

Niko Huhtalo

## **L1 INTEGRAATIO -LABORATORION KEHITYSSUUNNITELMA**

# **L1 INTEGRAATIO -LABORATORION KEHITYSSUUNNITELMA**

Niko Huhtalo  
Opinnäytetyö  
Syksy 2021  
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, laite- ja tuotesuunnittelun suuntautumis-  
vaihto

---

Tekijä: Niko Huhtalo

Opinnäytetyön nimi suomeksi: L1 Integraatio -laboratorion kehityssuunnitelma

Opinnäytetyön nimi englanniksi: L1 Integration laboratory development plan

Työn ohjaaja: Kari Jyrkkä, Heikki Angeria

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 19

---

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena tehdä laboratorion kehityssuunnitelma mobiili verkkojen L1-integraatio testausta varten. L1-integraatio tarkoittaa tukiaseman ja radion fyysisen kerroksen testaamista. L1-integraation käyttämässä laboratoriossa käytettävät laitteet ovat aikaisemmin olleet testaaajien henkilökohtaisessa käytössä, ja niitä on tarvittaessa ollut vaikea saada käyttöön. Työn tarkoituksena oli tehostaa laitteiden käyttöä ja parantaa käytettävyyttä sekä vähentää laitteiston fyysisten kytkentöjen muokkauksen tarvetta, jotta laitteet olisivat helpommin saatavilla.

Työssä oli tarkoitus kartoittaa tarvittava laitteisto laboratorioon, jonka avulla laboratorion komponentit olisivat saatavilla kaikille käyttäjille tarvittaessa. Tämän vuoksi laboratorion kehittämistä varten alettiin tekemään suunnitelmaa, jotta laboratorion kehitys sujuisi ongelmitta

Lopputuloksena laboratoriolle tehtiin suunnitelma, jonka avulla laboratoriota voitiin lähteä kehittämään ja joka toimi hankintojen perustana. Hankittavien laitteiden avulla laboratorion saadaan käytännöllisempi testausympäristö. Lisäksi suunnitelma kehitti laboratorion etäkäytettävyyttä.

---

Asiasanat: Tukiasema, integraatio, laboratorio

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Information Technology, Option of Device and Product Design

---

Author: Niko Huhtalo

Title of thesis: L1 Integration laboratory development plan

Supervisor: Kari Jyrkkä, Heikki Angeria

Term and year when the thesis was submitted: Autumn, 2021

Pages: 19

---

The subject of this bachelor's thesis was to make a laboratory development plan for mobile networks L1-integration testing. The testing subject in L1-integration is the physical layer of base station and radio. Laboratory equipment used for L1-integration has previously been in the personal use of testers and may be difficult to access when needed. Purpose of the thesis was to improve the usability of the equipment, as well as reduce the need to modify the physical connections of the equipment and make the equipment more accessible.

The aim for this thesis was to map out the necessary hardware for the laboratory, which would make the equipment of the laboratory available to all users. Therefore, planning was started for the development of the laboratory so that the laboratory development would proceed without problems.

As a result, a plan was made for the laboratory to which allowed the laboratory to be developed. With the equipment to be acquired, the laboratory became more practical to use and the design allowed better remote usability of the laboratory

---

Keywords: Base station, Integration, Laboratory

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 TESTIYMPÄRISTÖN VAATIMUKSET	8
3 TARVITTAVA LAITTEISTO	10
3.1 RF-Kytkimet	12
3.2 Optinen kytkentä	12
3.3 Kellosignaali kytkin	13
4 SUUNNITELMA	14
5 YHTEENVETO	18
LÄHTEET	19

## SANASTO

Analysaattori	Mittalaite, jonka avulla voidaan mitata signaalin ominaisuuksia
Generaattori	Laite, jonka avulla voidaan tuottaa haluttu signaali
L1	Layer 1, Verkon ensimmäinen kerros joka koostuu fyysisistä komponenteista
multi-UE laite	Multiple User Equipment, Useaa käyttäjää simuloiva laite
Radio	Laite, joka lähettää ja vastaanottaa tietoverkon signaaleita
Tukiasema	Laite, joka käsittelee radion lähettämät ja vastaanottamat signaalit
UE	User Equipment, Käyttäjän laite, puhelin tai puhelinta simuloiva laite

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Nokia Solutions and Networks Oy, ja tavoitteena oli tuottaa kehityssuunnitelma Oulun L1 integraatio -työryhmän käyttöön, jonka avulla voitiin kehittää laboratoriotilojen käytettävyyttä, sekä laitteiden käytön tehostettavuutta. L1-integraation käyttämissä laboratorioissa testataan 5G-radioiden ja tukiasemien lähettämiä RF-signaaleita ja niiden ominaisuuksia.

Nykyisessä laboratoriossa käyttäjillä on ollut henkilökohtaiset testauspisteet, jolloin muiden ei ole ollut mahdollista käyttää heidän laitteita. Suunnitelman tarkoituksena oli kehittää dynaaminen laboratorioympäristö, jossa ei olisi henkilökohtaisia laitteita, vaan kaikki laitteisto olisi varattavissa laboratorion hallintasovelluksesta (1).

Suunnitelmaa tehtäessä otettiin myös huomioon laboratorion etäkäytettävyys, jotta käyttäjät voisivat tehdä tarvittavia kytkentöjä myös etätöissä. Etäkäytettävyyden mahdollistaminen on tärkeää, sillä koronapandemian jälkeen työskentely on ainakin osittain etätyöskentelyä. Etätyöskentely voi parantaa myös työelämän tasapainoa ja siten työtyytyväisyyttä. Tällä hetkellä testausympäristöt ovat käytettävissä etäyhteyksien avulla, mutta jos ympäristöön tarvitsee tehdä kaapelointimuutoksia, käyttäjän pitää tehdä ne fyysisesti paikan päällä. Elinkeinoelämän valtuuskunnan teettämästä kyselystä voidaan huomata, että etätyöläisistä 46 prosenttia haluaisi työskennellä jatkossakin osin etätöissä ja peräti 50 prosenttia kokonaan etätöissä (2).

Kehityssuunnitelmaa tehdessä hyödynnettiin tietoa vastaavasta olemassa olevasta laboratorioverkosta ja pyrittiin hakemaan parempia ratkaisuja siellä havaittuihin ongelma-kohtiin

## 2 TESTIYMPÄRISTÖN VAATIMUKSET

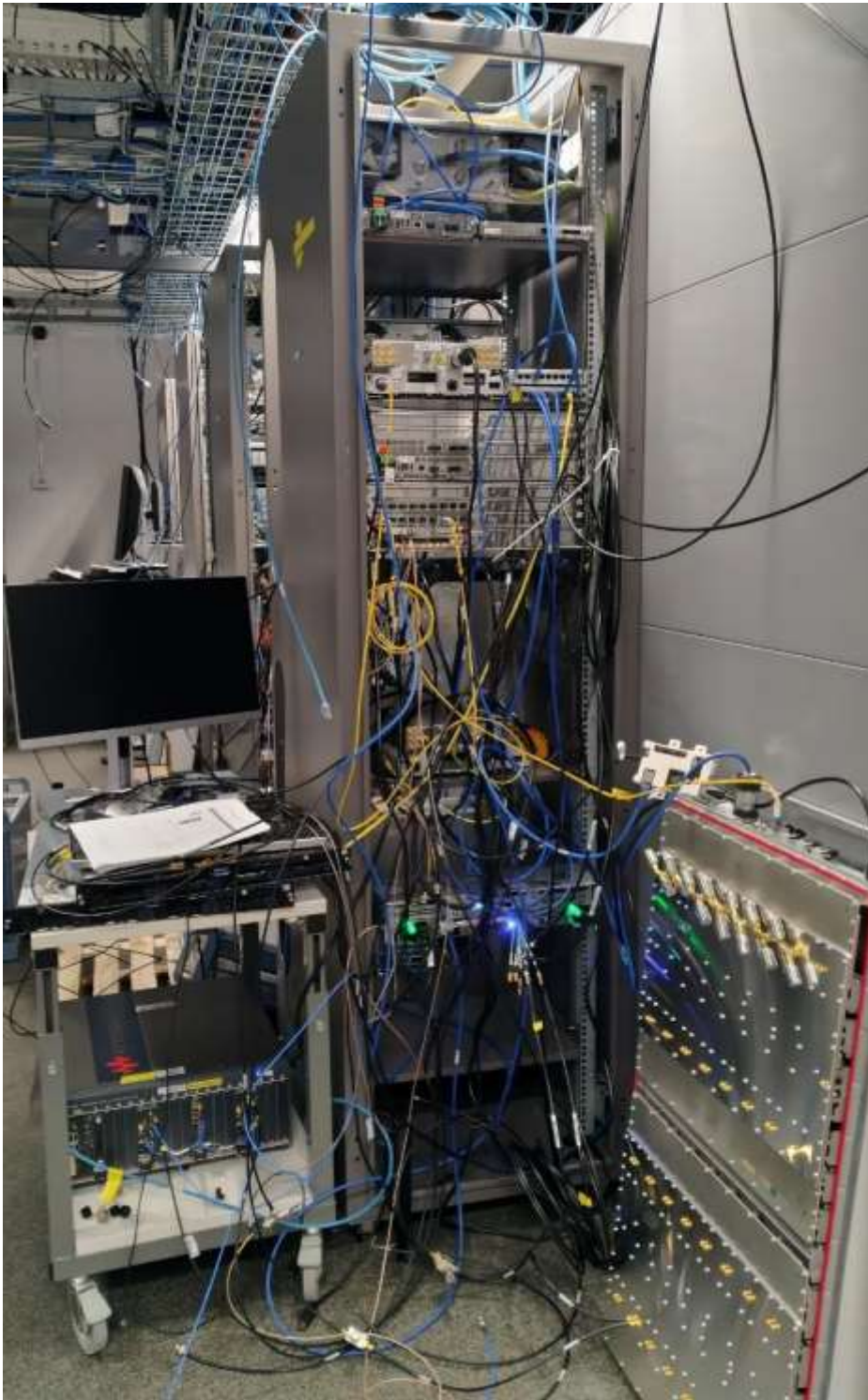
L1-integraatiossa pääasiallinen tehtävä on tukiaseman ohjelmiston ominaisuuksien testaaminen käyttäen skriptattua L1-tason puhelua. L1-tason puhelua mitataan simuloimalla käyttäjää esimerkiksi signaaligeneraattorilla, multi-UE simulaattorilla sekä tukiasemalta tuleva signaali signaalianalysointilaattorilla. L1-testaus suoritetaan käyttämällä tiettyjä testimalleja joilla testataan signaalin käsittelyn virheettömyyttä.

L1-integraatiossa käytettävässä laboratoriossa jokaisella käyttäjällä on oma testiympäristö, joilla testimalleja suoritetaan. Testiympäristön komponentit tulee valita testattavan ominaisuuden mukaan, mutta esimerkiksi mittalaitteita on rajallinen määrä käytettävissä. Nykyisessä laboratoriossa testilaitteet ovat testaajalla henkilökohtaisessa käytössä. Testattavia laitteita ja mittalaitteita siis tulee olla saman verran, kuin mitä testimalleja on sillä hetkellä testattavana.

Kun käyttäjä saa itsellensä uuden testimallin suoritettavaksi, tulee hänen rakentaa uusi testiympäristö tai muokata olemassa olevaa ympäristöään testimallille soveltuvaksi. Tyypillisesti testiympäristön laitteisto koostuu kontrollitietokoneesta, radiosta, tukiasemasta sekä tarvittavista mittalaitteista (Kuva 1). Käyttäjän pitää fyysisesti siirtää ja asentaa tarvittavat laitteet omalle testauspaikalleen, jonka jälkeen hän voi alkaa työskentelemään uuden testimallin parissa.

Suunniteltavan laboratorion tarkoituksena oli, että kaikki laitteet olisivat varattavissa ja sitä kautta käytettävissä kenen tahansa niitä tarvittaessa ilman laitteiden fyysistä asennusta. Jotta tällainen olisi mahdollista, tarvitaan laboratorioon kytkimiä RF-signaaleille, optisille signaaleille sekä kellosignaaleille. Kytkimien avulla voidaan muodostaa yhteyksiä eri laitteiden välille ilman, että laitteita tarvitsee liikutella tai kytkeä eri tavalla. Esimerkiksi radiot olisivat kytkettynä RF-kytkimen sisääntuloon ja mittalaitteet RF-kytkimen ulostuloon. Tällöin minkä tahansa RF-kytkimeen kytketyn radion voi kytkeä mihin tahansa mittalaitteeseen, joka on kytkettynä samaan RF-kytkimeen.



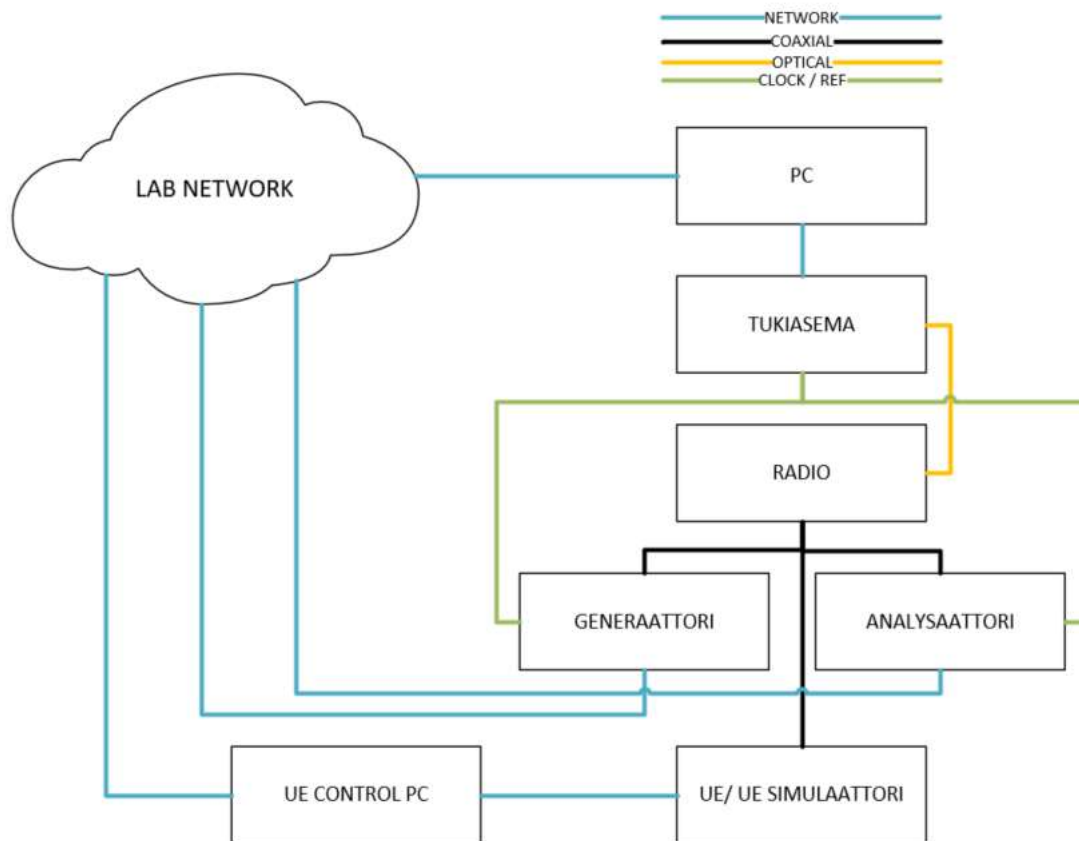


*KUVA 1. Testiympäristö päivitettävässä B1155-laboratoriossa*

### 3 TARVITTAVA LAITTEISTO

Käytännössä L1-integraatio tarkoittaa tukiaseman testaamista päämääränä suorittaa L1-puhelu. Tämä tapahtuu integroimalla eri ohjelmisto-komponentteja tukiasemalle sekä integroimalla kanta- ja radiotaajuusmoduulit yhteen, jotta voidaan tarkastella lähetysignaalia analysaattorin avulla ja voidaan muodostaa vastaanotettava signaali generaattorin avulla. Kun lähetystaajuus ja vastaanotettava taajuus on saatu säädettyä, voidaan L1-ympäristön toiminnallisuus demonstroida L1-puhelulla, jolloin tukiasema lähettää ja vastaanottaa signaalia samanaikaisesti. L1-puhelu on testi, jolla selvitetään, että dataa lähetetään onnistuneesti lähetys- ja vastaanottotaajuudella.

Testaamista varten tarvitaan kuvan 2 lohkokaaviossa esitetyt komponentit (kuva 2). Testiympäristöissä kontrollitietokoneen tehtävänä on ajaa L1-puhelu käyttäen testikirjastoa. Kontrollitietokone sekä mittalaitteet ovat yhdistettynä laboratorion verkkoon, jolloin tietokoneella on mahdollista muodostaa etäyhteys mittalaitteisiin niiden hallintaa varten. Ympäristössä täytyy olla myös UE:lle tai UE-simulaattorille oma tietokone hallintaa varten. Signaaligeneraattori ja signaalianalysointilaitteet tarvitsevat kello- ja referenssisignaalin tukiasemalta, jotta laitteet voidaan säätää oikeaan ajoitukseen ja taajuuteen.



KUVA 2. L1-testausympäristön lohkoakaaviokuva

Laitteiston vaihdon ja käyttöönoton hankaluuden vuoksi alettiin tutkimaan vaihtoehtoisia menetelmiä, miten laitteet voisivat olla kytkettynä ja käytettävissä siten, että mahdollisimman monella käyttäjällä olisi tarpeen tullen pääsy tarvittavalle laitteelle.

Hankittavia laitteita alettiin kartoittamaan laboratorion tarpeiden perusteella. Alusta alkaen oli selvää, että jos haluttiin toteuttaa sellainen laboratorioympäristö, jossa laitteet olisivat käytettävissä kaikille käyttäjille, tarvitaan useita erilaisia kytkimiä eri käyttötarkoituksiin.

### 3.1 RF-kytkimet

RF-kytkimet olivat tärkein laite laboratorion suunnittelussa. Niiden avulla pystytään yhdistämään radiot ja mittalaitteet siten, että kytkimeen kytketyistä radioista on pääsy niille mittalaitteille, jotka ovat kytketty kytkimeen. Tämän avulla käyttäjillä on tarpeen vaatiessa käytettävissä tarvittavat mittalaitteet.

RF-kytkinten valinta aloitettiin tutustumalla saatavilla olevien kytkimien valmistajiin, joita olivat Quintech (2), sekä Orbis (3). Orbiksen RF-kytkimiä oli saatavilla useilla erilaisilla kytkentämatriiseilla, kun taas Quintechilta oli saatavilla ainoastaan 32x32 kytkentämatriisilla oleva kytkin, joka tarkoittaa, että kytkimessä on 32 sisääntuloa ja 32 ulostuloa.

Toinen ero valmistajien kytkimissä oli, että Quintechin valmistamassa kytkimessä signaalien kytkentä tapahtuu käyttäen askelrelettä ja Orbiksen kytkimissä, riippuen kytkimen kytkentämatriisista, signaalien kytkentä tapahtuu puolijohderekkeleillä tai mekaanisilla kytkimillä.

Tämän työn kannalta oli tärkeää ottaa huomioon kytkinten aiheuttama vaimennus. Rele-kytkimet ja mekaaniset kytkimet eroavat rakenteeltaan siten, että mekaanisessa kytkimessä kaksi kontaktia muodostaa yhteyden. Releiden toiminta perustuu sähkömagneettiin, joka ohjaa releen koskettimia. Releitä käytävissä kytkimissä on tyypillisesti noin kaksi kertaa suurempi vaimennus kuin mekaanisissa kytkimissä.

Koska RF-signaalin vaimennus oli merkittävä tekijä kytkinten valinnassa, voitiin Quintechin valmistamat kytkimet jättää jo varhaisessa vaiheessa pois suunnitelmasta, koska Quintechin kytkimen vaimennus olisi ollut liian suuri verrattuna Orbiksen kytkimiin. Lisäksi Orbikselta oli saatavilla kattavampi valikoima kytkimiä eri kytkentämatriiseilla.

### 3.2 Optinen kytkentä

Laboratoriota suunniteltaessa haluttiin vähentää tarvittavien tukiasemien määrää. Tästä syystä laboratorioon tarvitaan optinen kytkin. Optisen kytkimen avulla

voitiin helpottaa tukiasemien ja radioiden välisten yhteyksien muodostamista miltä tahansa tukiasemalta mille tahansa radiolle. Tukiasemien ja radioiden optisten kytkentöjen muodostaminen onnistuu laboratorion etäkäyttöliittymästä. Kun kaikkien laitteiden optiset kytkennät ovat kytkettynä optisen kytkimen kautta, voidaan luoda erilaisia testiympäristöjä ilman fyysisiä muutoksia.

Optisista kytkimistä oli aikaisempaa kokemusta kahden eri valmistajan kytkimistä. Nämä olivat Calient (4), sekä Polatis (5). Polatikselta oli saatavilla kytkimiä eri kytkentämatriiseilla 8 x 8 -matriisista 192x192 matriisiin saakka, kun taas Calientilta oli saatavilla 160x160 matriisista 320x320 matriisilla oleva kytkimiä.

Molempien valmistajien kytkimet toimivat samalla periaatteella käyttäen peilejä signaaleiden muodostamiseen. Ainoa ero valmistajien kytkimien käyttämissä tekniikoissa on se, että Polatiksensa kytkin ei tarvitse aktiivista signaalia muodostaakseen uutta yhteyttä porttien välillä.

### **3.3 Kellosignaali kytkin**

Koska laboratorioon suunniteltiin käytettäväksi RF-kytkimiä, piti myös hankkia kellosignaali kytkin. Kytkimen avulla tukiasemalta lähetettävää kello- ja referenssisignaalia pystyttiin kytkemään etäkäyttöliittymän avulla mille tahansa mittalaitteelle, joka on kytkimessä kiinni. Ilman kellosignaali kytkintä jouduttaisiin muutokset mittalaitteiden ja tukiaseman välillä tekemään fyysisesti.

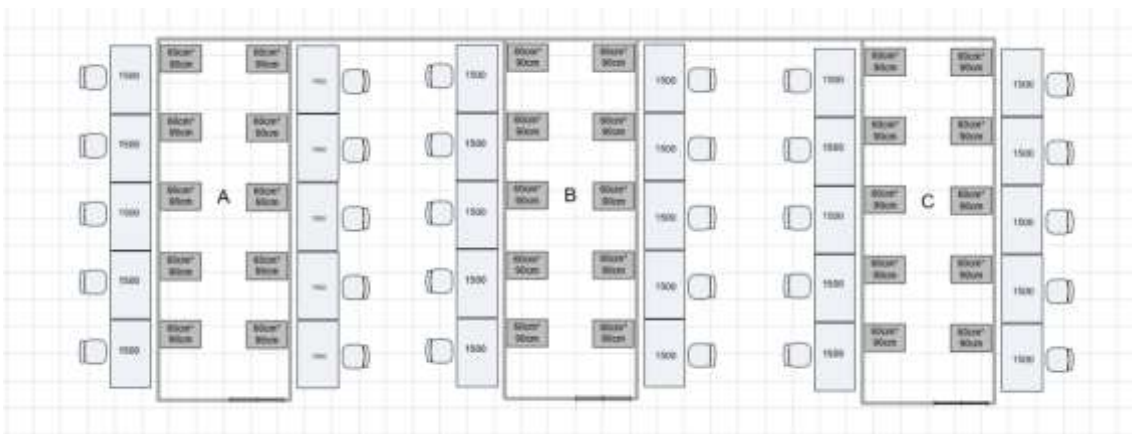
Kellosignaali kytkimiä tutkiessa otimme mallia toisesta Nokian laboratorion, jossa oli samanlaisissa testausympäristöissä käytetty Pickering (6) kellosignaali kytkintä, ja totesimme, että se soveltuu hyvin myös suunnittelemaamme laboratorioon.

## 4 SUUNNITELMA

Laboratorion suunnittelu aloitettiin kartoittamalla käytettävissä oleva laitteisto, jotta saatiin kattava tieto laitteiden määrästä kytkimien suunnittelua varten. Koska laboratorioon tulevien uusien laitteiden toimitusajat olivat pitkiä, täytyi suunnitelmassa ottaa myös huomioon, mitä L1-integraatiossa tullaan tulevaisuudessa testaamaan, ja suunnitella tarvittava laitteisto siten, että se soveltuu testeihin.

Nykyisessä L1-integraatiossa on kaksi testiympäristöä, jotka ovat tekniikaltaan monimutkaisempia ja yksilöllisempiä. Suunnittelun alkuvaiheessa päätettiin, että näiden testiympäristöjen laitteistoa ei sisällytetä suunnitteluun niiden tärkeyden vuoksi.

Kun kaikki käytettävissä oleva laitteisto oli saatu kartoitettua, voitiin alkaa suunnittelemaan, minkälaisia kytkimiä tullaan tarvitsemaan laboratoriossa ja kuinka monelle kytkimelle on tarvetta. Koska L1-integraation laboratoriotilat ovat jaoteltu kolmeen tilaan, joiden sisällä testiympäristöt sijaitsevat (kuva 3), täytyi suunniteltaessa myös harkita, tarvitseeko eri tiloissa olevien laitteiden olla kytkettävissä tilasta toiseen. Jos haluttiin laitteiden olevan kytkettävissä kaikkien tilojen välillä tarvittaisiin laboratorioon laajempi RF-kytkimistä koostuva järjestelmä.



*KUVA 3. L1-integraation käyttämät tilat*

Laboratorion RF-kytkentöjä suunniteltaessa nousi esille kolme erilaista vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa RF-kytkennät olisivat vain tilojen sisällä, jolloin ei olisi mahdollista kytkeytyä tilojen välillä. Tässä tapauksessa RF-kytkinten

kanssa käytettävät laitteet olisivat jaoteltu tasaisesti kaikkiin kolmeen tilaan ja RF-kytkinten tarve olisi tällöin pieni. Toisessa vaihtoehdossa RF-kytkinten määrää kasvatettaisiin sen verran, että tilojen välillä olisi mahdollisuus kytkeytyä tiettyihin laitteisiin, kuten tärkeimpiin mittalaitteisiin, sekä UE-simulaattoreihin. Kolmannessa vaihtoehdossa RF-kytkimiä hankittaisiin sen verran, että kaikkiin tilojen laitteisiin olisi mahdollisuus kytkeytyä mistä tilasta tahansa. Kolmas vaihtoehto oli RF-kytkentöjen kannalta monimutkaisin, mutta samalla monipuolisin.

RF-kytkentöjä suunnitellessa konsultoitiin myös kytkinvalmistaja Orbista esittelemällä heille suunnitelmat laboratorioon ehdolla olevista RF-kytkin järjestelmistä, sekä laboratorion vaatimuksista RF-kytkinten kannalta. Orbiksen konsultoinnista oli hyötyä, koska he tiesivät laitteidensa kykenevyyden parhaiten, ja heiltä myös sai lisätietoa tuotekehityksessä olleesta mekaanisesta RF-kytkimestä. Orbiksen esittelemä RF-kytkin soveltui laboratorion käyttötarkoitukseen, koska mekaanisen RF-kytkimen vaimennus ei ole liian iso testeihin, sekä kytkimen kytkentämatriisi oli laboratorion käyttöön ihanteellinen. Palaverin jälkeen osattiin valita kyseisen kytkimen käytettäväksi laboratorioissa.

RF-kytkentöjen vaihtoehdoista päädyttiin vaihtoehtoon, jossa RF-kytkennät ovat tilojen sisällä, jolloin tarvetta olisi vain yhdelle RF-kytkimelle yhtä tilaa kohtaan, mutta mittalaitteet tulisi tällöin jakaa tasaisesti kaikkiin tiloihin. RF-kytkimiä suunniteltiin tulevaksi laboratorioon yhteensä kolme.

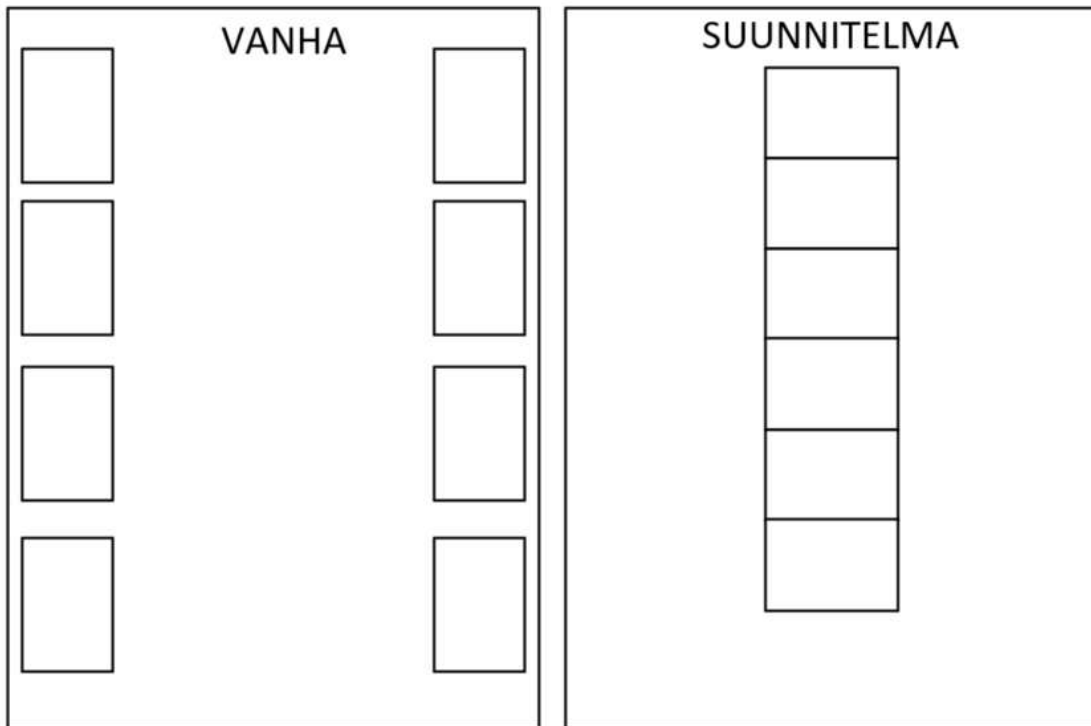
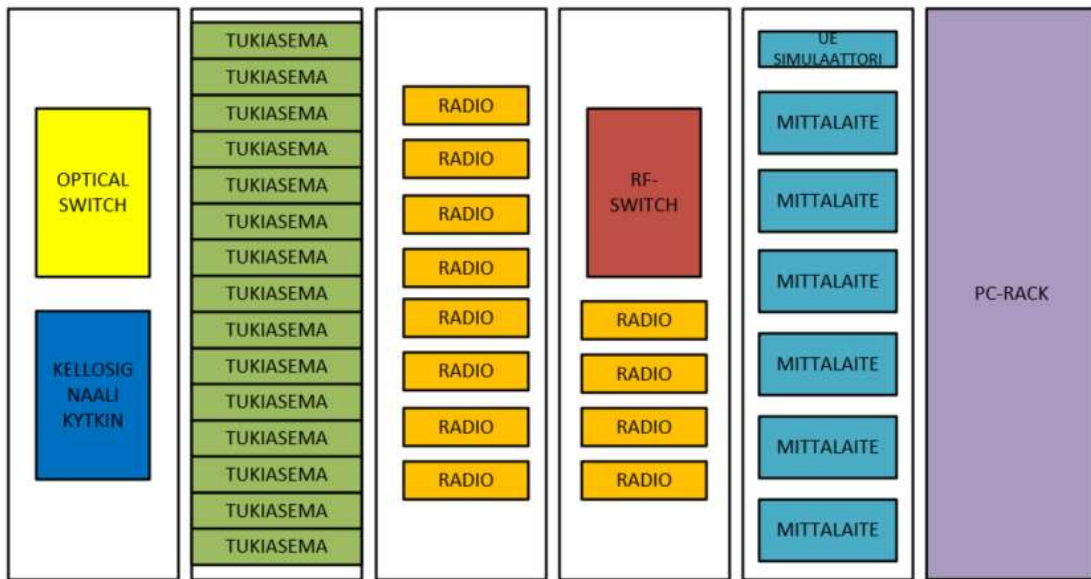
Kellosignaali kytkimen valinta oli helppo, sillä vaihtoehtoja ei ollut muita kuin Pickeringin valmistama kytkin. Mittalaitteita tulee pystyä käyttämään jokaisesta testiympäristöstä. Ilman kellosignaali kytkintä tämä ei ole mahdollista, koska tällöin tukiaseman ja mittalaitteen välinen yhteys tulisi olla kiinteä, jolloin mittalaitetta ei voitaisi vaihtaa tukiasemasta toiseen. Kellosignaalikytkimiä suunniteltiin tulevaksi kaksi, koska kellosignaalille ja referenssisignaaliille tarvitsee molemmille omat kytkimet.

Optisia kytkimiä valittaessa vertailtiin valmistajien kytkinten tarjoamia ominaisuuksia sekä kytkinmalleja eri kytkentämatriiseilla. Ominaisuuksien puolesta Polatoksen tarjoamat vaihtoehdot vaikuttivat houkuttelevammalta, mutta tarkemman

mietinnän sekä hintavertailun jälkeen päädyimme valitsemaan Calientin kytkimen, koska hintaero oli merkittävä kytkinten toiminnalliseen eroon nähden. Vaihtoehtona oli myös käyttää viereisessä laboratoriossa sijaitsevaa optista kytkintä, mutta hajoamisriskin vuoksi ei kuitenkaan ole hyvä pitää kaikkia laitteita yhdessä kytkimessä, joten päädyimme hankkimaan oman kytkimen. Suuren kytkentämatriisin ansiosta tarvetta oli vain yhdelle optiselle kytkimelle.

Kaiken kaikkiaan laboratorioon suunniteltiin hankittavaksi yhteensä kolme RF-kytkintä, kaksi kellosignaali kytkintä, sekä yksi optinen kytkin. Uusien laitteiden myötä myös laboratorion tilojen järjestystä suunniteltiin käytännöllisemmäksi. Koska laboratoriossa ei tulisi olemaan jatkossa henkilökohtaisia testiympäristöjä, laitteet voitaisiin jatkossa sijoittaa laitekohtaisiin laitekaappeihin, jolloin laboratorion ylläpito helpottuisi, sekä laiteväliköihin saataisiin lisää tilaa (kuva 4).





KUVA 4. Laittevälin suunnitelma. Ylempi edestä katsottuna. Alempi yläpuolelta

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena tehdä kehityssuunnitelma L1 integraatio -työryhmän käyttämille laboratoriotiloille. Laboratoriossa ongelmana oli käytettävän laitteiston, pääasiassa mittalaitteiden käytettävyyden hankaluus.

Laboratoriossa mittalaitteiden varausajat olivat pitkä, johtuen osin manuaalisten kytkentöjen tekemisestä. Mittalaitteita ei aina ollut saatavilla tarvittaessa kaikille käyttäjille. Pahimmassa tapauksessa mittalaitteiden käytettävyysongelmat saattoivat hidastaa työryhmän työntekoa.

Suunnitellussa laboratoriossa laitteisto tulee olemaan saatavilla kaikille käyttäjille niitä tarvittaessa varausjärjestelmän kautta. Laitteiston varaaminen ja käyttöönotto tulee tapahtumaan laboratorion hallintasovelluksen avulla eikä vaadi enää jatkossa testiympäristöjen fyysistä muuttamista.

Suunnitelman myötä myös laboratoriotilojen käytettävyyttä voidaan parantaa laitekohtaisilla kaapeilla. Aikaisemmin laboratoriossa testilinjaan kuuluvat laitteet olivat kaappikohtaisia, mikä aiheutti epäjärjestyä laitetoissa. Jatkossa laboratorion laitteet tulevat olemaan sijoitettuna laitekohtaisesti kaappeihin, jolloin laitekaappien määrää pystytään vähentämään laboratoriossa, sekä laitteiden ylläpito tulee helpottumaan laitteiden sijoittelun järjestelmällisyyden vuoksi.

Suunnitelma oli kokonaisuudessaan onnistunut ja kun laboratorioon suunnitellut laitteet saapuvat, laboratorioon tehtävät kehitystoimet voidaan toteuttaa suunnitelman mukaisesti.

## LÄHTEET

1. Velocity. 2021. Spirent. Saatavissa: <https://www.spirent.com/products/lab-automation-velocity>. Hakupäivä 22.12.2021
2. Holtari, Seija 2021. Karut luvut etätyöstä: 50% ei haluaisi palata enää lainkaan toimistolle. Tekniikka&Talous. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/karut-luvut-etatyosta-50-ei-haluaisi-palata-ena-lainkaan-toimistolle/cecdd5b4-55ad-4a8e-a762-ecb29e674edd>. Hakupäivä 22.11.2021
3. NEXUS-R: High Power Input Latching Blocking Switch. Quintech. Saatavissa: <https://www.quintechelectronics.com/products/nexus-r-32x32-matrix-switch.html>. Hakupäivä 16.12.2021.
4. RF signal switching. 2021. Orbis. Saatavissa: <https://www.orbissystems.eu/en/solutions/rf-signal-switching/>. Hakupäivä 16.12.2021.
5. Calient. 2021. Saatavissa: <https://www.calient.net/>. Hakupäivä 16.12.2021.
6. Series 7000 384x384. Polatis. Saatavissa: <https://www.polatis.com/series-7000-384x384-port-software-controlled-optical-circuit-switch-sdn-enabled.asp>. Hakupäivä 16.12.2021
7. LXI Wideband Modular Chassis. 2021. Pickering. Saatavissa: <https://www.pickeringtest.com/en-fi/product/lxi-wideband-modular-chassis-65-110-001>. Hakupäivä 16.12.2021