

# WLAN ohjaimen käyttöjärjestelmien vertailu

Lahti Free Wifi

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2018  
Mika Laurila

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma

LAURILA, MIKA:

Langattoman verkon ohjaimen  
käyttöjärjestelmien vertailu  
Lahti Free Wifi

Tietoliikennetekniikan opinnäytetyö, 42 sivua, 1 liitesivu

Syksy 2018

TIIVISTELMÄ

---

WLAN eli langaton lähiverkko on lähiverkkotekniikka, jolla erilaisia verkkolaitteita voidaan yhdistää langattomasti. Langattomalla lähiverkolla tarkoitetaan IEEE 802.11 -standardia käyttäviä laitteiden liityntäverkkoa. Langattomia lähiverkkoja on käytössä useissa julkisissa ja yksityisissä tiloissa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää vertailun myötä ratkaisu siihen, kumpi kahdesta vertailtavasta käyttöjärjestelmästä olisi parempi Lahti Free Wifi -projektissa ohjaimen käyttöjärjestelmäksi. Työ toteutettiin Lahden ammattikorkeakoulu Oy:lle ja siihen liittyvään Mastonet-projektiin.

Lahti Free Wifi -projektissa käytettäviä laitteita on Aruba Networks tukisemat IAP-325, IAP-365, IAP-275 ja näitä hallinnoiva Aruba Networks 7205 mobility controller, eli langattoman verkon ohjain. Nykyinen Lahti Free Wifi -projektin langattoman verkon ohjain on keskeisessä asemassa projektin langattoman verkon ylläpidossa, sillä se hallinnoi ja säätelee kaikkien Lahti Free Wifi -projektissa mukana olevien langattoman verkon laitteiden toimintaa.

Vertailuun valittiin Lahti Free Wifi -projektissa käytössä oleva ja uusin Aruba Networks käyttöjärjestelmä ja tämän tuloksena valittiin ArubaOS 8 uudeksi käyttöjärjestelmäksi projektiin sen paranneltujen ominaisuuksien takia. Vertailun perusteella Lahti Free Wifi -projektissa voitaisiin ottaa ArubaOS 8 käyttöjärjestelmäksi langattoman verkon ohjaimelle.

---

Asiasanat: Aruba, ArubaOS, Lahti Free Wifi

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Information Technology

LAURILA, MIKA:

WLAN Controller Operating System  
comparison  
Lahti Free Wifi

Bachelor's Thesis in telecommunications  
page of appendices

42 pages, 1

Autumn 2018

ABSTRACT

---

WLAN (Wireless Local Area Network) is a local area network technology that allows to connect to various network devices wirelessly. WLAN stands for a network of devices adhering to the IEEE 802.11 standard. Wireless LANs are available in many public and private areas.

The aim of the thesis was to compare which of the two comparative operating systems would be better in the Lahti Free Wifi project as a wireless controllers operating system. The work was carried out for Lahden ammattikorkeakoulu Oy and in the related Mastonet project.

Devices used in the Lahti Free Wifi project are Aruba Network access points IAP-325, IAP-365, IAP-275, and the Aruba Networks 7205 mobility controller, the wireless networks controller.

The current Lahti Free Wifi wireless networks controller is a key player in maintaining the wireless network of the project, as it manages and controls the operation of all wireless networks devices in the Lahti Free Wifi project.

Current wireless networks controllers operating system in the Lahti Free Wifi project and the new ArubaOS 8 were chosen to the comparison and as the result of the comparison the ArubaOS 8 was chosen as new operating system to the project due to its improved features. Based on the comparison the ArubaOS 8 could be used as an operating system for the wireless networks controller in the Lahti Free Wifi project.

---

Key words: Aruba, ArubaOS, Lahti Free Wifi

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LANGATON LÄHIVERKKO	2
2.1	WLANin sijoittuminen OSI-mallissa	2
2.2	MAC-kerroksen kehysten kentät	3
2.3	Saantimenetelmä CSMA/CA	4
2.4	802.11-standardit	5
2.5	Langattoman lähiverkon topologiat	7
3	VIRTUAALISET ERILLISVERKOT	10
3.1	TLS ja SSL	10
3.2	IPSec ja sen toiminta	10
3.2.1	Tunnelin alullepano	11
3.2.2	IKE vaihe 1 ja IKE vaihe 2	12
3.2.3	Tunnelin päättäminen	12
4	LAHTI FREE WIFI -PROJEKTIN LAITTEISTO	13
4.1	Aruba Networks 7205 series mobility controller	13
4.2	Aruba Networks IAP-325	15
4.3	Aruba Networks IAP-365	15
4.4	Aruba Networks IAP-275	17
5	ARUBA-KÄYTTÖJÄRJESTELMÄT	19
5.1	ArubaOS 6.5	19
5.1.1	Ohjaimen ominaisuudet	19
5.1.2	Ohjaimen käyttöliittymä	23
5.1.3	Ohjaimen käytettävyys	26
5.1.4	Käyttöjärjestelmässä havaitut ongelmat	27
5.2	ArubaOS 8	28
5.2.1	Ohjaimen ominaisuudet	28
5.2.2	Ohjaimen käyttöliittymä	32
5.2.3	Ohjaimen käytettävyys	33
5.3	Vertailu	34
5.3.1	Controllerin tilojen vertailu	34
5.3.2	ARM ja AirMatch	35
5.3.3	AppRF	37

5.3.4	Ohjainten käyttöliittymät	39
5.3.5	Ohjainten käytettävyys	40
5.4	Käyttöjärjestelmän valinta	41
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	46

AP	Access Point. Tukiasema.
ARM	Adaptive Radio Management
ArrPF	On teknologia, joka on osa valinnaista ArubaOS PolicyEnforcement Firewall (PEF)-moduulia, joka tuo sovellusten tunnistamisen langattomaan verkkoon.
ArubaOS	Aruba Operating System.
BSS	Basic Service Set. Langattoman verkon topologiarakenne.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance.
DCF	Distributed Coordination Function. Hajautettu koordinointifunktio.
DS	Distribution System. Jakelujärjestelmä.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum. Suorasekventointi.
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ESS	Extended Service Set. Langattoman verkon topologiarakenne.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum. Taajuushyppely.
HCF	Hybrid Coordination Function. Hybridikoordinointifunktio.
IBSS	Infrastructure Basic Service Set. Infrastruktuuri BSS. Langattoman verkon topologiarakenne.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IKE	Internet Key Exchange Protocol
IoT	Internet of Things. Kaikki ei tavalliset internetiä käyttävät laitteet, kuten jääkaapit, seinäkellot.
IPSec	Internet Protocol Security
MAC	Media Access Control. Ethernet-verkossa laitteen yksilöivä 48-bittinen osoite, joka on useimmiten kirjoitettu kortille fyysisesti jo tehtaalla.
MC	Mobility Controller, Aruba Networksin käyttämä tuotenimike langattoman verkon ohjaimelle.
MM	Mobility Master, Arubanetworksin käyttämä tuotenimike langattoman verkon ohjaimelle.
PCF	Point Coordination Function. Pistekoordinointifunktio.

PLCP	Physical Layer Convergence ProdecEDURE.
PMD	Physical Medium Dependent.
QoS	Quality of Service. Palvelunlaatu.
RAP	Remote Access Point
SSID	Service set identifier, verkkotunnus langattomalle verkolle
SSL	Secure Sockets Layer
TLS	Transport Layer Security
USB	Universal Serial Bus
WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton lähiverkko.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on vertailla ja tutkia Aruba Networksin kahta käyttöjärjestelmää Lahti Free Wifi -projektin langattoman verkon ohjaimessa. Vertailtavia ja tutkittavia asioita ovat ArubaOS 6.5:n ja ArubaOS 8:n ominaisuudet, käyttöliittymä, käytettävyys.

Lahti Free Wifi on Lahden kaupungin tarjoama langaton lähiverkko, joka tulee kattamaan pääosin Lahden keskustan, Lahden urheilukeskuksen sekä Messukeskuksen ja sieltä Sibeliustalolle kulkevan Satamaraitin. Verkkoa ylläpitää Lahden ammattikorkeakoulu Oy:n henkilökunta ja opiskelijat.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi langattoman lähiverkon keskeisiä asioita, kuten WLAN-standardeja, WLANin sijoittuminen OSI-malliin, topologiaa, MAC-kerroksen kehysten kenttiä ja saantimenetelmää CSMA/CA. Lahti Free Wifi -projektin Aruba Networksin laitteistoa esitellään myös teoriaosuudessa.

Teoriaosuuden jälkeen käsitellään Aruba networksin käyttöjärjestelmiä Aruban langattoman verkon ohjaimille. Ominaisuuksien, käyttöliittymän, käytettävyyden ja havaittujen ongelmien jälkeen listataan samat toiselle käyttöjärjestelmälle ja tämän jälkeen vertaillaan molempia käyttöjärjestelmiä toisiinsa. Lopuksi pohdintaa, olisiko tuoreemmasta käyttöjärjestelmästä vanhemman syrjäyttäjäksi.



## 2 LANGATON LÄHIVERKKO

Langattomalla verkolla (WLAN eli Wireless Local Area Network) tarkoitetaan IEEE 802.11 -ryhmässä määriteltyjä standardeja käyttäviä päätelaitteiden liityntäverkkoja. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) julkaisi 26.7.1997 ensimmäisen WLAN-standardinsa, joka oli kuitenkin esitelty jo 1990. (IEEE Standards Association 2015.)

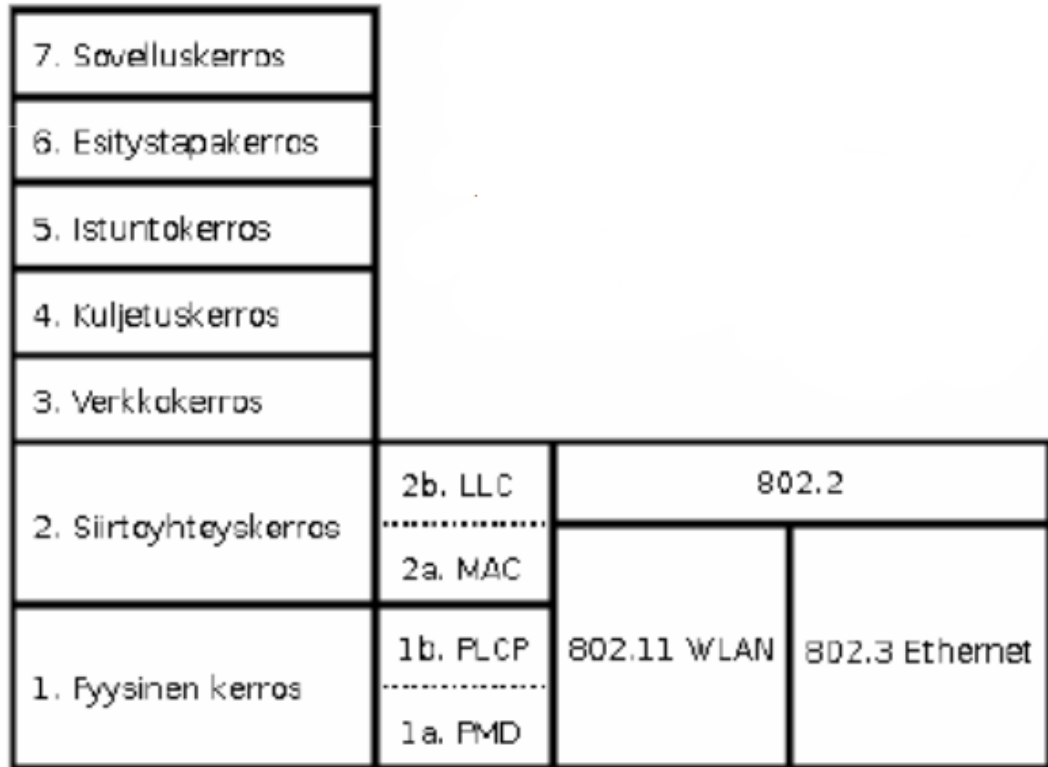
Ensimmäisen standardin määrittelemät nopeudet olivat 1 Mbps ja 2 Mbps ja verkot toimivat taajuusalueella 2,4 – 2,4835 GHz, joka on vapaa IMS-taajuusalueella (Industrial, Medical and Scientific), jossa verkot käyttivät välitystekniikkana infrapunavaloa ja radiotietä. Radiotaajuustekniikka hyödynsi DSSS- (Direct Sequence Spread Spectrum, suorasekventointi) ja FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum, taajuushyppely) -tekniikoita. (IEEE Standards Association 2015a.)

WLAN -verkon elementtejä ovat asema (station), tukiasema (Access Point, AP), jakelujärjestelmä (Distribution System, DS). Asema on mikä tahansa laite, joka noudattaa standardin mukaista fyysisen- ja siirtoyhteyshierarkian määrittelyä. Tukiasema toimii muuten samoin kuin asema, mutta se tarjoaa lisäksi siihen liittyneille asemille välityspalvelua. Asemien välisetkin lähetykset kulkevat tukiaseman kautta, vaikka olisivatkin toistensa kantaman sisäpuolella. Tukiaseman kautta kulkevat myös kaikki asemien ja muun verkon väliset lähetykset. Yhdestä tai useammasta asemasta ja yhden tukiaseman muodostamaa ryhmää kutsutaan infrastruktuuri-BSS:ksi (infrastructure-Basic Service Set, inf-BSS). (Tallinna Ülikooli 2015.)

### 2.1 WLANin sijoittuminen OSI-mallissa

IEEE 802.11 -lähiverkkotekniikka määrittelee LLC:n (Logical Link Control) alapuolella sijaitsevan MAC-alikerroksen (Media Access Control) sekä fyysisen kerroksen toiminnan (KUVIO 1). WLAN:ssa MAC-kerroksen tehtävä on kontrolloida ja hallinnoida langattoman verkon toimintaa, kehysten lähettämistä yhteisesti jaetussa siirtotiessä eli radioaaltojen

lähetystä. Fyysinen kerros jakautuu vielä kahteen alikerrokseen: PLCP- (Physical Layer Convergence Procedure) sekä PMD-kerrokseen (Physical Medium Dependent) (KUVIO 1). (Technet Microsoft 2003.)

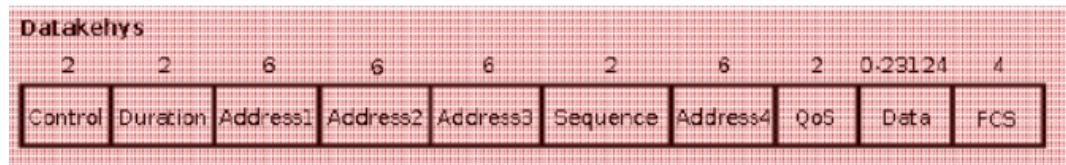


KUVIO 1. WLANin sijoittuminen OSI-mallissa (Viksilä 2014)

## 2.2 MAC-kerroksen kehysten kentät

MAC-kerroksessa kehyksiä on kolmea eri tyyppiä: data-, hallinta- ja kontrollikehyksiä. Control-kentässä välitetään koko kehyksen ohjaukseen ja käsittelyyn liittyviä tietoja, kuten käytettävän protokollan versio, kehyksen tyyppi, tieto isomman datamäärän pilkkomisesta ja lähettämisestä useammassa datakehyksessä (Technet Microsoft 2003).

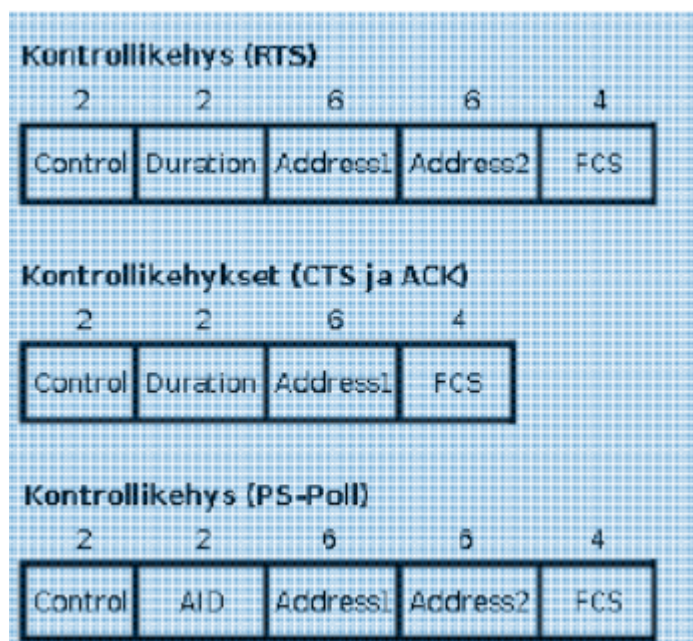
Control-kentässä kerrotaan myös käytössä oleva virranhallintotapa ja tietoa kehyksessä mahdollisesti käytettävästä salauksesta. FEC (Frame Check Sequence) on kehyksen muista kentistä laskettu 32-bittinen CRC-tiiviste (Cyclic redundancy check) (KUVIO 2, KUVIO 3, KUVIO 4) (Technet Microsoft 2003).



KUVIO 1. Datakehys (Viksilä 2014)



KUVIO 2. Hallintakehys (Viksilä 2014)



KUVIO 3. Kontrollikehykset (Viksilä 2014)

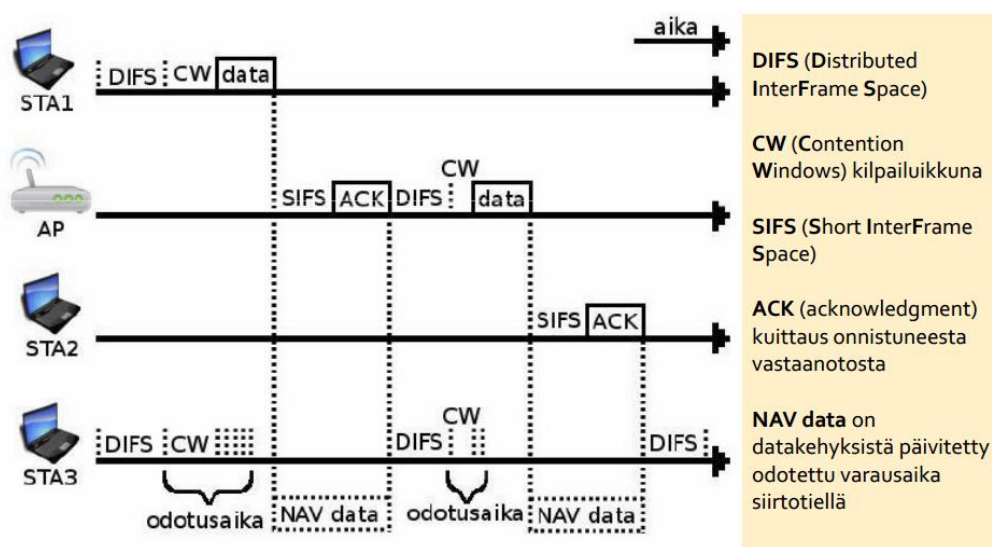
### 2.3 Saantimenetelmä CSMA/CA

IEEE 802.11 -standardissa määritellään MAC-kerrokselle kolme eri tapaa tunnistaa, onko yhteinen siirtotie vapaa muiden signaaleista. Nämä ovat DCF (Distributed Coordination Function) eli hajautettu koordinoitiefunktio, PCF (Point Coordination Function) eli pistekoordinoitiefunktio sekä HCF (Hybrid Coordination Function) eli hybridikoordinoitiefunktio.

DCF on ainoa kaikissa laitteissa oleva pakollinen funktio. PCF ja HCF ovat valinnaisia ja hyödyntävät DCF:ää toteutuksessaan. HCF:ää voidaan

hyödyntää vain, kun asemat hyödyntävät QoS:ä (Quality of Service, palvelunlaatu) liikennöidessään. PCF perustuu kiertokyselyyn, missä tukiasema lähettää kullekin siihen liitetulle asemalle pollausviestin vuorotellen.

Yleisin ja eniten käytetty tapa siirtotien seuraamiseen ja varaamiseen on DCF. WLANissa se perustuu CSMA/CA:han (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). (KUVIO 5.) (Oliver & Escudero 1999.)



KUVIO 4. Siirtotien varaaminen CSMA/CA (Viksilä 2014)

## 2.4 802.11-standardit

IEEE julkaisi ensimmäisen WLAN-standardin vuonna 1997 ja kutsui sitä nimeltä 802.11. Standardi tuki vain maksimissaan 2 Mbps yhteysnopeuksia, joka on liian hidas useimmille käyttökohteille. Tästä syystä tämän protokollan laitteita ei enää valmisteta. (Mitchell 2015.)

IEEE laajensi alkuperäistä 802.11-standardia vuonna 1999 luoden 802.11b-standardin. Standardi tuki yhteysnopeuksia 11 Mbps asti, joka on verrattavissa Ethernetiin. 802.11b-standardi käyttää 2,4 GHz:n radiotaajuutta, kuten alkuperäinen 802.11-standardi. (Mitchell 2015.)

Samaan aikaan 802.11b-standardin kanssa kehitettiin 802.11a-variaatio,

joka pystyi nopeuksiin 54 Mbps asti. 802.11a-standardi käyttää 5 GHz:n taajuutta, mikä lyhentää 802.11a-standardin verkkojen kantamaa verrattuna 802.11b-standardin verkkoihin. 802.11a-standardin signaaleilla on myös vaikeampi läpäistä kiinteitä esteitä, kuten seiniä. (Mitchell 2015.)

Vuonna 2002 markkinoille saapui uusi standardi 802.11g, joka yritti yhdistää 802.11b- ja 802.11a-standardien parhaimpia puolia. Standardi tuki yhteysnopeuksia 54 Mbps asti ja käytti 2,4 GHz:n radiotaajuutta suuremman kantaman saavuttamiseksi. Standardi oli myös takaperin yhteensopiva standardin 802.11b kanssa. (Mitchell 2015.)

802.11n-standardi oli tarkoitus olla parannus 802.11g-standardin yhteysnopeuteen, käyttämällä useita langattomia signaaleita ja antennoja yhden sijasta. 802.11n kykenee 300 Mbps yhteysnopeuksiin ja kykenee myös jonkin verran pidemmälle kantaviin yhteyksiin, kuin aiemmat WLAN-standardit, johtuen sen kasvatetusta signaalitiheydestä ja takaperin yhteensopivuudesta 802.11b/g-standardin laitteiden kanssa. Tuoreimman sukupolven standardi, 802.11ac hyödyntää tuplaradiotaajuuksien tekniikkaa, tukien samaanaikaan 2,4 GHz:n ja 5 GHz WLAN-taajuuksia. (Mitchell 2015.)

802.11ad-standardi toimii 60 GHz:n radiotaajuudella ja tarjoaa paljon suuremman teoreettisen nopeuden yhteyksille verrattuna aiempiin standardeihin. 802.11ad tarjoaa yhteysnopeuden 7 Gbps asti. (IEEE Standards Association 2015b.)

Muut standardit eli 802.11e, 802.11f, 802.11d, 802.11h, 802.11i ja 802.11s ovat lisäominaisuuksien standardeja:

- 802.11e (2005) sisältää toimintoja verkon palvelunlaadun (QoS) parantamiseksi.
- 802.11f oli suositus eri valmistajien laitteiden yhteensopivuuden parantamiseksi laitteiden liikkeessa tukiasemalta toiselle. Tämä ollaan korvaamassa 802.11r- ja 802.11k-protokollalaajennuksilla.
- 802.11d-protokollalaajennus (2001) sisältää uusia kenttiä tukiaseman levitysviesteihin, joilla tukiasema kertoo laitteen

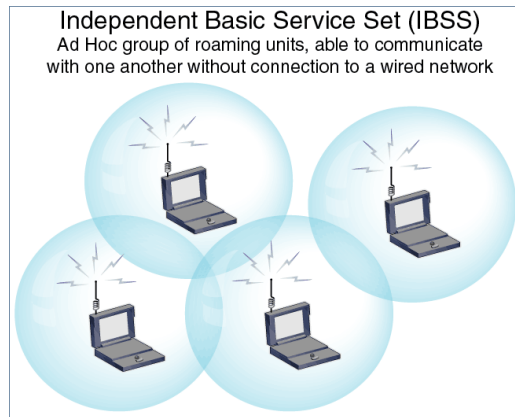
sijaintimaan.

- 802.11h-protokollalaajennus (2004) sisältää muutoksia Euroopassa 5 GHz:n taajuusalueella toimiville laitteille, missä kyseinen taajuus oli aiemmin varattu muun muassa satelliittiliikenteelle. Lisäksi laajennuksessa on tuki älykkäämmälle taajuusalueen vaihdolle, mikäli käytetty kanava on liian häiriöinen. Standardi myös tukee langattomien laitteiden virransäästöominaisuuksia.
- 802.11i-protokollalaajennus parantaa valmistajakohtaisia tietoturvaominaisuuksia osittain ja määrittelee ne standardin osaksi. Standardi tukee myös salausmenetelmän vaihtoa myöhemmin parempaan ja turvallisempaan, mikäli tarvetta vaihtoon ilmenee.
- 802.11s-protokollalaajennus sisältää tuen Wireless mesh -verkkojen rakentamiseen tukiasemien välille. (Tallinna Ülikooli 2015.)

## 2.5 Langattoman lähiverkon topologiat

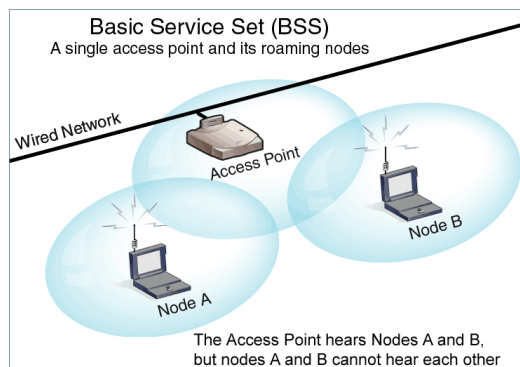
Langaton lähiverkko voi muodostaa topologisesti kolmenlaisia rakenteita. Nämä ovat itsenäinen BSS (Independent Basic Service Set, IBSS), peruspalveluryhmän verkko (Basic Service Set, BSS) ja laajennettu palveluryhmäverkko (Extended Service Set, ESS) (KUVIO 6) (KUVIO 7) (KUVIO 8).

IBSS koostuu pelkästään asemista, ja kaikkien asemien tulee olla toistensa kantaman sisäpuolella. Verkon kaikki liikenne kulkee suoraan lähettäjältä vastaanottajalle. Tämän johdosta lähetyksiä ei toisteta tai välitetä muiden asemien toimesta.



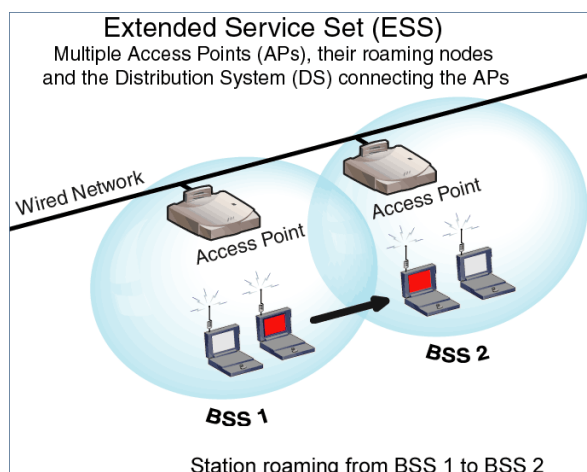
KUVIO 5. IBSS (Wildpackets.com 2015)

BSS on AdHoc-verkko (päätelaitteiden muodostama), jossa on myös tukiasema. Sen kautta hoidetaan yhteys kiinteään verkkoon.



KUVIO 6. BSS (Wildpackets.com 2015)

ESS on infrastruktuuriverkko, joka koostuu yhdestä tai useammasta asemasta ja tukiasemasta. Asemat eivät kommunikoi suorasti keskenään kantaman sisäpuolellakaan, koska kaikki liikenne kulkee aina tukiaseman kautta.



KUVIO 7. ESS (Wildpackets.com 2015)



### 3 VIRTUAALISET ERILLISVERKOT

Virtuaaliset erillisverkot (VPN, Virtual Private Network) käyttävät hyödykseen julkista tietoverkkoa muodostaakseen salatun yhteyden kahden yksityisen tietoverkon välille, muodostaen näin näennäisesti yhtenäisen tietoverkon fyysisesti etäällä olevien tietoverkkojen välille. Alun perin VPN-yhteys suunniteltiin yhdistämään verkon kautta maantieteellisesti etäälle toisistaan sijoitettuja useita saman organisaation toimipisteitä toisiinsa. (Kilcrease, 2009.)

VPN-yhteydessä verkkojen väliin luodaan virtuaalinen tunneli, jossa lähetetty data kulkee julkista verkkoa hyväksikäyttäen. Tunnelin liikenne salataan ja luodun verkon päädyssä käyttäjät tunnistetaan. Tunnelin muodostamiseen ja salaamiseen on useita protokollia, kuten IPsec, SSL, PPTP GRE ja L2PT protokollat. (Perlmutter & Zarkower 2001, 104–106.)

#### 3.1 TLS ja SSL

TLS (Transport Layer Security) ja sitä edeltänyt SSL (Secure Sockets Layer) on tarkoitettu verkossa tapahtuvan liikenteen salaamiseen ja siellä liikkuvan datan eheyden todentamiseen. SSL-protokollasta puhuttaessa arkikielessä tarkoitetaan nykyisin TLS-protokollaa.

SSL-salausta ei enää käytetä juurikaan, vaan sen on syrjäyttänyt TLS-salaus. TLS-protokolla on ositettu paloihin, ja sitä ositusta kutsutaan TLS Record -protokollaksi. Kaikki TLS-protokollan kautta lähetetyt paketit koostuvat näistä TLS Record -protokollan osista (Microsoft Docs 2018, 5).

#### 3.2 IPsec ja sen toiminta

IPsec protokolla (IPsec, Internet Protocol Security) on kokoelma protokollia, ja se on ollut olemassa jo vuodesta 1995. IPsec on tietoverkkoprotokolla, joka todentaa ja salaa datapaketit, jotka lähetetään VPN-tunnelin läpi. IPsec sisältää protokollia tunnelin molemmissa päissä tapahtuvaan todentamiseen ja salausavainten käyttöön istunnon aikana.

Todennus varmistaa datan lähettäjän ja lähetetyn datan oikeellisuuden tarkisteen avulla.

Salaus salaa lähetetyn datan salausavaimella siten, että salauksen saa auki vain oikealla avaimella. Salausavaimet käyttävät salausalgoritmeja, kuten DES:a (Data Encryption Standard), 3DES:a ja AES (Advanced Encryption Standard).

Salausavaimia hallitsee avaimenhallinta, joka muodostaa tarkisteen salatusta datasta lähettäjän ja vastaanottajan välillä. Tarkistetta käytetään IPSec-yhteydellä lähetettyjen ja saapuvien datapakettien salaamiseen ja salauksen purkamiseen. (Doraswamy & Harkins 2003, 35.)

IPSec voi suojata datavirtaa käyttäjien (host-to-host), yksityistenverkkojen (network-to-network) tai yksityisen verkon ja käyttäjän välillä (network-to-host). IPSec voidaan myös sijoittaa verkon sisään muodostamaan VPN tunnelia. IPSec toimii OSI-mallin kolmannessa kerroksessa eli verkkokerroksessa. (KUVIO 1). IPSec voi suojata mitä tahansa protokollaa, joka toimii IP:n (Internet Protocol) päällä, kuten TCP, UDP ja ICMP. (Naganand & Harkins 2003, 45.)

IPSec tunnelin muodostamisprosessin voi jakaa viiteen eri vaiheeseen: tunnelin alullepano, IKE vaihe 1, IKE vaihe 2, tiedonsiirto ja tunnelin päättäminen.

### 3.2.1 Tunnelin alullepano

Tunnelin alullepano voidaan panna alulle manuaalisesti tai automaattisesti, kun tietoverkon liikenne on liputettu suojaukselle (protection) asetettujen IPSec-turvallisuussääntöjen mukaisesti kaikkien IPSec-tunnelointiin osallistuvien kanssa. Molemmissa tapauksissa IKE (Internet Key Exchange Protocol) käynnistyy.

### 3.2.2 IKE vaihe 1 ja IKE vaihe 2

IKE mahdollistaa keinot neuvotella turvallisuusmuuttujat ja päätellä sopivan avainmenetelmän. IKE myös hallinnoi avainten uudelleen luonnin datan koskemattomuuden säilymiseksi. IKE:n perustoiminta voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: IKE vaihe 1 ja IKE vaihe 2.

IKE vaiheessa yksi neuvotellaan muuttujat ja tarvittava avainmateriaali muodostaa ISAKMP (Internet Security Association and Key Management Protocol)-turvallisuuskäytäntö (SA, Security Association). ISAKMP SA :ta käytetään tulevassa IKE-vaihtojen turvaamisessa ja turvallisen kanavan luomiseen IPSec-turvallisuuskäytäntöjen neuvotteluihin IKE vaihe kahdessa.

IKE vaihe kaksi: Tätä vaihetta käytetään vaadittujen muuttujien ja avainmateriaalin neuvotteluun muodostaa kaksi yksisuuntaista IPSec -turvallisuuskäytäntöä sisään- ja ulosmenevälle tietoliikenteelle. IPSec -turvallisuuskäytäntöjä käytetään sitten suojaamaan tietoliikennettä tiedonsiirtovaiheen aikana.

Sisään- ja ulosmenevä tietoliikenne kapseloidaan IPSec turvallisuuskäytännössä määriteltyjen algoritmien ja muuttujien perusteella, joilla se tarjoaa tietosuojaa ja autenttisuutta (ESP, Encapsulating Security Payloads protokolla) tai pelkkää autenttisuutta (AH, Authentication Header protokolla).

### 3.2.3 Tunnelin päättäminen

Tunneli päättyy, kun sen IPSec turvallisuuskäytännöt (SA) loppuvat poistamiseen tai määritellyn ajan Time Out -ajan loppumiseen. IPSec turvallisuuskäytäntö voi päättyä määritellyn ajan ylitykseen tai kun määritelty määrä paketteja on mennyt tunnelin läpi.

## 4 LAHTI FREE WIFI -PROJEKTIN LAITTEISTO

Lahti Free Wifi -projektissa käytetään päätelaitteina Aruba Networksin laitteita. Projektissa on mukana kaksi kappaletta Aruba 7205 mobility controlleria ohjaamassa keskitetysti 70:ää kappaletta Aruban IAP-325 mallin tukiasemia sisäkäyttöön sekä 16 kappaletta Aruba IAP-365 ja 41 kappaletta IAP-275 -mallien ulkotukiasemia. Mobility controllerit sijoitettiin Lahden Ammattikorkeakoulun Tekniikan laitoksen kampuksen tiloihin Ståhlberginkatu 10:n konesaliin. Tukiasemien loppusijoituspaikkoja on muun muassa Lahden Messuhalli, Lahden Sibeliustalo ja näitä yhdistävä Satamaraitti. IAP-275 -mallin ulkotukiasemia olisi tarkoitus käyttää kattamaan Lahden ydinkeskusta ilmaisella langattomalla verkolla.

### 4.1 Aruba Networks 7205 series mobility controller

Aruba Networksin 7205 sarjan langattoman verkon ohjain tarjoaa alustan keskitetyn verkon rakentamiselle, IP palveluihin, turvallisuusmääritysten säätämiseen ja app-aware ohjelmistojen hallinnalle (KUVIO 9).

Ohjain tukee maksimissaan 256:ta tukiasemalisenssiä sekä 256:ta RAP:a (Remote Access Point). Virtuaalilähiverkkoja laite voi pitää yllä maksimissaan 4094 kappaletta ja 8192 IPSec istuntoa yhtäaikaisesti.

Ohjaimiin asennettiin Aruban käyttöjärjestelmä Aruba Operating System 6.5, tarkempi versionumero ArubaOS 6.5.3.0\_59775 (Aruba 2018a).

Ominaisuudet:

- mitat (H) 4,4 cm x (W) 44,5 cm x (D) 44,5 cm
- paino (yksi virtalähde asennettuna) 7,45 kg
- maksimi virrankulutus 75,2 wattia
- maksimi APs (lisenssiä): 256
- maksimi RAP määrä: 256
- maksimi laitemäärä: 8192
- VLAN: 2048
- samanaikaisia GRE-tunneleita (system BSSID): 8192

- samanaikaisia tunneloituja portteja: 4096
- samanaikaisia IPsec istuntoja: 4096
- samanaikaisia SSL fallback -istuntoja: 4096
- aktiivisia palomuurisessioita (samanaikaisia istuntoja): 1 000 000
- Wired throughput (isot paketit): 12 Gbps
- toimintalämpötilat: 0° C - 40° C
- toimintailmankosteus 5% - 95% ei-tiivistyvä
- varastointilämpötilat: -40° C - 70° C
- varastointiilmankosteus: 5% - 95%, ei-tiivistyvä
- maksimi käyttökorkeus: 3048 metriä
- melun tuotto (virtalähteellä): 49.0 dB (Aruba 2018a).



Front: 7205



Back: 7205

KUVIO 8. Aruba Mobility Controller 7205 (Aruba 2018a)

## 4.2 Aruba Networks IAP-325

Aruba Networksin tukiasema IAP-325 on sisäkäyttöön tarkoitettu langattoman verkon tukiasema. Tukiasema tukee samanaikaisesti 5GHz (802.11ac) ja 2,4GHz (802.11n) taajuuksien verkkoja maksiminopeuksilla 1733 Mbps ja 600 Mbps. Siinä on kahdeksan sisäistä ympärisäteilevää alas suunnattua dual-band -antennia, ja tukiasema on 802.11a/b/g/n/ac -sertifioitu ja lisäksi siitä löytyy 802.3af ja 802.3at Power over Ethernet -tuki.

Laitteet toimitettiin seinä/katto-asennuksiin soveltuvien jalustoin sekä adapterilla valaisinkisko-asennuksiin (Aruba 2018b) (KUVIO 10).

Ominaisuudet:

- portit: 2 x RJ-45 10/100/1000 -portti (Link Aggregation, 802.3az Energy Efficient Ethernet (EEE))
- mitat: 203 x 203 x 57 mm  
paino: 950 g



KUVIO 9. Aruba IAP-325 (Aruba, 2018b)

## 4.3 Aruba Networks IAP-365

Aruba Networks IAP-365 on ulkokäyttöön tarkoitettu tukiasema. Tukiasema tukee taajuuksia 2.4GHz (400 Mbps maksimi tiedonsiirtonopeus) ja 5 GHz (867 Mbps maksimitiedonsiirtonopeus) ja

molemmille taajuksille on 2x2 MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) antennia ja integroidut ympärisäteilevät antennit. Toimintalämpötilat ovat -40° C asteesta +55°C asteeseen (Aruba 2018c) (KUVIO 11).

Ominaisuudet:

- mitat 165mm (W) x 165mm (D)
- paino 807g
- 2.4-GHz (400 Mbps maksimi tiedonsiirtonopeus) ja 5-GHz (867 Mbps maksimi tiedonsiirtonopeus) radiot, kukin 2x2 MIMO ja integroidut ympärisäteilevät antennit

Säänkestävyys

- IP66/67
- ASTM B117-07A: Salt spray testing per UL50 NEMA 4x
- EN 300 019 Environmental testing
- Non-weather protected locations
- Full solar exposure



KUVIO 10. Aruba IAP-365 (Aruba 2018c)

#### 4.4 Aruba Networks IAP-275

Aruba IAP-275 on ulkokäyttöön tarkoitettu tukiasema, jossa tuki 2.4 GHz:n (600 Mbps max) ja 5 GHz:n(1.3 Gbps max) radioille, joista kummallekin on 3x3 MIMO-antennia ja kolme sisäänrakennettua ympärisäteilevää antennia. Toimintalämpötilat ovat -40° C asteesta +65° asteeseen (Aruba 2018d) (KUVIO 12).

- portit: 1 x RJ-45 10/100/1000 -porttia
- radion toimintatilat: 802.11a/b/g/n/ac Instant AP, Air monitor for wireless IDS / rogue detection, spektrianalyysi, Secure enterprise mesh
- antenni: sisäiset 3x3:3 MIMO-antennit, kuusi kappaletta. Maksimi gain 5 dBi
- 802.3af ja 802.3at Power over Ethernet -tuki



- maksimissaan 255 päätelaitetta per radio, maks. 16 BSSID:tä per radio
- suojaluokitus: IP66/67
- mitat: 23 x 24 x 27 cm
- paino: 2,4 kg



KUVIO 11. Aruba IAP-275 (Aruba 2018d)

## 5 ARUBA-KÄYTTÖJÄRJESTELMÄT

Lahti Free Wifi -projektiin toimitettiin kaksi kappaletta Aruba Networksin 7205 -sarjan mobility controlleria eli langattoman verkon ohjainta. Vaihtoehtoina käytettäväksi käyttöjärjestelmäksi oli ArubaOS 6.5 ja ArubaOS 8.

Projektissa päädyttiin vanhempaan käyttöjärjestelmään, koska siitä oli olemassa enemmän käyttökokemuksia ja materiaalia valmistajan tukemalla käyttäjien foorumilla, kuin uudesta ArubaOS 8:sta.

Lahti Free Wifi -projektin konsultit suosivat ArubaOS 6.5:tä. Argumentteina käyttöjärjestelmän käyttöön oli sen teknisempi lähestyminen langattoman verkon ylläpitoon ja säätämiseen, kuin uudemmalla ArubaOS 8:lla.

### 5.1 ArubaOS 6.5

ArubaOS 6.5 on Aruban Mobility Controllereihin tarkoitettu käyttöjärjestelmä ja langattomiin tukiasemiin, joita ohjain hallitsee. Siitä löytyy myös aiempia versioita, mutta niitä ei tässä opinnäytetyössä käsitellä. Käyttöjärjestelmänä se on monipuolinen ja kaikin tavoin säädeltävä.

#### 5.1.1 Ohjaimen ominaisuudet

ArubaOS 6.5 on suunniteltu erityisesti skaalautuvaan toimintaan. ArubaOS 6.5 koostuu kolmesta runkoelementistä.

Ensimmäinen elementti on kovennettu monisäkeistetty moniydin kernel, joka hoitaa hallinnon, autentikoinnin, kirjauksen ja muut järjestelmän toiminnalliset funktiot. Tämä hallintapaneeli on selvästi erotettu muista paketin ohjaus komponenteista jatkuvan saatavuuden varmistukseksi. (Aruba 2018e 26.)

Toinen elementti on sulautettu ajantasainen käyttöjärjestelmä, joka pyörittää paketin prosessoinnin laitteistoa. Tämä rinnakkainen arkkitehtuuri

sisältää tuen tehokkaalle syvälle paketin tutkimiselle jokaiselle ohjaimen läpi menevälle yhteydelle ja toteuttaa kaikki reititys-, kytkentä- ja palomuuuri-funktiot sisällään. (Aruba 2018e 27.)

Kolmas elementti on ohjelmoitava salaus/salauksen purku -kone, joka on rakennettu sille tarkoitetun laitteiston päälle. Kone toteuttaa client-to-core eli asiakas ja ytimen välisen salauksen langattomassa käyttäjän tietoliikenteessä ja VPN ohjelmiston asiakkaille. (Aruba 2018e 28.)

ArubaOS 6.5 sisältää monia integroituja toimintoja ja tekniikoita. Lahti Free Wifi -projektin yhteydessä käytettäviä tekniikoita ja toimintoja oli useita.

Aruba Clarity -toiminnolla (KUVIO 13) yksinkertaistetaan vianetsintää langattomassa verkossa. Clarity -toiminto näyttää muitakin kuin kuuluvuuteen liittyviä metriikoita (RADIUS, DHCP ja DNS palvelin) täten mahdollistaen verkon ylläpitäjälle end-to-end näkyvyyden langattoman verkon käyttäjän näkökulmasta. Tämä myös mahdollistaa ongelmien korjaamisen ennen kuin langattoman verkon käyttäjät havaitsevat ongelmia. Löytääkseen nämä ei-kuuluvuuteen liittyvät ongelmat langattoman verkon ohjain tarkastaa kaikki sen läpi menevät pyynnöt ja pitää kirjaa DHCP-, DNS- ja RADIUS-vasteajoista yhdistämällä pyynnöt takaisin palvelimiin, jotka vastaavat takaisin. Clarity -toiminto myös mahdollistaa liikenteen simuloinnin ongelmien ja suorituskyvyn heikkenemisen paikantamiseen. (Aruba2018e 872.)



Täten ARM luo luotettavamman ja korkeasti suoriutuvan WLAN infrastruktuurin koko ajan vaihteleviin radiotaajuusympäristöihin. (Aruba 2018e 455.)

Integrated threat protection – Integroitu uhan torjunta moduuli (ArubaOS RFPProtect module). ArubaOS 6.5:ssa on integroituna omaan langattomaan verkkoon kuulumattomien tukiasemien hallinta ja luokittelu ratkaisu, joka voidaan ottaa käyttöön varatun radiotaajuus sensorin kanssa tai ilman. ArubaOS RFPProtect moduuli integroi langattoman verkon turvallisuusmääritykset verkkoinfrastruktuuriin ilman erillisiä radiotaajuus-sensorijärjestelmiä tai turvaohjelmistoja. Näin se mahdollistaa korkean tason suojan langattoman verkon tunkeutumista vastaan. RFPProtect sisältää myös tehokkaita spektrin analysointi keinoja, joilla saadaan näkymä 802.11-standardin ulkopuolisten radiotaajuus häiriöihin ja niiden vaikutukseen langattoman verkon valitun kanavan laatuun. Se eliminoi langattomia uhkia ja häiriötekijöitä, samalla optimoiden verkon suorituskykyä. (Aruba 2018e 480.)

Edistynyt salaustekniikka - The ArubaOS Advanced Cryptography (ACR) moduuli tuo armeijatasoinen Suite B-salaustekniikan Aruba Mobility Controller :lle, mahdollistaen käyttäjän liikkumisen ja turvatun yhteyden verkkoihin, jotka käsittelevät arkaluontoista ja salassa pidettävää dataa. Suite B parantaa suorituskykyä, eliminoi vaikeasti käsiteltäviä työkuluja ja tiukan käsittelyn vaatimuksia. Suite B tukee yhteentoimivuutta ja tukee yleisesti saatavia mobiililaitteita pienellä kustannuksella verrattuna aiempiin salaustekniikka metodeihin. U.S National Security Agency (NSA) suosittelee Suite B:tä. (Aruba 2018e 481.)

Cellular Handoff Assist on ohjelmoitavissa jokaista virtuaalista tukiasemaa kohti. The cellular handoff auttaa kaksoistilassa olevaa, 3G/4G-kykenevää langattoman verkon laitetta kuten iPhone, iPad tai Android asiakasta langattoman verkon reunalla, missä langattoman verkon kattavuus ei riitä, liittymään langattomaan 3G/4G tukiasemaan paremman verkkoyhteyden saavuttamiseksi. (Aruba 2018e 501).

Plug and Play 4G USB Modem: ArubaOS 6.5.0.0 tukee USB modem Plug and Play. Mobility controller automaattisesti hakee asetukset 4G USB modeemille heti kun käyttäjä laittaa USB modeemin kiinni AP tai RAP:in. (Aruba 2018e.)

Tuki toiselle tukiasema Masterille: Alkaen versiosta ArubaOS 6.5.0.0, katkeamaton yhteys on taattu, vaikka master controller kaatuu. Tämä saa tukiasemat ottamaan yhteyden vaihtoehtoiseen määriteltyyn ohjaimen (Aruba 2018e 120).

### 5.1.2 Ohjaimen käyttöliittymä

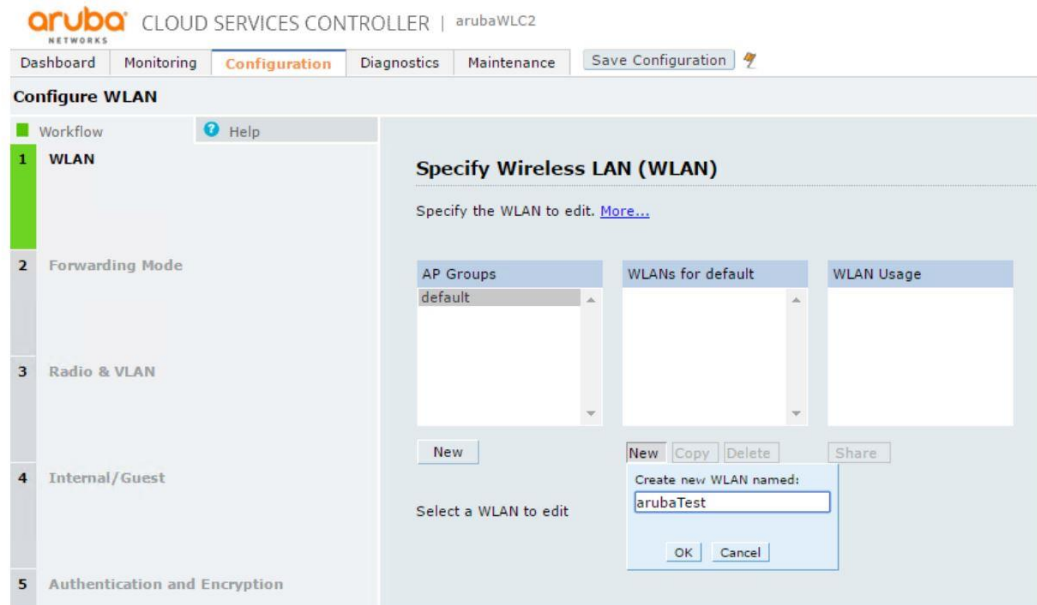
Mobility controllereita käytetään WebUI (Graafinen verkkokäyttöliittymä) (KUVIO 14) tai CLI:n (Tekstipohjainen käyttöliittymä) kautta.



KUVIO 13. ArubaOS 6.5 WebUI sisäänkirjautuminen. (SerializingMe 2015)

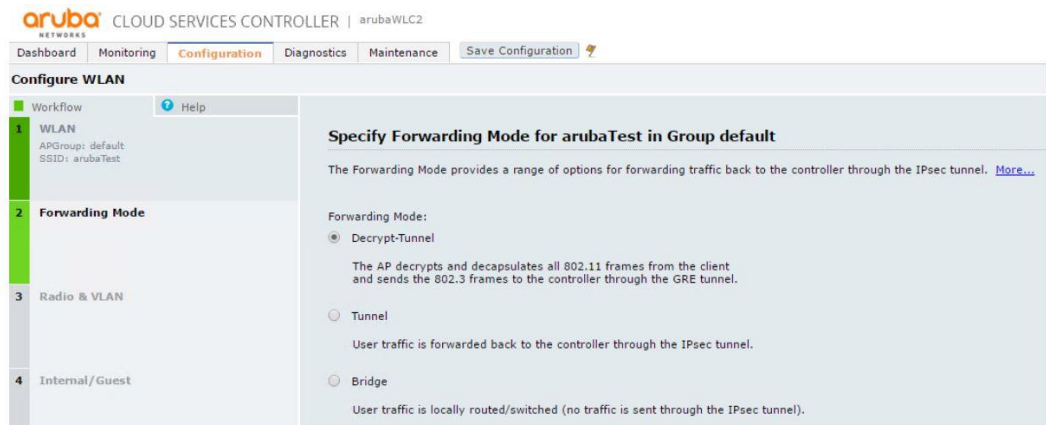
WebUI tukee 320 samanaikaista WebUI -yhteyttä ja siihen saa yhteyden tavanomaisella verkkoselaimella ohjaimen asetetusta sallitusta verkosta.

WebUI sisältää ohjattuja toimintoja, joilla voidaan helpottaa haluttujen toimintojen käyttöönottoa tai verkon perustamista (KUVIO 15). Ohjatuilla toiminnoilla nopeasti luodaan langattomien tukiasemien ryhmä ja sille SSID (Service Set Identifier) eli verkkotunnus (KUVIO 15).



KUVIO 14. Ohjattu tukiaseman verkon asennus. (Aruba 2018f)

Ohjatussa toiminnossa myös valitaan välitystapa tukiaseman ja Mobility Controllerin välille (KUVIO 16). Vaihtoehtoina on salattu-tunneli, tunneli tai sillattu, jolloin käyttäjien data on paikallisesti reititetty. Mitään ei mene salatun tunnelin läpi.



KUVIO 15. Ohjattu tukiaseman verkon asennus. Aruba 2018f)

Yhden tai useamman tukiaseman lisääminen verkkotunnuksen alle onnistuu WebUI:ssa kätevästi provisiointi-ikkunan alta (KUVIO 17). Siinä sille voidaan määritellä käsin Master controllerin IP-osoite, mihin tukiasema sitten ottaa yhteyden, jotta sitä voidaan hallita Mobility Controllerista käsin. Myöskin tukiasemalle voidaan tätä kautta asettaa nimi ja tukiasemaryhmä, mihin se kuuluu. Samassa provisiointi-ikkunassa

voidaan myös luoda profiili provisioinnille, jolloin tukiasemien lisääminen tukiasemaryhmiin nopeutuu huomattavasti verrattuna käsin tukiasemien ryhmiin siirtämisessä.

Wireless > AP Installation > Provision

Provisioning | Provisioning Profile | RAP Whitelist | Campus AP Whitelist

**AP Parameters**  
AP Group: default

**AP Installation Mode**  
 Default  Indoor  Outdoor

**Antenna Parameters**  
**Antenna Selection**  
 Internal/Included Antenna  External Antenna

**Authentication Method**  
Remote AP:  Yes  No  
Remote AP Authentication Method:  Pre-shared Key  Certificate  
IKE PSK:  Confirm IKE PSK:

**User credential assignment**  
 Use Automatic Generation  
 Global User Name/Password  per AP User Name/Password  
User Name:  Generate  
Password:  Generate Confirm Password:

PPPoE Parameters  
Service Name:   
User Name:   
Password:  Confirm Password:   
CHAP Secret:  Confirm CHAP Secret:

**Master Discovery**  
 Use AP Discovery Protocol  
 Host Controller IP Address: 10.3.56.40 Master Controller IP Address/DNS name: 10.3.56.40  
 Host Controller Name:  Master Controller IP Address/DNS name:

**IP Settings**  
Uplink Vlan: 0  
 Obtain IP Address Using DHCP  
 Use the following IP Address  
IP Address:  Subnet Mask:   
Gateway IP Address:   
DNS IP Address:  Domain Name:

**FQLN Mapper**  
Remove FQLN:   
Campus: N/A Building: N/A Floor: N/A

**AP List**

AP IP Address	AP Name	AP Group	SNMP System Location	Mesh Role	AP Type	Serial Number
10.3.56.218	AP-105	default		none	105	ALD000164

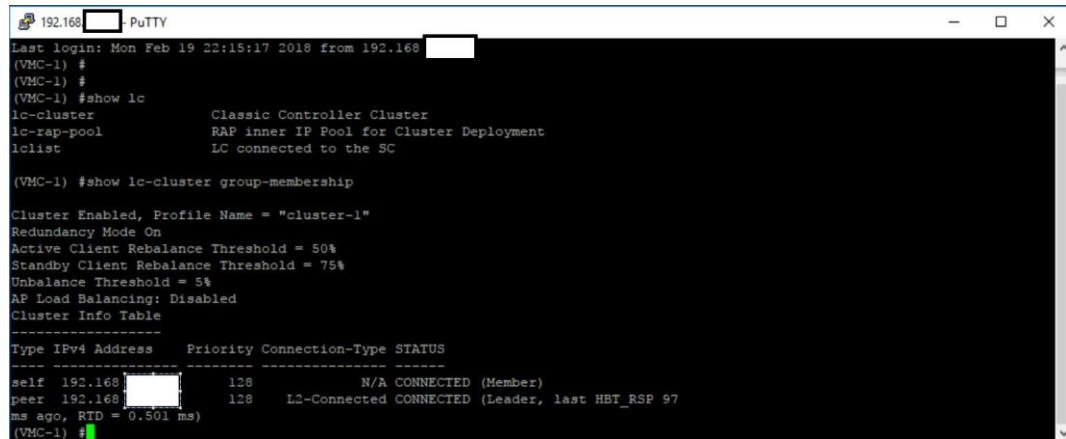
KUVIO 16. Tukiaseman asentaminen ja provisiointi. (Aruba 2018f)

Mobility controllerin asetusten asettamiseen löytyy myös ohjattu toiminto, jolla saadaan nopeasti Mobility Controller toimintaan. Muut toiminnot, joita ei voi ohjatuilla toiminnoilla asentaa, löytyvät muiden valikoiden takaa.

Toinen käyttötapa on tekstipohjainen käyttöliittymä eli CLI (KUVIO 18). Yhteys Mobility Controlleriin otetaan tällöin SSH ohjelmalla sallitusta verkosta. Käyttäjänimi ja salasana syötetään ja tämän jälkeen aukeaa komentokehoite niin sanottuun privileged -modeen, jossa sallittuja



komentoja on vain *show*, *clear*, *ping*, *traceroute* ja *commit*. Täyteen hallintatilaan pääsee kirjoittamalla käskyn *configure terminal* komentokehoitteeseen (Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company #7).



```

192.168. [redacted] - PuTTY
Last login: Mon Feb 19 22:18:17 2018 from 192.168. [redacted]
(VMC-1) #
(VMC-1) #
(VMC-1) #show lc
lc-cluster          Classic Controller Cluster
lc-rap-pool         RAP inner IP Pool for Cluster Deployment
lclist             LC connected to the SC

(VMC-1) #show lc-cluster group-membership
Cluster Enabled, Profile Name = "cluster-1"
Redundancy Mode On
Active Client Rebalance Threshold = 50%
Standby Client Rebalance Threshold = 75%
Unbalance Threshold = 5%
AP Load Balancing: Disabled
Cluster Info Table
-----
Type IPv4 Address      Priority Connection-Type STATUS
-----
self 192.168. [redacted] 128 N/A CONNECTED (Member)
peer 192.168. [redacted] 128 LD-Connected CONNECTED (Leader, last HBT_RSP 97
ms ago, RTD = 0.501 ms)
(VMC-1) #
  
```

KUVIO 17. CLI tekstipohjainen käyttöliittymä. (Aruba 2018f)

CLI:n käyttö Mobility Controllerin parissa ei ole kovin tarkoituksen mukaista. Joitakin toimintoja pääsee helpommin muuttamaan CLI:n kautta, mutta CLI pääsee enemmän oikeuksiinsa, kun otetaan CLI yhteys tukiasemiin ja sieltä tutkitaan tarvittuja tietoja ja tehdään asetuksia. CLI:n käytön komennot on listattu liittessä. (LIITE 1).

### 5.1.3 Ohjaimen käytettävyys

ArubaOS 6.5:n on suhteellisen monimuotoinen käyttöjärjestelmä. Ilman aiempaa kokemusta tai ohjausta, ArubaOS 6.5:n käyttöön tottuminen voi viedä huomattavan paljon aikaa.

Ohjatut toiminnot auttavat saamaan Mobility Controllerit toimintaan ja virtuaaliset lähiverkot pystyyn, sekä langattomien tukiasemien SSID -ryhmän asetus captive portalia myöten onnistuu toiminnolla helposti.

Myöskin RAP:ien käyttöönottoaminen ohjatulla toiminnolla on suhteellisen helppoa. Täydelliseen toimintaan, joutuu hakemaan apua valmistajan käyttöoppaasta ja Airheads yhteisön keskustelufoorumilta.

ISO 9241-11 -standardi määrittelee käytettävyyden sen vaikuttavuuden, tehokkuuden ja tyytyväisyyden, mitkä tietyt määritellyt käyttäjät saavuttavat määritellyt tavoitteet tietyssä ympäristössä (Organisation Internationale de Normalisation (ISO) 2018).

Tavoitteena oli oppia käyttämään ArubaOS 6.5:a hyvin. Vaikuttavuus tarkoittaa miten tarkoin ja täydellisesti käyttäjä saavuttaa tavoitteensa. Tehokkuudella tarkoitetaan tavoitteiden saavuttamista suhteutettuna käytettyihin resursseihin. Tyytyväisyydellä tarkoitetaan käyttäjän tyytyväisyyttä laitteen käyttöön. ISO 9241-11 -standardin mukaisesti käytettävyys on keskiarvoa.

#### 5.1.4 Käyttöjärjestelmässä havaitut ongelmat

Lahti Free Wifi -projektin parissa ArubaOS 6.5 toimii kokonaisuutena arvioituna kohtalaisen hyvin. Käyttöjärjestelmä on vakaa, ja kahdennus tuo lisävarmuutta palvelun toimimiseen.

Käyttöjärjestelmän havaittuja ongelmia oli muunmuassa ongelmat tukiasemien provisioinnissa suuria määriä kerrallaan. Laboratorion testiverkosta muunnettiin ensiksi viittä tukiasemaa kerrallaan olemaan Mobility Controllerin ohjaamia. Mobility Controller otti maksimissaan neljä kappaletta kerrallaan ja ilman mitään järkevää selitystä, useammin vain yksi tai kaksi muuntui onnistuneesti.

Mobility Controllerissa tukiasemien provisiointi oikeaan AP ryhmään eteni vastaavanlaisesti. Mahdollisuus oli provisioida useita tukiasemia kerrallaan, mutta useimmiten vain muutama provisioitui oikein.

Muunnettujen ja provisioitavien tukiasemien määrä oli 127 kappaletta, joten toimenpiteessä meni useita päiviä. Yksi tukiasema muuntui Mobility Controllerin ohjaamaksi keskimäärin 10 minuutissa, mikäli ongelmia ei esiintynyt.

Mobility Controllerin WebUI:stä käsin jo sijoitettuja ja käytössä olevia tukiasemia pystyi hallitsemaan kohtuu hyvin. Ongelmatilanteissa, ongelma oli useimmiten huonossa verkkoliitännässä tai yhteydessä tukiaseman

läheisyydessä. Mikäli yhteyttä ei saatu tukiasemiin, tai ne eivät lähteneet päälle määrätysti, niin sitten lähdettiin verkon teustauslaitteen kera paikanpäälle etsimään ongelman juurta.

Suurin ongelma ArubaOS 6.5:n kanssa oli lokitiedostojen muodostamisen kanssa. Käyttöjärjestelmän asennuksen jälkeen lokitiedostosta ilmeni kaikki tarvittava tukiasemien tilasta ja virheilmoitukset olivat ymmärrettäviä ja se helpotti huomattavasti vianetsintää. Päivitetyn Mobility Controllerin ArubaOS 6.5.x -versiolla hävisi samalla lokitiedoista nämä kattavat ja kuvaavat virheilmoitukset. Yritys CLI:n kautta saada lokitietoja paremmin näkyviin, epäonnistui. Airheads -yhteisöstä apua etsiessä ja pyytäessä, kukaan ei osannut auttaa. Millään parametrilla ei lokitiedoista saanut ulos haluttua dataa. Ainut keino aiempaan palaamisessa olisi palauttaa tehdasasetukset, mutta halua siihen ei löytynyt.

## 5.2 ArubaOS 8

ArubaOS 8 on Aruba Networksin uusin käyttöjärjestelmä Aruban Mobility Controllerille. ArubaOS 8 on suunniteltu ja tehty nykyisten ja tulevien langattomien verkkojen vaatimukset mielessä.

Verrattuna aiempiin ArubaOS versioihin, ArubaOS 8 on nykyaikainen ja helppokäyttöisempi. ArubaOS 8 on moderni käyttöjärjestelmä.

### 5.2.1 Ohjaimen ominaisuudet

ArubaOS 8 on käyttöjärjestelmä kaikille Mobility Controllereille, Virtual Mobility Controllereille, Mobility Masterille ja Mobility Controllerin hallinnoimille langattomille tukiasemille. ArubaOS 8 toimittaa yhtenäisen langallisen ja langattoman yhteyden, saumattomia verkkovierailuja, huipputason turvallisuutta ja aina päällä olevan tietoverkko vaaditulla toimintakyvyllä.

Mobility Master on ArubaOS 8:n mukana tuoma uusi komponentti Aruban arkkitehtuurissa, joka mahdollistaa asiakkaiden hyödyntävän

edistyksellisiä ominaisuuksia keskitetystä hallinnasta käsin. Mobility Master on myös hyödyllinen tietoverkoille, joiden pitää skaalautua alati kasvavien langattomien ja IoT -laitteiden vaatimuksille. Mobility Master syrjäyttää aiemman Master Controllerin toiminnat ja se voidaan ottaa käyttöön joko virtuaalisena tai x86 -laitte pohjaisena. Mobility Master automaattisesti optimoi radioaaltoja valiten parhaiten kuuluvan ja mahdollistaa katkeamattoman verkon käytön, mikäli Controller epätodennäköisesti vikautuu tai muutoin poistuu käytöstä. (Aruba 2018h.)

ArubaOS 6.5-version voi suoraan päivittää ArubaOS 8-versioon ja täten saada heti ArubaOS 8:n uudet ominaisuudet ja mahdollisuudet.

AirMatch on ARM teknologian kehittyneempi versio, jossa AirMatch automaattisesti optimoi parhaiten kuuluvan kanavan, lähetystehon säätämisen ja kanavan pituuden säätö systeemin. ARM käyttää dynaamista koneälyn oppimista luodakseen automaattisesti optimaalisen näkymän koko langattomasta verkosta laitteineen. (Aruba 2018h.)

Live upgrade\* eli suora, automaattinen päivitys mahdollistaa siirtymisen suoraan uuteen käyttöjärjestelmään ilman yhtään katkoksia asiakkaiden tietoverkossa. Live upgraden avulla koko tietoverkko voidaan päivittää uusimpaan käyttöjärjestelmäversioon verkon toiminnan häiriintymättä. (Aruba 2018h.)

Controller Clustering eli langattoman verkon ohjaimen ryhmittely, mahdollistaa katkeamattoman tietoverkon ylläpidon, silloin kun epätodennäköinen tapahtuu ja Controller poistuu pois käytöstä. Puhelut, videon ja datan lähettäminen kaikki jatkuisivat ilman huomattavaa vaikutusta käyttäjälle. Käyttäjän istunto informaatio jaetaan Controllerien kesken ryhmittelyssä, jottei missään vaiheessa mitään käyttäjän dataa katoa. (Aruba 2018h.)

Multizone ominaisuus mahdollistaa verkon ylläpitäjille pitää useita turvattuja verkkoja käyttäen samaa tukiasemaa fyysisesti samassa paikassa.

In-service module upgrade, eli käytössä olevan moduulin päivitys. Mobility Master mahdollistaa moduulien saumattoman päivityksen, jotka sijaitsevat Mobility Masterissa vaatimatta koko järjestelmän uudelleenkäynnistämistä. Näitä moduuleita on mm. AppRF, AirGroup, ARM, AirMatch, NBAPI, UCM, WebCC ja IP classification. (Aruba 2018h.)

Multi OS Support mahdollistaa uuden päivitetyin käyttöjärjestelmän testaamisen Control Clusterissa, ilman toiminnassa olevan langattoman verkon häiriintymistä. Tämä mahdollistaa uusien innovaatioiden testaamista minimoiden riskit täysin. (Aruba 2018h.)

Aruba Clarity -toiminnolla yksinkertaistetaan vianetsintää langattomassa verkossa. Clarity -toiminto näyttää muitakin kuin kuuluvuuteen liittyviä metriikoita (RADIUS, DHCP ja DNS palvelin) täten mahdollistaen verkon ylläpitäjälle end-to-end näkyvyyden langattoman verkon käyttäjän näkökulmasta. Tämä myös mahdollistaa ongelmien korjaamisen ennenkuin langattoman verkon käyttäjät havaitsee ongelmia. Löytääkseen nämä ei kuuluvuuteen liittyvät ongelmat, langattoman verkon ohjain tarkastaa kaikki sen läpi menevät pyynnöt ja pitää kirjaa DHCP, DNS ja RADIUS vasteajoista yhdistämällä pyynnöt takaisin palvelimiin mitkä vastaavat takaisin. Clarity -toiminto myös mahdollistaa liikenteen simuloinnin ongelmien ja suorituskyvyn heikkenemisen paikantamiseen (Aruba 2018h).

ClientMatch teknologialla poistetaan sticky client -ongelmia ja tehostetaan langattoman verkon asiakas suorituskykyä jatkuvalla istunnon suorituskyvyn määreitä langattoman verkkoon liittyneistä mobiililaitteista ja siten ohjaamalla ne parhaimmin toimiviin ja kuuluviin langattoman verkon tukiasemiin ja radiotaajuuksiin (Aruba 2018e).

AppRF-teknologia on osa valinnaista ArubaOS PolicyEnforcement Firewall (PEF) moduulia, joka tuo sovellusten tunnistamisen langattomaan

verkkoon. Se käyttää syvällistä pakettien tutkimista tunnistukseen yrityspilvi- ja mobiilitohjelmistot. AppRF mahdollistaa myös ylläpidolle ohjelmistojen priorisoinnin jokaiselle käyttäjälle erikseen ja se skaalautuu BYOD (Bring Your Own Device) vaihdon ja laitteiden määrän mukaan. PEF -moduulissa voi määrittää kriittisiä identiteettipohjaisia säätimiä pakottaakseen sovelluksen turvasääntöjä ja priorisointia. (Aruba 2018e.)

Adaptive Radio Management (ARM) -teknologia dynaamisesti optimoi Aruba WLAN tukiasemia (AP). ARM pitää käytetyn taajuuden poissa radiotaajuushäiriöistä ja säätää dynaamisesti tukiaseman lähetystehoja. Täten ARM luo luotettavamman ja korkeasti suoriutuvan WLAN infrastruktuurin koko ajan vaihteleviin radiotaajuusympäristöihin (Aruba 2018e).

Integrated threat protection – Integroitu uhan torjunta moduuli (ArubaOS RFProtect module). ArubaOS 6.5:ssa on integroituna omaan langattomaan verkkoon kuulumattomien tukiasemien hallinta ja luokittelu ratkaisu, joka voidaan ottaa käyttöön varatun radiotaajuus sensorin kanssa tai ilman. ArubaOS RFProtect moduuli integroi langattoman verkon turvallisuusmääritykset verkkoinfrastruktuuriin ilman erillisiä radiotaajuus-sensorijärjestelmiä tai turvaohjelmistoja. Näin se mahdollistaa korkean tason suojan langattoman verkon tunkeutumista vastaan. RFProtect sisältää myös tehokkaita spektrin analysointi keinoja, joilla saadaan näkymä 802.11-standardin ulkopuolisten radiotaajuus häiriöihin ja niiden vaikutukseen langattoman verkon valitun kanavan laatuun. RFProtect eliminoi langattomia uhkia ja häiriötekijöitä, samalla optimoiden verkon suorituskykyä (Aruba 2018e).

Edistynyt salaustekniikka - The ArubaOS Advanced Cryptography (ACR) moduuli tuo armeijatasoisen Suite B -salaustekniikan Aruba Mobility Controller :lle, mahdollistaen käyttäjän liikkumisen ja turvatun yhteyden verkkoihin, jotka käsittelevät arkaluontoista ja salassa pidettävää dataa. Suite B parantaa suorituskykyä, eliminoi vaikeasti käsiteltäviä työkuluja ja tiukan käsittelyn vaatimuksia. Suite B tukee yhteentoimivuutta ja tukee yleisesti saatavia mobiililaitteita pienellä kustannuksella verrattuna

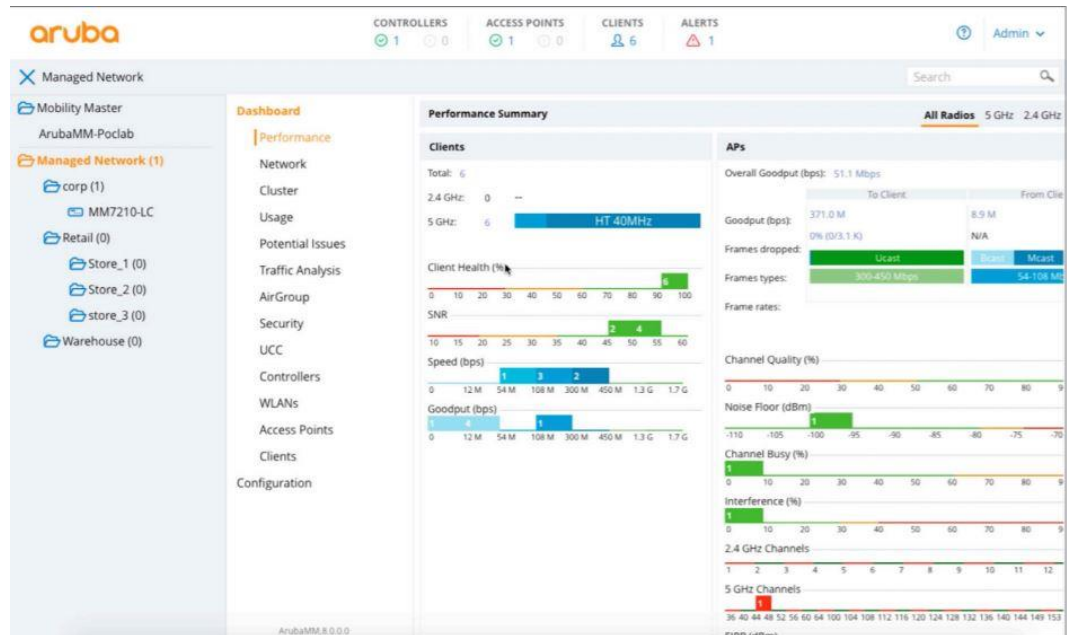
aiempiin salaustekniikka metodeihin. U.S National Security Agency (NSA) suosittelee Suite B:tä. (Aruba 2018e.)

### 5.2.2 Ohjaimen käyttöliittymä

ArubaOS 8 käyttää keskitettyä, monikerroksista arkkitehtuuria, joka on piilotettu uuden yksinkertaistetun UI:n alle (KUVIO 19). UI tekee selvän eron hallinnan, kontrollin ja edelleen lähettämiskomponenttien kesken. Asetukset sekä Mobility Masterille ja hallinnoiduille laitteille hoidetaan keskitetystä paikasta, mikä yksinkertaistaa järjestelmän näkyvyyttä ja valvontaa sekä yksinkertaistaa ja virtaviivaistaa asetusten asettamisprosessia ja toistoa. ArubaOS 8:n UI näyttää modernilta ja siinä on nopeampi työkulku mitä on helpompi käyttää. (Aruba 2018h.)

ArubaOS 8:ssä on tietoverkon säätämistä helpottavia toimintoja kuten Centralized licensing with Pools eli keskitetty lisenssien käsittely varannoilla. Lisenssejä hallitaan yhdestä keskitetystä paikasta, joko Mobility Masterista tai master controllerista. Tästä on se hyöty, että ostetut lisenssit voidaan jakaa varantoihin, mistä ne on helpompi jakaa jokaiselle käyttäjäryhmälle käytettäväksi (Aruba 2018h).

ZTP (Zero Touch Provisioning) automatisoi tukiasemien ja hallinnoitujen laitteiden käyttöönoton. Plug-n-Play mahdollistaa nopean ja helpon käyttöönoton yksinkertaistettuna operaationa, mikä vähentää kuluja ja vähentää provisiointi (Aruba 2018h).



KUVIO 18. ArubaOS 8 uusi User Interface (Aruba 2018h).

### 5.2.3 Ohjaimen käytettävyys

ArubaOS 8 on käytettävyydeltään yksinkertaistettu langattoman verkon hallintakäyttöjärjestelmä. ArubaOS 8 voidaan ottaa todella joustavasti käyttöön erilaisiin toteutuksiin ja se tarjoaa ennenkuulumattoman langattoman verkon käytön kokemuksen käyttäjilleen. Parhaimmillaan sen ylläpitämät langattomat verkot automaattisesti säätelevät itseään käyttäjäkohtaisesti ja täten tarjoaa paremman käyttökokemuksen.

Kaikki toiminnot aikasempiin käyttöjärjestelmiin verrattuna, on paranneltu ja yksinkertaistettu. Master Controllerin käyttöjärjestelmä voidaan päivittää muun verkon häiriintymättä. Sama pätee yksittäisiin moduuleihin. Ne voidaan päivittää muun käytön häiriintymättä, ilman järjestelmän uudelleenkäynnistämistä.

Mobility Master hoitaa lisenssien hallitsemisen Master Controllerin sijasta, jolloin lisenssejä ei tarvitse osoittaa suoraan yhdelle controllerille.

ArubaOS 8:n käytön oppii luultavasti huomattavasti nopeammin kuin sen edeltäjien, sen yksinkertaistetun hallintänäköyksen ja toimintojen takia.



### 5.3 Vertailu

ArubaOS 6.5 on vanhempi käyttöjärjestelmä ja siihen ei enää uusia ominaisuuksia kehitetä. Erot ArubaOS 8:aan ovat huomattavia.

Vertailussa listataan toimintoja ja ominaisuuksia, ja miten ne eroavat käyttöjärjestelmien välillä. Myös ohjainten käyttöliittymiä ja käytettävyyttä vertaillaan.

#### 5.3.1 Controllerin tilojen vertailu

Seuraava kuvio (KUVIO 20) kertoo millaisia olivat aiemmat nimitykset ArubaOS 6.5:ssä verrattuna ArubaOS 8:n. (Aruba 2018i 21.)

ArubaOS 6	ArubaOS 8
Master Controller	MM (VM or hardware) or MCM (72xx and 7030 Only)
Local Controller	MC
Branch Controller	MC
Standalone Controller	Standalone Controller

KUVIO 19. Controllerin tilojen vertailu (Aruba 2018i).

Seuraavat asiat tulisi huomioida liittyen ArubaOS 8:n controllerin tiloihin.

1. ArubaOS 6 Master controllers voivat osittain hallinnoida paikallisia controllereita tai täysin hallinnoida Branch controllereja.
2. MM:t ArubaOS 8:a voivat hallinnoida kaikentyyppisiä controllereita riippumatta siitä, mihin ne on sijoitettu.
3. Pääeroavaisuus ArubaOS 8:n MM:n ja ArubaOS 6.5:n Master controllerin välillä on se, ettei MM voi ottaa tukiasemia hallintaansa tai osoittaa tukiasemalle Master Controlleria.
4. MCM otettiin käyttöön migraatio reitiksi ArubaOS:lle, koska se ei tarvitse virtuaalista MM:a.
5. Standalone mode toimii samaan tapaan ArubaOS 6:ssa kuin se toimii ArubaOS 8:ssä. Vain laitteistopohjaiset controllerit tukee sitä.

6. ArubaOS 6.5 pohjaiset Local controllers saavat vain osittaiset asetukset heidän Masteriltaan ja eivät tue ZTP:tä. Kaikki ArubaOS 8 laitteisto controllerit tukee ZTP:tä.
7. Branch controllerit ArubaOS 6.5:sta on korvattu MC:llä ja niillä on täydet asetukset mikä eroaa ArubaOS 6.5:n Smart Config :sta.

### 5.3.2 ARM ja AirMatch

ARM on ArubaOS 6.5:n ensisijainen radiotaajuuden optimointitekniikka. (KUVIO 21, KUVIO 22) Vaikkakin ARM oli vallankumouksellinen tekniikka sen julkaisemisen jälkeen, se kärsi muutamista vajavuuksista, joita on tässä listattuna:

- liiallisen usein toistuvat kanavan vaihdot, jotka johtavat asiakkaan yhteyden katkeamiseen ja radioaaltoverkon epävakauteen
- epätasainen käytettävissä olevien kanavien käyttö
- epäsymmetrinen EIRP suunnittelu – vaikutus epäsuotuisasti verkkovierailuihin
- puute 2.4Ghz/5Ghz erottamiselle EIRP-suunnittelussa
- automaattisen siirtonopeuden suunnittelun puute.

Nämä ongelmat ovat johtaneet siihen, että osa ylläpitäjistä ovat hylänneet ARM sovelluksen käytön joko ottamalla sen pois käytöstä tai itse käsin säätäneet radion parametrit pitkäkestoisessa prosessissa (Aruba 2018i 50).

Kun ARM kehitettiin, langattomien verkkojen koot olivat huomattavasti pienempiä mitä nykyaikaisissa toteutuksissa on ja kanavien rakenteet olivat paljon yksinkertaisempia. Tietoverkon vakaus ja toimintakyky ei ollut kriittistä radiotaajuuksien suunnittelussa, niinkuin nykypäivänä (Aruba 2018i 50).

AirMatch on ArubaOS 8:n ARMia vastaava järjestelmä. AirMatch tarjoaa ennennäkemättömän laadukasta radiotaajuusverkkojen resurssien

jakamista. AirMatch kerää radiotaajuusverkkojen statistiikka dataa edellisen täyden vuorokauden ajalta ja ennakoivasti optimoi tietoverkkoa seuraavalle päivälle. AirMatch reagoi myös dynaamisiin muutoksiin radiotaajuusympäristöön, kuten tutkiin ja kovaäänisiin tapahtumiin. AirMatch määräytyy seuraavien avainominaisuuksien perusteella:

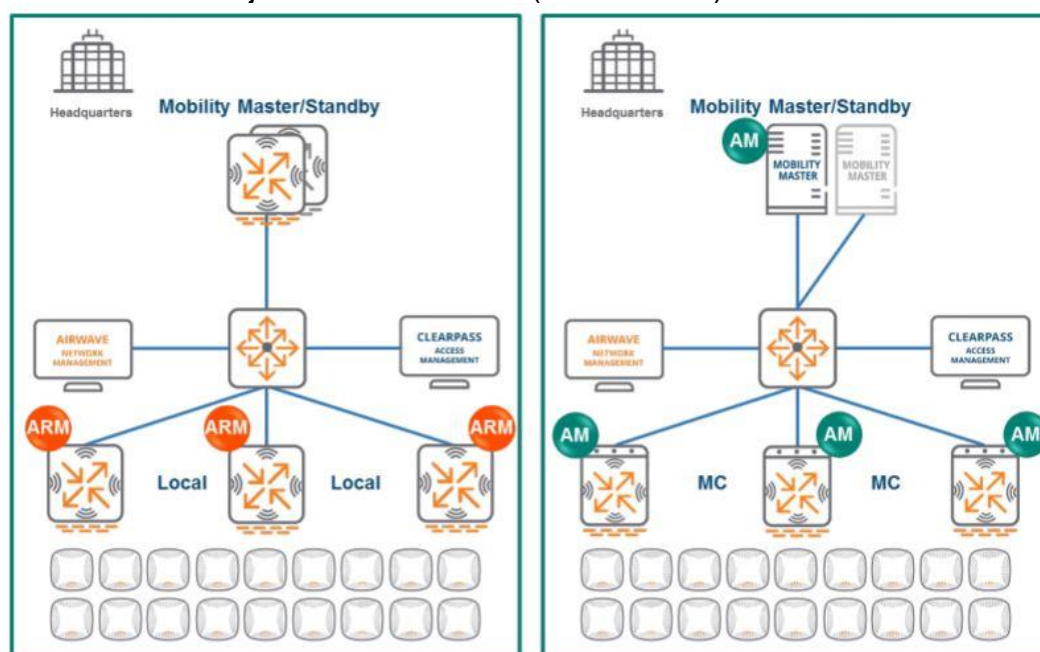
- keskitetty radiotaajuuden optimointi palvelu
- vastikään määritellyt informaatioon keräys ja asetusten käyttöönotto reitin.
- mallintaa ja ratkaisee verkon kokonaisuutena
- johtaa optimaaliseen kanava-, siirtonopeus- ja EIRP suunnitelmaan tietoverkolle. (Aruba 2018i 51.)

AirMatch on Aruban seuraavan sukupolven automaattinen radiotaajuus suunnittelu palvelu, joka määrittää käytetyn kanavan, siirtonopeuden ja tehon tukiasemille koko tietoverkossa. AirMatch sijaitsee Mobility Masterissa ja se luo radiotaajuusratkaisun, mikä määrittää uuden kanavan, siirtonopeuden ja EIRP asetukset jokaiselle tukiasemalle erikseen. AirMatch työnkulku menee seuraavasti:

- tukiasemat lähettävät radiotaajuus-statistiikkaa AMON viestinä Mobility Controllerille
- Mobility Controllerit uudelleenohjaa AMOn viestit heidän Mobility Masterille
- AirMatch laskee optimaalisen radiotaajuusratkaisun
- Mobility Master jakaa ratkaisun takaisin Mobility Controllereille
- Mobility Controllerit lähettää dot11 radio profiilit tukiasemille. (Aruba 2018i 52.)

Feature	AirMatch	ARM
<b>ArubaOS 8 Support</b>	Mobility Master	Standalone or MCM
<b>Computation</b>	Centralized	Decentralized
<b>High Noise Avoidance</b>	Yes	Yes
<b>Radar Avoidance</b>	Yes	Yes
<b>Optimization Scope</b>	Entire RF network	Each AP
<b>RF information Used</b>	Past 24 Hours	Instantaneous snapshot

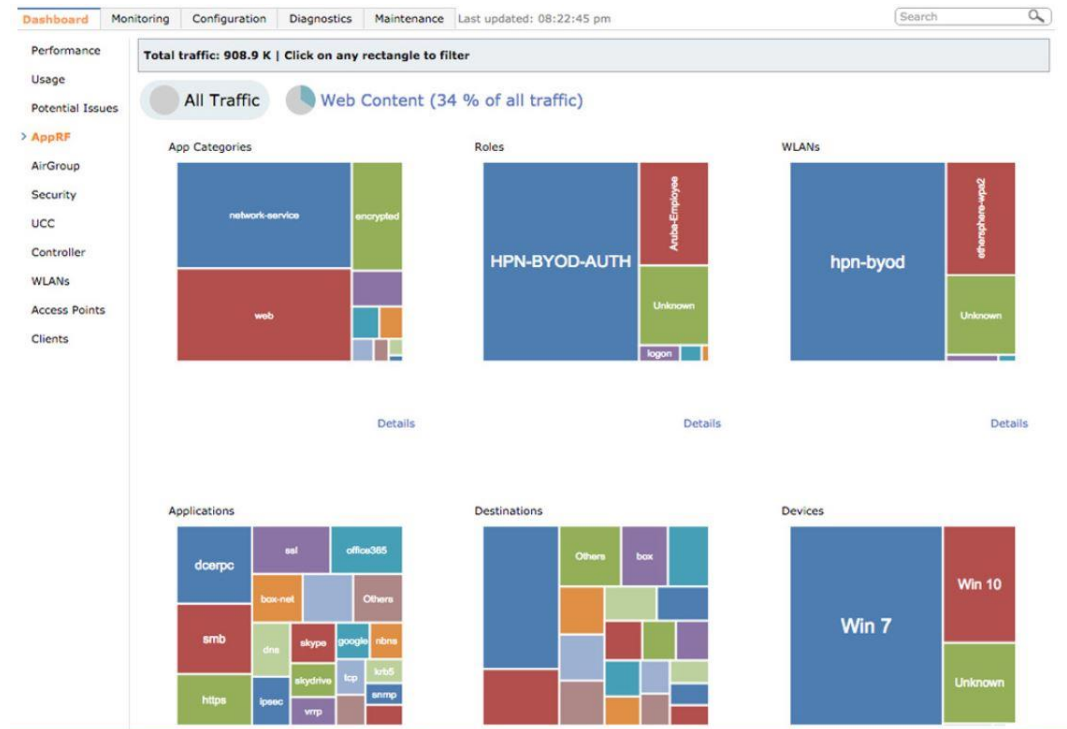
KUVIO 20. ARM ja AirMatch vertailu (Aruba 2018i).



KUVIO 21. ARM ja AirMatch vertailu (Aruba 2018i).

### 5.3.3 AppRF

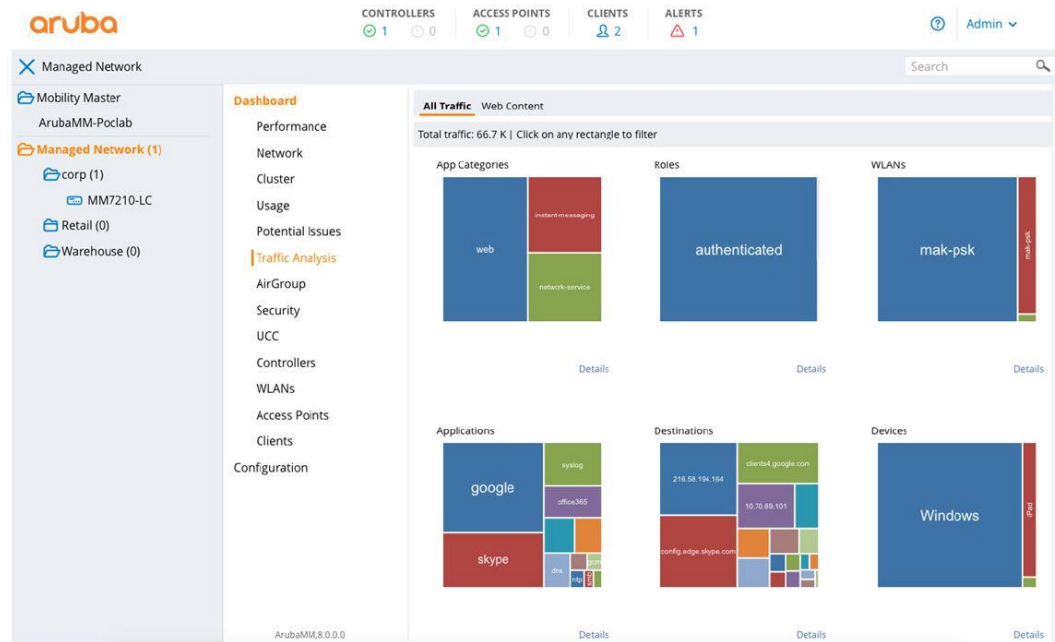
AppRF ArubaOS 6.5:lla on kyky tunnistaa ja lisätä käytäntöjä noin kahdelle tuhannelle sovellukselle sisältäen sallimisen, estämisen tai määrän vähentämisen (KUVIO 23). AppRF päivittäminen tai uusien AppRF käytäntöjen lisääminen ArubaOS 6.5:ssä vaatii koko järjestelmän päivittämisen kerralla. Pienestäkin muutoksesta tulee siis jonkin suuruinen häiriö tietoverkon toimintaan. Lisäksi ArubaOS 6.5 ei voi tehdä mukautettuja AppRF käytäntöjä tai mukautettuja sovellus kategorioita.



KUVIO 22. AppRF näkymä ArubaOS 6.5 (Aruba 2018i).

AppRF ArubaOS 8:ssa tarjoaa tuen uusien sovellusten lisäämiseen controlleriin ilman päivityksen tarvetta. Prototyyppien rykelmä voidaan ladata ja ottaa käyttöön lennosta lisäten näin tuen uusille sovelluksille. DPI tukee tällä hetkellä noin kahta tuhatta sovellusta, joihin voidaan lisätä omia sääntöjä. ArubaOS 6.5:ssä organisaation mukautettuja sovelluksia ei voi luokitella. ArubaOS 8 tukee mukautettuja sovelluksia, mitkä voidaan laittaa käyttöön MC:ssa haluttaessa. (Aruba 2018i 59.)

Uudet sovellukset mitkä on määritelty MM:ssä tallennetaan binäärimuodossa ja toimitetaan MC:lle, kun asetukset laitetaan päälle. MM voi konfiguroida maksimissaan 64:a mukautettua sovellusta, jossa kussakin 16 sääntöä per sovellus. Mukautetut sovelluskategoriat voidaan myös luoda ja lisätä niihin mukautettuja käytäntöjä. Vaikkakin MC menettää yhteyden sen MM:iin ja varalla-olevaan MM:iin, se ei menetä sovelluksen luokittelun toiminnallisuutta. (Aruba 2018i 60.)



KUVIO 23. AppRF näkymä ArubaOS 8 (Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company #9 2018).

#### 5.3.4 Ohjainten käyttöliittymät

ArubaOS 6.5:n käyttöliittymä on tekninen, jossa kaikkea pääsee ja osittain joutuukin säätämään toimivan lopputuloksen saamiseksi. Hyvää siinä on se, että verkon ylläpitäjä pääsee oppimaan Aruban laitteiston sielunelämästä.

ArubaOS 8 käyttää keskitettyä, monikerroksista arkkitehtuuria, joka on piilotettu uuden yksinkertaistetun UI:n alle. ArubaOS 8 tekee selvän eron hallinnan, kontrollin ja edelleen lähettämiskomponenttien kesken. Asetukset sekä Mobility Masterille ja hallinnoituille laitteille hoidetaan keskitetystä paikasta, mikä yksinkertaistaa järjestelmän näkyvyyttä ja valvontaa sekä yksinkertaistaa ja virtaviivaistaa asetusten asettamisprosessia ja toistoa. ArubaOS 8:n UI näyttää modernilta ja siinä on nopeampi työnkulku mitä on helpompi käyttää (Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company #8).

ArubaOS 8:ssä on tietoverkon säätämistä helpottavia toimintoja kuten Centralized licensing with Pools eli keskitetty lisenssien käsittely varannoilla. Lisenssejä hallitaan yhdestä keskitetystä paikasta, joko Mobility Masterista tai master controllerista. Tästä on se hyöty, että ostetut

lisenssit voidaan jakaa varantoihin, mistä ne on helpompi jakaa jokaiselle käyttäjäryhmälle käytettäväksi (Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company #8i).

### 5.3.5 Ohjainten käytettävyys

ArubaOS 6.5:n on suhteellisen monimuotoinen käyttöjärjestelmä. Ilman aiempaa kokemusta tai ohjausta ArubaOS 6.5:n käyttöön tottuminen voi viedä huomattavan paljon aikaa. Ohjatut toiminnot auttavat saamaan Mobility Controllerit toimintaan ja virtuaaliset lähiverkot pystyyn, sekä langattomien tukiasemien SSID -ryhmän asetus captive portalia myöten onnistuu toiminnolla helposti.

Myöskin RAP:ien käyttöönottoaminen ohjatulla toiminnolla on suhteellisen helppoa. Täydelliseen toimintaan, joutuu hakemaan apua valmistajan käyttöoppaasta ja Airheads yhteisön keskustelufoorumilta.

ArubaOS 8 on käytettävyydeltään yksinkertaistettu langattoman verkon hallintakäyttöjärjestelmä. ArubaOS 8 voidaan ottaa todella joustavasti käyttöön erilaisiin toteutuksiin ja se tarjoaa ennenkuulumattoman langattoman verkon käytön kokemuksen käyttäjilleen.

Parhaimmillaan sen ylläpitämät langattomat verkot automaattisesti säätävät itseään käyttäjäkohtaisesti ja täten tarjoaa paremman käyttökokemuksen. Kaikki toiminnot aikasempiin käyttöjärjestelmiin verrattuna, on paranneltu ja yksinkertaistettu. Master Controllerin käyttöjärjestelmä voidaan päivittää muun verkon häiriintymättä. Sama pätee yksittäisiin moduuleihin. Ne voidaan päivittää muun käytön häiriintymättä, ilman järjestelmän uudelleenkäynnistämistä.

Mobility Master hoitaa lisenssien hallitsemisen Master Controllerin sijasta, jolloin lisenssejä ei tarvitse osoittaa suoraan yhdelle controllerille. Mobility Masterin ollessa fyysiseen laitteistoon asennettuna sen toiminnallisuus heikkenee.

#### 5.4 Käyttöjärjestelmän valinta

Työn aiheena oli vertailla Lahti Free Wifi -projektissa käytössä olevan langattoman verkon ohjaimen käyttöjärjestelmää olemassa olevaan tuoreempaan versioon. Tavoitteena oli pohtia toisiko uudempi käyttöjärjestelmä ratkaisuja nykyisen käytössä olevan käyttöjärjestelmän ongelmiin. Vertailua rajattiin koskemaan vain asetuksia ja ominaisuuksia mitä Lahti Free Wifi -projektissa on käytetty ja vertailussa pyrittiin löytämään vastaavuudet uudesta käyttöjärjestelmästä.

Pohdinnan lopuksi päädyttiin lopputulokseen, jossa uuden käyttöjärjestelmän ominaisuudet ja toiminnallisuudet päihittävät vanhemman, käytössä olevan käyttöjärjestelmän ominaisuudet ja toiminnallisuudet. Uudempi käyttöjärjestelmä mahdollistaa nykyisen Lahti Free Wifi -projektin verkon kasvattamisen sen erinomaisen skaalautuvuuden avulla. ArubaOS 8 on myös helppokäyttöisempi ja nopeampi kouluttaa alati vaihtuville verkon ylläpitäjille. Käyttöjärjestelmä on myös helpommin hallittava ja valvottava, mikä auttaa sen päivittäisessä käytössä.

Valitettavasti uudempaa käyttöjärjestelmää ei päässyt käyttämään, koska sitä ei voinut asentaa Lahti Free Wifi -projektin langattoman verkon ohjaimiin ja täten koko vertailu oli teoreettinen perustuen valmistajan käyttöohjekirjoihin ja joihinkin käyttäjäkokemuksiin.



## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tavoitteena tässä työssä oli siis tutkia ja vertailla ArubaOS 6.5 ja ArubaOS 8 eroja ja pohtia toisiko tuoreempi käyttöjärjestelmä apuja ArubaOS 6.5:n käytössä havaittuihin ongelmiin ja olisiko ArubaOS 8 käyttäjäystävällisempi ja helppokäyttöisempi, kuin edeltäjänsä. Vertailussa verrattiin vain käyttöjärjestelmän ominaisuuksia, jotka ovat käytössä Lahti Free Wifi -projektissa.

Helppokäyttöisyyden ja käyttäjäystävällisyyden vertailu oli teoreettista ja pohjautuu olemassa olevaan ja saatavaan materiaalin valmistajalta ja valikoiduista lähteistä. Käytännössä ArubaOS 8 käyttöjärjestelmää ei päässyt testaamaan ja sitä kautta testaamaan käyttöjärjestelmän toimivuutta käyttäjän kannalta.

Vertailun lopuksi päädyttiin lopputulokseen, jossa uuden käyttöjärjestelmän edistykselliset ominaisuudet ja toiminnallisuudet tuovat selvän eron vanhemman, käytössä olevan käyttöjärjestelmän ominaisuuksiin ja toiminnallisuuksiin. Uudempi käyttöjärjestelmä mahdollistaa nykyisen Lahti Free Wifi -projektin verkon kasvattamisen sen erinomaisen skaalautuvuuden avulla. ArubaOS 8 on myös helppokäyttöisempi ja nopeampi kouluttaa alati vaihtuville verkon ylläpitäjille. Käyttöjärjestelmä on myös helpommin hallittava ja valvottava, mikä auttaa sen päivittäisessä käytössä.

Tulevaisuudessa langattoman verkon ohjaimien katkeamaton toiminta tulee olemaan nykyistäkin tärkeämpää langattomien verkkojen yleistyessä kattamaan nykyistä useampia elintärkeitä palveluita. On siis tärkeää jatkaa langattoman verkon ohjaimien käyttöjärjestelmien kehittämistä.

## LÄHTEET

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018a. Data sheet: Aruba 7200 series mobility controllers [Viitattu 20. 8.2018]. Saatavissa: [https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS\\_7200Series.pdf](https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_7200Series.pdf)

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018b. Data sheet: Aruba 320 Series Access Points [Viitattu 20.8.2018]. Saatavissa: [https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS\\_AP320Series.pdf](https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP320Series.pdf)

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018c. Data sheet: Aruba 360 Series Outdoor Access Points [Viitattu 20.8.2018]. Saatavissa: [https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS\\_AP360Series.pdf](https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP360Series.pdf)

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018d. Data sheet: Aruba 270 Series Outdoor Access Points [Viitattu 20.8.2018]. Saatavissa: [https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS\\_AP270Series.pdf](https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP270Series.pdf)

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018e. ArubaOS 6.5.0.x User guide [Viitattu 20.8.2018]. Saatavissa: [https://support.arubanetworks.com/Documentation/tabid/77/DMXModule/512/Command/Core\\_Download/Default.aspx?EntryId=30962](https://support.arubanetworks.com/Documentation/tabid/77/DMXModule/512/Command/Core_Download/Default.aspx?EntryId=30962)

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018f. Chapter 4: Access Points [Viitattu 22.8.2018]. Saatavissa: [https://www.arubanetworks.com/techdocs/ArubaOS\\_61/ArubaOS\\_61\\_UG/AP\\_Config.php](https://www.arubanetworks.com/techdocs/ArubaOS_61/ArubaOS_61_UG/AP_Config.php)

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018g. Connecting to a CLI session [Viitattu 23.8.2018]. Saatavissa: [https://www.arubanetworks.com/techdocs/Instant\\_40\\_Mobile/Advanced/Content/CLI\\_commands/Accessing%20Instant%20CLI.htm](https://www.arubanetworks.com/techdocs/Instant_40_Mobile/Advanced/Content/CLI_commands/Accessing%20Instant%20CLI.htm)

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018h. Datasheet: ArubaOS 8 [Viitattu 24.8.2018]. Saatavissa: [https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS\\_ArubaOS8.pdf](https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_ArubaOS8.pdf)

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018i. ArubaOS 8 Fundamentals Guide [Viitattu 25.8.2018]. Saatavissa: <https://community.arubanetworks.com/t5/Controller-Based-WLANs/ArubaOS-8-Fundamentals-Guide/ta-p/428914>

Doraswamy & Harkins 2003. IPsec: The New Security Standard for the Internet, Intranets, and Virtual Private Networks. Prentice-Hall Inc. New Jersey [Viitattu 20.6.2018]. Saatavissa: <https://books.google.fi/books?id=ZKlxicvgGJ8C&lpg=PT14&ots=d7u0d-Kee5&dq=ipsec&lr&pg=PT13#v=onepage&q&f=false>

IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks. 2015. The Working Group for WLAN Standards [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>

IEEE Standards Association 2015a. IEEE Get Program [viitattu 13.02.2018]. Saatavissa: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>

IEEE Standards Association 2015b. News & Events: Press releases [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: <http://standards.ieee.org/news/2013/802.11ad.html>

Kilcrease 2009. Employing a secure virtual private network (VPN) infrastructure as a global command and control gateway to dynamically connect and disconnect diverse forces on a task-force-by-task-force basis [viitattu 10.06.2018]. Saatavissa: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a508988.pdf>

Microsoft Docs, 2018. Authentication [Viitattu 15.8.2018]. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/secauthn/authentication-portal>

Mitchell, B, 2015. Wireless Standards - 802.11a, 802.11b/g/n, and 802.11ac [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: [http://compnetworking.about.com/cs/wireless80211/a/aa80211standard\\_2.htm](http://compnetworking.about.com/cs/wireless80211/a/aa80211standard_2.htm)

Oliver, M & Escudero, A 1999. Study of different CSMA/CA IEEE 802.11-based implementations [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: <http://www.eunice-forum.org/eunice99/027.pdf>

Organisation Internationale de Normalisation (ISO) 2018. ISO 9241-11:2018 [Viitattu 23.8.2018]. Saatavissa: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>

Perlmutter, B & Zarkower, J 2001. VPN : virtuaaliset yksityisverkot [Viitattu 15.08.2018]. Edita, IT Press, Helsinki.

SerializingMe 2015. Reversing ArubaOS Firmware [Viitattu 21.8.2018]. Saatavissa: <https://www.serializing.me/2015/06/02/reversing-arubaos-firmware/>

Tallinna Ülikooli 2015. Muut langattomat tekniikat [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: [http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/systems/muut\\_langattomat\\_tekniikat.html](http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/systems/muut_langattomat_tekniikat.html)

Technet Microsoft 2003. How 802.11 Wireless Works [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: [https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757419\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757419(v=ws.10).aspx)

Viksilä, R. 2014. Langattomat verkot ja tietoturva kurssimateriaali [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: <http://reppu.lamk.fi/course/view.php?id=9261>

Wildpackets.com 2018. 802.11 WLAN Packets and Protocols [viitattu 14.2.2018]. Saatavissa: [http://www.wildpackets.com/resources/compendium/wireless\\_lan/wlan\\_packets](http://www.wildpackets.com/resources/compendium/wireless_lan/wlan_packets)

## LIITTEET

### LIITE 1

Aruba, a Hewlett Packard Enterprise Company 2018. ArubaOS 6.5.4.x  
Command-Line Interface. Saatavissa:

[https://support.arubanetworks.com/Documentation/tabid/77/DMXModule/512/Command/Core\\_Download/Default.aspx?EntryId=30056](https://support.arubanetworks.com/Documentation/tabid/77/DMXModule/512/Command/Core_Download/Default.aspx?EntryId=30056)