέδου που απαιτούνται από τον πάροχο υπηρεσιών, και το αντίστροφο. Συγκεκριμένα, ο «Μηχανισμός Χαρτογράφησης» αποκτά ένα σύνολο πολιτικών από ένα εξωτερικό πλαίσιο διαχείρισης πολιτικών δικτύου [76], ένα σύνολο απαιτήσεων χαμηλού επιπέδου από τον πάροχο υπηρεσιών και ένα σύνολο απαιτήσεων υψηλού επιπέδου από τον πελάτη, με βάση το NS που επιλέγεται. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για να συνθέσουν και να συγκεντρώσουν τις μετρήσιμες χαμηλού επιπέδου σε παραμέτρους SLA υψηλού επιπέδου και αντίστροφα. Ως αποτέλεσμα, ο μηχανισμός χαρτογράφησης προσφέρει σαν αποτέλεσμα ρητές παραμέτρους SLA και μετρήσιμες, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 16.



Εικόνα 16 – Χαρτογράφηση απαιτήσεων

Ο «Μηχανισμός Χαρτογράφησης» βασίζεται στη μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning), χρησιμοποιώντας ένα νευρωνικό δίκτυο (ANN – Artificial Neural Network) [77]. Η επιλογή να χρησιμοποιηθεί ANN, έγινε καθώς μπορεί να εφαρμοστεί για την επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος μετάφρασης, μέσω της απευθείας χαρτογράφησης των SLO συγκεκριμένων υπηρεσιών, σε

χαρακτηριστικά πόρων, ενώ παράλληλα είναι ευέλικτο σαν μοντέλο, γιατί μπορεί να έχει ή και να μην έχει κρυφό επίπεδο (layer). Δεδομένου ότι τα ANN αντιπροσωπεύουν μια προσέγγιση μαύρου κουτιού, είναι τα ιδανικά για χρήση σε ένα περιβάλλον όπου οι πληροφορίες δεν μεταδίδονται εύκολα από την μία οντότητα στην άλλη. Επιπλέον, τα ANN δεν απαιτούν γνώση σχετικά με την εσωτερική δομή των NS και των επιμέρους VNFs [78]. Παρόλα αυτά, αξίζει να αναφερθεί ότι χρειάζονται ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο δεδομένων για να εκπαιδευτούν και να εκτιμηθεί η αξιοπιστία τους. Χρησιμοποιώντας δεδομένα για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου, τα βάρη του νευρωνικού μεταξύ των επιπέδων προσδιορίζονται προκειμένου να εντοπιστούν πολύπλοκες εξαρτήσεις των εξόδων, από τις εισόδους. Έχοντας μια τέτοια συνάρτηση συσχέτισης, μια παράμετρος μπορεί να χαρτογραφηθεί δυναμικά σε μια άλλη.

#### 7.3.1.2.2.1 Επιλογή Μοντέλου Νευρωνικού Δικτύου

Σε αυτή την υπο-ενότητα γίνεται ανάλυση των διαφόρων μαθησιακών μοντέλων.

##### 7.3.1.2.2.1.1 Παραβιάσεις Στόχων Επιπέδου Υπηρεσιών: Διατύπωση Προβλήματος

Η παραβίαση ενός SLA λαμβάνει χώρα όταν τουλάχιστον ένα από τα υπογεγραμμένα SLOs, έχει ξεπεράσει το ανώτερο επιτρεπτό όριο, το οποίο έχει συμφωνηθεί μεταξύ των μελών. Η πρόβλεψη παραβάσεων, υφίσταται όταν το σύστημά μας αναγνωρίζει σωστά ότι ένα SLO ή ένα σύνολο από SLOs δεν είναι πλέον συμβατά. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι μελέτες SLA εφαρμόζονται σε μια υπηρεσία συνεχούς ροής που τρέχει πάνω από την εικονικοποιημένη υποδομή [79-80]. Στην παρούσα φάση, οι ακόλουθες παραδοχές έχουν ληφθεί υπόψη:

- Υπάρχουν επαναλαμβανόμενα μοτίβα σε κάθε μετρική.
- Υπάρχουν συσχετισμοί μεταξύ διαφορετικών μετρήσεων στο δίκτυο (π.χ. CPU).
- Οι μετρήσεις του κεντρικού δικτύου μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των υπηρεσιών.
- Οι μετρήσεις ποιότητας υπηρεσιών μπορούν να οριστούν από μία ή περισσότερες διαθέσιμες μετρήσεις.

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να προβλέψουμε τη μελλοντική συμπεριφορά της υπηρεσίας και του υποκείμενου δικτύου κατά τη χρονική στιγμή  $t + 1$  (π.χ. στην επόμενη ώρα ή μισή ώρα). Επιπλέον, με βάση αυτές τις προβλεπόμενες τιμές, θέλουμε να καθορίσουμε εάν επηρεάζονται τα αντίστοιχα SLOs, θεωρώντας ότι μια υπηρεσία (NS) είναι ένα σύνολο από διασυνδεδεμένα VNFs, εικονικούς συνδέσμους (virtual links), VMs, θύρες, κλπ.

Για κάθε VNF δηλώνουμε:

$$\text{SLO Απόδοσης: } X(1) = \frac{CPU\_load^2}{RAM\_load}$$

$$\text{SLO Μνήμης: } X(2) = RAM\_load$$

$$\text{SLO Δικτύου: } X(3) = \frac{Packet\_rate}{RAM\_load}$$

$$\text{SLO Δίσκου: } X(4) = \frac{Network\_input\_packets}{Disk\_access}$$



Το  $X$  αναφέρεται σε έναν γράφο ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω SLOs, δηλαδή τα  $X(1)$ ,  $X(2)$ ,  $X(3)$ ,  $X(4)$ .

Επιπλέον, για τις τελευταίες τιμές  $N$  του γράφου  $X$ , περιμένουμε ότι:

$$\hat{X}_t = f(X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}, \dots, X_{t-N})$$

Όπου:

$\hat{X}_t$ : είναι η προβλεπόμενη μήτρα που περιέχει τις προβλεπόμενες τιμές και των τεσσάρων χαρακτηριστικών.

Έρχεται με ένα σφάλμα:

$$\hat{X}_t = X_t + \varepsilon$$

Όπου:

$X_{t-i}$ : είναι ο γράφος, την χρονική στιγμή  $t-i$ .

Βασιζόμενοι στην μήτρα  $\hat{X}_t$  θα προβλέψουμε πιθανές παραβιάσεις SLO, την οποία την παρουσιάζουμε σαν την πιθανότητα  $s$ :

$$P(s \text{ is breached} / \hat{X}_t) \geq \alpha$$

Όπου :

$\alpha$ : είναι το ανώτερο αποδεκτό επίπεδο (*threshold*), πάνω από το οποίο θεωρούμε ένα SLO πως έχει παραβιαστεί.

### 7.3.1.2.2.1.2 Μοντέλο Εκπαίδευσης Νευρωνικού Δικτύου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα ANN αναφέρονται γενικά ως μαύρα κουτιά. Παίρνουν εισροές, εκτελούν περίπλοκους υπολογισμούς και εξάγουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε το Feed Forward Neural Network (FFNN) για την αντιμετώπιση του προβλήματος πρόβλεψης [81]. Τα FFNNs είναι επίσης γνωστά ως Multi-Layered Perceptrons (MLPs). Εσωτερικά, το FFNN έχει βάρος βάθους (weight matrix)  $\Theta$  και βάρος κόμβων που χρησιμοποιούνται για να τονίζουν το ρόλο κάθε κόμβου.

**Παράμετροι και Αρχιτεκτονική ANN:** Το μήκος του διανύσματος εισόδου στο ANN είναι ίσο με τον αριθμό των κόμβων στο στρώμα εισόδου. Το μέγεθος του στρώματος εισόδου είναι επίσης ίσο με το μέγεθος του κινούμενου παραθύρου κατά μήκος της χρονοσειράς. Επομένως, ο προσδιορισμός του κατάλληλου αριθμού κόμβων εισόδου για το πρόβλημα πρόγνωσης δεν είναι μια τετριμμένη εργασία.

Για ένα κινούμενο παράθυρο 5 παρατηρήσεων, έχουμε  $\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4, \chi_5$  με παράθυρο ολίσθησης των 5, με 5 κόμβους εισόδου και  $N - 5$  παραδείγματα εκπαίδευσης (με  $N$  να είναι ο αριθμός των συνολικών παραδειγμάτων). Το πρώτο παράδειγμα εκπαίδευσης  $\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4, \chi_5$  ως μήτρα εισόδου με ένα αντίστοιχο παράδειγμα εκπαίδευσης  $y$ , ισούται με  $\chi_6$ . Το τελευταίο παράδειγμα εκπαίδευσης  $\chi_{N-1}, \chi_{N-2}, \chi_{N-3}, \chi_{N-3}, \chi_{N-4}, \chi_{N-5}$ , με αντίστοιχη έξοδο  $\chi_N$

$$X = \begin{bmatrix} X_1, X_2, X_3 & \cdots & X_5 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{N-5}, X_{N-4}, X_{N-3} & \cdots & X_{N-1} \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} X_6 \\ \dots \\ X_N \end{bmatrix}$$

$$X \in \mathbb{R}^{5 \times N-5}, \quad y \in \mathbb{R}^{N-5}$$

Δεδομένου ότι το FFNN δεν επαναλαμβάνεται και δεν έχει μνήμη των καταστάσεων, επιλέξαμε ένα Rectifier Linear Unit (ReLU) ως τη λειτουργία ενεργοποίησης [100], η οποία δίνεται από τον παρακάτω τύπο. Επιπλέον, και αντίθετα με άλλες κοινώς χρησιμοποιούμενες λειτουργίες ενεργοποίησης (π.χ. Sigmoid ή tanh), το ReLU δεν πάσχει από πρόβλημα διαφυγής ή έκρηξης στην φάση εκπαίδευσης (δηλ. Εκθετική αύξηση ή μείωση των βαρών του νευρωνικού δικτύου).

$$f(x) = \sum_{i=1}^{inf} \sigma(x - i + 0.5)$$

**Εκπαίδευση ANN:** Κατά την εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου, γίνεται η βελτιστοποίηση των βαρών  $\Theta_{ij}^{(1)}$ ,  $\Theta_{ij}^{(2)}$  του δικτύου, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η συνάρτηση κόστους  $J(\Theta)$ . Στην παρούσα διπλωματική εργασία, για την εκπαίδευση του ANN χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Backpropagation [101]. Για λόγους απλότητας, η συνάρτηση κόστους του ΝΔ μπορεί να γραφεί ως εξής:

Για κάθε διάνυσμα εκπαίδευσης  $x^{(i)}$  και διάνυσμα αποτελέσματος  $y^{(i)}$ :

$$\text{cost}(i) \approx (h_{\theta}(x^{(i)}) - y^{(i)})^2$$

Για το επόμενο βήμα επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε αλγόριθμο γραμμικής παλινδρόμησης για τη βελτιστοποίηση των βαρών.

### 7.3.1.2.3 Μηχανισμός Ανάλυσης Παραμέτρων

Ο «Μηχανισμός Ανάλυσης Παραμέτρων» είναι υπεύθυνος για να αποφασίσει εάν θα πρέπει να διεξαχθεί ή όχι η διαδικασία του «Μηχανισμού Χαρτογράφησης». Η απόφαση γίνεται μετά από αναζήτηση του στοιχείου στο «Αποθετήριο Συσχετίσεων» και ελεγχθεί αν υπάρχει ήδη συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων εισόδου και των αποθηκευμένων αποτελεσμάτων χαρτογράφησης.

### 7.3.1.3 Διαχείριση Εγγυήσεων SLA

Η δεύτερη φάση του «Πλαισίου Διαχείρισης SLA», περιλαμβάνει την «Διαχείριση Εγγυήσεων SLA», αφού πραγματοποιηθεί επιτυχώς η λειτουργία των επιλεγμένων NS. Κατά την δεύτερη φάση γίνεται η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός SLA, η αξιόπιστη διαχείριση των εγγυημένων SLOs σε σχέση με τις συνθήκες της υποδομής και ο έλεγχος για πιθανές παραβιάσεις. Η φάση «Διαχείρισης Εγγυήσεων SLA», αποτελείται από δύο μηχανισμούς που θα περιγραφούν λεπτομερώς στις ακόλουθες ενότητες: α) Μηχανισμός Ανάλυσης Εγγυήσεων και β) Μηχανισμός Παραβίασης Εγγυήσεων

#### 7.3.1.3.1 Μηχανισμός Ανάλυσης Εγγυήσεων

Ξεκινώντας με το «Μηχανισμό Ανάλυσης Εγγυήσεων», η συγκέντρωση ιστορικών δεδομένων παρακολούθησης για τα NS τα οποία λειτουργούν στην εικονικοποιημένη υποδομή λαμβάνει χώρα. Παράλληλα γίνεται συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με τις απαιτήσεις πόρων του κάθε NS. Στη συνέχεια, θα πρέπει να αποφασιστεί εάν υπάρχει παραβίαση της σύμβασης μεταξύ των

αποτελεσμάτων χαρτογράφησης που είναι αποθηκευμένα στο «Αποθετήριο Συσχετίσεων» και τα πραγματικά δεδομένα παρακολούθησης που προέρχονται από το «Πλαίσιο Παρακολούθησης». Συγκεκριμένα, ο «Μηχανισμός Ανάλυσης Εγγυήσεων», συγκρίνει τις παραμέτρους QoS από το «Αποθετήριο Συσχετίσεων», με τα πραγματικά δεδομένα παρακολούθησης τα οποία προέρχονται από την υποδομή, και στη συνέχεια υπολογίζει το διαφορά μεταξύ τους, σύμφωνα με την συνάρτηση κρουστικής απόκρισης [82]. Εάν το Δέλτα είναι μεγαλύτερο από «0», όπως φαίνεται στην παρακάτω συνάρτηση, ο «Μηχανισμός Χαρτογράφησης» θα λάβει τα δεδομένα παρακολούθησης ως πρόσθετο σύνολο δεδομένων και θα επαναλάβει την διαδικασία εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα.

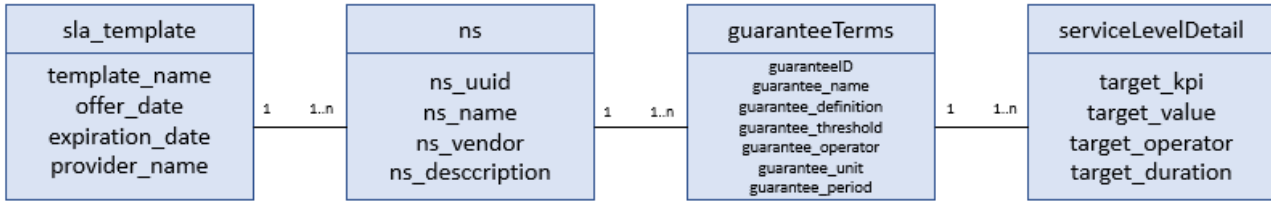
$$\frac{d}{dx} [H(x)] = \delta(x)$$

### 7.3.1.3.2 Μηχανισμός Παραβίασης Εγγυήσεων

Ως τελευταίο βήμα κατά το δεύτερο στάδιο του προτεινόμενου πλαισίου διαχείρισης SLA, θεωρούμε τον «Μηχανισμό Παραβίασης Εγγυήσεων». Ο εν λόγω μηχανισμός είναι υπεύθυνος να διασφαλίσει ότι, κατά την περίοδο λειτουργίας ενός NS, δεν θα παραβιαστούν τα αντίστοιχα SLA, και θα εκπληρώσουν με επιτυχία τις υπογεγραμμένες επιχειρηματικές απαιτήσεις τόσο των πελατών, όσο και των παρόχων υπηρεσιών. Παράλληλα, ο μηχανισμός είναι υπεύθυνος για τον εντοπισμό τυχόν παραβιάσεων και την ανάληψη των απαραίτητων ενεργειών. Συγκεκριμένα, κατά την συγκέντρωση μετρήσεων μέσω του «Πλαισίου Παρακολούθησης», ο «Μηχανισμός Παραβίασης Εγγυήσεων» ξεκινά μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία ανακατανομής πόρων, ώστε να προληφθούν τυχόν παραβιάσεις. Ο μηχανισμός εξετάζει τα αποτελέσματα χαρτογράφησης που είναι αποθηκευμένα στο «Αποθετήριο Συσχετίσεων» και τα συγκρίνει με τις πληροφορίες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Σε περίπτωση που προκύψουν πιθανές μελλοντικές απειλές παραβίασης, ο μηχανισμός αναπροσαρμόζει τις παραμέτρους χαμηλού επιπέδου που περιγράφονται για το συγκεκριμένο SLA και τις ωθεί πίσω στο «Πλαίσιο Παρακολούθησης» για αναδιοργάνωση και ανακατανομή πόρων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται τόσο η ικανοποίηση του υπογεγραμμένου SLA, όσο και η υποδομή δεν καταναλώνει πόρους τους οποίους δεν χρειάζεται μία δεδομένη στιγμή. Παρ' όλα αυτά, στην περίπτωση που μια παραβίαση δεν αποτραπεί εγκαίρως, αποστέλλεται μια ειδοποίηση από το «Μηχανισμό Παρακολούθησης» και μόλις ο «Μηχανισμός Παραβίασης Εγγυήσεων» την παραλάβει, υπολογίζει τη συνολική τιμή της συγκεκριμένης μετρικής κατά την διάρκεια ισχύος του SLA, και αποφασίζει κατά πόσο έχει παραβιαστεί η ποιότητα υπηρεσίας. Σε περίπτωση παραβίασης του SLA, ο πελάτης ενημερώνεται μέσω e-mail, SMS κτλ.

## 7.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΑΣ SLA

Ένας περιγραφέας SLA (SLA Descriptor) αποτελεί το βασικό έγγραφο SLA το οποίο ενσωματώνει μετρήσεις, ως συγκεκριμένους στόχους ή ιδιότητες του επιπέδου ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας, παραμέτρους καθώς και εκφράσεις μεταξύ των παραμέτρων αυτών. Ο προτεινόμενος περιγραφέας, βασίζεται σε ένα JSON-Σχήμα της έκδοσης Draft-04 [83-84], το οποίο βασίζεται στο πρότυπο ISO / IEC DIS 19086-2 [85]. Το εν λόγω σχήμα στοχεύει να καθορίσει τα κύρια «δομικά στοιχεία» ενός προτύπου SLA, και παράλληλα να παρουσιάσει μια έκφραση (δηλαδή μια συνάρτηση) που επιτρέπει σε έναν πάροχο υπηρεσιών να καθορίσει κάθε μετρική που περιλαμβάνεται σε ένα πρότυπο (π.χ. διαθεσιμότητα, χρόνος απόκρισης κ.λπ.). Επομένως, τα κύρια δομικά στοιχεία ενός περιγραφέα SLA, όπως αυτός έχει καθοριστεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, είναι τα αυτά που παρουσιάζονται στο μοντέλο δεδομένων της Εικόνας 17.



Εικόνα 17 – Μοντέλο δεδομένων περιγραφέα SLA

### 7.3.2.1 Πληροφορίες Γενικού Περιεχομένου

- schema: Περιγράφει ένα link προς το αντίστοιχο σχήμα το οποίο περιγράφει το έγγραφο.
- Vendor: Περιγράφει τον πάροχο του SLA.
- Version: Περιγράφει την έκδοση του προσφερόμενου προτύπου SLA.
- Author: Περιγράφει τον δημιουργό του προτύπου SLA.
- Description: Περιγράφει περιληπτικά το περιεχόμενο του προτύπου SLA.

### 7.3.2.2 Πληροφορίες Προτύπου

#### 7.3.2.2.1 Γενικές Πληροφορίες Προτύπου

- template\_name - Περιγράφει το όνομα για το πρότυπο SLA (π.χ. Χρυσό SLA)
- offer\_date – Περιγράφει την ημερομηνία προσφορά του προτύπου SLA.
- expiration\_date - Περιγράφει την ημερομηνία λήξης του προτύπου SLA.
- provider\_name – Περιγράφει το όνομα ή την επωνυμία του παρόχου υπηρεσιών (π.χ. Vodafone)

#### 7.3.2.2.2 Πληροφορίες Παρεχόμενης Υπηρεσίας

- ns\_uuid: Μοναδικό κλειδί το οποίο αντιπροσωπεύει το NS.
- ns\_name: Περιγράφει το όνομα του NS.
- ns\_vendor: Περιγράφει τον ιδιοκτήτη του NS.
- ns\_version: Περιγράφει την έκδοση του NS.
- ns\_description: Περιγράφει συνοπτικά την λειτουργία του NS.

#### 7.3.2.2.2.1 Πληροφορίες Εγγυήσεων Ποιότητας Υπηρεσίας για κάθε NS

- guaranteeID: Μοναδικό κλειδί το οποίο αντιπροσωπεύει κάθε μία εγγύηση ποιότητας του εκάστοτε NS.
- guarantee\_name: Περιγράφει το όνομα της εγγύησης (υψηλού επιπέδου απαίτηση).
- guarantee\_definition: Περιγράφει συνοπτικά την εγγύηση.
- guarantee\_threshold: Περιγράφει το ανώτερο αποδεκτό όριο της εγγύησης.
- guarantee\_operator: Περιγράφει το σύμβολο ισότητας/ανισότητας της εγγύησης.
- guarantee\_unit: Περιγράφει την μονάδα μέτρησης της εγγύησης.
- guarantee\_period: Περιγράφει την περίοδο κατά την οποία πρέπει να ισχυει η εγγύηση.
- target\_slo: Περιγράφει το χαμηλού επιπέδου SLO από το οποίο εξαρτάται η εγγύηση.

#### 7.3.2.2.2.1.1 Πληροφορίες Χαμηλού Επιπέδου SLO για κάθε Εγγύηση

- target\_kpi: : Περιγράφει το χαμηλού επιπέδου SLO
- target\_value: Περιγράφει την τιμή του χαμηλού επιπέδου SLO

- target\_operator: Περιγράφει το σύμβολο ισότητας/ανισότητας του χαμηλού επιπέδου SLO
- target\_duration: Περιγράφει την διάρκεια κατά την οποία πρέπει να ελέγχεται το χαμηλού επιπέδου SLO
- target\_period: Περιγράφει την περίοδο κατά την οποία πρέπει να ισχύει το χαμηλού επιπέδου SLO.
- target\_service\_level: Περιγράφει συνοπτικά την αποδεκτή τιμή του χαμηλού επιπέδου SLO.

### 7.3.3 ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ - APIS

Η υλοποίηση του παρόντος «Πλαισίου Διαχείρισης SLA» προσφέρει RestAPIs, τα οποία υποστηρίζουν τα ακόλουθα:

- Κάθε οντότητα δημιουργείται με μέθοδο POST στη διεύθυνση URL του πόρου. Το αίτημα του σώματος περιέχει την σειριακή οντότητα με τη μορφή που καθορίζεται στην κεφαλίδα. Η κεφαλίδα τοποθεσίας της απάντησης αναφέρεται στην διεύθυνση URL του νέου παραχωρούμενου πόρου. Ο κωδικός επιστροφής είναι 201 για την επιτυχία.
- Ένα ερώτημα για ένα μεμονωμένο αντικείμενο είναι ένα GET στη διεύθυνση URL του πόρου. Η μορφή της απάντησης καθορίζεται στην κεφαλίδα με την παράμετρο αποδοχής. Ο κωδικός επιστροφής είναι 200. Όπως αναμένεται, ένας μη αναγνωρίσιμος πόρος επιστρέφει κωδικό 404.
- Οποιοδήποτε άλλο ερώτημα είναι συνήθως ένα GET στη διεύθυνση URL του πόρου, χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους GET ως παραμέτρους ερωτήματος. Το αποτέλεσμα είναι μια λίστα οντοτήτων που ταιριάζουν με τις παραμέτρους. Ο κωδικός επιστροφής είναι 200, ακόμη και αν η λίστα είναι κενή.
- Οποιοδήποτε μη αναμενόμενο σφάλμα κατά την επεξεργασία του αιτήματος επιστρέφει κωδικό 5xx.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά τα RestAPIs τα οποία υποστηρίζονται.

#### 7.3.3.1 Διεπαφές Προγραμματισμού για τα Πρότυπα SLA

| Λειτουργία                            | Μέθοδος HTTP | Ακραίο Σημείο  |
|---------------------------------------|--------------|--|
| Δημιουργία προτύπου SLA               | POST         | <code>curl -X POST -H «Content-type:application/x-www-form-urlencoded» -d «nsd_uuid=&lt;&gt;&amp;guaranteeId=&lt;&gt;&amp;expireDate=&lt;&gt;&amp;templateName=&lt;&gt;» http://localhost:8080/tng-SLA-mgmt/api/SLAs/v1/templates</code> |
| Λήψη όλων των υπάρχοντων προτύπων SLA | GET          | <code>curl -H «Content-type:application/json» http://localhost:8080/tng-SLA-mgmt/api/SLAs/v1/templates/</code>   |
| Λήψη ενός συγκεκριμένου προτύπου SLA  | GET          | <code>curl -H «Content-type:application/json» http://localhost:8080/tng-SLA-mgmt/api/SLAs/v1/templates/{SLA_uuid}</code>   |
| Διαγραφή προτύπου SLA                 | DELETE       | <code>curl -X DELETE http://localhost:8080/tng-SLA-mgmt/api/SLAs/v1/templates/{SLA_uuid}</code>  |

Πίνακας 1 - Διεπαφές Προγραμματισμού για τα Πρότυπα SLA

### 7.3.3.2 Διεπαφές Προγραμματισμού για τα SLA

| Λειτουργία                                  | Μέθοδος HTTP | Ακραίο Σημείο   |
|---|--------------|---|
| Λήψη όλων των υπάρχοντων υπογεγραμμένων SLA | GET          | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/agreements/                           |
| Λήψη ενός συγκεκριμένου υπογεγραμμένου SLA  | GET          | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/agreements/{SLA_uuid}                 |
| Λήψη εγγυήσεων για ένα υπογεγραμμένο SLA    | GET          | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/agreements/guarantee-terms/{SLA_uuid} |
| Λήψη ενεργών υπογεγραμμένων SLA             | GET          | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/agreements/service/{ns_uuid}          |

Πίνακας 2 - Διεπαφές Προγραμματισμού για τα SLA

### 7.3.3.3 Διεπαφές Προγραμματισμού για τις Παραβιάσεις SLA

| Λειτουργία                                  | Μέθοδος HTTP | Ακραίο Σημείο   |
|---|--------------|---|
| Λήψη όλων των παραβιάσεων                   | GET          | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/violations/                     |
| Λήψη των παραβιάσεων ενός συγκεκριμένου SLA | GET          | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/violations/{ns_uuid}/{SLA_uuid} |

Πίνακας 3 - Διεπαφές Προγραμματισμού για τις Παραβιάσεις SLA

### 7.3.3.4 Διεπαφές Προγραμματισμού Διαχείρισης SLA

| Λειτουργία   | Μέθοδος HTTP | Ακραίο Σημείο  |
|--|--------------|--|
| Λήψη όλων των πιθανών εγγυήσεων οι οποίες υποστηρίζονται | GET          | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/mgmt/guaranteesList      |
| Λήψη συσχετίσεων Υπηρεσιών - Προτύπων                    | GET          | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/mgmt/services/templates/ |

|   |     |  |
|---|-----|--|
| Λήψη υπηρεσιών οι οποίες έχουν συσχετισμένα πρότυπα     | GET | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/mgmt/services/templates/true   |
| Λήψη υπηρεσιών οι οποίες δεν έχουν συσχετισμένα πρότυπα | GET | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/mgmt/services/templates/false  |
| Λήψη υπηρεσιών οι οποίες έχουν υπογεγραμμένα SLA        | GET | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/mgmt/services/agreements/true  |
| Λήψη υπηρεσιών οι οποίες έχουν υπογεγραμμένα SLA        | GET | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-<br>mgmt/api/SLAs/v1/mgmt/services/agreements/false |
| Έλεγχος κατάστασης «υγείας»                             | GET | curl -H «Content-type:application/json»<br>http://localhost:8080/tng-SLA-mgmt/api/SLAs/v1/ping                               |

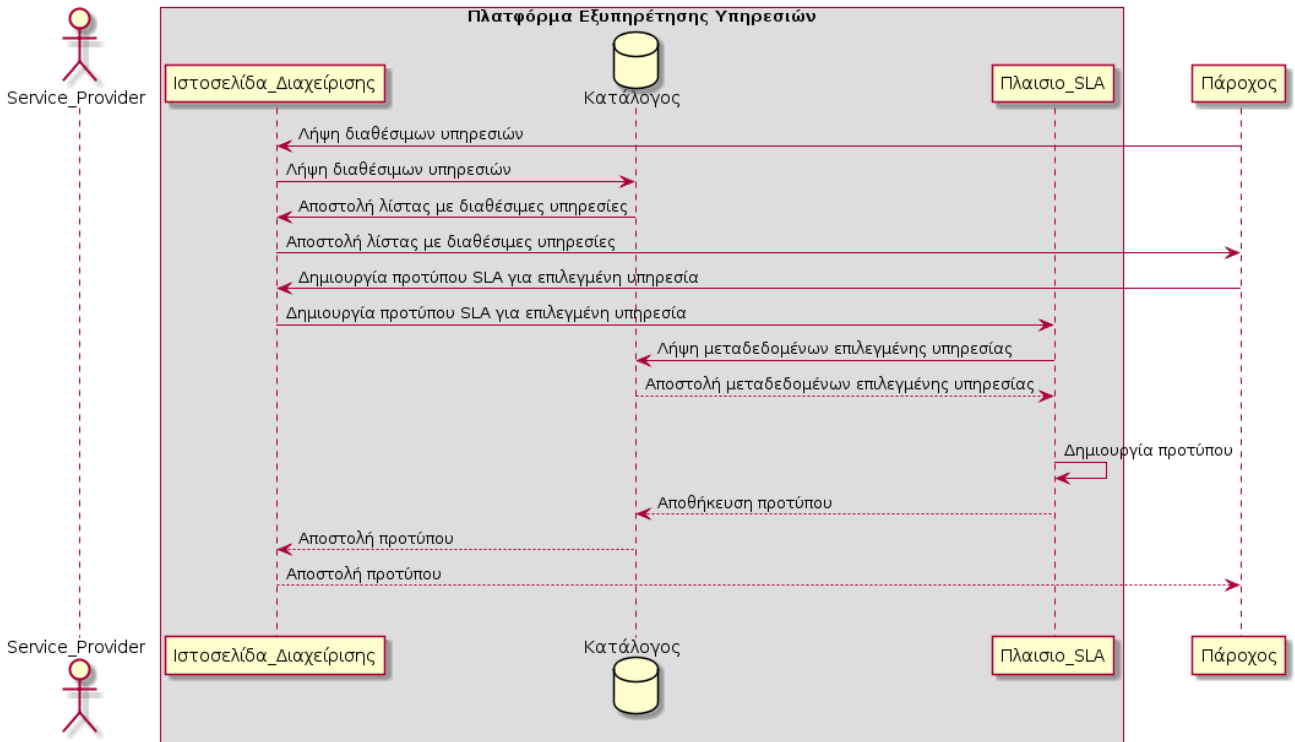
Πίνακας 4 - Διεπαφές Προγραμματισμού Διαχείρισης SLA

### 7.3.4 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Προκειμένου μια εικονικοποιημένη υπηρεσία δικτύου να «τρέξει» στην υποδομή του παρόχου υπηρεσιών, θα πρέπει να υλοποιηθούν αρκετά βήματα, όσον αφορά την εκτίμηση της απόδοσης και την απαιτούμενη ποιότητα, τα οποία πρέπει να συμφωνηθούν και να υπογραφούν στο SLA. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως ενώ μπορούν να συμφωνηθούν αρκετά SLA μεταξύ διαφορετικών φορέων, η διαχείριση SLA της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επικεντρώνεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του παρόχου υπηρεσιών και του τελικού χρήστη/πελάτη.

#### 7.3.4.1 Δημιουργία Προτύπων SLA

Κατά τη δημιουργία ενός προτύπου SLA, δημιουργείται ένα αρχικό SLA για τον πάροχο υπηρεσιών, ώστε να μπορέσει να το διαφημίσει στους μελλοντικούς του πελάτες. Ο «Μηχανισμός Δημιουργίας Προτύπων» αναλύει τα μετα-δεδομένα για μια συγκεκριμένη υπηρεσία δικτύου και δημιουργεί με δυναμικό τρόπο ένα δομημένο πρότυπο SLA όπως φαίνεται στο Εικόνα 18.



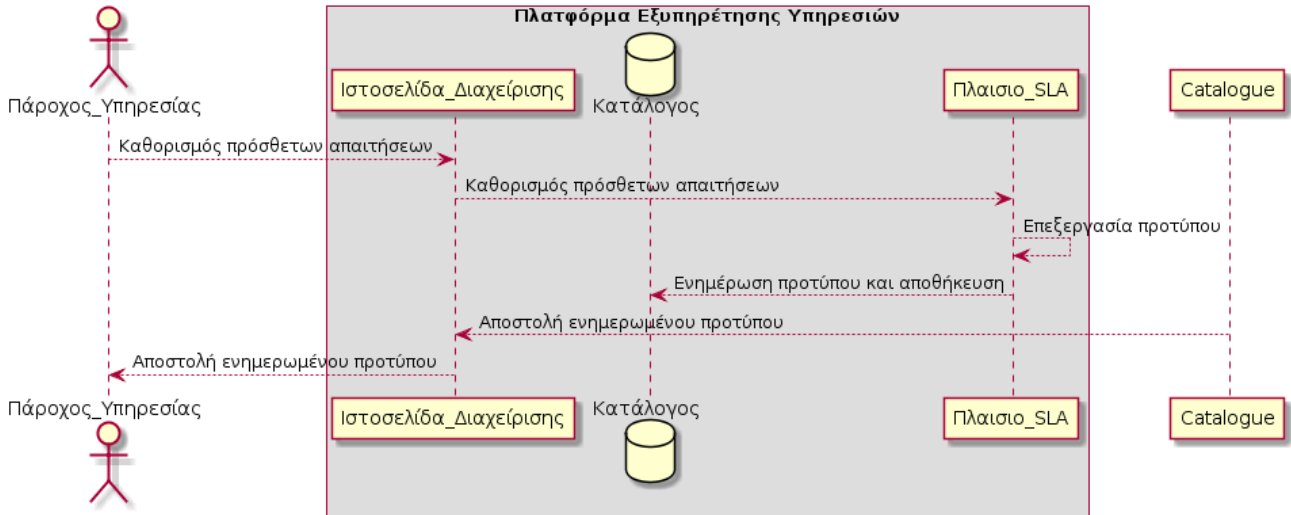
Εικόνα 18 :Ροή Εργασίας Δημιουργίας Προτύπων SLA

### 7.3.4.2 Προσαρμογή Προτύπων SLA

Η ροή προσαρμογής προτύπου SLA φαίνεται στην Εικόνα 19.

- Μόλις δημιουργηθεί το πρότυπο, είναι διαθέσιμο στον πάροχο υπηρεσιών μέσω μιας ενοποιημένης Ιστοσελίδας Διαχείρισης, για να: α) το δημοσιεύσει στους πελάτες και β) να το προσαρμόσει.
- Ο πάροχος υπηρεσιών μπορεί να προσθέσει πρόσθετες επιχειρηματικές τιμές στο πρότυπο.
- Οι πληροφορίες αποστέλλονται στον Διαχειριστή SLA.
- Ο Διαχειριστής SLA είναι υπεύθυνος να επεξεργαστεί το τρέχον πρότυπο SLA και να το στείλει πίσω στον Κατάλογο.
- Ο κατάλογος ενημερώνει το τρέχον πρότυπο και δημοσιεύει την κατάστασή του.
- Τέλος, η λίστα των διαθέσιμων προτύπων ενημερώνεται και διατίθεται στην πύλη.

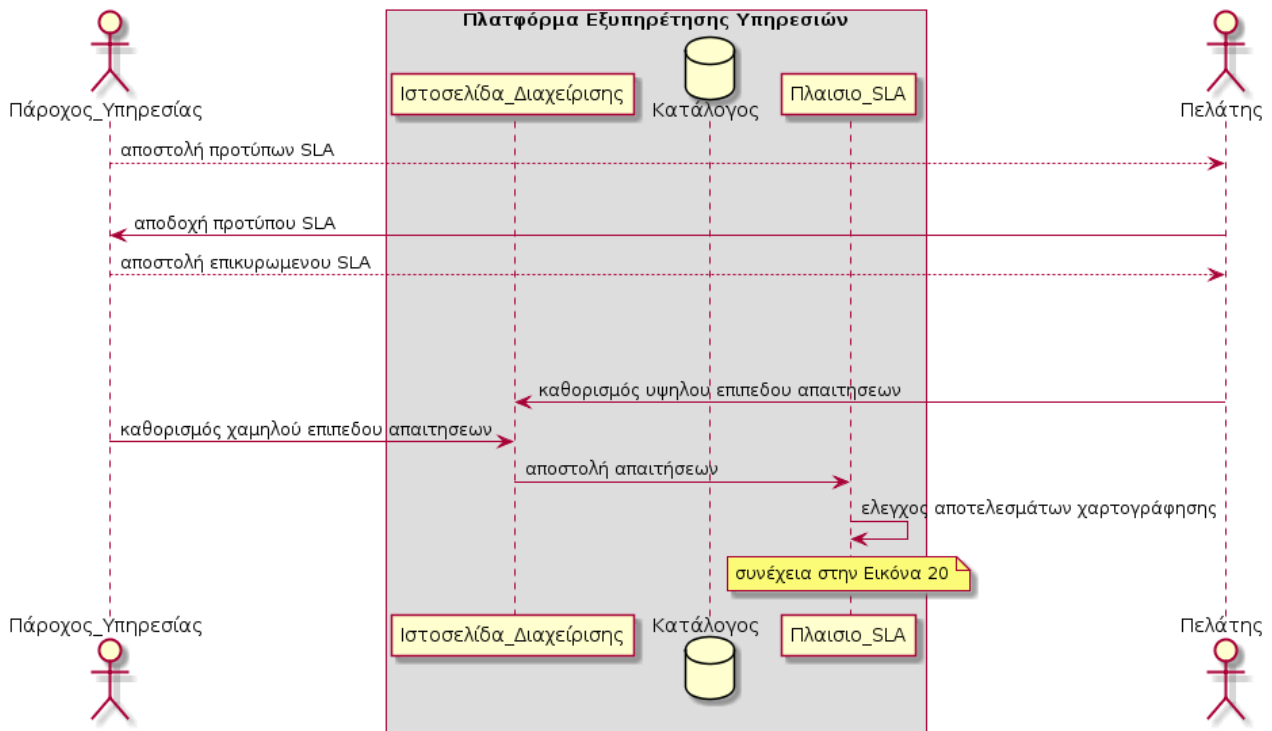




Εικόνα 19 – Ροή εργασίας προσαρμογής προτύπων SLA

### 7.3.4.3 Επικύρωση SLA

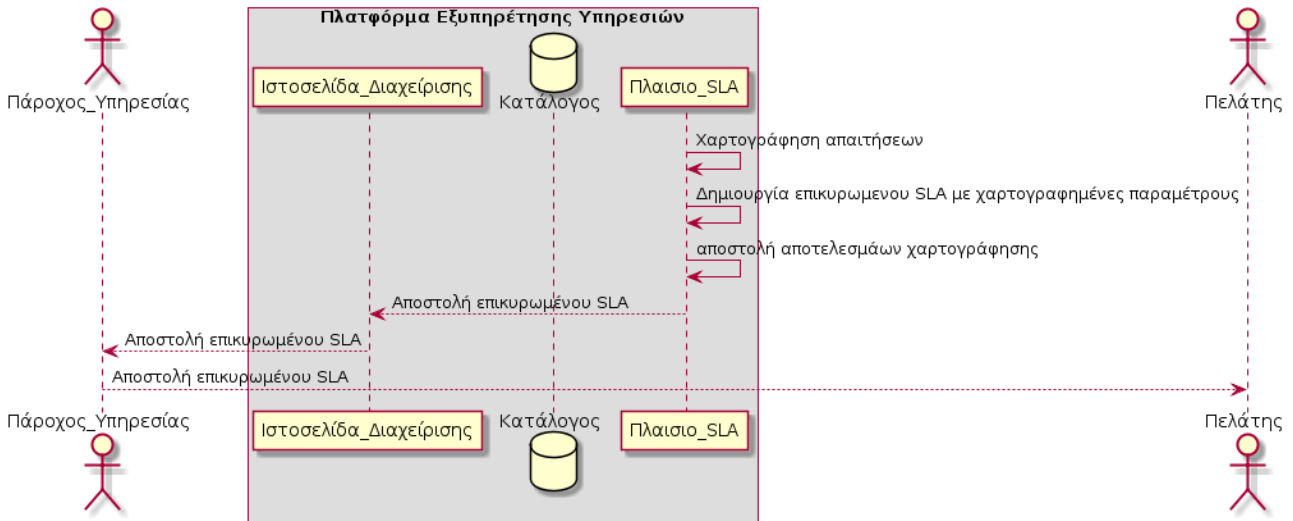
Στην Εικόνα 20, εφόσον το πρότυπο SLA είναι διαθέσιμο στον τελικό χρήστη, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις επιχειρηματικές του πτυχές, θα πρέπει ο τελικός χρήστης να το δεχτεί και να το «υπογράψει» όπως είναι, ή θα πρέπει να ορίσει ορισμένες νέες απαιτήσεις υψηλού επιπέδου (π.χ. διαθεσιμότητα, χρόνος απόκρισης κ.λπ. ώστε να λάβει μέρος μία διαπραγμάτευση εγγυήσεων.



Εικόνα 205 – Ροή εργασίας επικύρωσης SLA – μέρος 1<sup>ο</sup>

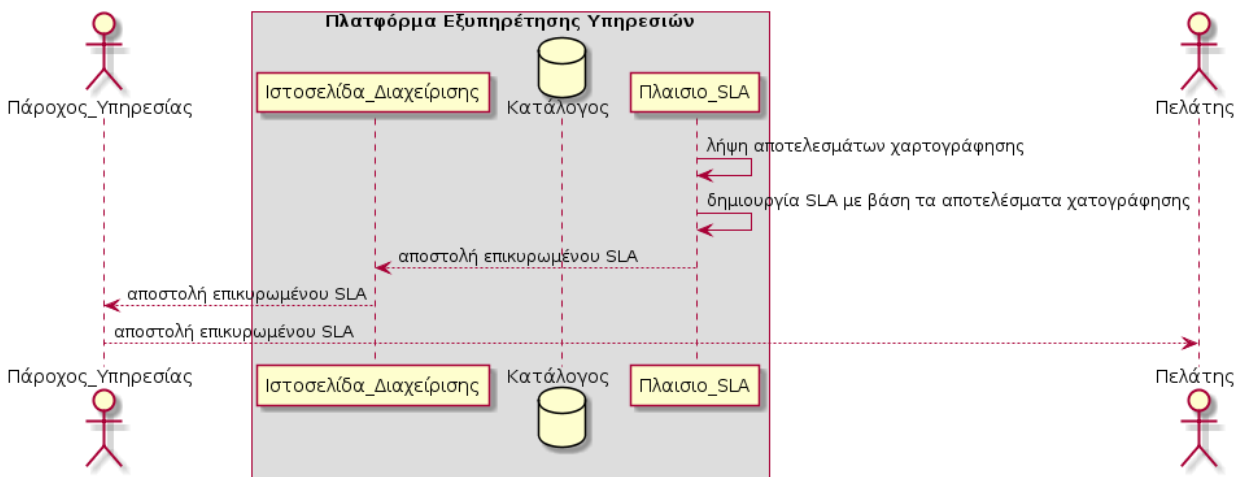
Στην συνέχεια, μόλις το σύστημα διαχείρισης SLA συγκεντρώσει όλα τα κατάλληλα δεδομένα και πληροφορίες, ελέγχει αν υπάρχει ήδη συνδυασμός μεταξύ του τελευταίου και των ήδη υφιστάμενων αποτελεσμάτων χαρτογράφησης, προκειμένου να αποφασιστεί εάν πρέπει να γίνει ή όχι η διαδικασία

του μηχανισμού χαρτογράφησης. Σε περίπτωση που χρειάζεται να γίνει η διαδικασία χαρτογράφησης, πραγματοποιείται συνδυασμός (χαρτογράφηση) των απαιτήσεων υπηρεσίας που ορίζονται από τον τελικό χρήστη (π.χ. παραμέτρους φόρτου εργασίας) και πολιτικών με τα χαρακτηριστικά επιπέδου πόρων, προκειμένου να προβλεφθεί η εκτίμηση της απόδοσης και η απαιτούμενη ποιότητα, τα οποία πρέπει να συμφωνηθούν και να υπογραφούν στο SLA, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 21.



Εικόνα 21 - Ροή εργασίας επικύρωσης SLA – μέρος 2<sup>ο</sup>

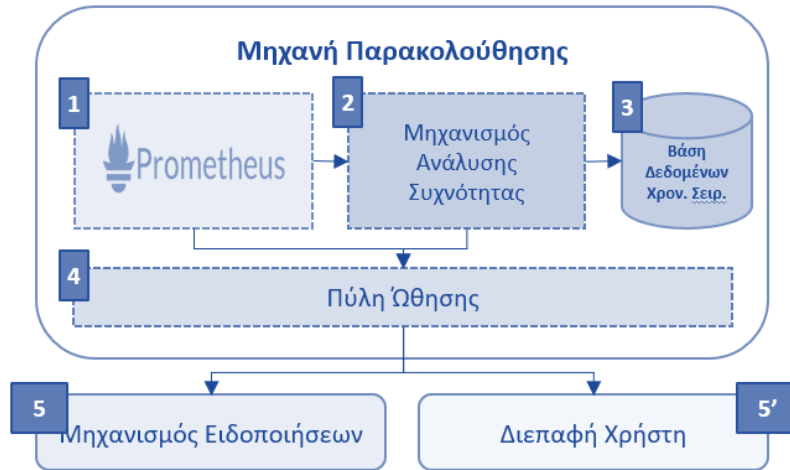
Αντίθετα με την παραπάνω περίπτωση, στην περίπτωση που υπάρχει ήδη ένας συνδυασμός μεταξύ του συνόλου δεδομένων εισόδου (απαιτήσεις που λαμβάνονται από τον φορέα παροχής υπηρεσιών και του πελάτη) και των αποθηκευμένων αποτελεσμάτων χαρτογράφησης, στην Εικόνα 22 φαίνεται, πως γίνεται «παράκαμψη» της διαδικασίας χαρτογράφησης και δημιουργείται αυτόματα και δυναμικά το τελικό SLA.



Εικόνα 22 - Ροή εργασίας επικύρωσης SLA – μέρος 3<sup>ο</sup>

## 7.4 ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο του προτεινόμενου πλαισίου διαχείρισης SLA, βρίσκεται το «Πλαίσιο Παρακολούθησης», η αρχιτεκτονική του οποίου απεικονίζεται στην Εικόνα 24. Το προτεινόμενο πλαίσιο υιοθετεί το σύστημα παρακολούθησης Prometheus [86], το οποίο στην παρούσα διπλωματική εργασία προσαρμόστηκε ώστε να μπορεί να υποστηρίξει την παρακολούθηση ενός SLA σε όλο το κύκλο ζωής μίας εικονικοποιημένης υπηρεσίας δικτύου, σε ένα περιβάλλον 5G.



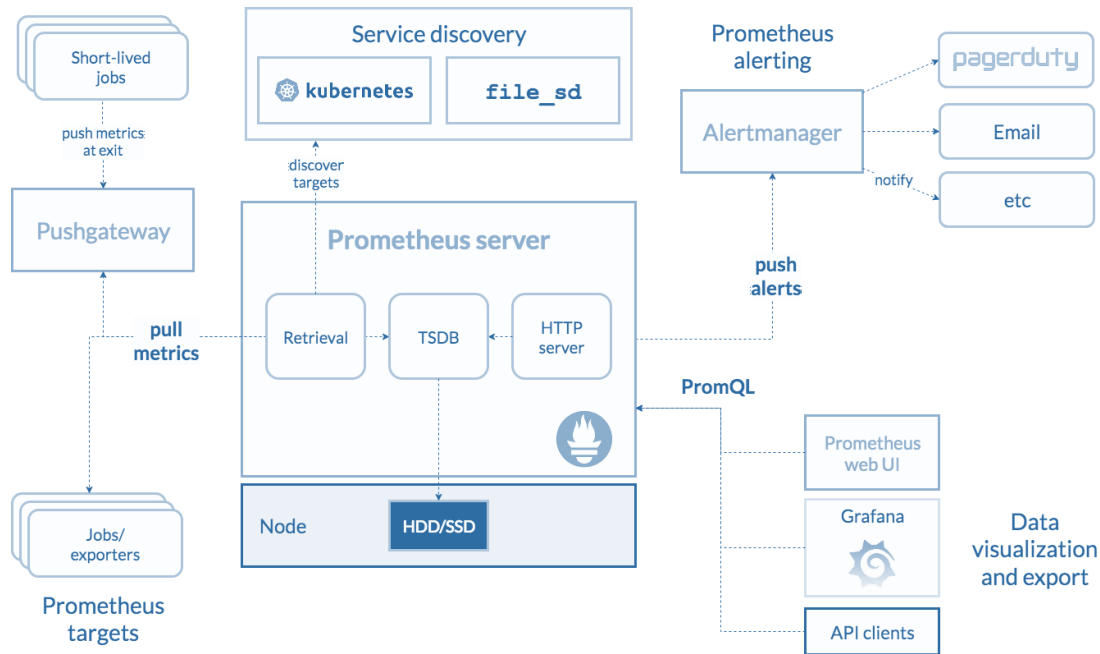
Εικόνα 23 – Πλαίσιο Παρακολούθησης

Τα κύρια μέρη του πλαισίου περιλαμβάνουν: α) ένα «Μηχανισμό Παρακολούθησης», ο οποίος συλλέγει τα δεδομένα παρακολούθησης που παρέχονται από τα NS, με βάση το υπογεγραμμένο SLA, τα συγκεντρώνει και τα καθιστά διαθέσιμα, β) τον «Διαχειριστή Προειδοποιήσεων» και γ) την «Διεπαφή Χρήστη».

### 7.4.1 ΜΗΧΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Ο «Μηχανή Παρακολούθησης», βρίσκεται στο κατώτερο επίπεδο του προτεινόμενου πλαισίου διαχείρισης SLA. Επισημαίνεται ότι, η αυτοματοποίηση της παρακολούθησης ενός SLA είναι ένα δύσκολο έργο που απαιτεί ακριβείς προδιαγραφές και έναν προσαρμόσιμο μηχανισμό που συλλέγει τις σωστές μετρικές. Ταυτόχρονα, η αξιολόγηση ενός SLA θα πρέπει να πραγματοποιείται σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια ή όταν συμβαίνουν αξιοσημείωτα γεγονότα. Σε ένα οικοσύστημα 5G, όπου υλοποιούνται διασυνδεδεμένες εικονικοποιημένες λειτουργίες δικτύου, και αναπτύσσονται πάνω από μια πλατφόρμα εξυπηρέτησης, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένας μηχανισμός παρακολούθησης ο οποίος να μπορεί να φροντίζει για την ποικιλία των προδιαγραφών και να παρακολουθεί ανάλογα τις δυνατότητες της υποδομής. Ενώ ένα SLA είναι ήδη προσαρτημένο και τυποποιημένο μέσω ενός συγκεκριμένου NS, θεωρούμε ότι οι επιθυμητοί όροι εγγύησης έχουν δοθεί στον πελάτη. Στη φάση της παράδοσης της υπηρεσίας, οι κανόνες παρακολούθησης για μια συγκεκριμένη παράμετρο, δημιουργούνται αυτόματα και ωθούνται προς το «Πλαίσιο Παρακολούθησης», μέσω του «Μηχανισμού Παραβίασης Εγγυήσεων». Ο «Μηχανισμός Παρακολούθησης» θα αναλάβει τη συλλογή δεδομένων παρακολούθησης από τις υπηρεσίες οι οποίες «τρέχουν» και βασίζεται στο σύστημα παρακολούθησης Prometheus [87]. Το όφελος από τη χρήση του συστήματος Prometheus ως «Μηχανή Παρακολούθησης», είναι το γεγονός ότι σχεδιάστηκε για την αξιοπιστία και τη δυνατότητα να διαγνώσει γρήγορα πιθανά προβλήματα στην υποδομή. Στην Εικόνα 25 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική του Prometheus και μερικά από τα συστατικά του

οικοσυστήματος. Να σημειωθεί, ότι στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασία, μόνο μερικά από αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί και θα αναλυθούν στα παρακάτω υπο-κεφάλαια.



Εικόνα 24 – Αρχιτεκτονική συστήματος παρακολούθησης «Prometheus»

#### 7.4.1.1 Πύλη Ώθησης

Μόλις συγκεντρωθούν οι χαμηλού επιπέδου μετρικές οι οποίες έχουν εγγυηθεί από το «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA», οι λειτουργίες της «Πύλης Ώθησης» λαμβάνουν χώρα. Ο εν λόγω μηχανισμός, είναι ένας υπο-μηχανισμός του Prometheus, ο οποίος ενεργεί ως μια ενδιάμεση υπηρεσία, επιτρέποντας τη διαβίβαση των μετρικών και των αντίστοιχων τιμών τους από την «Μηχανή Παρακολούθησης», προς τον «Διαχειριστή Προειδοποιήσεων», ώστε στην συνέχεια να προωθηθούν αναλόγως προς το «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA».

#### 7.4.1.2 Μηχανισμός Ανάλυσης Συχνότητας

Σύμφωνα με τα παραπάνω, σχετικά με την ώθηση των μετρικών μέσω της «Πύλης Ώθησης», προκύπτει ένα ζήτημα, σχετικά με το πόσο συχνά, και παράλληλα ποια δεδομένα και μετρικές προωθούνται στη «Μηχανή Παρακολούθησης». Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το ζήτημα, μια σημαντική παράμετρος είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί για την αξιολόγηση των μετρήσεων (π.χ. κάθε δύο δευτερόλεπτα ή κάθε δύο λεπτά). Οι πολύ συχνές ωθήσεις μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά τη συνολική απόδοση του συστήματος, ενώ αντίθετα οι πολύ σπάνιες ωθήσεις μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές παραβιάσεις στα SLA και να επηρεάσουν αρνητικά την υποδομή, λόγω έλλειψης δεδομένων παρακολούθησης στο «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA», και συνεπώς την μη λήψη αποφάσεων σχετικά με την προφύλαξη της υποδομής [88]. Για το σκοπό αυτό, προστέθηκε ένας επιπλέον μηχανισμός στο «Πλαίσιο Παρακολούθησης» του Prometheus, ο λεγόμενος «Μηχανισμός Ανάλυσης Συχνότητας», ο οποίος βασίζεται σε έναν προσαρμοστικό αλγόριθμο παρακολούθησης. Συγκεκριμένα, δρα ως μεσάζων μεταξύ του NS το οποίο «τρέχει» στην υποδομή, της «Πύλης Ώθησης» και του εξωτερικού καταναλωτή του «Μηχανισμού Ειδοποιήσεων» [89-90]. Σκοπός του αλγόριθμου είναι να παρέχει

υψηλής ακρίβειας πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της υποδομής, αποφεύγοντας την παραγωγή περιττής κίνησης στο δίκτυο. Στοχεύει στην προσαρμογή των χρονικών διαστημάτων παρακολούθησης, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα που συλλέγονται και διαβιβάζονται στο «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA», για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με παραβιάσεις SLA, είναι αξιόπιστα και όχι ανούσια δεδομένα. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος επιτυγχάνει σημαντική μείωση της κατανάλωσης πόρων και παράλληλα μειώνει τον αριθμό των παραβιάσεων SLA, λόγω της προληπτικής φύσης του μηχανισμού.

#### 7.4.1.3 Βάση δεδομένων χρονο λογικών σειρών

Τέλος, ένα βασικό στοιχείο Μηχανής Παρακολούθησης, είναι η εσωτερική βάση δεδομένων η οποία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται μία «Βάση Δεδομένων Χρονολογικών Σειρών», για την αποθήκευση και την αναγνώριση των πληροφοριών που παρακολουθούνται [99]. Η αναγνώριση αυτή, γίνεται με βάση ένα μετρικό όνομα και ένα σύνολο ζευγών κλειδιών-τιμών, γνωστά και ως ετικέτες.

- **Μετρικό Όνομα:** Το μετρικό όνομα καθορίζει το γενικό χαρακτηριστικό ενός συστήματος το οποίο παρακολουθείται (π.χ. `http_requests_total` - ο συνολικός αριθμός των αιτήσεων HTTP που ελήφθησαν). Μπορεί να περιέχει γράμματα και ψηφία ASCII, καθώς και υπογράμμιση και ορθογώνια. Σημειώνεται πως πρέπει να ταιριάζει με το regex `[a-zA-Z _:] [a-zA-Z0-9 _:] *`.
- **Ετικέτες:** Οι ετικέτες ενεργοποιούν το μοντέλο δεδομένων του Prometheus, σύμφωνα με το οποίο οποιοσδήποτε δεδομένος συνδυασμός ετικετών για το ίδιο μετρικό όνομα, αναγνωρίζει μια συγκεκριμένη παράσταση διαστάσεων αυτής της μέτρησης. Για παράδειγμα, όλα τα αιτήματα HTTP που χρησιμοποίησαν τη μέθοδο POST στο ακραίο σημείο `/api/tracks`. Η γλώσσα του ερωτήματος επιτρέπει το φιλτράρισμα και τη συσσωμάτωση με βάση αυτές τις διαστάσεις. Η αλλαγή οποιασδήποτε τιμής ετικέτας, συμπεριλαμβανομένης της προσθήκης ή αφαίρεσης μιας ετικέτας, θα δημιουργήσει μια νέα χρονολογική σειρά στην βάση δεδομένων. Τα ονόματα των ετικετών ενδέχεται να περιέχουν γράμματα ASCII και αριθμούς. Σημειώνεται πως πρέπει να ταιριάζουν με το regex `[a-zA-Z _] [a-zA-Z0-9 _] *`. Τα ονόματα ετικετών που αρχίζουν με `_` προορίζονται για εσωτερική χρήση. Οι τιμές των ετικετών ενδέχεται να περιέχουν χαρακτήρες Unicode.

#### 7.4.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΙΔΟΠΟΙΗΣΕΩΝ

Τα προαναφερθέντα αποτελέσματα παρακολούθησης από την «Μηχανή Παρακολούθησης», πρόκειται να δημοσιευθούν στο «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA» μέσω του «Μηχανισμού Ειδοποιήσεων». Κατά τη διάρκεια της έρευνάς μας συνειδητοποιήσαμε ότι ένα σύστημα ουράς μηνυμάτων (Message Queue System) ήταν η καταλληλότερη λύση για αυτή την ενδοεπικοινωνία. Επομένως, ενσωματώθηκε στο «Πλαίσιο Παρακολούθησης» το σύστημα RabbitMQ, ως ο ενδιάμεσος για την μετάδοση ασύγχρονων μηνυμάτων [91]. Μέσω του «Μηχανισμού Ειδοποιήσεων», οι κανόνες παρακολούθησης ενός SLA και οι παραβιάσεις αυτών, παράγονται ως ειδοποιήσεις (alerts). Έτσι, το μήνυμα ωθείται προς το «Μηχανισμό Ειδοποιήσεων» και όλα τα μέρη του πλαισίου τα οποία είναι καταναλωτές στην αντίστοιχη ουρά της RabbitMQ, λαμβάνουν το μήνυμα παραβίασης, ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες ενέργειες.

### 7.4.3 ΔΙΕΠΑΦΗ ΧΡΗΣΤΗ

Για την απεικόνιση των συλλεγόμενων δεδομένων παρακολούθησης, χρησιμοποιείται η ανοιχτή πλατφόρμα Grafana [92]. Η πλατφόρμα Grafana, διαθέτει ένα προηγμένο πρόγραμμα επεξεργασίας ερωτημάτων προς τα παραγόμενα γραφήματα, το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να περιηγείται γρήγορα και εύκολα στον μετρικό χώρο, να προσθέτει λειτουργίες, να αλλάζει παραμέτρους και άλλα. Η Εικόνα 25 δείχνει ένα παράδειγμα πίνακα οργάνων Grafana, το οποίο ρωτά τον Prometheus για δεδομένα.



Εικόνα 25 – Διεπαφή χρήστη του πλαισίου παρακολούθησης «Grafana»

## 7.5 ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Προκειμένου το «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA» να είναι προσιτό προς τον τελικό χρήστη, δημιουργήθηκε μία ενοποιημένη «Ιστοσελίδα Διαχείρισης», μέσω του ευρωπαϊκού προγράμματος 5GTANGO (βλ. κεφάλαιο 6.3.2), η αποτελεί μια διεπαφή χρήστη μέσω Web (WUI). Η «Ιστοσελίδα Διαχείρισης» υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την προγραμματιστική γλώσσα Angular (v5.2.9). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ιστοσελίδα δεν απαιτεί καμία back-end επεξεργασία καθώς βασίζεται πλήρως στα παρεχόμενα API που εκτίθεται από τις διαφορετικές μικρο-υπηρεσίες της πλατφόρμας, χρησιμοποιώντας μόνο το Nginx ως διακομιστής ιστού για τα αρχεία WUI [93]. Η «Ιστοσελίδα Διαχείρισης» χωρίζεται σε ενότητες οι οποίες μπορούν να ενεργοποιηθούν ή να απενεργοποιηθούν ανά χρήστη, ανάλογα με τα δικαιώματα που μπορούν να οριστούν από την ιστοσελίδα.

## 7.6 ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Αυτή η ενότητα περιγράφει τους μηχανισμούς ασφαλείας που χρησιμοποιούνται στο πεδίο εφαρμογής του παρόντος συστήματος διαχείρισης SLA.

### 7.6.1 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Το τμήμα δικτύωσης του υλοποιημένου συστήματος, υλοποιείται από εξοπλισμό που υποστηρίζει το SDN. Συγκεκριμένα το τμήμα WAN σχηματίζεται από τη διασύνδεση όλων των διακομιστών μέσω VPN, το οποίο βασίζεται σε εξοπλισμό ικανό για SDN.

### 7.6.2 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Η κεντρική πύλη μέσω της οποίας είναι διαθέσιμο το παρών σύστημα διαχείρισης SLA έχει πρόσβαση σε δύο είδη χρηστών:

- **Διαχειριστές:** οι οποίοι την χρησιμοποιούν για να ελέγξουν τη συνολική διαμόρφωση και απόδοση του πλατφόρμας.
- **Πελάτες:** οι οποίοι θέλουν να είναι σε θέση να αγοράσουν εικονικοποιημένες υπηρεσίες. Οι πελάτες έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν τον κύκλο ζωής των υπηρεσιών τους, έχοντας τη δυνατότητα να τις ενημερώσουν ή να τις τερματίσουν.

Οι χρήστες κατά την εγγραφή δίνουν ένα όνομα χρήστη και ένα κωδικό πρόσβασης, καθώς και ένα έγκυρο email.

## 8 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Η παρούσα μελέτη περίπτωσης αφορά στην υλοποίηση μιας Πλατφόρμας Υπηρεσιών μέσω του ευρωπαϊκού προγράμματος 5GTANGO, πάνω από ένα εικονικοποιημένο δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη τους εσωτερικούς μηχανισμούς της πλατφόρμας και την αλληλεπίδραση τους, με στόχο την μέγιστη παροχή ποιότητας εικονικοποιημένων υπηρεσιών. Η περιγραφή των διεπαφών μεταξύ των εσωτερικών μηχανισμών συμπληρώνει την κατανόηση των λεπτομερειών σχεδίασης και υλοποίησης, καταγράφοντας την πλήρη εικόνα της πλατφόρμας εξυπηρέτησης. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της πλατφόρμας υπηρεσιών και των εξωτερικών συστημάτων ή οντοτήτων παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα του τρόπου με τον οποίο ενσωματώνεται η πλατφόρμα υπηρεσιών σε ένα πραγματικό 5G περιβάλλον.

### 8.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το προτεινόμενο «Σύστημα Διαχείρισης SLA», εφαρμόζεται πάνω σε μια πιλοτική 5G υποδομή (5G testbed), του Εθνικού Κέντρου Επιστημονικής Έρευνας «Δημόκριτος» [94]. Συγκεκριμένα, το Ινστιτούτο Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών του Δημόκριτου, παρέχει τα παρακάτω στοιχεία υποδομής:

- δίκτυο WAN,
- δίκτυο πρόσβασης,
- data Centre (υπολογιστικοί πόροι για το NFVI υλοποίηση) και
- συσκευές και υπηρεσίες τελικού χρήστη.

Η παρούσα μελέτη περίπτωσης, αξιοποίησε ένα εικονικοποιημένο περιβάλλον επεξεργασίας που αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ένα Dell R210 το οποίο χρησιμοποιήθηκε σαν «*jump host*», δηλαδή σαν ένας υπολογιστής στο δίκτυο που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση και τη διαχείριση συσκευών σε μια ξεχωριστή ζώνη ασφαλείας. Τα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:
  - 1 x Intel(R) Xeon(R) CPU X3430 @ 2.40GHz
  - 4GB RAM
  - 1TB HDD
- Ένα Dell T5500 το οποίο λειτουργεί σαν ελεγκτής. Τα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:
  - 2 x Intel(R) Xeon(R) CPU X5550@2.67GHz
  - 16GB RAM
  - 1.8GB HDD
- Τρία Dell R610 τα οποία χρησιμοποιούνται σαν υπολογιστικού κόμβοι. Τα χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα:
  - 2 x Intel(R) Xeon(R) CPU E5620@2.40GHz
  - 64GB RAM
  - 1.8GB HDD
- Ένα Dell R310 το οποίο χρησιμοποιείται σαν «*NFVI-PoP*», όπου μια λειτουργία δικτύου είναι ή θα μπορούσε να αναπτυχθεί ως λειτουργία εικονικού δικτύου (VNF).
  - 1 x Intel(R) Xeon(R) CPU X3450@2.67GHz
  - 16 GB RAM
  - 465 GB HDD



## 8.2 ΟΔΗΓΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

### 8.2.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

#### Προϋποθέσεις:

- Linux Ubuntu = 16.04
- ansible > 2.4
- docker > 17.12.0-ce
- docker-py = 1.9.0
- git

#### Προτεινόμενες προδιαγραφές διακομιστή για την εκτέλεση της πλατφόρμας υπηρεσιών:

- CPU: 4 πυρήνες
- Memory: 8 GB
- Disk: 80 GB

#### Εγκατάσταση Ansible:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install software-properties-common
sudo apt-add-repository ppa: ansible/ansible
sudo apt-get update
sudo apt-get install ansible
```

#### Εγκατάσταση Docker:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install \
    apt-transport-https \
    ca-certificates \
    curl \
    software-properties-common
curl -fsSL https://download.docker.com/linux/ubuntu/gpg | sudo apt-key add -
sudo add-apt-repository \
    «deb [arch=amd64] https://download.docker.com/linux/ubuntu \
    $(lsb_release -cs) \
    stable»
sudo apt-get update
sudo apt-get install docker-ce
```

#### Εγκατάσταση python και docker με pip:

```
sudo apt-get install python3 python3-pip -y
pip3 install docker
```

#### Εγκατάσταση Git:

```
sudo apt-get install git
```

#### Κλωνοποίηση αποθετηρίου ‘tng-devops’:

```
git clone https://github.com/sonata-nfv/tng-devops.git
cd tng-devops/
```

## 8.2.2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕ ANSIBLE:

Προκειμένου να εγκατασταθεί η εν λόγω πλατφόρμα υπηρεσιών, δημιουργήθηκε μια σειρά από scripts, με στόχο την αυτοματοποίηση της διαδικασίας. Η ansible εντολή για την εγκατάσταση της πλατφόρμας είναι η εξής:

```
sudo ansible-playbook roles/sp.yml -i environments -e target=localhost --ask-vault-pass
```

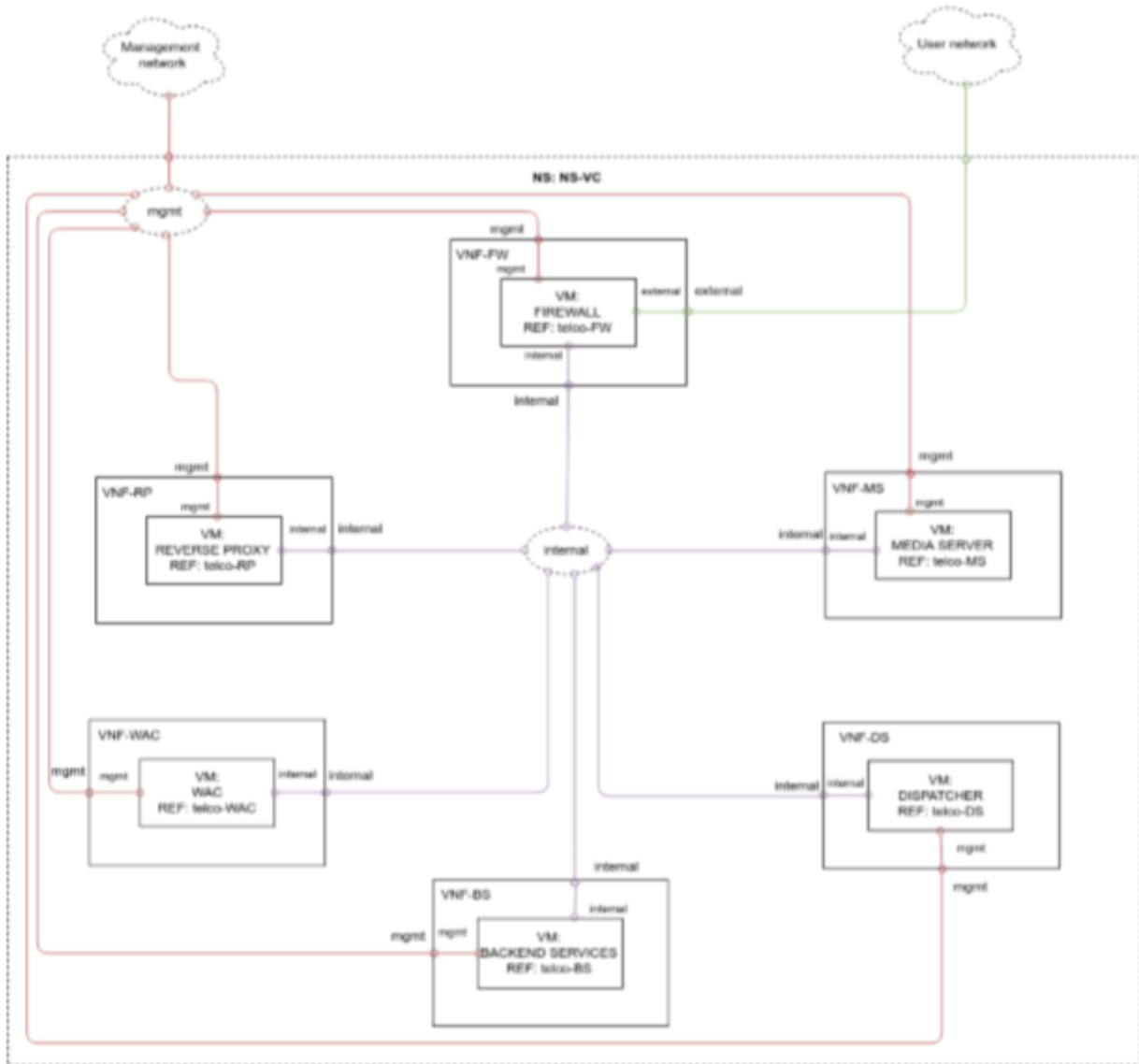
Password: sonata

## 8.3 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Το αντικείμενο της παρούσας μελέτης περίπτωσης αφορά ένα πακέτο υπηρεσιών τηλεδιάσκεψης σε πραγματικό χρόνο. Η επικοινωνιακή υπηρεσία πραγματικού χρόνου η οποία παρουσιάζεται στην συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, βασίζεται στο WebRTC [95, 98, 100] και είναι ήδη σε παραγωγή τόσο σε φορείς όσο και σε μεγάλες επιχειρήσεις. Το κύριο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η δημιουργία συνεδριών ήχου και βίντεο μεταξύ διαφόρων συμμετεχόντων, υποστηρίζοντας παράλληλα και άλλες υπηρεσίες συνεργασίας, όπως ομαδική συζήτηση, κοινή χρήση οθόνης κ.α. Τα μέσα λήψης λαμβάνονται μέσω του WebRTC από προγράμματα ιστού (π.χ. Mozilla Firefox, Google Chrome) που εκτελούνται σε προγράμματα περιήγησης με δυνατότητα WebRTC. Το γεγονός ότι εξετάζεται ένα υπάρχον σύστημα δίνει ιδιαίτερη αξία στην συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, δεδομένου ότι δείχνει τον τρόπο με τον οποίο μια παλαιά υπηρεσία μπορεί να μεταφερθεί σε ένα εικονικοποιημένο περιβάλλον πάνω από μία 5G υποδομή, διαχωρίζοντας τη λειτουργικότητα της, σε επιμέρους εικονικές λειτουργίες δικτύου (VNFs).

Επομένως, η εν λόγω εικονικοποιημένη υπηρεσία τηλεδιάσκεψης (NS) αποσυντίθεται σε μικρότερα υπηρεσίες (VNF) για λόγους ευκολίας ολοκλήρωσης, παρόλο που δεν μπορούν να προσφέρουν καμία πραγματική υπηρεσία από μόνες τους. Τα εν λόγω VNF ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες, η διασύνδεση των οποίων παρουσιάζεται στην Εικόνα 26.

- VNF Πολυμέσων (Media VNF): τα VNF που χειρίζεται την κυκλοφορία σε πραγματικό χρόνο.
- VNF Εφαρμογής (Application VNF): τα VNF που υποστηρίζουν τη λογική και τις βασικές λειτουργίες της εφαρμογής.
- VNF Πλατφόρμας (Platform VNF): αυτά τα VNF παρέχουν υπηρεσίες όπως αποθήκευση βάσεων δεδομένων, υπηρεσία αναμονής, αντίστροφη μεσολάβηση και τείχος προστασίας.



Εικόνα 26 – Διάγραμμα διασύνδεσης επιμέρους vnf της υπηρεσίας «Communication Suite»

### 8.4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ

Υπάρχουν τέσσερις περιπτώσεις πρώτης χρήσης του πακέτου υπηρεσιών τηλεδιάσκεψης σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες καλύπτουν διαφορετικής πολυπλοκότητας σενάρια, τα οποία το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να καλύψει μόλις εγκατασταθεί στην πλατφόρμα υπηρεσιών. Οι τέσσερις περιπτώσεις χρήσης είναι οι ακόλουθες:

1. Υπηρεσίες βιντεοδιάσκεψης με την καλύτερη δυνατή προσπάθεια: Η υπηρεσία δικτύου παρέχει δυνατότητες επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο ώστε να ενεργοποιηθούν τα βίντεο-συνέδρια και πρόσθετα εργαλεία συνεργασίας σε πραγματικό χρόνο.
2. Premium υπηρεσίες τηλεδιάσκεψης: Η υπηρεσία δικτύου είναι ευαίσθητη σε ορισμένες από τις μετρικές QoS όπως το εύρος ζώνης, η απώλεια πακέτων και το jitter.
3. Υπηρεσίες βίντεο ακραίας διάσκεψης: Η υπηρεσία βιντεοδιάσκεψης βελτιώνεται λαμβάνοντας υπόψη τα ευαίσθητα σε καθυστέρηση VNF όπως ο διακομιστής πολυμέσων. Αυτή η βελτίωση

επιτυγχάνεται με τη μετακίνηση του εν λόγω VNF στην άκρη του δικτύου, προκειμένου να μειωθεί η λανθάνουσα κατάσταση και το πιθανό jitter.

4. Εξοικονόμηση / διείσδυση της τηλεδιάσκεψης: Η υπηρεσία πρέπει να είναι σε θέση να κλιμακώνεται προκειμένου να προσαρμόσει την ικανότητα της υπηρεσίας στον αριθμό εγγεγραμμένων χρηστών και ταυτόχρονων κλήσεων.

## 8.5 ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΑ SLA

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις QoS της μελέτης περίπτωσης, είναι απαραίτητο να καλυφθούν συγκεκριμένες απαιτήσεις. Τα διαφορετικά σενάρια χρήσης που καθορίστηκαν παραπάνω εισάγουν την ανάγκη για διαφορετικές εγγυήσεις QoS μέσω των παρεχόμενων SLA. Για πιλοτικούς σκοπούς, χρησιμοποιήθηκαν τρία επίπεδα ποιότητας: α) «Gold», β) «Silver» και γ) «Bronze». Αυτά τα επίπεδα QoS θα αντιστοιχηθούν με διαφορετικές κατηγορίες SLA, τις οποίες ένας πάροχος υπηρεσιών μπορεί να προσφέρει στους συνδρομητές-πελάτες του, βάσει συμβατικών όρων. Για κάθε επίπεδο SLA, εξετάζεται ένα σύνολο συγκεκριμένων στόχων επιπέδου υπηρεσίας (SLO). Κάθε SLO ορίζεται από τις μέγιστες τιμές και τα κατώτατα όρια που επιτρέπονται για ένα σύνολο παραμέτρων δικτύου και υπηρεσίας: απώλεια πακέτων, απόδοση, jitter και αριθμός εγγεγραμμένων χρηστών ανά δευτερόλεπτο. Ο Πίνακας 1 συγκεντρώνει τους στόχους SLO για τρία επίπεδα QoS που ορίζονται. Οι τιμές κατωφλίου επιλέχθηκαν για την πιλοτική ευκολία της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά μπορεί να μην αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές τιμές που θα υιοθετούνταν για ένα περιβάλλον παραγωγής.

| Επίπεδο QoS | Packet Loss | Jitter | Throughput | Registration Rate |
|-------------|-------------|--------|------------|-------------------|
| Gold        | <1%         | 10 ms  | 120 Mbps   | 15                |
| Silver      | <2%         | 20 ms  | 90 Mbps    | 10                |
| Bronze      | <3%         | 30 ms  | 50 Mbps    | 5                 |

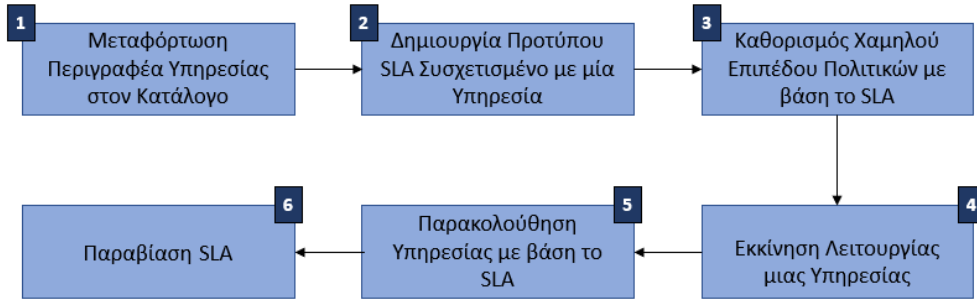
Πίνακας 5 – Στόχοι επιπέδου υπηρεσίας

## 8.6 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Σ

Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης, διάφοροι ρόλοι λαμβάνουν μέρος στη συνολική ροή, προκειμένου να παρέχουν στο σύστημα τις απαραίτητες εισροές, με στόχο να γίνει η απαραίτητη ανάλυση δεδομένων. Συγκεκριμένα θεωρούμε τους εξής ρόλους:

- την Sally: Σχεδιάστρια Εμπορικής Προσφοράς (COD), υπεύθυνη για τον ορισμό των προτύπων SLA.
- τον Bob: Μηχανικός Δικτύου του Παρόχου Υπηρεσιών, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον καθορισμό των πολιτικών χρόνου εκτέλεσης. Ο μηχανικός που είναι υπεύθυνος επίσης για την παροχή δεδομένων παρακολούθησης.
- τον Brian: Πιθανός πελάτης.

Προκειμένου να εκτελεστεί μια πλήρης δοκιμή και αξιολόγηση της προσέγγισής που παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκε η τηλεδιάσκεψη, της οποίας τα επιμέρους VNF παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 8.2. Η χρήση του Πλαισίου Διαχείρισης SLA χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα υπηρεσιών του 5GTANGO, είναι αρκετά απλή, δεδομένου ότι ακολουθούνται τα βασικά βήματα τα οποία εμφανίζονται στην Εικόνα 27, η οποία παρουσιάζει την βασική ροή εργασιών.



Εικόνα 27 – Ροή εργασιών μελέτης περίπτωσης

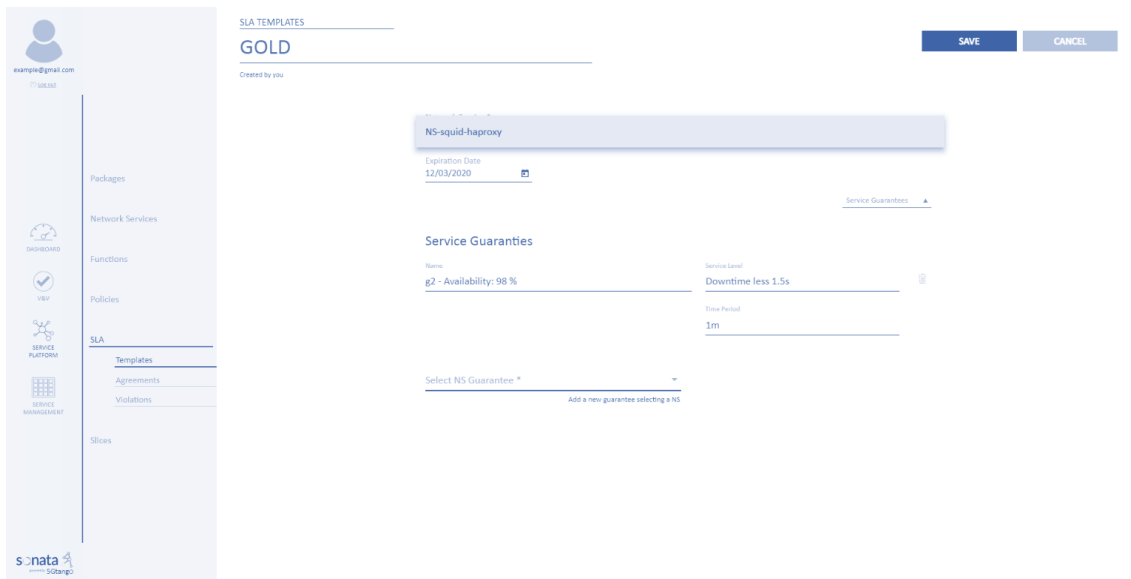
### 8.6.1 ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΑ/ΠΑΚΕΤΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΛΟΓΟ

Αρχικά, ο NS Descriptor (βλ. Παράρτημα Α), μεταφορτώνεται στον NFV Κατάλογος μαζί με όλα τα μετα-δεδομένα, σε μορφή πακέτου. Προκειμένου να μεταφορτωθεί το πακέτο στον Κατάλογο, μια σειρά βημάτων λαμβάνει χώρα, προκειμένου να φορτωθούν και να αποθηκευτούν τόσο οι υπηρεσίες (NSs) όσο και οι επιμέρους λειτουργίες (VNFs). Τα παρακάτω βήματα εγγυώνται ότι μόνο έγκυρες λειτουργίες και υπηρεσίες είναι διαθέσιμες στους πελάτες της πλατφόρμας.

- *Επικύρωση του πακέτου που υποβλήθηκε:* Τα πακέτα, οι υπηρεσίες και οι λειτουργίες πρέπει να ακολουθούν ένα προκαθορισμένο σχήμα (βλ. Παράρτημα Α), επιτρέποντας τη δημιουργία πλήρως αυτόματων διαδικασιών. Επιπλέον, μπορούν να γίνουν σημασιολογικές και λογικές επαληθεύσεις, π.χ. για μη πακέτα.
- *Αποθήκευση:* Τα έγκυρα πακέτα πρέπει να αποθηκευτούν τόσο ως σύνολο, όσο και ως σύνολο μετα-δεδομένων που μπορούν αργότερα να χρησιμοποιηθούν.

### 8.6.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ SLA ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΜΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑ

Στη συνέχεια, η Sally, είναι υπεύθυνη να καθορίσει την επιχειρησιακές απαιτήσεις οι οποίες θα ενταχθούν στο πρότυπο SLA. Η Sally, μπορεί να δημιουργήσει έναν νέο πρότυπου SLA για μια συγκεκριμένη υπηρεσία, βάσει ενός προκαθορισμένου σχήματος (βλ. Παράρτημα Β). Η Sally, για να δημιουργήσει και να μεταφορτώσει στον Κατάλογο έναν περιγραφέα προτύπου SLA, μπορεί να χρησιμοποιήσει το Portal, καθορίζοντας την επιθυμητή εικονικοποιημένη υπηρεσία δικτύου, το όνομα του προτύπου SLA, ημερομηνία λήξης και καθορίζοντας τις υψηλού επιπέδου απαιτήσεις ως επιθυμητούς όρους εγγύησης. Η διατύπωση είναι εύκολη και γρήγορη καθώς η ιστοσελίδα διαχείρισης υποστηρίζει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 29.



Εικόνα 28 - Δημιουργία προτύπου SLA μέσω ιστοσελίδας διαχείρισης

### 8.6.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ SLA

Η Sally είναι σε θέση να καθορίσει μια συγκεκριμένη πολιτική χαμηλού επιπέδου που θα εφαρμοστεί στην παράδοση της υπηρεσίας, σε περίπτωση που επιλεγεί από τον πελάτη ένα συγκεκριμένο SLA, όπως φαίνεται στην Εικόνα 30. Ο στόχος είναι να σχεδιαστούν συγκεκριμένες πολιτικές, ικανές να αντιμετωπίσουν τους πολλαπλούς στόχους επιπέδου εξυπηρέτησης (SLO) που ορίζονται στα SLA. Σημειώνεται ότι τα SLA (π.χ. Διαθεσιμότητα > 99.999 %), επιβάλλουν πιο απαιτητικές δράσεις, οδηγώντας σε πιο απαιτητική χρήση πόρων. Οι εν λόγω πολιτικές αντικατοπτρίζουν τις χαμηλού επιπέδου απαιτήσεις πόρων, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη από την υποδομή, ώστε να φέρουν εις πέρας την εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας.



Εικόνα 29 - Επιλογή χαμηλού επιπέδου πολιτικής μέσω ιστοσελίδας διαχείρισης

### 8.6.4 ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

- *Περιήγηση στη λίστα διαθέσιμων υπηρεσιών.* ο Brian, ένας πελάτης της Πλατφόρμας Υπηρεσιών, μπορεί να μεταβεί στις «Διαθέσιμες Υπηρεσίες Δικτύου» και να δει τον κατάλογο των υπηρεσιών που έχει στη διάθεσή του, και είναι σε θέση να τεθούν σε λειτουργία.

Έτσι, ο Brian επιλέγει το NS τηλεδιάσκεψης, και στην συνέχεια επιλέγει να ξεκινήσει την λειτουργία του στην εικονικοποιημένη υποδομή του παρόχου υπηρεσιών. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας δημιουργίας στιγμιότυπου του εν λόγω NS, ο πελάτης ενεργοποιεί αυτόματα τη διαδικασία διαπραγμάτευσης μέσω του «Μηχανισμού Χαρτογράφησης», επιλέγοντας το πρότυπο SLA που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Με βάση τις επιχειρησιακές απαιτήσεις του πελάτη, το SLA μπορεί να γίνει δεκτό ως έχει, ή μπορεί να ενεργοποιηθεί μια νέα διαδικασία διαπραγμάτευσης με ενημερωμένες παραμέτρους QoS. Μόλις ο μηχανισμός συγκεντρώσει όλα τα κατάλληλα σύνολα δεδομένων, ελέγχει εάν υπάρχει ήδη ένας συνδυασμός στο «Αποθετήριο Συσχετίσεων», προκειμένου να αποφασίσει εάν η διαδικασία του «Μηχανισμού Χαρτογράφησης» να γίνει πάλι ή όχι.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ακόμα κάποια συσχέτιση, οι απαιτήσεις χαμηλού επιπέδου του παρόχου υπηρεσιών και οι ανάγκες των πελατών υψηλού επιπέδου χαρτογραφούνται για να παράξουν τις παραμέτρους QoS που μπορούν να συμπεριληφθούν στο τελικό SLA. Ο στόχος είναι να προβλεφθεί η εκτίμηση της απόδοσης και η απαιτούμενη ποιότητα που πρέπει να συμφωνηθεί και να υπογραφεί στο SLA. Εναλλακτικά, εάν υπάρχει ήδη συσχέτιση, το «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA» παρακάμπτει τη διαδικασία χαρτογράφησης και δημιουργεί δυναμικά την τελική συμφωνία. Για να διερευνήσουμε αυτή τη χαρτογράφηση, χρειαζόμαστε να προβλέψουμε τις επιδόσεις της υπηρεσίας δικτύου πάνω από την υποδομή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το 70% του συνολικού όγκου δεδομένων που αποκτήθηκε *apriory* μέσω του «Πλαισίου Παρακολούθησης». Στη συνέχεια, το υπόλοιπο 30% χρησιμοποιήθηκε για να ελέγξει την ακρίβεια των χαρτογραφημένων επιπέδων QoS της υπηρεσίας στο εικονικοποιημένο περιβάλλον ανάπτυξης. Η έξοδος του «Μηχανισμού Χαρτογράφησης», κατηγοριοποιείται μεταξύ απλών και σύνθετων αποτελεσμάτων χαρτογράφησης. Για παράδειγμα, χαρτογράφηση μιας μετρικής χαμηλού επιπέδου «*downtime*» σε υψηλή παράμετρο SLA «*availability*», όπου τα σύνθετα αποτελέσματα χαρτογράφησης περιέχουν προκαθορισμένες συνθέσεις για τον υπολογισμό συγκεκριμένων παραμέτρων SLA, χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις πόρων χαμηλού επιπέδου. Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενός σύνθετου αποτελέσματος χαρτογράφησης.

| Low-Level Metric | SLA Parameter    | Mapping Formulation               |
|------------------|------------------|-----------------------------------|
| downtime, uptime | Availability (A) | $A = 1 - \frac{downtime}{uptime}$ |

Πίνακας 6 – Αποτέλεσμα χαρτογράφησης απαιτήσεων

- *Εκκίνηση Λειτουργίας:* Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία επικύρωσης του τελικού SLA, ο πελάτης μπορεί να πατήσει το πράσινο κουμπί *Play* του επιθυμητού NS για να ενεργοποιήσει την λειτουργία του, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 31. Αφού πατηθεί το συγκεκριμένο κουμπί, ενεργοποιείται η διαδικασία δημιουργίας ενός στιγμιότυπου της υπηρεσίας, στην υποδομή του παρόχου υπηρεσιών.

| Vendor     | Name             | Version | Status | Licenses | SLAs                 |
|------------|------------------|---------|--------|----------|----------------------|
| eu.5gtango | NS-squid-haproxy | 0.1     | active | None     | <a href="#">View</a> |

Εικόνα 30 – Εκκίνηση λειτουργίας υπηρεσίας μέσω της ιστοσελίδας διαχείρισης

- *Έλεγχος κατάστασης υπηρεσίας:* Όταν η υπηρεσία δημιουργηθεί με επιτυχία, είναι έτοιμη να χρησιμοποιηθεί από τον πελάτη. Το SLA καθώς και λεπτομέρειες σχετικά με τις χαμηλού επιπέδου πολιτικές, μπορούν να προβληθούν στα αντίστοιχα μενού της «Πλατφόρμας Υπηρεσιών». Μόλις γίνει η δημιουργία της υπηρεσίας, αρχίζει η παρακολούθηση της, από το «Πλαίσιο Παρακολούθησης».

### 8.6.5 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ SLA

Η κατάλληλη παρακολούθηση επιτρέπει τη μέτρηση των παραμέτρων QoS τόσο σε επίπεδο εξυπηρέτησης όσο και σε επίπεδο υποδομής, οποία στοχεύει σε εκδηλώσεις εκτίμησης και λήψης αποφάσεων για την παροχή πόρων. Για το λόγο αυτό, το «Πλαίσιο Παρακολούθησης» έχει πρόσβαση στο Point of Presence (PoP), στο οποίο «τρέχει» το NS, και συλλέγει πληροφορίες παρακολούθησης για το *downtime* της υπηρεσίας, προκειμένου να μετρηθεί η διαθεσιμότητα της σε μία δεδομένη περίοδο. Σε αυτό το σημείο λαμβάνει παράλληλα χώρα και ο «Μηχανισμός Ανάλυσης Συχνότητας», προσαρμόζοντας κατά τη διάρκεια εκτέλεσης, τα χρονικά διαστήματα παρακολούθησης, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα που συλλέγονται και ωθούνται στο «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA» αξίζει να μεταδοθούν.

- *Συλλογή μετρήσεων από το NFVI:* Η «Μηχανή Παρακολούθησης» χρησιμοποιεί τον μηχανισμό αγωγών που παρέχεται από το OpenStack Ceilometer [96] για να συλλέξει δεδομένα παρακολούθησης για όλα τα VM μέσα στο OpenStack NFVI και να τα εκθέσει μέσω της «Πύλης Ωθησης».
- *Συλλογή μετρήσεων χρησιμοποιώντας SNMP:* Το «Πλαίσιο Παρακολούθησης» παρέχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο SNMP [97]. Προκειμένου να ενεργοποιηθεί η λειτουργία SNMP, ο προγραμματιστής πρέπει να συμπεριλάβει εκτός των άλλων, τις απαραίτητες πληροφορίες μέσα στον VNF Descriptor, όπως φαίνεται παρακάτω.

```
snmp_parameters:
  version: «v2»
  auth_protocol: «None»
  security_level: «None»
  username: «public»
  port: 3401
  interval: 7
  oids:
    - oid: «1.3.6.1.4.1.3495.1.1.3.0»
      metric_name: «cacheUptime»
      metric_type: «gauge»
      unit: «secs»
      mib_name: «SQUID-MIB»
```



```
- oid: «1.3.6.1.4.1.3495.1.1.1.0»  
  metric_name: «cacheSysVMsize»  
  metric_type: «gauge»  
  unit: «MB»  
  mib_name: «SQUID-MIB»
```

- *Λήψη της λίστας μετρικών μιάς εικονικοποιημένης λειτουργίας:*

```
curl http://<service_platform_ip>:8000/api/v1/prometheus/vnf/<vnf_id>/metrics/list
```

#### **Απάντηση:**

```
{  
  «status»: «Success»,  
  «vdus»: [  
    {  
      «metrics»: [  
        {  
          «user_id»: «23a53028e98f4c2c957d6e307103c2b4»,  
          «display_name»: «haproxy-vnf.vdu01-8aaf49d7-01dc-4093-9870-  
1f63bafa42a3.ed3c9655-9cb8-4e0a-8605-d6fb26355f11.instance0»,  
          «resource_id»: «8d50d22b-46a9-43c0-a7b6-d3bd8ab37878»,  
          «pop»: «athens1»,  
          «counter_unit»: «%»,  
          «__name__»: «cpu_util»,  
          «project_id»: «425e1e692db848ed9d1a0f499b73e4e6»  
        },  
        {  
          «exported_instance»: «vnf:8d50d22b-46a9-43c0-a7b6-d3bd8ab37878»,  
          «snmp_ip»: «10.100.32.227»,  
          «exported_job»: «snmp»,  
          «resource_id»: «8d50d22b-46a9-43c0-a7b6-d3bd8ab37878»,  
          «snmp_port»: «161»,  
          «__name__»: «haproxy_backend_bin»  
        },  
        {  
          «exported_instance»: «vnf:8d50d22b-46a9-43c0-a7b6-d3bd8ab37878»,  
          «snmp_ip»: «10.100.32.227»,  
          «exported_job»: «snmp»,  
          «resource_id»: «8d50d22b-46a9-43c0-a7b6-d3bd8ab37878»,  
          «snmp_port»: «161»,  
          «__name__»: «haproxy_Uptime_sec»  
        }  
      ]  
    }  
  ]  
}
```

```

    ],
    «vdu_id»: «8d50d22b-46a9-43c0-a7b6-d3bd8ab37878»
  }
]
}

```

- *Απόκτηση δεδομένων παρακολούθησης:* Λήψη δεδομένων παρακολούθησης για τη μετρική «*cpu\_util*» για μια συγκεκριμένη εικονικοποιημένη λειτουργία.

```

curl -s \
  -H «Accept: application/json» \
  -H «Content-Type:application/json» \
  -X POST --data '{«name»:»cpu_util»,»start»: «2018-08-30T10:51:07Z», «end»:
«2018-08-30T11:00:21Z», «step»: «10s», «labels»: []}'
«http://<service_platfom_ip>:8000/api/v1/prometheus/vnf/<vnf_id>/metrics/data»

```

**Απάντηση:**

```

{«metrics»: {
  «resultType»: «matrix»,
  «result»: [{
    «metric»: {
      «user_id»: «23a53028e98f4c2c957d6e307103c2b4»,
      «display_name»: «haproxy-vnf.vdu01.86f36eb1-42c2-4d84-
      bdc1-3b0caf1153d1.instance0»,
      «resource_id»: «6cff3faa-def7-457c-bb26-1aaddf1c9b05»,
      «pop»: «athens1»,
      «instance»: «10.100.32.200:9091»,
      «counter_unit»: «%»,
      «_name_»: «cpu_util»,
      «project_id»: «425e1e692db848ed9d1a0f499b73e4e6»
    },
    «values»: [
      [1532334927, «7.739714839579372»],
      [1532334937, «7.739714839579372»],
      [1532334947, «7.739714839579372»],
      [1532334957, «7.739714839579372»],
      [1532334967, «4.735440257536171»],
      [1532334977, «4.735440257536171»],
      [1532334987, «4.735440257536171»]
    ]
  }]
}
}

```

**8.6.6 ΠΑΡΑΒΙΑΣΗ SLA**

Το «Πλαίσιο Διαχείρισης SLA» χρησιμοποιεί το «Πλαίσιο Παρακολούθησης» για να ελέγξει τις κατάλληλες μετρήσεις που σχετίζονται με τις εγγυήσεις οι οποίες έχουν καθοριστεί (διαθεσιμότητα, απόδοση, αξιοπιστία κλπ.). Το SLA ορίζει κατώτατα όρια στις επιθυμητές μετρήσεις και παίρνει ειδοποιήσεις όταν οι τιμές αυτές ξεπεραστούν. Μετά από περαιτέρω εξέταση, αυτές οι ειδοποιήσεις

ενδέχεται να οδηγήσουν σε παραβιάσεις υπηρεσιών, οι οποίες θα προκαλέσουν ειδοποίηση. Οι παραβιάσεις, αν αυτές συμβούν, παρουσιάζονται στον Brian, μέσω της «Ιστοσελίδας Διαχείρισης», όπως φαίνεται στην Εικόνα 31.

| Network Service Instance ID          | SLA ID                              | Customer ID | Date                          |
|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 9186598c-928e-4038-8354-077911036a75 | 9ee06e77-81cd-4f1c-a81a-0846a026407 | mu1         | Tue, 21 Aug 2018 11:01:49 GMT |

Εικόνα 31 – Εμφάνιση παραβιάσεων SLA μέσω της ιστοσελίδας διαχείρισης

### 8.6.7 ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Τέλος, όταν η υπηρεσία δικτύου έχει ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής της, ο πελάτης είναι υπεύθυνος για τον τερματισμό της. Έτσι, ο Brian μπορεί να μεταβεί στην ενότητα «Υπηρεσίες δικτύου» της «Ιστοσελίδας Διαχείρισης» και να δει τη λίστα των υπηρεσιών του. Το κουμπί σε κάθε καταχώρηση στιγμιότυπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον τερματισμό της υπηρεσίας, όπως φαίνεται στη Εικόνα 32.

| Vendor     | Name             | Version | Status | Licenses | SLAs                 |
|------------|------------------|---------|--------|----------|----------------------|
| eu.5gtango | NS-squid-haproxy | 0.1     | active | None     | <a href="#">View</a> |

Εικόνα 32 – Τερματισμός υπηρεσίας μέσω της ιστοσελίδας διαχείρισης

## 9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, και με γνώμονα την μελέτη περίπτωσης η οποία παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 8, παρουσιάσαμε μία 5G Πλατφόρμα Υπηρεσιών η οποία χρησιμοποιεί ένα ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης SLAs, καθ' όλη την διάρκεια ζωής μιας εικονικοποιημένης υπηρεσίας δικτύου. Θεωρήσαμε μια γενική προσέγγιση που βασίζεται σε ένα Νευρωνικό Δίκτυο, το οποίο χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση μετρικών υψηλού επιπέδου σε χαρακτηριστικά πόρων χαμηλού επιπέδου, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ως μεσολαβητής για τον πάροχο δικτύου και τον τελικό χρήστη. Επιπλέον, παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο παρακολούθησης και αξιολόγησης των SLAs, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με υψηλή ακρίβεια, με στόχο την καλύτερη διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσιών.

Η αλληλεπίδραση αυτών των λειτουργιών καθιστούν δυνατή την ανάπτυξη απαιτητικών υπηρεσιών δικτύου, κατά την οποία η αξιόπιστη ποιότητα είναι μια ισχυρή απαίτηση. Εκτός από υπηρεσίες επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο μεταξύ πολλών χρηστών, η οποία μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική, υπάρχουν πολλές υπάρχουσες και μελλοντικές υπηρεσίες που μπορούν να επωφεληθούν από αυτά τα χαρακτηριστικά, όπως οι εφαρμογές έξυπνων αυτοκινήτων, τα βιντεοπαιχνίδια, η ηλεκτρονική υγεία και ο βιομηχανικός έλεγχος.

Η παροχή δικτυακών πόρων ωστόσο σε μια εικονικοποιημένη υποδομή 5G, είναι ένα δύσκολο έργο, το οποίο χρειάζεται ακόμα εκτεταμένη έρευνα. Η τεχνολογίες SDN και 5G, αποτελούν τη νέα τάση στην πληροφορική και τις τηλεπικοινωνίες, και αναμένεται να προσελκύσουν με ταχείς ρυθμούς όλο και περισσότερες επιχειρήσεις και παρόχους τηλεπικοινωνίας, που θα αναγνωρίσουν την αποτελεσματικότητα και την υψηλή αποδοτικότητα που επιτυγχάνεται, με την παροχή εικονικοποιημένων υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες.

## 10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] F. Hu, “Opportunities in 5G Networks: A Research and Development Perspective”, CRC Press, 2016
- [2] 5G-PPP whitepaper: 5G Empowering Verticals, Available at: [https://5g-ppp.eu/wpcontent/uploads/2016/02/BROCHURE\\_5PPP\\_BAT2\\_PL.pdf](https://5g-ppp.eu/wpcontent/uploads/2016/02/BROCHURE_5PPP_BAT2_PL.pdf), 2016
- [3] LT. Park, JW Baek, JWK Hong, “Management of Service Level Agreements for Multimedia Internet Service Using a Utility Model”, IEEE Communications Magazine vol.: 39 May 2001
- [4] “5G Requirements”, Online: <https://developer.samsung.com/tech-insights/5G/5g-requirements>
- [5] Evangelidis, A. Parker, D. and Bahsoon, R, “Performance Modelling and Verification of Cloud-based Auto-Scaling Policies.”, 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing, pp. 629-638, 2017
- [6] “A timeline of UK 5G development | The history of 5G: from 1979 to now”, Available at: <https://www.techworld.com/picture-gallery/tech-innovation/timeline-of-5g-development-3654794/>, 2018
- [7] “What is Software Defined Networking (SDN)? Definition”, Available at: <https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/what-the-definition-of-software-defined-networking-sdn/>
- [8] Open Networking Foundation, “SDN architecture”, Available at: [https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/02/TR\\_SDN\\_ARCH\\_1.0\\_06062014.pdf](https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/02/TR_SDN_ARCH_1.0_06062014.pdf)
- [9] “OpenFlow”, Available at: <http://flowgrammable.org/sdn/openflow/>
- [10] “What are SDN Northbound APIs (and SDN Rest APIs)?”, Available at: <https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/north-bound-interfaces-api/>
- [11] “OpenDaylight”, Available at: <https://www.opendaylight.org/>
- [12] “What is OpenFlow? Definition and How it Relates to SDN”, Available at: <https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/what-is-openflow/>
- [13] “Building Efficient and Reliable Software-Defined Networks”, Available at: <https://www.cs.princeton.edu/~jrex/thesis/nagakatta-thesis.pdf>
- [14] «Τι είναι το Virtualization», Online: <http://www.ivisinfo.gr/articles/virtualization-technology.php>
- [15] “What is OSS/BSS?”, Online: <https://www.thefastmode.com/what-is/323-what-is-oss-bss>
- [16] “ETSI GS NFV 003 V1.2.1: Network Functions Virtualization (NFV); Terminology for main concepts in NFV,” ETSI Ind. Spec. Group (ISG) Netw. Functions Virtualisation (NFV), Online: Available: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV/001\\_099/003/01.02.01\\_60/gs\\_NFV003v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/003/01.02.01_60/gs_NFV003v010201p.pdf)
- [17] “ETSI GS NFV 002 V1.2.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural framework,” ETSI Ind. Spec. Group (ISG) Netw. Functions Virtualisation (NFV), Online: Available: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV/001\\_099/002/01.02.01\\_60/gs\\_NFV002v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.02.01_60/gs_NFV002v010201p.pdf)
- [18] R. Mijumbi, “Self-managed resources in network virtualization environments” Ph.D. dissertation, Techn. Univ. Catalunta, Barcelona, Spain, 2014.
- [19] “ETSI GS NFV-MAN 001 V1.1.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Management and orchestration,” ETSI Ind. Spec. (ISG)Netw. Functions Virtualisation (NFV), Sophia-Antipolis Cedex, France, Dec. 2014. [Online]. Available: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV-MAN/001\\_099/001/01.01.01\\_60/gs\\_NFV-MAN001v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-MAN/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-MAN001v010101p.pdf)
- [20] Han, B., Gopalakrishnan, V., Ji, L., & Lee, S. (2015). Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations. IEEE Communications Magazine, 53(2), 90-97. P. Veitch, M. J. McGrath, and V. Bayon, “An instrumentation and analytics framework for optimal and robust NFV deployment,” IEEE Commun.Mag., vol. 53, no. 2, pp. 126–133, Feb. 2015.
- [21] N. Sfondrini, G. Motta, L. You, “Service level agreement (SLA) in Public Cloud environments: A Survey on the current enterprises adoption,” in 5th International Conference on Information Science and Technology, 2015. doi: 10.1109/ICIST.2015.7288964
- [22] M. Papazoglou. "Web Services: principles and technology", Pearson Publications, 2008
- [23] R. Jurca, W. Binder and B. Faltings. "Reliable QoS Monitoring Based on Client Feedback". In Procs of WWW'07, pages 1003-1012, Banff, Alberta, Canada, May 2007
- [24] A. Dan, D. Davis, R. Kearney, A. Keller, R. King, D. Kuebler, H. Ludwig, M. Polan, M. Spreitzer and A. Youssef. "Web services on demand: WSLA-driven automated management". In IBM Systems journal, Vol. 43, No 1, 2004.
- [25] International Organization for Standardization ISO Standard 8402: Quality management and quality assurance, Vocabulary, 1986.
- [26] SLALOM REFERENCE4
- [27] A. Dan, D. Davis, R. Kearney, A. Keller, R. King, D. Kuebler, H. Ludwig, M. Polan, M. Spreitzer and A. Youssef. "Web services on demand: WSLA-driven automated management". In IBM Systems journal, Vol. 43, No 1, 2004.
- [28] E. Wustenhoff. "Service Level Agreement in the Data Center". Sun BluePrints, April 2002.
- [29] [Online]: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSWLG8\\_8.0.0/com.ibm.sr.doc/rwsr\\_gep\\_SLA\\_life\\_cycle.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSWLG8_8.0.0/com.ibm.sr.doc/rwsr_gep_SLA_life_cycle.html)
- [30] S. Van Rossem et al., "A network service development kit supporting the end-to-end lifecycle of NFV-based telecom services," in IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), 2017. doi: 10.1109/NFV-SDN.2017.8169859
- [31] SLA-Oriented Resource Provisioning for Cloud Computing: Challenges, Architecture, and Solutions
- [32] C. S. Yeo and R. Buyya. Integrated Risk Analysis for a Commercial Computing Service. Proceedings of the 21st IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2007), Long Beach, CA, USA, March 2007
- [33] B. Schneider and S. S. White. Service Quality: Research Perspectives. Sage Publications, Thousand Oaks, CA, USA, 2004.
- [34] B. Van Looy, P. Gemmel, and R. Van Dierdonck, editors. Services Management: An Integrated Approach. Financial Times Prentice Hall, Harlow, England, second edition, 2003.

- [35] C. S. Yeo and R. Buyya. Integrated Risk Analysis for a Commercial Computing Service. Proceedings of the 21st IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2007), Long Beach, CA, USA, March 2007
- [36] M. Crouhy, D. Galai, and R. Mark. The Essentials of Risk Management. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2006.
- [37] R. R. Moeller. COSO Enterprise Risk Management: Understanding the New Integrated ERM Framework. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, USA, 2007.
- [38] S. Benkner and G. Engelbrecht, "A Generic QoS Infrastructure for Grid Web Services," in Advanced Int'l Conference on Telecommunications and Int'l Conference on Internet and Web Applications and Services, 2006. doi: 10.1109/AICT-ICIW.2006.16
- [39] Xi Zhang, Jia Tang, Hsiao-Hwa Chen, Song Ci and M. Guizani, "Cross-layerbased modeling for quality of service guarantees in mobile wireless networks," in IEEE Communications Magazine, 44(1), 100-106, 2006. doi: 10.1109/MCOM.2006.1580939
- [40] L. Zhu, X. Liu, "Technical Target Setting in QFD for Web Service Systems Using an Artificial Neural Network," in IEEE Transactions on Services Computing, 3(4),338-352, 2010. doi: 10.1109/TSC.2010.45
- [41] V. C. Emeakaroha, I. Brandic, M. Maurer, S. Dustdar, "Low level Metrics to High level SLAs - LoM2HiS framework: Bridging the gap between monitored metrics and SLA parameters in cloud environments," in International Conference on High Performance Computing & Simulation, 2010. doi: 10.1109/HPCS.2010.5547150
- [42] T. Cucinotta et al., "Virtualised e-Learning with real-time guarantees on the IRMOS platform," 2010 IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, 2010. doi: 10.1109/SOCA.2010.5707166
- [43] G. Kousiouris, D. Kyriazis, S. Gogouvtis, A. Menychtas, K. Konstanteli, T. Varvarigou, "Translation of application-level terms to resource-level attributes across the Cloud stack layers," in IEEE Symposium on Computers and Communications, 2011. doi: 10.1109/ISCC.2011.5984009
- [44] K. Samdanis, X. Costa-Perez, V. Sciancalepore, "From network sharing to multi-tenancy: The 5G network slice broker," in IEEE Communications Magazine, 54(7),32-39, 2016. doi: 10.1109/MCOM.2016.7514161
- [45] X. Foukas, G. Patounas, A. Elmokashfi, M. K. Marina, "Network Slicing in 5G: Survey and Challenges," in IEEE Communications Magazine, 55(5), 94100, 2017. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600951
- [46] V. Tikhvinskiy, G. Bochechka, "Prospects and QoS Requirements in 5G Networks", in Journal of Telecommunications and Information Technology, 1, 23-26, 2015.
- [47] ETSI, "ETSI TR 102 889-2 V1.1.1, Technical Report", Online: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/102800\\_102899/10288902/01.01.01\\_60/tr\\_10288902v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102800_102899/10288902/01.01.01_60/tr_10288902v010101p.pdf)
- [48] G.C. Madueño, C. Stefanović, P. Popovski, "Reliable Reporting for Massive M2M Communications With Periodic Resource Pooling" in IEEE Wireless Communications Letters, 3(4), 429-432, 2014. doi: 10.1109/LWC.2014.2326674
- [49] J. Tang X. Zhang, "Quality-of-Service Driven Power and Rate Adaptation over Wireless Links," in IEEE Transactions on Wireless Communications, 6(8), 3058-3068, 2007. doi: 10.1109/TWC.2007.051075
- [50] A. Asadi, V. Mancuso, "A Survey on Opportunistic Scheduling in Wireless Communications," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, 15(4), 1671-1688, 2013. doi: 10.1109/SURV.2013.011413.00082
- [51] T. Guo, R. Arnott, "Active LTE RAN Sharing with Partial Resource Reservation," in IEEE 78th Vehicular Technology Conference), 2013. doi: 10.1109/VTCFall.2013.6692075
- [52] K. Hammad, A. Moubayed, S. L. Primak and A. Shami, "QoS-Aware Energy and Jitter-Efficient Downlink Predictive Scheduler for Heterogeneous Traffic LTE Networks," in IEEE Transactions on Mobile Computing, 17(6), 14111428, 2018. doi: 10.1109/TMC.2017.2771353
- [53] J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Ferrús, R. Agustí, "On the configuration of radio resource management in a sliced RAN," in IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, 2018. doi: 10.1109/NOMS.2018.8406280
- [54] I. da Silva et al., "Impact of network slicing on 5G Radio Access Networks," in European Conference on Networks and Communications, 2016. doi: 10.1109/EuCNC.2016.7561023
- [55] E. Kapassa, M. Touloupou and D. Kyriazis, "SLAs in 5G: A Complete Framework Facilitating VNF- and NS- Tailored SLAs Management," in 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2018. doi: 10.1109/WAINA.2018.00130
- [56] E. Kapassa, M. Touloupou and D. Kyriazis, "SLAs in 5G: A Complete Framework Facilitating VNF- and NS- Tailored SLAs Management," in 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2018. doi: 10.1109/WAINA.2018.00130
- [57] N. Sfondrini, G. Motta, L. You, "Service level agreement (SLA) in Public Cloud environments: A Survey on the current enterprises adoption," in 5th International Conference on Information Science and Technology (ICIST), 2015. doi: 10.1109/ICIST.2015.7288964
- [58] A. Tootoonchian, M. Ghobadi, Y. Ganjali, OpenTM: Traffic Matrix Estimator for OpenFlow Networks, Springer, 2010
- [59] C. Yu, Lumezanu, Y. Zhang, V. Singh, G. Jiang, H.V. Madhyastha, FlowSense: Monitoring Network Utilization with Zero Measurement Cost, Springer, 2013.
- [60] M. Yu, J. Yu, L. Rui, M. Rui, Software Defined Traffic Measurement with OpenSketch, USENIX Association, 2013.
- [61] P. Trakadas et al., "Scalable monitoring for multiple virtualized infrastructures for 5G services" in The International Symposium on Advances in Software Defined Networking and Network Functions Virtualization, 2018
- [62] SONATA Project Consortium, "SONATA NFV: Agile Service Development and Orchestration in 5G Virtualized Networks", Online: <http://www.sonatanfv.eu/>
- [63] T. Maksymyuk, S. Dumych, M. Brych, D. Satria, M. Jo, "An IoT Based Monitoring Framework for Software Defined 5G Mobile Networks" in Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, 2017. Doi: 10.1145/3022227.3022331

- [64] M. Liyanage et al., "Software Defined Monitoring (SDM) for 5G mobile backhaul networks," in IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN), 2017. doi: 10.1109/LANMAN.2017.7972144
- [65] A. H. Celdrán, M.G. Pérez, F. J. García Clemente, G. M. Pérez, "Automatic monitoring management for 5G mobile networks" in Procedia Computer Science, 110, 328-335, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.102>.
- [66] SONATA Project Consortium, "SONATA NFV: Agile Service Development and Orchestration in 5G Virtualized Networks", Online: <http://www.sonatanfv.eu/>
- [67] "5G Research in Horizon 2020", [Online]: <https://5g-ppp.eu/european-5g-actions/>
- [68] 5GTANGO Project Consortium, "5GTANGO: 5G Development and Validation Platform for global Industry-specific Network Services and Apps", Online: <https://5gtango.eu/>
- [69] "MATILDA: A Holistic, Innovative Framework for Design, Development and Orchestration of 5G-ready Applications and Network Services over Sliced Programmable Infrastructure", [Online]: <http://www.matilda-5g.eu/>
- [70] M. Ersue, "ETSI NFV Management and Orchestration - An Overview", Online: <https://www.ietf.org/proceedings/88/slides/slides-88-opsawg-6.pdf>
- [71] ONAP. Open networking automation platform. Website, August 2017. Online at [<https://www.onap.org/>](<https://www.onap.org/>).
- [72] <https://www.onap.org/platform-2>
- [73] "NetCracker: Agile Virtualization Platform and Practice", Online: <https://www.netcracker.com/avp>
- [74] "Adopt lean operations and increase business agility with CloudBand", Online: <https://networks.nokia.com/products/cloudband>
- [75] B. K. Tripathy, A. G. Sethy, P. Bera and M. A. Rahman, "A Novel Secure and Efficient Policy Management Framework for Software Defined Network," in IEEE 40th Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 2016. doi: 10.1109/COMPSAC.2016.31
- [76] S. Hussain, R. Atallah, A. Kamsin, J. Hazarika, "Classification, Clustering and Association Rule Mining in Educational Datasets Using Data Mining Tools: A Case Study" in Silhavy R. (eds) Cybernetics and Algorithms in Intelligent Systems, Springer, 2019. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91192-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91192-2_21)
- [77] G. Kousiouris, D. Kyriazis, S. Gogouvitis, A. Menychtas, K. Konstanteli, T. Varvarigou, "TransLation of application-level terms to resource-level attributes across the Cloud stack layers," in IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2011. doi: 10.1109/ISCC.2011.5984009
- [78] V. C. Emeakaro, M. A. S. Netto, R. N. Calheiros, I. Brandic, R. Buyya, and C. A. F. De Rose, "Towards autonomic detection of SLA violations in Cloud infrastructures," Future Gener. Comput. Syst., vol. 28, no. 7, pp. 1017–1029, Jul. 2012.
- [79] R. Yanggratoke, J. Ahmed, J. Ardelius, C. Flinta, A. Johnsson, D. Gillblad, and R. Stadler, "Predicting service metrics for cluster-based services using realtime analytics," in Network and Service Management (CNSM), 2015 11th International Conference on, 2015, pp. 135–143
- [80] "Deep Learning: Feedforward Neural Network", Online: <https://towardsdatascience.com/deep-learning-feedforward-neural-network-26a6705dbdc7>
- [81] P. Dennery, A. Krzywicki, "Mathematics for Physicists", Online: <http://store.doverpublications.com/0486691934.html>
- [82] "JSON Schema: core definitions and terminology": Online: <http://json-schema.org/draft-04/json-schema-core.html>
- [83] "Understanding JSON Schema", Online: <https://json-schema.org/understanding-json-schema/index.html>
- [84] "D3.2 – SLA specification and reference model", Online: <http://SLAlom-project.eu/content/d32-%E2%80%93SLA-specification-and-reference-model>, 2015
- [85] S. Dutta, T. Taleb, A. Ksentini, "QoE-aware elasticity support in cloud-native 5G systems," in IEEE International Conference on Communications (ICC), 2016. doi: 10.1109/ICC.2016.7511377
- [86] "Prometheus: From metrics to insight", Online: <https://prometheus.io/>
- [87] C. Vincent et al., "Towards autonomic detection of SLA violations in Cloud infrastructures", in Future Generation Computer Systems, 28(7), 1017 – 1029, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2011.08.018>.
- [88] M. Touloupou, E. Kapassa, A. Kiourtis, D. Kyriazis, "Cheapo: An algorithm for runtime adaption of time intervals applied in 5G networks," in Fifth International Conference on Software Defined Systems (SDS), 2018. doi: 10.1109/SDS.2018.8370420
- [89] Panagiotis Trakadas, Panagiotis Karkazis, Helen-Catherine Leligou, Theodore Zahariadis, Andreas Papadakis, Wouter Tavernier, Thomas Soenen, Steven van Rossem, Luis Miguel Contreras-Murillo, Scalable Monitoring for Multiple Virtualized Infrastructures for 5G Services, The Seventeenth International Conference on Networks ICN 2018, April 22-26, 2018 - Athens, Greece.
- [90] "RabbitMQ", Online: <https://www.rabbitmq.com/>
- [91] Grafana Labs, "Grafana: The open platform for beautiful analytics and monitoring", Online: <https://grafana.com/>
- [92] "NGINX | High Performance Load Balancer, Web Server, & Reverse", Online: <https://www.nginx.com/>
- [93] "Δημόκριτος: Ινστιτούτο Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών", Online: <http://www.demokritos.gr/el/institute>
- [94] "Web RTC", Online: <https://webrtc.org/>
- [95] "OpenStack Ceilometer", Online: <https://docs.openstack.org/ceilometer/latest/>
- [96] "Simple Network Management Protocol (SNMP)", Online: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/SNMP>
- [97] WebRTC 1.0: Real-time Communication Between Browsers, W3C WebRTC Working Group, <http://www.w3.org/TR/2012/WD-webrtc-20120821/>
- [98] "The Platform for Time-Series Data | InfluxData.", Online: <https://www.influxdata.com/>
- [99] A. Pol et. al., "Advanced NFV features applied to multimedia real-time communications use case", in press
- [100] "A Practical Guide to ReLU", Available at: <https://medium.com/tiny-mind/a-practical-guide-to-relu-b83ca804f1f7>
- [101] "How the backpropagation algorithm works", Available at: <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap2.html>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

---

### I. ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ NS SCHEMA

```
---
$schema: «http://json-schema.org/draft-04/schema#»
title: «Network Service Descriptor Schema»
version: 0.9
description: «The core schema for network service descriptors (supports recursive
network services) »

# definitions used later
definitions:
  connection_point_types:
    enum:
      - «internal»
      - «external»
      - «management»
  interfaces:
    enum:
      - «ethernet»
      - «ipv4»
      - «ipv6»
  connection_points:
    description: «The connection points of a VDU, CDU, PDU or complete VNF. Connects it
to other units or the external world.»
    type: «array»
    items:
      type: «object»
      properties:
        # id is the only required attribute
        id:
          description: «A VNF-unique id of the connection point. Can be used for
references.»
          type: «string»
        mac:
          description: «MAC address of the connection point»
          type: «string»
        ip:
          description: «IP address of the connection point»
          type: «string»
        port:
          description: «For CUDs only: Port of the container's connection point.»
          type: «integer»
        interface:
          description: «The type of connection point, such as a virtual port, a virtual
NIC address, a physical port, a physical NIC address, or the endpoint of a VPN tunnel.»
          $ref: «#/definitions/interfaces»
        type:
          description: «The type of the connection point with respect to its visibility
in the service platform»
          $ref: «#/definitions/connection_point_types»
        # TODO: Remove? Cyclic reference with virtual_links?
        virtual_link_reference:
          description: «A reference to a virtual link, i.e. the virtual_links:id.»
          type: «string»
        security_groups:
          description: «List of security groups assigned to the connection point»
```



```
    type: «array»
    items:
      type: «string»
# QoS requirements: either policy name or explicit requirements
qos:
  description: «Name of a pre-defined QoS policy»
  type: «string»
qos_requirements:
  description: «Explicit QoS requirements supported by OpenStack»
  type: «object»
  properties:
    # currently three supported QoS requirements
    bandwidth_limit:
      description: «Bandwidth limitations on networks, ports or floating IPs»
      type: «object»
      properties:
        bandwidth:
          type: «number»
        bandwidth_unit:
          $ref: «#/definitions/bandwidth_units»
      additionalProperties: false
    minimum_bandwidth:
      description: «Minimum bandwidth constraints on certain types of traffic»
      type: «object»
      properties:
        bandwidth:
          type: «number»
        bandwidth_unit:
          $ref: «#/definitions/bandwidth_units»
      additionalProperties: false
    dscp_marking:
      description: «Marking network traffic with a DSCP value»
      type: «string»
      additionalProperties: false
  required:
    - id
  minItems: 1
  uniqueItems: true
  additionalProperties: false
```

```
# actual schema of NSDs
type: «object»
properties:
  descriptor_schema:
    description: «Reference to the schema corresponding to the descriptor (e.g., URL or local path).»
    type: «string»
  vendor:
    description: «The vendor id allows to identify a VNF descriptor uniquely across all function descriptor vendors.»
    type: «string»
    pattern: «^[a-z0-9\\-_]+$»
  name:
    description: «The name of the network service description.»
    type: «string»
    pattern: «^[a-z0-9\\-_]+$»
  version:
    description: «The version of the service descriptor.»
```

```
  type: «string»
  pattern: «^[0-9\\-_\\.]+$»
author:
  description: «The person or organization that created the NS descriptor.»
  type: «string»
description:
  description: «A longer description of the network service.»
  type: «string»
logo:
  description: «Path to service logo.»
  type: «string»
  pattern: «^[A-Za-z0-9\\-_\\.]+$»
licences:
  description: «Information on the licence of this NSD.»
  type: «array»
  items:
    anyOf:
      - type: «object»
        properties:
          type:
            description: «The type of licence, 'public' in this case.»
            type: «string»
            enum:
              - «public»
          required:
            - «type»
          additionalProperties: false
      - type: «object»
        properties:
          type:
            description: «The type of licence, 'private' in this case.»
            type: «string»
            enum:
              - «private»
          url:
            description: «The URL to the licence file.»
            type: «string»
          required:
            - «type»
            - «url»
          additionalProperties: false
        additionalItems: false
        uniqueItems: true
service_specific_managers:
  description: «A list of SSMs used to manage this network service.»
  type: «array»
  items:
    description: «An SSM object of this VNF. FSMs are always Docker containers.»
    type: «object»
    properties:
      description:
        description: «An arbitrary description of the FSM.»
        type: «string»
      id:
        description: «A unique identifier of this FSM within the scope of this VNF
descriptor.»
        type: «string»
      image:
        description: «The reference to a Docker image.»
```

```
    type: «string»
  image_md5:
    description: «An MD5 hash of the Docker image.»
    type: «string»
    pattern: «^[A-Fa-f0-9]{32}$»
  resource_requirements:
    description: «The requirements for the Docker environment that runs the FSM.»
    type: «object»
    properties:
      docker_version:
        description: «The version of Docker needed for this FSM.»
        type: «string»
        pattern: «^(== |>= |<= |!= )?[0-9\\-_\\.]+$»
  options:
    description: «The options as key-value parameters that are passed to the
Docker container. Can be used to configure the Docker.»
    type: «array»
    items:
      description: «A key-value parameter object.»
      type: «object»
      properties:
        key:
          type: «string»
        value:
          type: «string»
      required:
        - key
        - value
      additionalProperties: false
      uniqueItems: true
  required:
    - id
    - image
  additionalProperties: false
  uniqueItems: true
  minItems: 0
  network_functions:
    description: «The VNFs (their descriptors), that are part of this network service.»
    type: «array»
    items:
      type: «object»
      properties:
        vnf_id:
          description: «A unique identifier of this network function within the scope of
this NS descriptor.»
          type: «string»
        vnf_vendor:
          description: «The vendor id identifies the VNF descriptor uniquely across all
function descriptors.»
          type: «string»
          pattern: «^[a-z0-9\\-_\\.]+$»
        vnf_name:
          description: «The name of the function description.»
          type: «string»
          pattern: «^[a-z0-9\\-_\\.]+$»
        vnf_version:
          description: «The version of the function descriptor.»
          type: «string»
          pattern: «^(== |>= |<= |!= )?[0-9\\-_\\.]+$»
```

```
description:
  description: «A longer description of the network function.»
  type: «string»
required:
- vnf_id
- vnf_vendor
- vnf_name
- vnf_version
additionalProperties: false
minItems: 1
uniqueItems: true
# why unique? What if I want to add the same VNF twice? Eg, to measure traffic
before and after traversal of other VNFs.
network_services:
  description: «The recursive NSs (their descriptors), that are part of this network
service.»
  type: «array»
  items:
    type: «object»
    properties:
      ns_id:
        description: «A unique identifier of the referenced network service within the
scope of this NS descriptor.»
        type: «string»
      ns_vendor:
        description: «The vendor id identifies the NS descriptor uniquely across all
function descriptors.»
        type: «string»
        pattern: «^[a-z0-9\\-_.]+$»
      ns_name:
        description: «The name of the referenced NS description.»
        type: «string»
        pattern: «^[a-z0-9\\-_.]+$»
      ns_version:
        description: «The version of the referenced NS description.»
        type: «string»
        pattern: «^(== |>= |<= |!= )?[0-9\\-_.]+$»
    description:
      description: «A longer description of the network service.»
      type: «string»
    required:
- ns_id
- ns_vendor
- ns_name
- ns_version
    additionalProperties: false
    minItems: 1
    uniqueItems: true
  connection_points:
    $ref: «#/definitions/connection_points»
  virtual_links:
    type: «array»
    items:
      type: «object»
      oneOf:
- description: «A reference to an external virtual link descriptor (VLD).»
      type: «object»
      properties:
        vl_group:
```

```

    type: «string»
  vl_name:
    type: «string»
  vl_version:
    type: «string»
  vl_description:
    type: «string»
  required:
  - vl_group
  - vl_name
  - vl_version
  additionalProperties: false
- description: «A full-featured virtual link description.»
  type: «object»
  properties:
    id:
      type: «string»
    connectivity_type:
      enum:
      - «E-Line» # Point-to-point
      - «E-Tree» # Point-to-multipoint
      - «E-LAN» # Multipoint-to-multipoint
    connection_points_reference:
      type: «array»
      items:
        description: «The connection point reference has to uniquely reference
the connection point of the VNF/NS. To this end, it should name the vnf_id of the
network_function/ns_id of the network_services section and the name of the connection
point of this VNF/NS as specified in the VNFD/NSD.»
        type: «string»
        minItems: 2
        uniqueItems: true
    access:
      type: «boolean»
    external_access:
      type: «boolean»
    root_requirement:
      type: «string»
    leaf_requirement:
      type: «string»
    dhcp:
      type: «boolean»
    cidr:
      type: «string»
    # QoS requirements: either policy name or explicit requirements. If
specified at a vLink, the QoS req. will be applied to all corresponding connection
points.
    qos:
      description: «Name of a pre-defined QoS policy»
      type: «string»
    qos_requirements:
      description: «Explicit QoS requirements supported by OpenStack»
      type: «object»
      properties:
        # currently three supported QoS requirements
        bandwidth_limit:
          description: «Bandwidth limitations on networks, ports or floating
IPs»
          type: «object»

```

```
    properties:
      bandwidth:
        type: «number»
      bandwidth_unit:
        $ref: «#/definitions/bandwidth_units»
      additionalProperties: false
    minimum_bandwidth:
      description: «Minimum bandwidth constraints on certain types of
traffic»
      type: «object»
    properties:
      bandwidth:
        type: «number»
      bandwidth_unit:
        $ref: «#/definitions/bandwidth_units»
      additionalProperties: false
    dscp_marking:
      description: «Marking network traffic with a DSCP value»
      type: «string»
    additionalProperties: false
  required:
  - id
  - connectivity_type
  - connection_points_reference
  additionalProperties: false
forwarding_graphs:
  description: «The forwarding graph.»
  type: «array»
  items:
    type: «object»
  oneOf:
  - description: «A reference to an external forwarding graph descriptor
(VNFFGD).»
    type: «object»
    properties:
      fg_group:
        type: «string»
      fg_name:
        type: «string»
      fg_version:
        type: «string»
      fg_description:
        type: «string»
    required:
    - fg_group
    - fg_name
    - fg_version
    additionalProperties: false
  - description: «A full-featured forwarding graph description.»
    type: «object»
    properties:
      fg_id:
        description: «A unique identifier of this forwarding graph within the
scope of this NS descriptor.»
        type: «string»
      number_of_endpoints:
        type: «integer»
      number_of_virtual_links:
        type: «integer»
```

```
constituent_virtual_links:
  type: «array»
  items:
    - type: «string»
constituent_vnfs:
  type: «array»
  items:
    - type: «string»
constituent_services:
  type: «array»
  items:
    - type: «string»
network_forwarding_paths:
  type: «array»
  items:
    type: «object»
    properties:
      fp_id:
        type: «string»
      policy:
        type: «string»
      connection_points:
        type: «array»
        items:
          type: «object»
          properties:
            connection_point_ref:
              description: «A connection point reference, referenced by a
connection point id.»
              type: «string»
            position:
              description: «The position of the connection point with the
forwarding graph»
              type: «integer»
      required:
        - fp_id
lifecycle_events:
  type: «object»
  properties:
    start:
      type: «array»
      items:
        type: «object»
        properties:
          vnf_id:
            type: «string»
          vnf_event:
            type: «string»
    stop:
      type: «array»
      items:
        type: «object»
        properties:
          vnf_id:
            type: «string»
          vnf_event:
            type: «string»
    scale_out:
      type: «array»
```

```
    items:
      type: «object»
      properties:
        vnf_id:
          type: «string»
        vnf_event:
          type: «string»
  vnf_dependency:
    type: «array»
    items:
      type: «string»
    minItems: 0
    uniqueItems: true
  services_dependency:
    type: «array»
    items:
      type: «string»
    minItems: 0
    uniqueItems: true
  monitoring_parameters:
    type: «array»
    items:
      - type: «object»
        properties:
          desc:
            type: «string»
          metric:
            type: «string»
          unit:
            type: «string»
  auto_scale_policy:
    type: «object»
    properties:
      criteria:
        type: «array»
        items:
          - type: «object»
            properties:
              end-to-end bandwidth:
                type: «string»
      action:
        type: «string»

# tags to select network service for correct tests later (eg, latency tests)
testing_tags:
  type: «array»
  items:
    type: «string»
  uniqueItems: true

# soft constraints by developer, eg, proximity constraints
# so far only proximity or affinity constraints with exactly 2 involved actors
soft_constraints:
  type: «array»
  uniqueItems: true
  items:
    type: «object»
    properties:
      objective:
```



```
    type: «string»
    pattern: «(proximity)|(affinity)»
  involved_actors:
    type: «array»
    minItems: 2
    maxItems: 2
    items:
      type: «string»

required:
- descriptor_schema
- vendor
- name
- version
additionalProperties: false
```

## II. ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ NS EXAMPLE

```
descriptor_schema: https://raw.githubusercontent.com/sonata-nfv/tng-
schema/master/service-descriptor/nsd-schema.yml
vendor: «quobis»
name: «communication-pilot»
version: «0.2»
author: «Ana Pol @: QUOBIS»
description: «Descriptor to package Communication Pilot»
##
## The various network functions this service
## is composed of.
##
network_functions:
- vnf_id: «vnf_wac_1»
  vnf_vendor: «quobis»
  vnf_name: «wac-vnf»
  vnf_version: «0.2»
- vnf_id: «vnf_rp»
  vnf_vendor: «quobis»
  vnf_name: «rp-vnf»
  vnf_version: «0.2»
- vnf_id: «vnf_bs»
  vnf_vendor: «quobis»
  vnf_name: «bs-vnf»
  vnf_version: «0.2»
- vnf_id: «vnf_ds»
  vnf_vendor: «quobis»
  vnf_name: «ds-vnf»
  vnf_version: «0.2»
- vnf_id: «vnf_ms»
  vnf_vendor: «quobis»
  vnf_name: «ms-vnf»
  vnf_version: «0.2»

##
## The NS connection points to the
## outside world.
##
connection_points:
- id: «nscpmgmt»
  interface: «ipv4»
```

```
    type: «management»  
  - id: «nscpexternal»  
    interface: «ipv4»  
    type: «external»
```

```
##
```

```
## The virtual links that interconnect
```

```
## the different connections points.
```

```
##
```

```
virtual_links:
```

```
  - id: «vlmgmt»  
    connectivity_type: «E-LAN»  
    connection_points_reference:  
      - «vnf_wac:cpmgmt»  
      - «vnf_rp:cpmgmt»  
      - «vnf_bs:cpmgmt»  
      - «vnf_ds:cpmgmt»  
      - «vnf_ms:cpmgmt»  
      - «nscpmgmt»  
  - id: «vlexternal»  
    connectivity_type: «E-LAN»  
    connection_points_reference:  
      - «vnf_rp:cpexternal»  
      - «vnf_ms:cpexternal»  
      - «nscpexternal»  
  - id: «vlinternal»  
    connectivity_type: «E-LAN»  
    connection_points_reference:  
      - «vnf_wac:cpinternal»  
      - «vnf_rp:cpinternal»  
      - «vnf_bs:cpinternal»  
      - «vnf_ds:cpinternal»  
      - «vnf_ms:cpinternal»
```

```
service_specific_managers:
```

```
  - id: «sonssmcommunication-pilotconfig»  
    description: «SSM to do a first SSM test»  
    image: «anapolg/tng-videoconference-ssm:latest»  
    options:  
      - key: «type»  
        value: «task»
```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

---

### I. ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ SLA SCHEMA

```
---
$schema: «http://json-schema.org/draft-04/schema#»
definitions: {}
properties:
  author:
    $id: /properties/author
    type: string
  description:
    $id: /properties/description
    type: string
  descriptor_schema:
    $id: /properties/descriptor_schema
    type: string
  name:
    $id: /properties/name
    type: string
  SLA_template:
    $id: /properties/SLA_template
    properties:
      ns:
        $id: /properties/SLA_template/properties/ns
        properties:
          guaranteeTerms:
            $id: /properties/SLA_template/properties/ns/properties/guaranteeTerms
            items:
              $id: /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items
              properties:
                definition:
                  $id:
                    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/definition
                  description: «The derfinition of the guarantee term.»
                  type: string
                guaranteeID:
                  $id:
                    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/guaranteeI
                    D
                  description: «The ID of the guarantee term»
                  type: string
                name:
                  $id:
                    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/name
                  description: «The name of the guarantee term.»
                  type: string
                operator:
                  $id:
                    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/operator
                  description: «The operator of the expression used in the guarantee
                    term»
                  type: string
                serviceLevelObjetive:
                  $id:
                    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLev
                    elObjetive
```

```
properties:
  duration:
    $id:
    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/duration
    description: «The monitoring duration of the guarantee»
    type: string
  parameter:
    $id:
    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/parameter
    description: «The service level objective that is going to be
guaranteed»
    type: string
  period:
    $id:
    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/period
    description: «The period that the guarantee term will be
calculated»
    type: string
  serviceLevel:
    $id:
    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/serviceLevel
    description: «The service level expression that is guaranteed»
    type: string
  serviceLevelDetail:
    $id:
    /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/serviceLevelDetail
    description: «The service level expression in detail»
    items:
      $id:
      /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/serviceLevelDetail/items
      properties:
        operator:
          $id:
          /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/serviceLevelDetail/items/operator
          description: «The operator of the expression used in the
guarantee term»
          type: string
        unit:
          $id:
          /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/serviceLevelDetail/items/unit
          description: «The unit of the guarantee term»
          type: string
        value:
          $id:
          /properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/serviceLevelDetail/items/value
          description: «The value of the guarantee term»
          type: string
      type: object
    type: array
  target_value:
```

```

    $id:
/properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/serviceLevelObjective/properties/target_value
    description: «The monitoring target_value of the guarantee»
    type: string
    type: object
unit:
    $id:
/properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/unit
    description: «The unit of the guarantee term»
    type: string
value:
    $id:
/properties/SLA_template/properties/ns/properties/objectives/items/properties/value
    description: «The value of the guarantee term»
    type: string
    type: object
    type: array
ns_description:
    $id: /properties/SLA_template/properties/ns/properties/ns_description
    description: «The description of the corresponding NS»
    type: string
ns_name:
    $id: /properties/SLA_template/properties/ns/properties/ns_name
    description: «The corresponding NS name»
    type: string
ns_uuid:
    $id: /properties/SLA_template/properties/ns/properties/ns_uuid
    description: «The corresponding NS uuid»
    type: string
ns_vendor:
    $id: /properties/SLA_template/properties/ns/properties/ns_vendor
    description: «The corresponding NS vendor»
    type: string
ns_version:
    $id: /properties/SLA_template/properties/ns/properties/ns_version
    description: «The corresponding NS version»
    type: string
    type: object
offered_date:
    $id: /properties/SLA_template/properties/offered_date
    description: «The offered date of the SLA Template»
    type: string
template_name:
    $id: /properties/SLA_template/properties/template_name
    description: «The oname of the SLA Template»
    type: string
valid_until:
    $id: /properties/SLA_template/properties/valid_until
    description: «The expiration date of the SLA Template»
    type: string
    type: object
vendor:
    $id: /properties/vendor
    type: string
version:
    $id: /properties/version
    type: string
```

## II. ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ SLA EXAMPLE

```
descriptor_schema: «https://raw.githubusercontent.com/sonata-nfv/tng-schema/master/SLA-
template-descriptor/SLA-template-schema.yml»
name: «example-SLA-template-premium»
vendor: «tango-SLA-template»
version: «1.0»
author: «Evgenia Kapassa, Marios Touloupou»
description: «This is a simple SLA Template for 5GTANGO Release 1»
SLA_template:
  template_name: «Premium»
  offered_date: «2018-05-30 10:00:00»
  valid_until: «2019-05-30 10:00:00»
  ns:
    ns_uuid: «413635ba-490a-46e0-a022-fc6f7186c26c»
    ns_vendor: «eu.sonata-nfv.service-descriptor»
    ns_name: «sonata-demo»
    ns_version: «0.2.1»
    ns_description: «The network service descriptor for the SONATA demo, comprising iperf,
a firewall, and tcpump.»
  guaranteeTerms:
    - guaranteeID: «g1»
      name: «Resilience «
      definition: «Resilience is the persistence of dependability when facing changes»
      value: «60000»
      operator: «greater»
      unit: «sec»
      serviceLevelObjective:
        period: «Daily»
        parameter: «Resilience»
        serviceLevel: «1min/24h»
        duration: «86400»
        target_value: «60000»
      serviceLevelDetail:
        - unit: «ms»
          value: «6000»
          operator: «greater»
        - unit: «86400»
          value: «sec»
          operator: «equal»
```