

# Ενεργειακή Εξοικονόμηση σε δημόσια Πανεπιστημιακά κτίρια με Κέντρα Δεδομένων

Σχεδιασμός και Υλοποίηση Συστήματος  
Τηλεμετρίας

Θανάσης Τρύφωνος  
Πανεπιστήμιο Κύπρου



Το Πρόγραμμα συγχρηματοδοτείται από το  
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης  
της Ευρωπαϊκής Ένωσης



## ΟΡΙΣΜΟΣ

- Κέντρα Δεδομένων τα οποία τροφοδοτούνται ολικώς ή μερικώς από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας



## ΣΤΟΧΟΣ

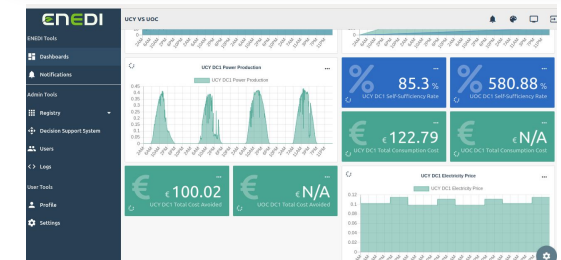
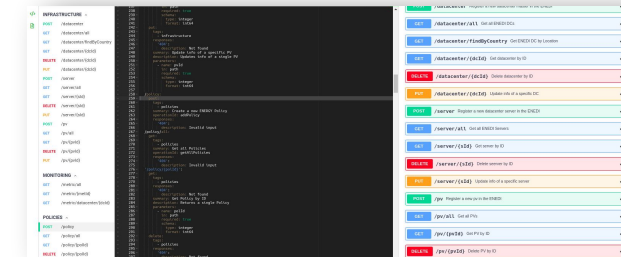
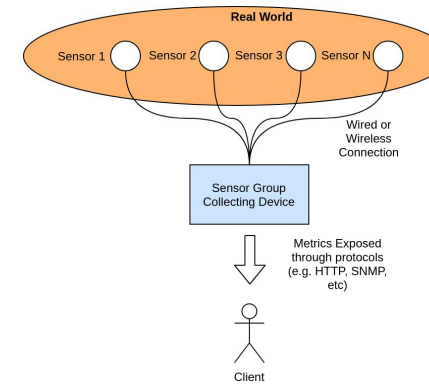
- Μείωση λειτουργικού κόστους των Κέντρων Δεδομένων (λογαριασμός ηλ. Ενέργειας)
- Μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος λόγω καύσης ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας



## ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

- Έξυπνη προσαρμογή στις διακυμάνσεις παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας
- Εργαλεία ιδιόκτητα και κλειστού κώδικα

- Υβριδικό μοντέλο ενέργειας φ/β και δίκτυο
- Εκτενές δίκτυο αισθητήρων
  - Παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας
  - Υπολογιστικά φορτία
  - Περιβαλλοντικά δεδομένα
  - Open APIs
- Σύστημα παρακολούθησης και συλλογής μετρικών
- Ανάλυση δεδομένων – “Follow-the-sun” computation workloads
- Εξουσιοδοτημένη πρόσβασης στο ΕΝΕΔΗ API
- Παρουσίαση δεδομένων σε οθόνες οπτικοποίησης



Το Έξυπνο Σύστημα Διαχείρισης Φορτίου, είναι υπεύθυνο για την επίτευξη δύο κυρίως εργασιών:

- ❑ Συλλογή, Ανάλυση και Αποθήκευση μετρικών σχετικές με την κατανάλωση ενέργειας των Κέντρων Δεδομένων σε Ακαδημαϊκών Κτίρια τροφοδοτούμενα από τα Φ/Β.
- ❑ Υποστήριξη Λήψης Αποφάσεων για την επιλογή του κατάλληλου ΚΔ το οποίο θα εξυπηρετεί τις υπολογιστικές ανάγκες των εφαρμογών των χρηστών.

# Σύστημα Έξυπνης Διαχείρισης Φορτίων ΚΔ

## Επίπεδο Φυσικής Υποδομής

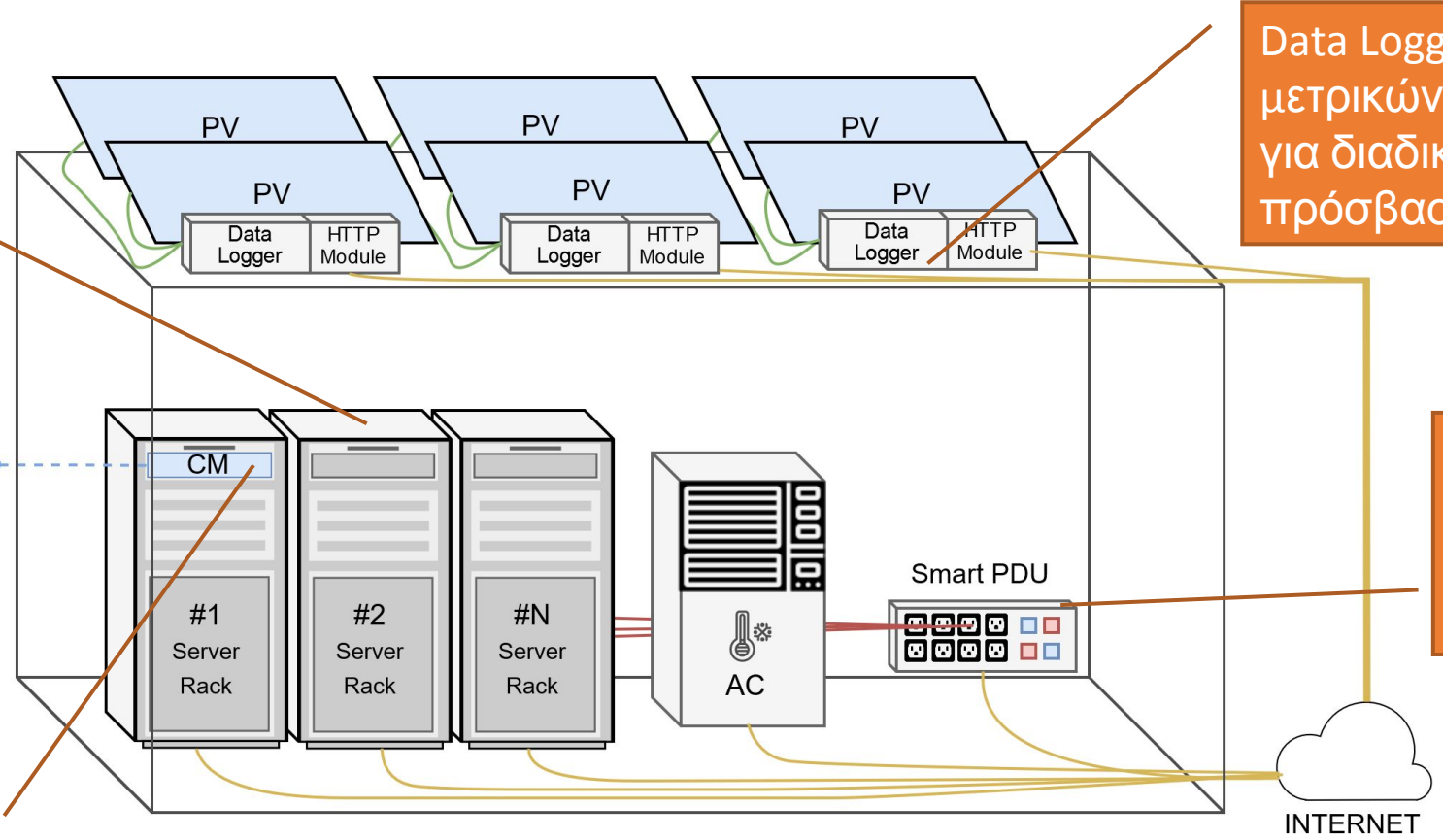
Εξυπηρετητές οργανωμένοι σε racks

Data Logger για συλλογή μετρικών με HTTP module για διαδικτυακή πρόσβαση.

Climate Monitor

Όλα τα racks τροφοδοτούνται από έξυπνα PDUs

Αισθητήρες για ενεργειακές και περιβαλλοντικές μετρικές



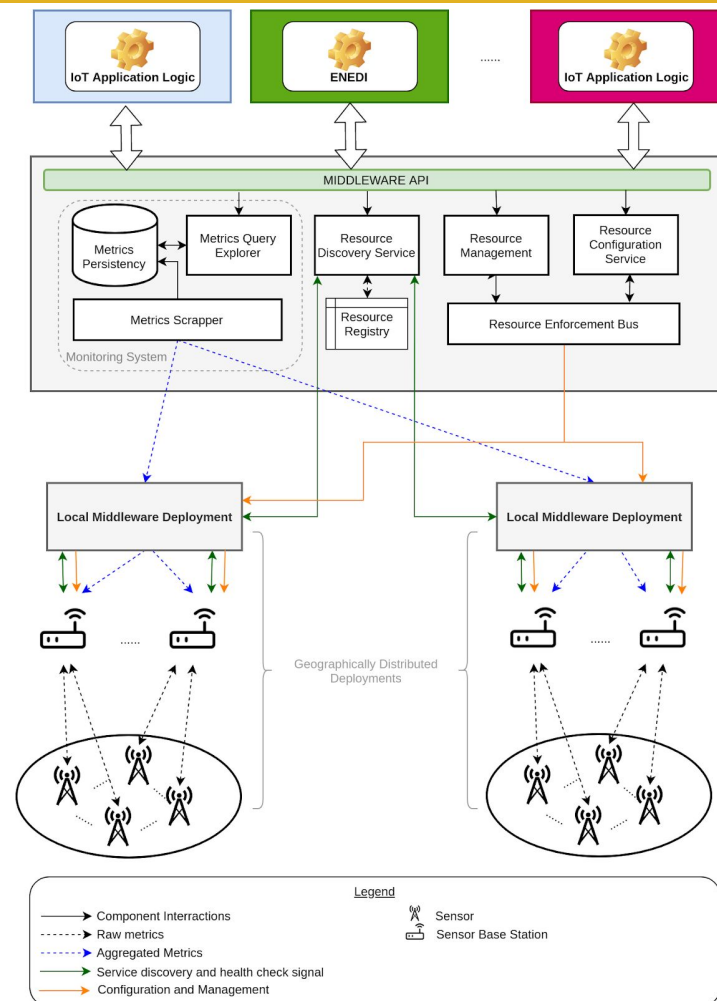
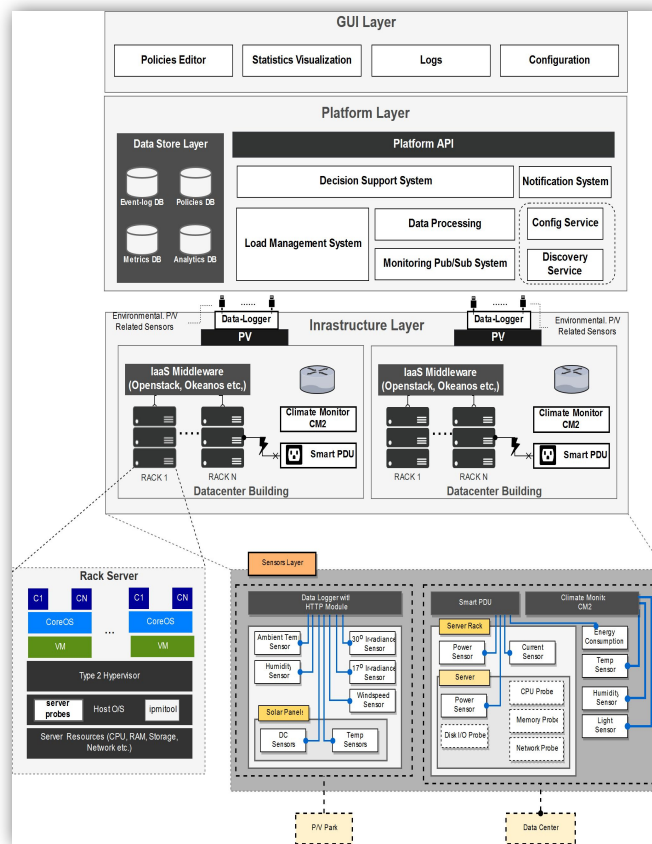
- Power Cable
- Network Cable
- Data Cable

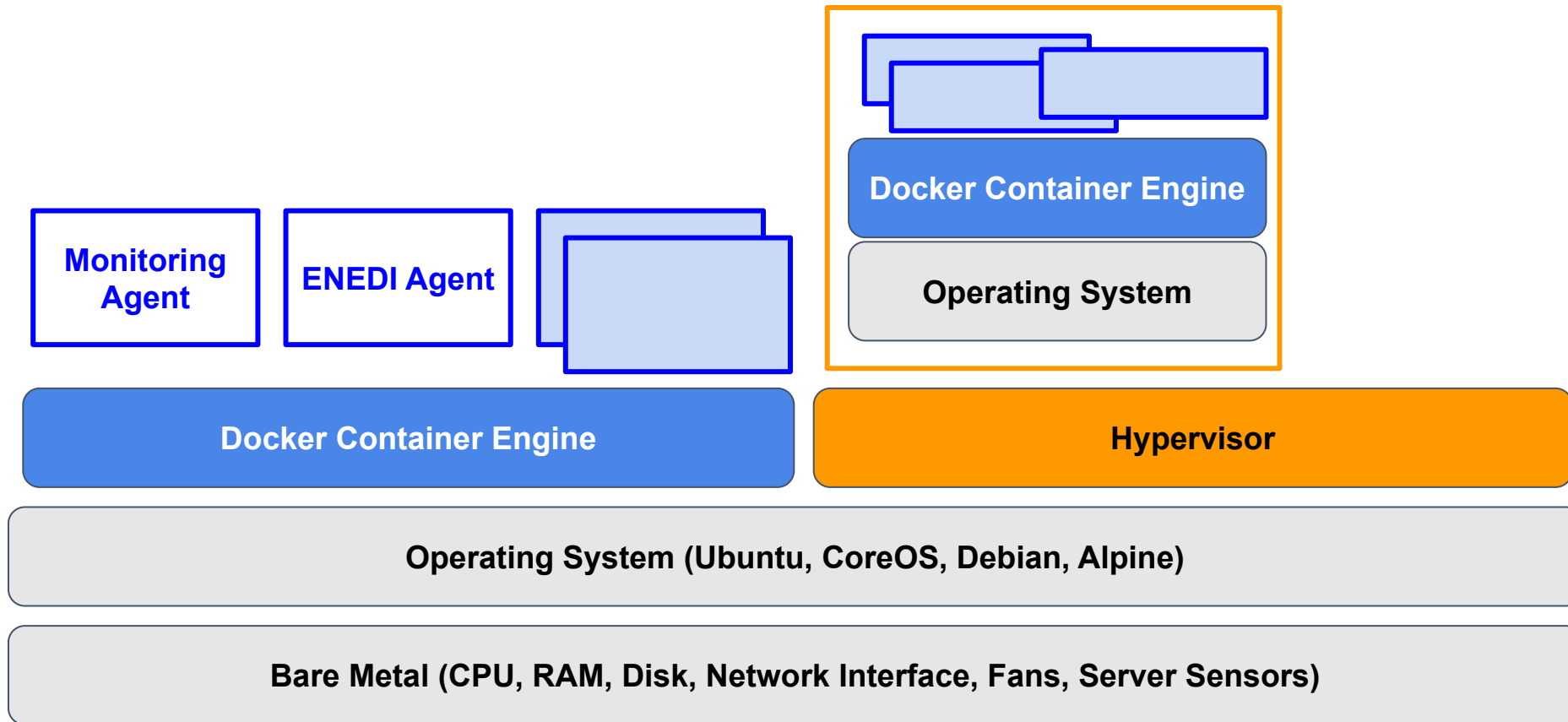


Σχεδιάστηκε ακολουθώντας το αρχιτεκτονικό παράδειγμα των μικρουπηρεσιών.

Έχει χωριστεί σε τρία κυρίως επίπεδα

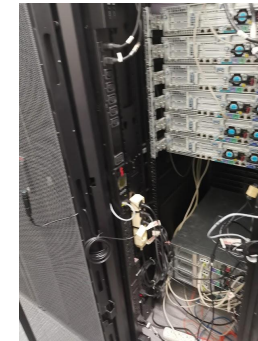
- A. Επίπεδο Φυσικής Υποδομής (Infrastructure Layer)
- B. Επίπεδο Πλατφόρμας (Platform Layer)
- C. Επίπεδο Γραφικής Διεπαφής Χρηστών (GUI Layer)





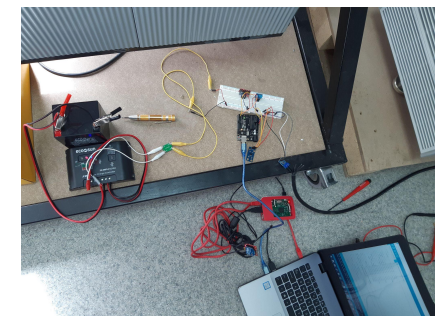
## Πραγματικοί Αισθητήρες:

- Φ/Β – Inverter Fronius
  - Μετρικές Παραγωγής, Μετεωρολογικά Δεδομένα  REST API
- SmartPDU Vertiv MPM1242
  - Μετρικές κατανάλωσης ενέργειας εντός Κ.Δ  SNMP or REST
- Συλλέκτες Μετρικών χαμηλού κόστους
  - Arduino, Raspberry Pi  Διπλωματική φοιτητή εργαστηρίου Σ. Ιωάννου



## Ψηφιακοί Αισθητήρες:

- Συλλογή μετρικών επίδοσης από τους εξυπηρετητές.
  - Λ/Σ Εικονικών Μηχανών
  - Λ/Σ Εξυπηρετητή
  - Docker Containers





## ΑΠΟ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΟΙ ΜΕΤΡΙΚΕΣ?

### PV

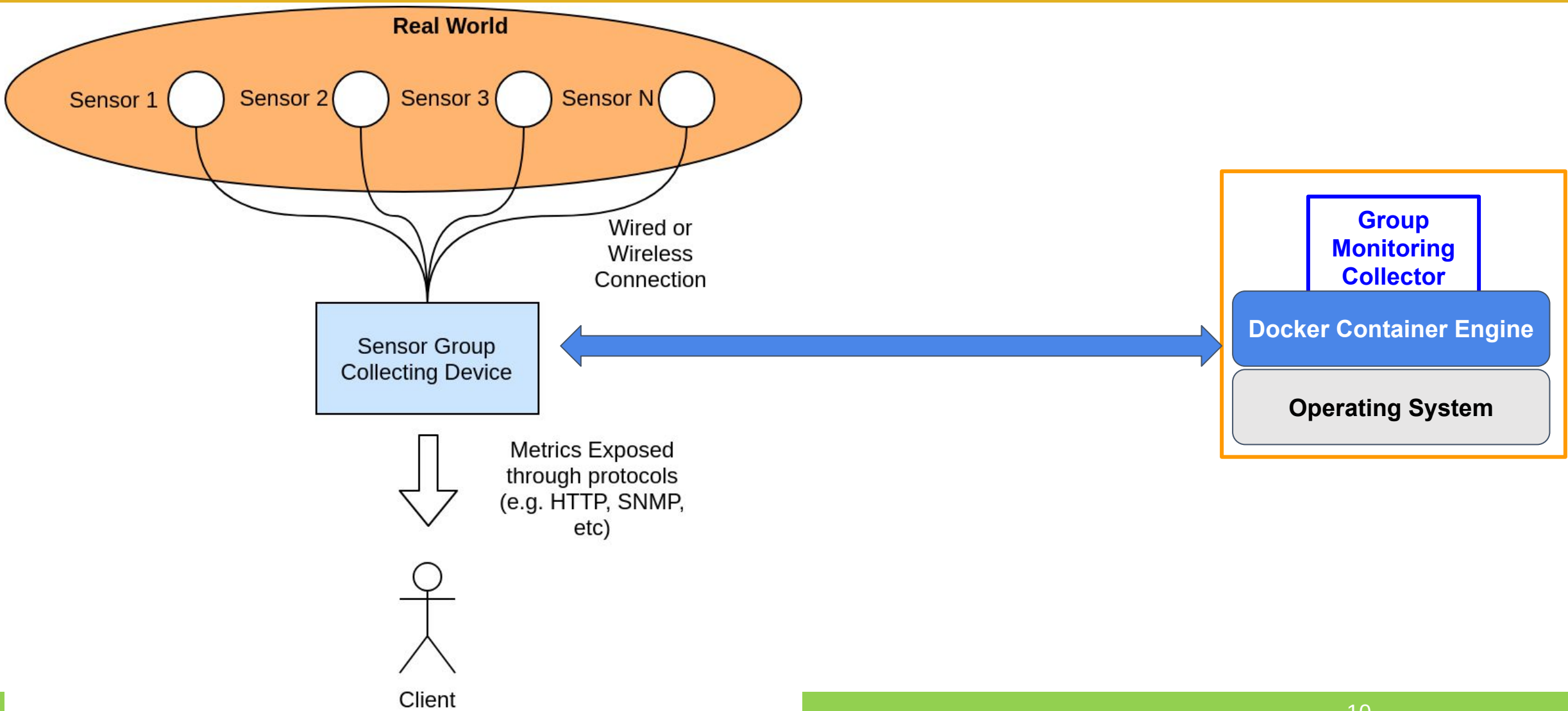
Sensor	Communication Protocol	Units	Physical Collector	Virtual Collector
DC Intensity	HTTP	A	Sensor, Datalogger	PV Collector -> Prometheus
DC Voltage	HTTP	V	Sensor, Datalogger	PV Collector -> Prometheus
Module Temperature	HTTP	oC	Sensor, Datalogger	PV Collector -> Prometheus
Ambient Temp.	HTTP	oC	Sensor, Datalogger	PV Collector -> Prometheus
Humidity	HTTP	%	Sensor, Datalogger	PV Collector -> Prometheus
Solar Irradiance 17o (Pyranometer)	HTTP	GPOA	Sensor, Datalogger	PV Collector -> Prometheus
Solar Irradiance 30o (Pyranometer)	HTTP	GPOA	Sensor, Datalogger	PV Collector -> Prometheus
Wind Speed	HTTP	km/h	Sensor, Datalogger	PV Collector -> Prometheus

### Server Rooms / Datacenters

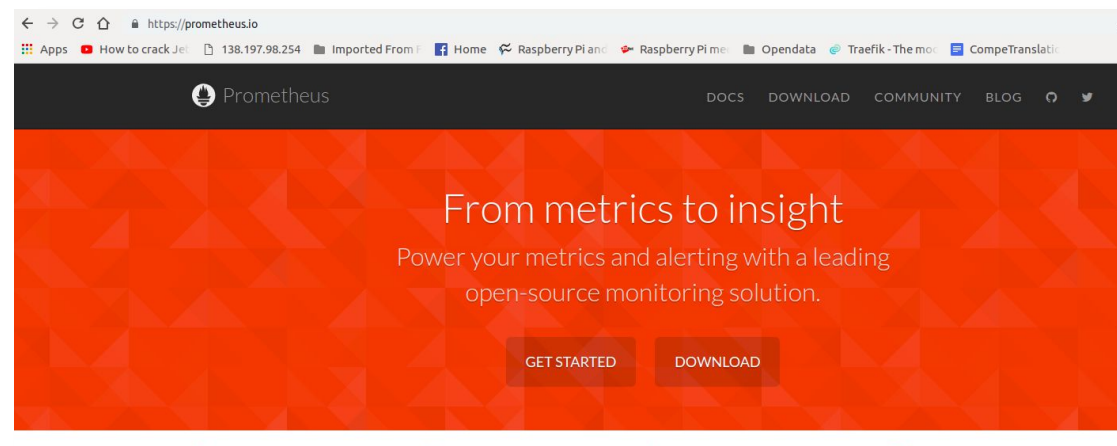
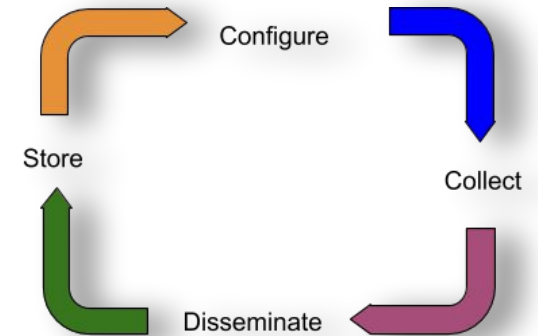
Sensor	Communication Protocol	Units	Physical Collector	Virtual Collector
Rack Temperature	SNMP	oC	Climate Monitor	DC Env. Collector -> Prometheus
Server Temperature	SNMP	oC	Climate Monitor	DC Env. Collector -> Prometheus
Smart PDU (Current and Voltage Consumption)	HTTP, SNMP	V, A	PDU	PDU Collector -> Prometheus
Room Humidity	SNMP	%	Climate Monitor	DC Env. Collector -> Prometheus
Light	SNMP		Climate Monitor	DC Env. Collector -> Prometheus
Server Fan Speed	IPMI	ras/sec	IPMI Server Sensors	DC Env. Collector -> Prometheus

### Computational/Network/Storage Performance

Sensor	Communication Protocol	Units	Physical Collector	Virtual Collector
CPU Util	HTTP	%	-	Compute Collector -> Prometheus
Memory Util	HTTP	%	-	Compute Collector -> Prometheus
Network I/O	HTTP	bytes in/bytes out	-	Compute Collector -> Prometheus
Disk I/O	HTTP	bytes in/bytes out	-	Compute Collector -> Prometheus
Netdata Exposed Metrics	HTTP	more than 5000 server performance metrics	-	Compute Collector -> Prometheus



- Σύστημα παρακολούθησης είναι υπεύθυνο για το συνεχή συντονισμό της διαδικασίας παρακολούθησης
- Στο ΕΝΕΔΗ για το Σύστημα Παρακολούθησης έχει επιλεγεί το σύστημα ανοιχτού λογισμικού Prometheus (<https://prometheus.io/docs/introduction/overview/> )

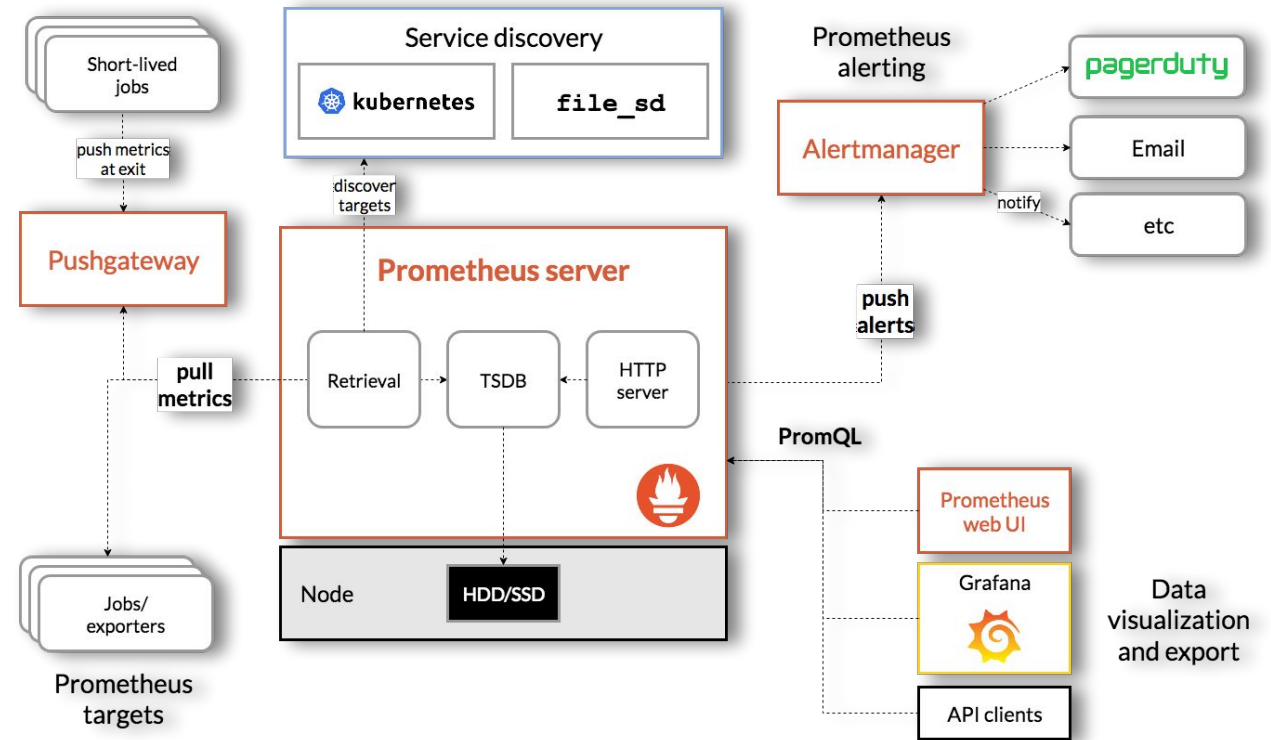


# Αρχιτεκτονική και Χαρακτηριστικά Prometheus

- Χρησιμοποιεί λογική **pull** → Ο server “τραβάει” μετρικές από τους στόχους
- Αποθηκεύει τις μετρικές που μαζεύει τοπικά
- Τρέχει συναρτήσεις συσσώρευσης (aggregation functions) πάνω στα δεδομένα
- Παρέχει γλώσσα ερωτήσεων (PROMQL)

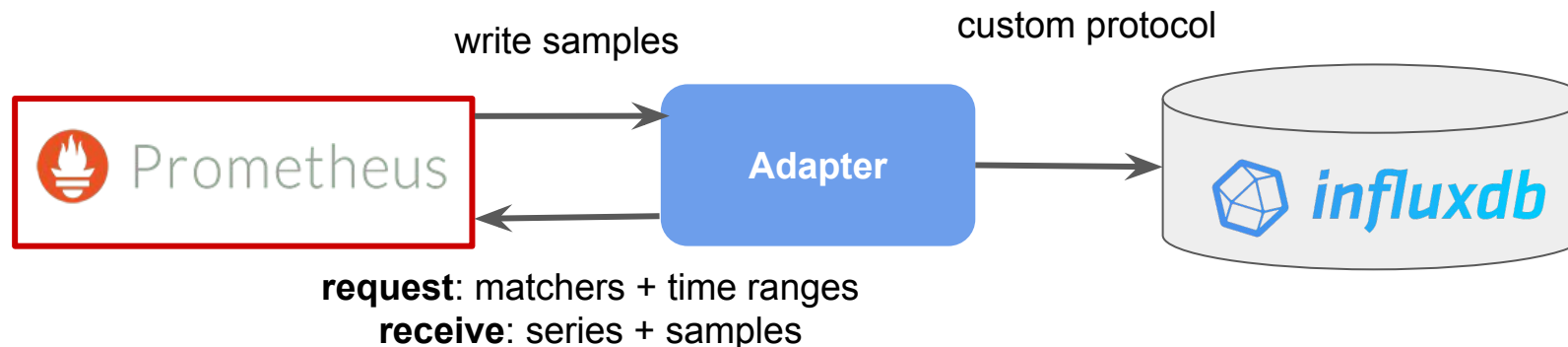
## Περιορισμός:

- Περιορισμένος χρόνος αποθήκευσης

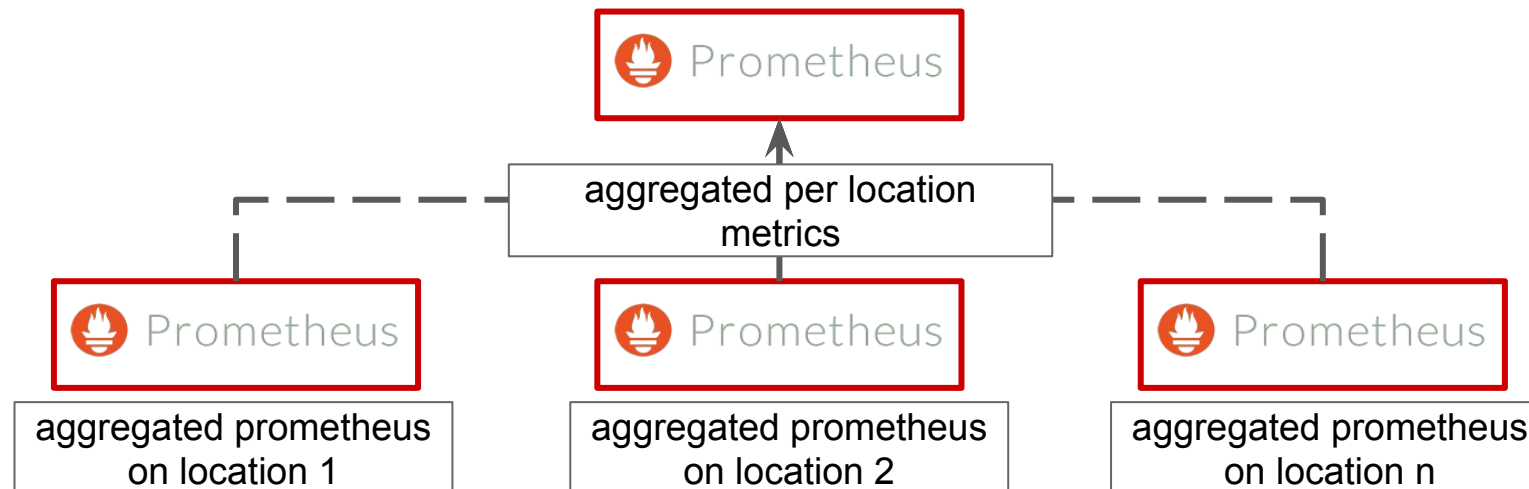


# Μόνιμη αποθήκευση δεδομένων

- Ο Prometheus αποθηκεύει δεδομένα χρονοσειρών στο δίσκο
  - Μέγιστος χρόνος αποθήκευσης ~ 15 μέρες
- Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί → Παρέχει διεπαφές υλοποίησης στις οποίες μπορούν να ενωθούν απομακρυσμένες ΒΔ.
  - Στο ΕΝΕΔΗ χρησιμοποιούμε υλοποίηση με την InfluxDB (<https://www.influxdata.com/> )



- Χρήση του Prometheus σε Hierarchical Federation Mode
- Σε κάθε datacenter location θα γίνεται deployed ένας Prometheus για τη συλλογή μετρικών από αυτό το location
- Ένας master Prometheus θα συλλέγει τις συλλεγόμενες μετρικές από κάθε local Prometheus ξεχωριστά





EnediMetric	
- metricId : long	
- metricName : string	
- metricValue : string	
- metricDimension : string	
~ getMetricId(): long	00
~ setMetricId(in value: long)	00
~ getMetricName(): string	00
~ setMetricName(in value: string)	00
~ getMetricValue(): string	00
~ setMetricValue(in value: string)	00
~ getMetricDimension(): string	00
~ setMetricDimension(in value: string)	00



<metric\_name, metric\_value, timestamp>

```

netdata_info{instance="68b93d9d11e8",application="netdata",version="v1.14.0-84-g96e74619"} 1 1558547587387
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_throttle_serviced_ops_total{chart="cgroup_68b93d9d11e8.throttle_serviced_ops",family="disk",dimension="read"} 44
1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_throttle_serviced_ops_total{chart="cgroup_68b93d9d11e8.throttle_serviced_ops",family="disk",dimension="write"} 0
1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_throttle_io_total{chart="cgroup_68b93d9d11e8.throttle_io",family="disk",dimension="read"} 180224 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_throttle_io_total{chart="cgroup_68b93d9d11e8.throttle_io",family="disk",dimension="write"} 0 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_ipv4_tcperrors_total{chart="ipv4.tcperrors",family="tcp",dimension="InErrs"} 0 1558547586947
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_ipv4_tcperrors_total{chart="ipv4.tcperrors",family="tcp",dimension="InCsumErrors"} 0 1558547586947
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_ipv4_tcperrors_total{chart="ipv4.tcperrors",family="tcp",dimension="RetransSegs"} 113 1558547586947
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_ip_tcpreorders_total{chart="ip.tcpreorders",family="tcp",dimension="timestamp"} 25 1558547586947
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_ip_tcpreorders_total{chart="ip.tcpreorders",family="tcp",dimension="sack"} 0 1558547586947
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_ip_tcpreorders_total{chart="ip.tcpreorders",family="tcp",dimension="fack"} 0 1558547586947
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_ip_tcpreorders_total{chart="ip.tcpreorders",family="tcp",dimension="reno"} 0 1558547586947
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_cpu_limit{chart="cgroup_68b93d9d11e8.cpu_limit",family="cpu",dimension="used"} 0 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_mem_usage_limit{chart="cgroup_68b93d9d11e8.mem_usage_limit",family="mem",dimension="available"} 25059446784 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_mem_usage_limit{chart="cgroup_68b93d9d11e8.mem_usage_limit",family="mem",dimension="used"} 92528640 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_mem_usage{chart="cgroup_68b93d9d11e8.mem_usage",family="mem",dimension="ram"} 92528640 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_mem_usage{chart="cgroup_68b93d9d11e8.mem_usage",family="mem",dimension="swap"} 0 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_pgfaults_total{chart="cgroup_68b93d9d11e8.pgfaults",family="mem",dimension="pgfault"} 1266512 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_pgfaults_total{chart="cgroup_68b93d9d11e8.pgfaults",family="mem",dimension="swap"} 20 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_mem_activity_total{chart="cgroup_68b93d9d11e8.mem_activity",family="mem",dimension="in"} 1206108 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_mem_activity_total{chart="cgroup_68b93d9d11e8.mem_activity",family="mem",dimension="out"} 1186509 1558547586950
cyprus_nicosia_ucy_dc1_nc14_cgroun_writeback{chart="cgroup_68b93d9d11e8.writeback",family="mem",dimension="dirty"} 0 1558547586950
  
```

Metric Name is indexed with the following convention:

*country\_city\_place\_type\_deviceName\_metric*

- Ένταξη Κ.Δ. στο ΕΝΕΔΗ; αυτοματοποιημένη διαδικασία ENEDIFICATION
- Ελαφριά containerized εφαρμογή στο παρασκήνιο.

## Data Center Master

1. Βρες την public και private IP του μηχανήματος
2. Έλεγξε αν το netdata είναι εγκατεστημένο
  - a. Αν δεν είναι ξεκίνα τη διαδικασία εγκατάστασης του
  - b. Αν είναι συνέχισε στο βήμα 3
3. Εγκατέστησε το Consul σε server mode (για τοπικό Service Discoverability)
4. Εγκατέστησε τον Prometheus με persistent Influx DB
5. Γράψε το netdata στο Consul

6. Γράψε το local Consul στο global Consul (για γενικό Service

## Data Center Server

1. Βρες την public και private IP του μηχανήματος
2. Έλεγξε αν το netdata είναι εγκατεστημένο
  - a. Αν δεν είναι ξεκίνα τη διαδικασία εγκατάστασης του
  - b. Αν είναι συνέχισε στο βήμα 3
3. Εγκατέστησε το Consul σε agent mode (για τοπικό Service Discoverability)
4. Εγκατέστησε τον Prometheus με persistent Influx DB
5. Γράψε το netdata στο Consul agent

6. Γράψε το local Consul agent στο local Consul server

- `docker-compose up -d` στο φάκελο του `datacenter-agent`

Services 13 total

Service	Health Checks	Tags
consul	1	
nc1	2	UCatascopia server
nc10	2	UCatascopia server
nc11	2	UCatascopia server
nc12	2	UCatascopia server
nc14	2	UCatascopia server
nc2	2	UCatascopia server
nc3	2	UCatascopia server
nc4	2	UCatascopia server
nc6	2	UCatascopia server

Prometheus Alerts Graph Status Help

## targets

All Unhealthy

**federate (1/1 up) show less**

Endpoint	State	Labels	Last Scrape	Scrape Duration	Error
http://enedi.ucnet.uoc.gr:9090/federate	UP	instance="enedi.ucnet.uoc.gr:9090" job="federate"	29.497s ago	729.5ms	

**netdata (12/12 up) show less**

Endpoint	State	Labels	Last Scrape	Scrape Duration	Error
http://10.16.27.18:19999/api/v1/allmetrics	UP	instance="10.16.27.18:19999" job="netdata"	10.766s ago	29.22ms	
http://10.16.27.19:19999/api/v1/allmetrics	UP	instance="10.16.27.19:19999" job="netdata"	11.467s ago	25.97ms	
http://10.16.27.20:19999/api/v1/allmetrics	UP	instance="10.16.27.20:19999" job="netdata"	7.622s ago	31.52ms	
http://10.16.27.21:19999/api/v1/allmetrics	UP	instance="10.16.27.21:19999" job="netdata"	207ms ago	29.82ms	
http://10.16.27.23:19999/api/v1/allmetrics	UP	instance="10.16.27.23:19999" job="netdata"	27.477s ago	53.24ms	
http://10.16.27.24:19999/api/v1/allmetrics	UP	instance="10.16.27.24:19999" job="netdata"	48.512s ago	52ms	

GitLab enedi-datacenter-agents

Project ID: 7743088

Files (3.1 MB) Commits (6) Branch (1) Tags (0)

Auto DevOps: It will automatically build, test, and deploy your application based on a predefined CI/CD configuration.

Performance updated to enedi server agent

Name	Last commit	Last update
idea	Performance updated to enedi server agent	1 week ago
datacenter-agent	fixed datacenter agent as a mixture of bash compose and ...	3 months ago
server-agent	Performance updated to enedi server agent	1 week ago
gignore	Initial commit	3 months ago

```

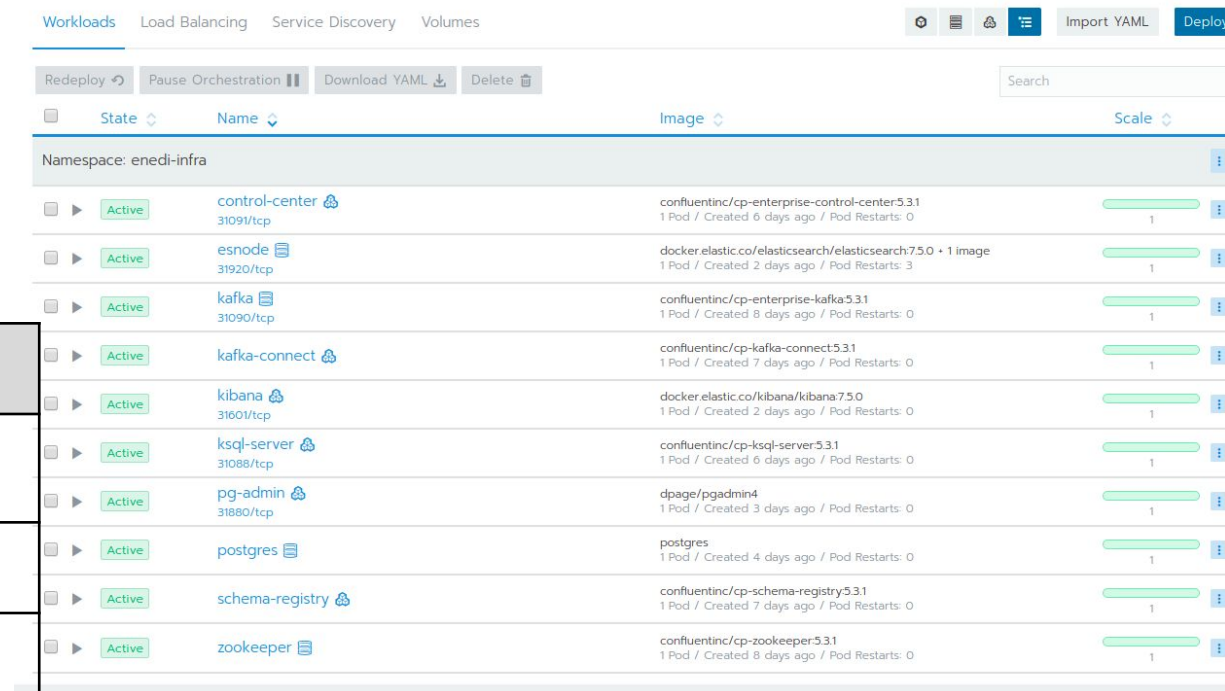
infra:~$ docker ps
CONTAINER ID   IMAGE                                COMMAND                  CREATED          STATUS          PORTS                               NAMES
grafana/grafana   /run.sh                  5 days ago      Up 5 days      3000-3001/tcp                       monitoring-infra_grafana_1
prom/prometheus  /bin/prometheus --c...  5 days ago      Up 4 days      9090/tcp                             monitoring-infra_prometheus_1
consul            "docker-entrypoint.s..."  5 days ago      Up 5 days      8300-8301/tcp                       monitoring-infra_consul_server_1
netdata/netdata  /usr/sbin/run.sh         2 weeks ago     Up 2 weeks     0.0.0.0:20880->19999/tcp             r4spdu4_netdata-r4spdu4_1
netdata/netdata  /usr/sbin/run.sh         2 weeks ago     Up 2 weeks     0.0.0.0:19999->19999/tcp             netdata_netdata_1
dpape/pgadmin4   "entrypoint.sh"         3 weeks ago     Up 3 weeks     443/tcp, 0.0.0.0:19999->80/tcp       enedi-infra_pg-admin_1
postgres         "docker-entrypoint.s..."  3 weeks ago     Up 3 weeks     0.0.0.0:5432->5432/tcp              enedi-infra_users-db_1
  
```



- Τρέχει σε Kubernetes Cluster

Κέντρο Δεδομένων	Αρ. server	Κατάσταση
<b>Πανεπιστήμιο Κύπρου</b>	13	Ενσωματωμένο
<b>Πανεπιστήμιο Κρήτης</b>	5	Ενσωματωμένο

Όνομα υπηρεσίας	Τύπος	Σκοπος
Prometheus	Βάση Δεδομένων	Αποθήκευση μετρικών που προέρχονται από την φυσική και εικονική υποδομή του ΕΝΕΔΗ
InfluxDB	Βάση Δεδομένων	Βάση Δεδομένων Χρονοσειρών για μόνιμη αποθήκευση των μετρικών
Postgres	Βάση Δεδομένων	Χρησιμοποιείται από το ΕΝΕΔΗ API για αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων της υποδομής
Consul	Service Discovery	Κατάλογος εγγραφών των διαθέσιμων σερβερ και συσκευών που συμμετέχουν στο ΕΝΕΔΗ
Netdata	Συλλέκτης Μετρικών	Συλλογή μετρικών από την φυσική και εικονική υποδομή του ΕΝΕΔΗ



- Ιστοσελίδα έργου, <https://enedi.eu/>
- Πλατφόρμα, <http://platform.enedi.eu/>
- Παραδοτέα
  - Π3.3.3α Σχεδιασμός συστήματος έξυπνης διαχείρισης φορτίων κέντρων δεδομένων
  - Π3.3.3β Υλοποίηση και Αναφορά Πειραματικής Λειτουργίας συστήματος έξυπνης διαχείρισης φορτίων κέντρων δεδομένων
  - Π3.3.γ Αναφορά Λειτουργίας συστήματος έξυπνης διαχείρισης φορτίων κέντρων δεδομένων
- Tryfonos, A., Andreou, A., Loulloudes, N., Pallis, G., Dikaiakos, M. D., Chatzigeorgiou, N., & Georghiou, G. E. (2018, December). ENEDI: Energy Saving in Datacenters. In *2018 IEEE Global Conference on Internet of Things (GCIoT)* (pp. 1-5). IEEE.

Το Πρόγραμμα συγχρηματοδοτείται από το  
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης  
της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ



ΚΥΠΡΙΑΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Thank you!