

Jarno Suoraniemi

AIKASARJOJEN VISUALISOIMINEN SIMULINK-OHJELMISTOLLA

AIKASARJOJEN VISUALISOIMINEN SIMULINK-OHJELMISTOLLA

Jarno Suoraniemi
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, laite- ja tuotesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Jarno Suoraniemi

Opinnäytetyön nimi: Aikasarjojen visualisointi Simulink-ohjelmistolla

Työn ohjaajat: Kirsti Simula (Nokia), Sami Laine (Oulun ammattikorkeakoulu)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 31

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda visualisointitoteutus Nokiassa tukiasemien suunnittelu- ja kehityksessä käytössä olevalle aikasarjadataalle Matlab- ja Simulink-ohjelmistoja hyödyntäen sekä liittää se osaksi jo olemassa olevaa ohjelmistokokonaisuutta.

Toteutuksen tarkoituksena on tarjota selkeämpi ja helppolukuisempi kuva käsiteltävästä aikasarjadatasta, ja sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi järjestelmien suunnittelutyön helpottamisessa sekä tiedon jakamisessa henkilöille, joilla ei ole aikaisempaa tuntemusta järjestelmästä.

Opinnäytetyökokonaisuus sisältää lisäksi johdannon tiedon visualisointiperiaatteisiin, kojelautapohjaiseen tiedon esitykseen, toteutuksessa käytettäviin teknologioihin sekä niihin tukiasemajärjestelmätekniikan konsepteihin, joista käsiteltävä aikasarjadata on lähtöisin. Työssä esitellään myös valmistunutta kojelautaa ja sen toiminnallisuuksia ja toteutusta.

Asiasanat: visualisointi, tukiasemat, Matlab, Simulink

ABSTRACT

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

Author: Jarno Suoraniemi
Title of thesis: Visualizing timeseries data with Simulink
Supervisors: Kirsti Simula (Nokia), Sami Laine (Oulu University of Applied Sciences)
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023
Number of pages: 31

The objective of this thesis was to create a visualization dashboard implementation for time series data used in the design and development of base stations within Nokia, utilizing Matlab and Simulink environments, and integrate it into the existing software framework.

The purpose of the implementation is to provide a clearer and more easily readable representation of the time series data. It can be utilized, for example, in facilitating the system design work and sharing information with individuals who have no prior knowledge of the system.

The thesis also includes an initial introduction to the principles of data visualization, dashboard-based data presentation, the technologies used in the implementation of the visualization, and the concepts of the base station system technology from which the time series data originates.

Keywords: visualization, base stations, Matlab, Simulink

SISÄLLYS

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT	6
1 JOHDANTO	7
2 TUKIASEMAT SEKÄ MATLAB JA SIMULINK	9
2.1 Tukiasemat.....	9
2.2 Matlab ja Simulink	11
2.3 Simulink Dashboard	12
2.4 Digitaaliset kaksoset.....	13
3 DATAN VISUALISOINTI JA KOJELAUTAMUOTOINEN ESITYS	15
3.1 Visualisoinnin tarve ja menetelmät	15
3.1.1 Visualisointimenetelmät	16
3.1.2 Kuvaajat ja kaaviot.....	17
3.2 Kojelautamuotoinen visualisointi	18
4 TYÖN TOTEUTUS JA VAIHEET	21
4.1 Tavoitteet.....	21
4.2 Aloitus ja valmistelut.....	21
4.2.1 Matlab/Simulink-ohjelman rakenne	21
4.2.2 Kojelaudan osa-alueet	22
4.2.3 Matlab-skripti.....	25
5 YHTEENVETO	28
LÄHTEET.....	30

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

3GPP	3rd Generation Partnership Project. Monen standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio.
CPRI	Common Public Radio Interface. Standardi, joka määrittelee rajapinnan radioyksikön ja järjestelmämoduulin välille.
eCPRI	Enhanced Common Public Radio Interface. CPRI-standardin pohjalta kehitetty standardi.
IoT	Internet of things. Järjestelmä, joka perustuu laitteiden väliseen automaattiseen tiedonsiirtoon ja ohjaukseen verkon välityksellä.
ORAN	Open Radio Access Network. Radiotietoverkkoteknologioiden kehittämiseen keskittyvä järjestö.

1 JOHDANTO

Uusimpien verkkoarkkitehtuuristandardien myötä tietoliikenneverkkojen nopeusvaatimukset ovat moninkertaistuneet vanhempiin sukupolviin verrattuna, mikä on johtanut erilaisiin muutoksiin tukiasemien ja radioiden rakenteessa sekä niiden suunnittelussa (1). Uudet vaatimukset ja vaativammat standardit edellyttävät yhä tarkempaa hallintaa järjestelmän eri komponenteista ja niiden ajastuksista, mikä lisää myös uudenlaista kysyntää ajastuksiin liittyvän datan käsittelyn ja visualisoinnin suhteen (2). Tarvetta luovat sekä uusien standardien esittämät tarkkuus- ja muutosvaatimukset että kasvava aikasarjadatan määrä ja monimuotoisuus.

Tämän opinnäytetyön tavoitteita oli luoda visualisointialusta Nokian tukiasemien kehityksessä käytettäville aikasarjalaskelmille Matlabin Simulink-kehitysalustalla sekä integroida se osaksi laajempaa Simulink-simulaatiojärjestelmäkokonaisuutta.

Toteutuksessa hyödynnettiin Matlab-ohjelmistoa sekä sen sisarohjelmistoa Simulinkia. Aikasarjadatan visualisointi toteutettiin pääasiassa käyttäen hyväksi Simulinkin sisäänrakennettuja kokonaisuuksia sekä sen Dashboard-lisäosaa. Aikasarjadatan visualisointi oli myös tarkoitus integroida osaksi Nokialla jo ennen tätä opinnäytetyötä kehitteillä ollutta tukiasemajärjestelmän Simulink-mallia, jota tässä opinnäytetyössä kutsutaan nimellä 5G NR UL/DL Matlab -malli.

Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa tutustutaan erilaisiin aikasarjadatan visualisointiperiaatteisiin ja -käytäntöihin sekä myös siihen, miten erityyppistä dataa voidaan esittää sen ymmärrettävyyden ja helppolukuisuuden maksimoimiseksi. Työssä esitellään kojelautamuotoinen datan visualisointi konseptina sekä syvennyttään kyseenomaisen visualisointikeinon keskeisiin ominaisuuksiin, kuten siihen, minkälaisista piirteistä helppokäyttöiset ja hyödylliset kojelautavisualisoinnit muodostuvat ja kuinka nämä voidaan toteuttaa käytännössä. Lisäksi työssä käydään läpi käsiteltävään aikasarjadataan liittyvää tukiasemateknologiaa ja sen kehitystä, minkä kautta pyritään määrittämään kyseiselle datalle tavoitteiden mukaiset sekä toimivat visualisointitekniikat. Kaiken edellä mainitun avulla on tarkoitus luoda selkeä pohja opinnäytetyön sisältämälle visualisointitoteutukselle sekä perustella, miksi toteutuksessa päädyttiin käyttämään siinä hyödynnettyjä tekniikoita ja työkaluja.

Opinnäytetyön rakenne on seuraavanlainen: Tukiasemateknoologioita käydään läpi luvussa 2.1, Matlabin ja Simulinkin ominaisuuksia tarkastellaan luvussa 2.2, visualisointitekniikoihin tutustutaan luvussa 3 ja työn toteutukseen pureudutaan luvussa 4. Lopuksi luvussa 5 tarkastellaan toteutuksen onnistumista, jatkokehitysideoita ja sitä, mitä piirteitä työssä olisi voitu parantaa ja millä keinoin.

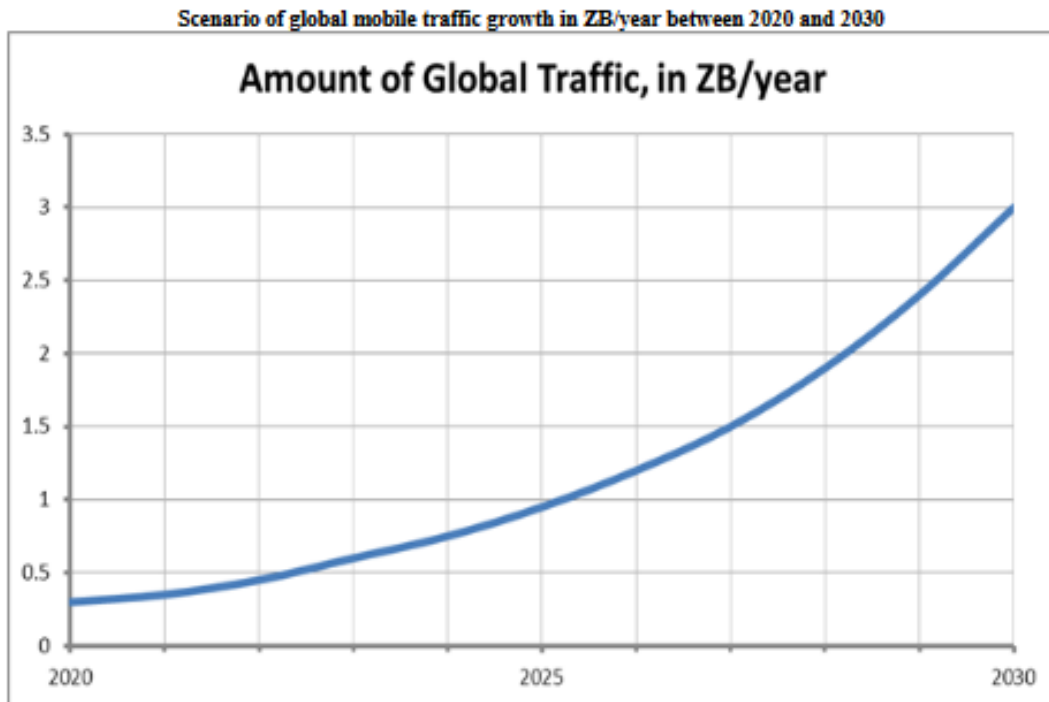
2 TUKIASEMAT SEKÄ MATLAB JA SIMULINK

2.1 Tukiasemat

Mobiilitietoliikenneverkossa liikkuvan datan määrä on kasvanut huomattavasti viime vuosina, ja trendin odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa useiden tekijöiden, kuten mobiili- ja IoT-laitteiden yleistymisen sekä niiden käyttämän kaistanleveyden kasvamisen, myötä (kuva 1) (1). Tämä asettaa haasteita nykyisille mobiiliverkkoteknologioille ja palveluntarjoajille verkon suoritus- ja kantokyvyn suhteen, minkä vuoksi toimijat joutuvat kehittämään laitteistojaan vastaamaan koko ajan kehittyviä uusia vaatimuksia.

Uusimmat mobiiliverkkoteknologiastandardit vaativat järjestelmän osana olevilta laitteilta yhä enemmän suorituskykyä datansiirron, vasteaikojen ja laitejärjestelmien skaalautuvuuden suhteen. Yksi keskeisimmistä tavoista, jolla nämä vaatimukset ilmenevät tukiasemalaitteistoissa, ovat yhteisöjen, kuten 3GPP:n ja ORAN:n, ajamat uudet toiminnalliset jakovaihtoehdot järjestelmämoduulin ja radioyksikön välillä. (3; 4; 5.) Radioyksiköllä viitataan tässä tapauksessa radiotaajuuksilla viestivään, mastossa sijaitsevaan radioantennimoduuliin, kun taas järjestelmämoduuli on maahan sijoitettu, yhteen tai useampaan radioyksikköön liitetty niitä ohjaava laite, joka vastaa myös datan siirosta tukiasemayksiköstä eteenpäin.

Jakovaihtoehdoilla toimijat pyrkivät määrittämään standardisoidut rajapinnat laitejärjestelmien välille. Tällä pyritään mahdollistamaan useiden laitevalmistajien järjestelmäkomponenttien yhteiskäyttö osana samaa kokonaisuutta, mikä vähentää uusien laitevalmistajien kynnystä osallistua verkkolaitemarkkinoille. Toiminnallisuuksien siirtäminen järjestelmämoduulista radioyksikköön vähentää myös järjestelmämoduulin ja radioyksikön välillä tarvittavaa tiedonsiirron määrää, mikä nopeuttaa järjestelmän toimintaa ja vähentää ylimääräisiä liitäntöjä laitteistojen välillä. ORAN on myös pyrkinyt kehittämään radioyksikön ja järjestelmämoduulin välistä viestintäprotokollaa luomalla aiemmin käytetystä CPRI-protokollasta uudemman version, eCPRI:n, joka sopeutuu paremmin uusien toiminnallisten jakovaihtoehtojen toteutukseen. (2; 3; 4.)



KUVA 1. Ennuste mobiilitietoliikenteen määrän muutoksesta maailmanlaajuisesti vuosina 2020–2030 (1)

Uusista ORAN-standardin määrittelemistä alemman tason jakovaihtoehdoista 7-2x-jako on yksi keskeisimmistä, ja se on myös se, johon tämän opinnäytetyön pohjana olevat latenssilaskelmat perustuvat. 7-2x-jakovariaatioissa eräät järjestelmämoduulin toiminnoista voidaan suorittaa radioyksikössä, mikä johtaa tämän toiminnan monimutkaistumiseen ja näin ollen uusien, standardia vastaavien radioyksiköiden suunnittelun tarpeeseen, minkä apuna opinnäytetyön toteutusta voidaan esimerkiksi hyödyntää. Eri 7-2x-jakovariaatioiden eroavaisuuksia on havainnollistettu tarkemmin kuvassa 2. (6.)

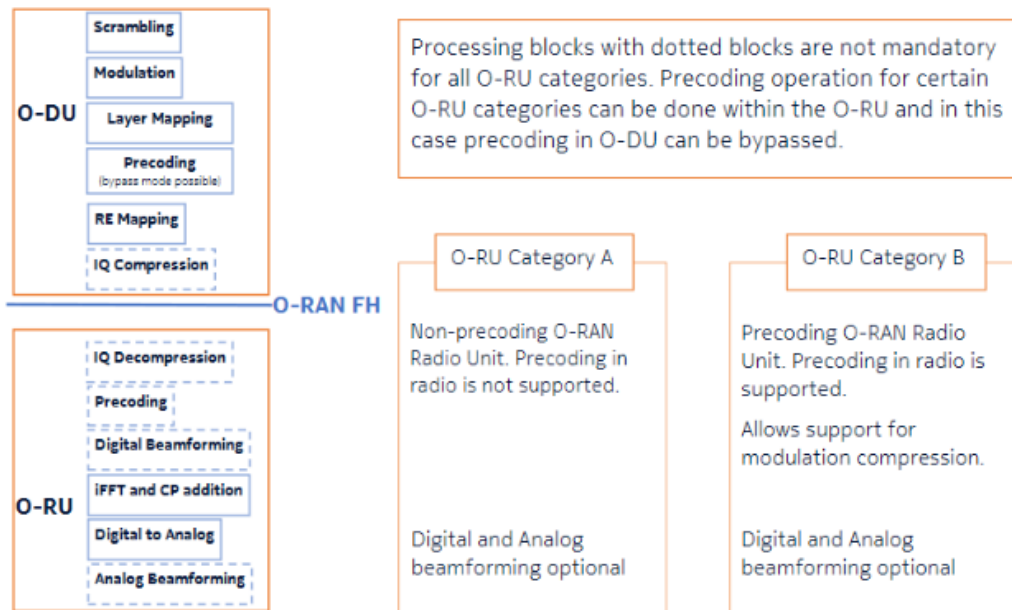


Figure 2-2 : Split Point and Category A and Category B O-RAN Radio Units

KUVA 2. ORAN-standardin määrittelemän 7-2x-jakovariaation toiminnallisuusjako (6)

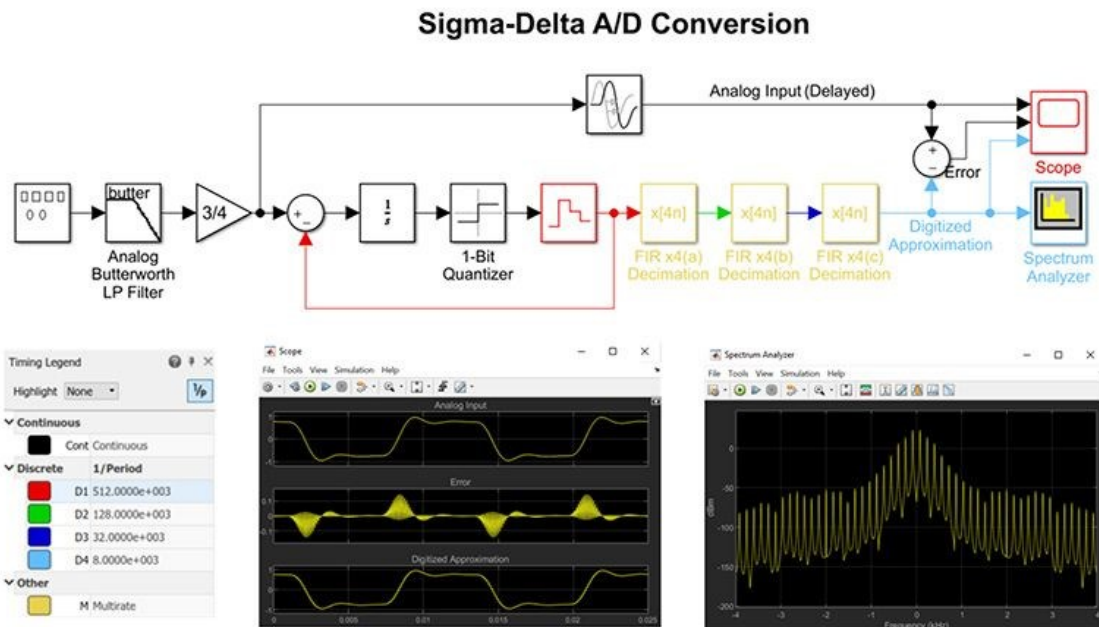
2.2 Matlab ja Simulink

Opinnäytetyön toteutukseen käytettiin pääasiassa Mathworksin kehittämää ja ylläpitämää Matlab-ohjelmistoa sekä sen Simulink-lisäosaa (7; 8). Matlab ja siinä käytettävä samanniminen ohjelmointikieli soveltuvat hyvin esimerkiksi matriisilaskentaan sekä funktioiden ja datan visualisointiin. Simulink taas on Matlab-kieleen pohjautuva graafinen kehitysympäristö, joka on suunniteltu dynaamisten järjestelmien simulointiin, mallintamiseen ja kehittämiseen.

Opinnäytetyössä Matlabia ja Simulinkia sekä sen Dashboard-kirjastoa hyödynnettiin aikasarjadataan visualisoimiseen niin sanotussa kojelautamuodossa. Sekä Matlab että Simulink olivat jo ennen opinnäytetyön aloittamista käytössä Nokialla, joten niiden käyttöönotto oli hyvin suoraviivaista. Toteutuksessa käytetyt Matlab-versiot olivat MATLAB R2021b sekä MATLAB R2023a.

Simulink on pohjimmiltaan graafinen kehitysympäristö, ja se sisältää laajan valikoiman valmiita niin sanottuja lohkoja, joita voidaan käyttää erilaisten järjestelmien rakentamisessa (7). Lohkot sisältävät valmiita funktioita ja toiminnallisuuskokonaisuuksia, joita yhdistelemällä voidaan nopeasti

muodostaa monimutkaisiakin järjestelmiä. Simulink mahdollistaa myös omien lohkojen luomisen. Näitä käyttämällä omia toteutuksia voidaan kirjoittaa joko C- tai Matlab-kieltä käyttäen. Esimerkki Simulink-järjestelmästä kuvassa 3 (7).



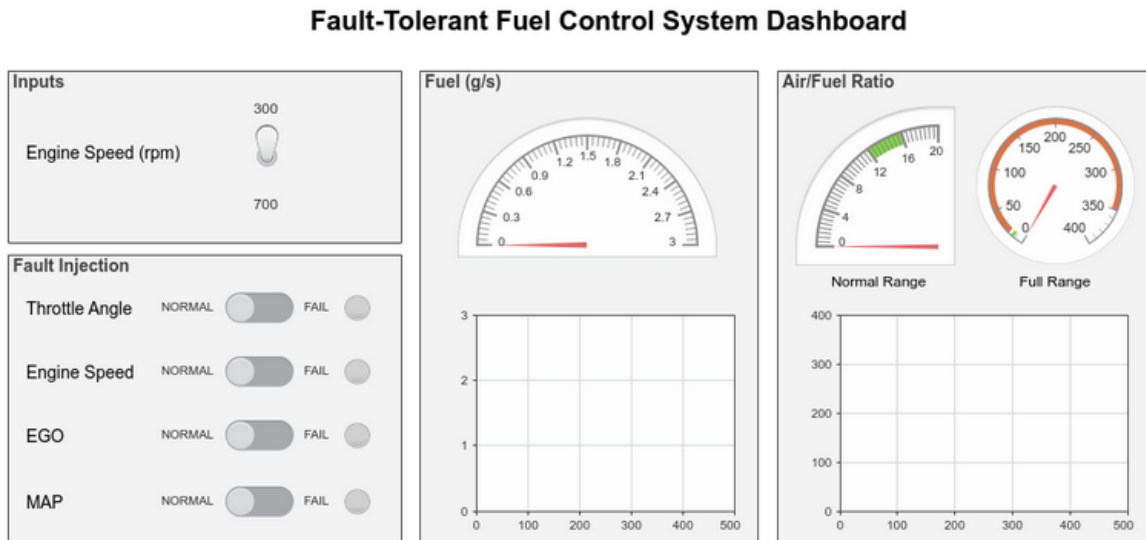
KUVA 3. Esimerkki Simulink-lohkoista rakennetusta järjestelmästä (7)

Tässä opinnäytetyössä Simulinkia käytetään aikasarjadataan visualisointiin. Sekä Matlab että Simulink sisältävät useita erilaisia työkaluja ja lohkoja, joita on mahdollista hyödyntää monimuotoisten datajoukkojen käsittelemiseen ja graafiseen esittämiseen. Lisäksi Nokialla on jo ennen opinnäytetyön aloitusta ollut Simulink-pohjainen simulaatiomalli järjestelmästä, johon käsiteltävät aikasarjadata pohjautuvat.

2.3 Simulink Dashboard

Kuten edellä mainittiin, Simulink pitää sisällään useita eri tarkoituksiin suunnattuja lisäosia, jotka puolestaan sisältävät monia valmiiksi rakennettuja toiminnallisuuskokonaisuuksia, joita kutsutaan lohkoiksi. Yksi tämän opinnäytetyön kannalta keskeisimmistä lisäosakokonaisuuksista Simulinkissä on sen Dashboard-kirjasto, jossa on erilaisia graafisia komponentteja mallin sisältämän aikasarjadataan visualisointiin. Näitä ovat muun muassa erilaiset kuvaajat, mittarit, merkkivalot ja

tekstielementit. Lisäksi kirjasto tarjoaa monenlaisia valmiita työkaluja graafisten käyttöliittymien luomiseen, kuten esimerkiksi kytkimiä ja valikkoja, joita voidaan hyödyntää kojelautakokonaisuuden toteutuksessa. Esimerkki Dashboard-kirjastoa hyödyntävästä kojelautatoteutuksesta kuvassa 4. (9.)



KUVA 4. Esimerkkitoteutus Dashboard-lohkoja hyödyntävästä Simulink-kokonaisuudesta (9)

Simulink mahdollistaa myös mallikokonaisuuksien hallinnan Simulinkin ulkopuolisilla Matlab-komentosarjoilla, joita voidaan hyödyntää opinnäytetyössä mallin alustamiseen ja erilaisten muutettujen kojelauta-asetelmien luomiseen (7).

2.4 Digitaaliset kaksoset

Opinnäytetyön tilaajalla on jo valmiiksi käytössään Simulink-malli järjestelmästä, josta tässä opinnäytetyössä käytettävä aikasarjadata on peräisin. Kyseessä on järjestelmän niin sanottu digitaalinen kaksonen, ja sitä kutsutaan 5G NR UL/DL Matlab -malliksi. Digitaalisilla kaksosilla on tarkoituksena mallintaa jotain olemassa olevaa järjestelmää sekä sen toiminnallisuuksia digitaalisessa muodossa. Tällä pyritään usein varmentamaan ja helpottamaan järjestelmän suunnittelua, testaamista ja ymmärrystä. (10.)

Tilaajan jo olemassa oleva malli keskittyy pääasiassa testidatan varmennukseen. Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on luoda siihen visualisointiosuus järjestelmässä ilmenevistä viiveistä ja niistä muodostuvasta aikasarjadatasta.

3 DATAN VISUALISOINTI JA KOJELAUTAMUOTOINEN ESITYS

3.1 Visualisoinnin tarve ja menetelmät

Tukiasemateknologioita käsiteltäessä työskennellään paljon erilaisten mittaustulosten ja muiden datajoukkojen kanssa. Näiden ymmärtäminen on täten välttämätöntä järjestelmien toimivuuden varmistamiseksi, tuotekehityksen helpottamiseksi ja järjestelmien yleisen laadun parantamiseksi. Eri organisaatioiden tarpeet datan käsittelyn suhteen voivat olla hyvinkin erilaisia, ja tiedon asianmukainen jäsentely ja esittäminen voivat hyvin nopeuttaa ja tehostaa järjestelmäkehitystyön eri osa-alueita organisaatioiden tarpeiden mukaisesti. (11.)

Järjestelmien ja tietomäärien kasvaessa ja monimutkaistuessa tarve tiedonvälityksen yksinkertaistamiseksi kasvaa. Yksi tehokkaimmista tavoista muuttaa erimuotoisia ja -kokoisia datajoukkoja ymmärrettävämpään ja helpommin sisäistettävämpään muotoon on tiedon tai sen muutoksen esittäminen visuaalisin keinoin eli visualisointi. Visualisointi on hyödyllistä ja joskus jopa välttämätöntä tarvittavan ymmärtämisen takaamiseksi, erityisesti silloin kun kyse on suurista datajoukoista, joiden kokonaiskuva voi jäädä epäselväksi ilman tiedon asianmukaista jäsentelyä. Jos datasta on esimerkiksi tarvetta tarkastella tiettyjen ilmiöiden esiintyvyyttä ja niiden piirteitä, visualisointi on tehokas työkalu selkeyttämään ja nopeuttamaan kyseistä prosessia. (11.)

Visualisoinnin tulee olla tarkoituksenmukaista, ja erityyppisille datajoukoille tuleekin soveltaa niille asianmukaisia käsittely- ja visualisointimenetelmiä, joissa otetaan huomioon kyseenomaisen datan laatu ja datajoukosta haluttu tieto. Datajoukolle sopivimmat käsittely- ja esitysmenetelmät voivat olla haastavia määrittää hyvin, ja ne voivat pahimmassa tapauksessa jopa haitata esitettävän tiedon ymmärtämistä piilottamalla haluttuja piirteitä tai yhtäläisyyksiä datasta. Näin ollen sopivan esitystavan määrittäminen on erityisen tärkeää. Opinnäytetyössä käsiteltävä ja visualisoitava datajoukko koostuu Nokialla kehitteillä olevan järjestelmän aikasarjadatasta.

3.1.1 Visualisointimenetelmät

Tiedon visualisoinnissa on tärkeää hyödyntää sitä, kuinka ihmiset sisäistävät esitettyä tietoa. Keskeistä on kiinnittää huomiota esityksessä käytettävien elementtien eri piirteisiin, kuten värivalintoihin, eri muotojen havainnollistavaan käyttöön sekä visualisointielementtien kokoihin ja niiden sijoitukseen. (11.) Edellä mainittuja piirteitä voidaan hyödyntää visualisoinneissa kaikkein tärkeimpien ja keskeisimpien aspektien korostamiseen ja kuvauksien selkeyttämiseen.

Aikasarja-aineiston visualisointiin liittyy myös mahdollisuus käyttää havainnollistavia animaatioita, jotka voivat auttaa paljastamaan tämän piileviä piirteitä sekä trendejä, joita on vaikea havaita staattisissa visualisoinneissa. Animaatioita voidaan hyödyntää esimerkiksi muutoksen ilmaisemiseen datajoukossa, haluttujen ilmiöiden tai aineiston osien korostamisessa, esityksen vuorovaikutteisudessa tai useiden visualisointityylien yhdistämisessä. Tiedon reaaliaikaisuus ja muokattavuus ovat hyödyllisiä piirteitä, kuten myös visualisointien vastaaminen käsiteltäviin arvoihin tehtyihin muutoksiin. Animoidut visualisointien muutokset ovatkin tehokas tapa havainnollistaa arvojen muutoksen vaikutusta datasarjoihin.

Aikasarjojen visualisoinnissa on lisäksi tärkeää huomioida aineiston mittasuhteet, havaintojen tiheys ja mahdolliset poikkeamat tai puuttuvat arvot aineistossa. Animaatioita sekvensoimalla voidaan saada esitettyä aineiston eri аспекteja helposti ymmärrettävässä muodossa. Esimerkiksi esittämällä ensin datajoukon eri mittaluokissa olevien arvojen eroja verrattuna oman mittaluokkansa arvoihin ja sen jälkeen vertaamalla niitä muiden mittaluokkien arvoihin voidaan helposti ja selkeästi havainnollistaa datajoukon skaalaa visualisointitoteutuksen käyttäjälle.

Visualisoinnissa on tärkeää välttää liiallista kompleksisuutta. Liian monimutkaiset ja epäselvät esitykset voivat pahimmassa tapauksessa piilottaa esitettävästä datasta tarkasteltavia piirteitä tai tehdä siitä vaikeasti sisäistettävää käyttäjälle. Näin ollen visualisoinnissa on hyvä karttaa esityksen ruuhkauttamista sekä sellaisia visuaalisia elementtejä, jotka voivat viedä huomion käsiteltävästä datasta tai visualisoinnin keskeisimmistä elementeistä.

3.1.2 Kuvaajat ja kaaviot

Yksi yleisimmistä visualisoinnin muodoista on kaavioiden ja kuvaajien käyttäminen eri ilmiöiden muutoksen tai vertailun esittämiseen. Kaavio- ja kuvaajatyyppejä on lukuisia erilaisia, ja oikean tyyppin valinta riippuu data-aineiston luonteesta sekä siitä, millaisia havaintoja halutaan kommunikoida. Yleisimpiä kaaviotyyppejä ovat esimerkiksi viivakaaviot, pistekaaviot, aluekaaviot, pylväskaaviot, ympyräkaaviot ja lämpökartat. Näitä on havainnollistettu kuvassa 5. (11.)

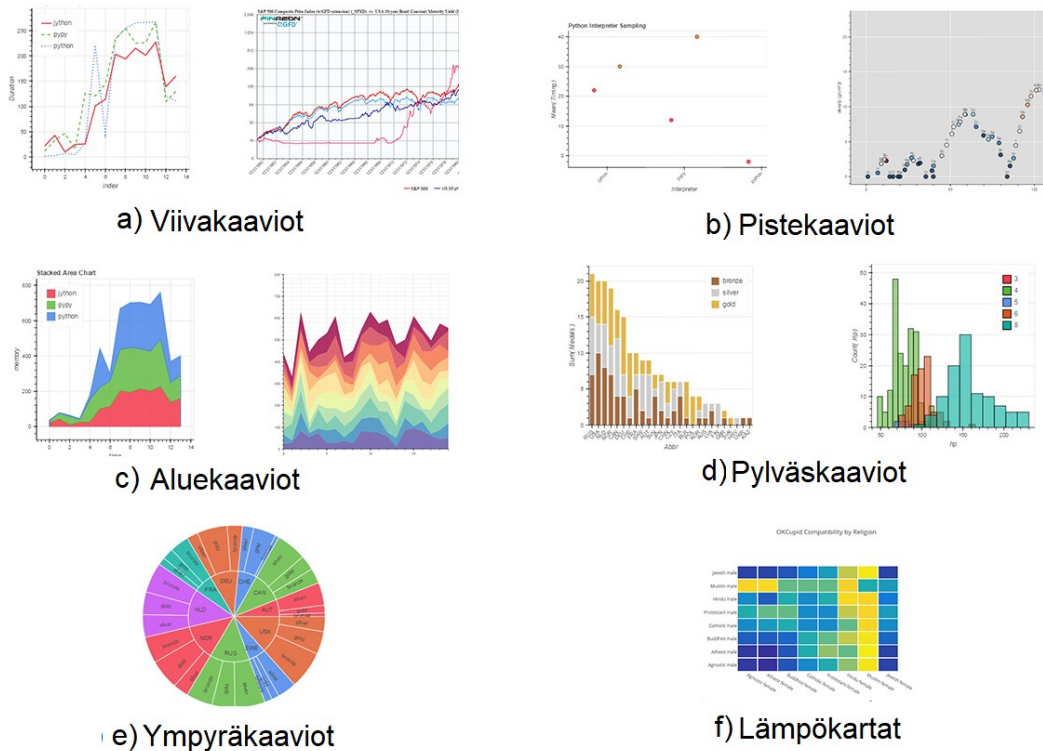
Viivakaaviot (kuva 5 a) ovat edellä mainituista kaaviotyypeistä yleisimpiä ja niitä käytetään yleisimmin datassa esiintyvien trendien esittämiseen ja datasarjojen vertailuun. Viivakaaviossa data esitetään kaksiulotteiseen koordinaatistoon sijoitettuina pisteinä, jotka on yhdistetty toisiinsa viivoilla.

Pistekaaviot (kuva 5 b) ovat viivakaavioiden kaltaisia, mutta kyseisessä esitystavassa datapisteiden välillä ei ole viivoja. Pistekaaviot soveltuvat hyvin määrällisen tiedon selkeään esittämiseen. Kuitenkin, jos datapisteitä on paljon ja vaihtelu niiden välillä on suurta, pistekaavioista tulee nopeasti epäselviä.

Aluekaaviot (kuva 5 c) ovat toinen viivakaavioita muistuttava esitysmuoto. Eroavaisuutena viivakaavioihin aluekaavioissa on datapisteiden alle jäävät alueet täytetty eri väreillä. Aluekaaviot ovat tehokkaita korostamaan datassa tapahtuvien muutosten laajuutta, ja sovittamalla useampia samaan kuvaajaan saadaan niillä selkeästi esitettyä myös esimerkiksi eri osuuksien suhdetta kokonaisuuteen.

Pylväs- ja palkkikaavioita (kuva 5 d) käytetään yleensä rajallisten datajoukkojen vertailuun tai eri aikoina ilmenevien trendien esittämiseen. Ne sopivat myös hyvin eri arvosarjojen esittämiseen samassa kuvaajassa. Pylväs- ja palkkikaaviot koostuvat nimensä mukaisesti joko vaaka- tai pystysuunnassa olevista pylväistä, joiden koot vastaavat käsiteltävän datan arvoja. Pylväskaavioissa voidaan myös esittää datan koostumusta samalla tavalla kuin aluekaavioissa, sovittamalla useampia pylväitä esityksessä päällekkäin.

Ympyräkaaviot (kuva 5 e) koostuvat yksittäisistä datajoukoista, joista se kuvaa osien suhteellisia osuuksia koko muuhun datajoukkoon verrattuna. Osuuksien suhde muihin esitetään ympyrän eri segmentteinä, joiden koot vastaavat osuuksien suhteellista kokoa toisiinsa.



KUVA 5. Visualisoinnissa usein hyödynnettyjä kuvaaja- ja kaaviotyyppejä (11)

Lämpökarttakuvaajassa (kuva 5 f) tarkasteltava data on aseteltu taulukkoon, jossa yksittäisen datapisteen arvoa kuvataan värillä. Esitysmuoto kuvaa datapisteiden suhdetta toisiinsa ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun halutaan visualisoida jonkin ilmiön esiintyvyyttä datajoukoissa.

3.2 Kojelautamuotoinen visualisointi

Jotta dataa olisi mahdollista ymmärtää nopeasti, saada se helposti käsitettävämmäksi ja jakaa sitä muille, on siis järkevää tuoda se visuaaliseen muotoon. Käytännölliset kojelautatoteutukset ovat siksi välttämätön osa datan visualisointia. Kojelauta (engl. dashboard) on tietojen visualisointimuoto, joka mahdollistaa monipuolisen tiedon esittämisen selkeällä ja helposti ymmärrettävällä tavalla. Kojelaudassa voi olla erilaisia elementtejä, kuten mittareita, kaavioita, taulukoita, karttoja ja muita graafisia esityksiä. Kuvassa 6 on esimerkki kojelautamuotoisesta toteutuksesta, jossa esitetään useita eri parametrejä yksittäisellä kojelaudalla. (12; 13.)



KUVA 6. Esimerkki kojelautamuotoisesta tiedon visualisoinnista (12)

Kojelaudan elementit on yleensä järjestetty siten, että tärkeimmät tiedot ja mittarit ovat helposti nähtävillä ja niitä on helppo tulkita. Mittarit voivat olla esimerkiksi yksinkertaisia numeromittareita tai monimutkaisempia graafisia mittareita tai kuvaajia, joissa käyttäjä voi vaikkapa muuttaa skaalaa tai asettaa hälytysrajoja. Kaaviot voivat näyttää esimerkiksi trendejä, vertailuja tai jakautumia, ja taulukot voivat sisältää yksityiskohtaisempia tietoja tai yhteenvetoja. (12; 13.)

Kojelautatyylinen datan visualisointi on erittäin hyödyllinen erityisesti tilanteissa, joissa on tarpeen seurata useita arvojoukkoja ja muuttujia samanaikaisesti. Se mahdollistaa nopean tiedonhankinnan ja auttaa käyttäjää tekemään päätöksiä perustuen reaaliaikaiseen tietoon. Se myös helpottaa tiedon tulkintaa ja analysointia, sillä tärkeimmät tiedot ovat helposti nähtävillä ja yhteen koottuina. (12; 13.)

Kojelaudan ulkoasun suunnitteluun pätee pitkälti samat periaatteet kuin aiemmin esitettyihin visualisointeihin. Kojelaudan suunnittelun perusideana on, että se esittää kaikki tärkeät tiedot katsojalle yhdellä silmäyksellä helposti ymmärrettävällä tavalla, nopeuttaen tiedon sisäistämistä muihin esitämismuotoihin verrattuna. Siksi sen tulee sisältää vain tarvittavat tiedot ja havainnollistaa ne selkeästi jäsenellysti, ja kaiken vähemmän relevantin informaation tulisi olla esimerkiksi erikseen valittavissa eikä automaattisesti esillä kojelaudalla. Jotta kaikki tärkeät tiedot näkyisivät yhdellä silmäyksellä, tulee kojelaudan rakenne suunnitella mahdollisimman yksinkertaiseksi, koska usein turhan monimutkaiset esitykset estävät tiedon nopean ymmärtämisen. Lisäksi on tärkeää varmistaa,

että kojelaudan eri elementit on erotettu selvästi toisistaan kojelaudan yleiskatsauksen selkeänä säilyttämiseksi. Ratkaisuna esityksen yksinkertaisuuden ja luettavuuden säilyttämiseksi voidaan käyttäjälle esimerkiksi antaa mahdollisuus valita tarvittaessa eri näkymiä lisätietojen tai yksityiskoh-tien tarkasteluun. Niin sanotut poraustoiminnot esimerkiksi mahdollistavat tarkempien tietojen tar-kastelun, kun taas erilaisten suodatustoimintojen avulla katsoja voi keskittyä tiettyyn haluttuun tie-tojen osajoukkoon. (12; 13.)

Ilman oikeaa asiayhteyttä voi olla vaikea arvioida annettuja tietoja. Siksi useimmissa tapauksissa on tärkeää tarjota tietojoukkojen skaalaa havainnollistavia vertailuarvoja. Myös eri kuvaajien ja kaa-vioiden akselit on hyvä merkitä selkeästi ja asianmukaisesti, jotta arvojen suhteita on helppo arvi-oida. Oikeantyyppisten kaavioiden valitseminen on myös ratkaisevan tärkeää kojelaudan informa-tiivisen arvon kannalta. Siksi on ensiksi tärkeää ymmärtää, mitä tietoa välitetään ja minkälainen kaavio tähän sopii. Tällöin on mahdollista valita optimaaliset kaavio- ja kuvaajatyypit.

Myös värivalinnoilla on mahdollista välittää tietoa ja ne voivat korostaa tärkeitä seikkoja tai ilmiöitä kojelaudalla. Eräs ilmeisimpiä värinkäyttötapoja visualisoinneissa on negatiivisten arvojen tai ilmi-öiden esittäminen punaisella värillä ja positiivisten puolestaan esimerkiksi vihreällä. Tämä esitys-tapa voi kuitenkin aiheuttaa sekaannusta, jos sitä käytetään väärässä kontekstissa. Se voi myös aiheuttaa visualisointeihin epäselvyyttä, jos liian useita värejä käytetään samanaikaisesti tai epä-johdonmukaisesti, tai jos esityksessä on käytetty värejä, jotka ovat vaikeasti erotettavia esimerkiksi värisoikeille. (12; 13.)

4 TYÖN TOTEUTUS JA VAIHEET

4.1 Tavoitteet

Nokian tukiasematekniologioiden kehitystyö sisältää usein erilaisia aikasarjakokonaisuuksia, joiden ymmärtäminen on välttämätöntä kehitystyön kannalta. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kojelautamuotoinen visualisointitoteutus tietyille aikasarjajoukolle Matlab- ja Simulink-kehitysalustoja hyödyntämällä sekä integroida se osaksi laajempaa Simulink-mallikokonaisuutta. Toteutuksessa hyödynnettiin työn pohjadokumenttina toimivaa Excel-dokumenttia aikasarjalaskelmista.

4.2 Aloitus ja valmistelut

Työn toteutus alkoi lähdemateriaaliin perehtymisellä. Lähdemateriaalina toimivat pääasiassa työssä käytettävän aikasarjadataan sisältävä Excel-dokumentti sekä Nokian sisäiset dokumentit ja oppimateriaalit. Perehtyminen sisälsi myös tutustumisen erilaisiin visualisointimenetelmiin sekä erilaisiin kojelautatoteutuksiin ja niiden keskeisiin suunnitteluperiaatteisiin. Matlab ja Simulink olivat jo ennen työn aloittamista tuttuja kehitysalustoja aiemmin Nokialla tehdyn työn pohjalta, ja ne olivat jo valmiiksi asennettuina sekä käyttövalmiina käytettävissä työympäristöissä.

4.2.1 Matlab/Simulink-ohjelman rakenne

Matlab- ja Simulink-kokonaisuus koostuu kolmesta osasta; Simulink-mallista, Matlabilla kirjoitusta alustusskriptistä ja kojelaudan pohjadokumentista. Simulink-kokonaisuus sisältää kojelautatoteutuksen graafiset elementit, aikasarjadataan visualisoinnit sekä visualisoinnin toiminnalliset osat erillisessä alijärjestelmässä. Toteutus on jaettu eri osa-alueisiin, joita käsitellään lisää luvussa 4.2.2. Kojelaudan pohjadokumenttina toimii aikasarjadataan sisältävä Excel-dokumentti, josta haetaan kojelaudalle tarvittavat alustavat arvot. Matlab-skriptiä puolestaan käytetään Simulinkillä tehdyn kojelautamallin alustamiseen ja skaalaamiseen mallin käyttöönoton yhteydessä. Matlab-osuutta käsitellään tarkemmin luvussa 4.2.3.

4.2.2 Kojelaudan osa-alueet

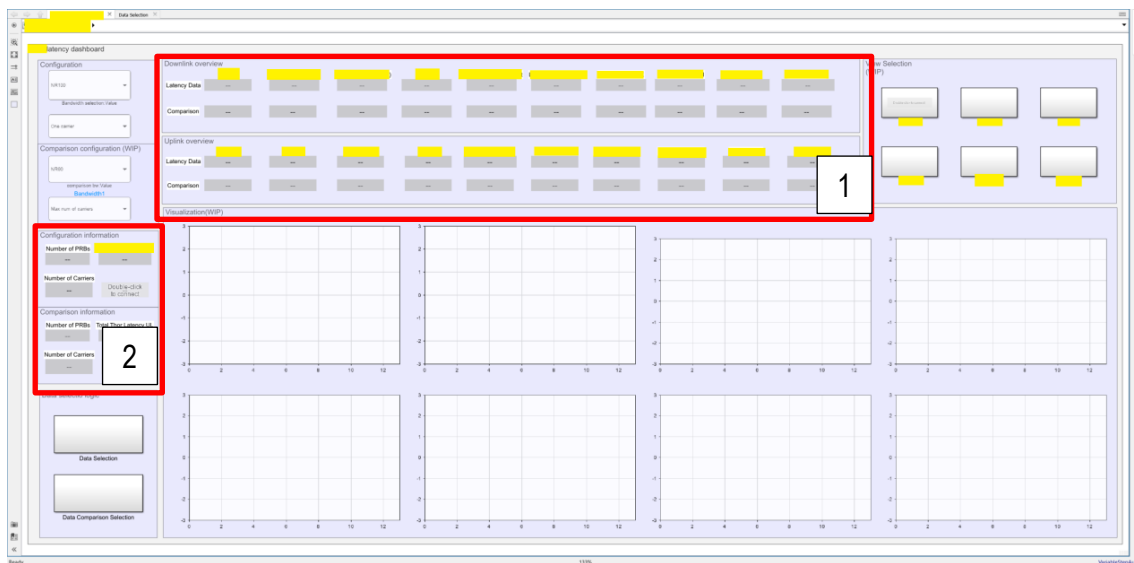
Seuraavassa esitellään lyhyesti kojelaudan osa-alueet ja niiden toiminnallisuudet. Esityksessä käytetyistä kuvista on yliviivattu keltaisella kaikki Nokian sisäinen rajoitettu informaatio.

Mallin konfiguraatio -paneeli (kuva 7) sisältää kojelaudalla verrattavien konfiguraatioiden asetukset. Näitä muuttamalla näytettävää dataa voidaan hallita valitsemalla eri arvot parametreille, kuten kaistanleveydelle. Paneeli on sijoitettu mallin vasempaan yläkulmaan, koska kyseiset asetukset ovat heti mallin avattaessa ensimmäinen asia, jonka kanssa käyttäjä tulee toimimaan. Konfiguraatioiden valitsemiseen on käytetty Simulinkin Dashboard-kirjaston pudotusvalikkoa (engl. dropdown menu) parametrien määrällisyyden ja lukumäärän vuoksi.



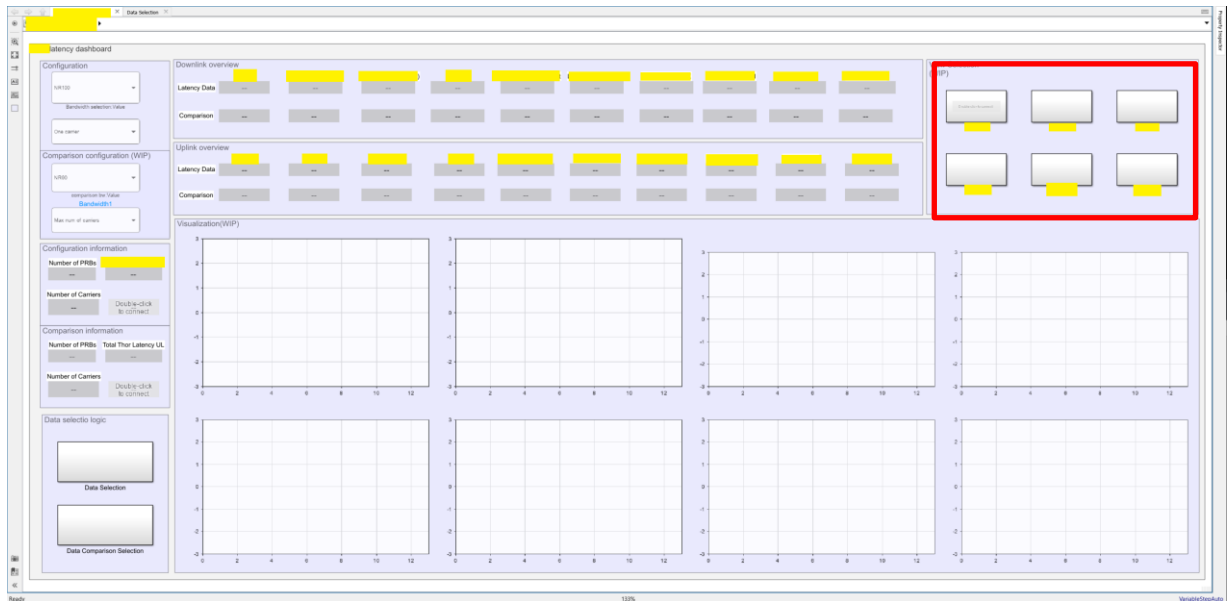
KUVA 7. Mallin konfiguraatio -paneeli kojelaudalla

Yleisnäkymä-paneelin (kuva 8) on tarkoitus antaa nopea käsitys mallin aikasarja-arvoista ja verrattavista konfiguraatioista uplink- ja downlink-suunnissa (kuva 8, paneeli 1). Paneeli on sijoitettu mallin yläosaan, koska se on tarkoitettu alustavan yleiskuvan antamiseen keskeisestä informaatiosta. *Konfiguraation informaatio* -paneeli esittää tietoja valituista konfiguraatioista (Kuva 8, paneeli 2). Se on sijoitettu *Mallin konfiguraatio* -paneelin valintavalikkojen alle. Paneelien toteutuksessa on hyödynnetty Simulinkin Dashboard-kirjaston näyttö-elementtejä (engl. display) arvojen esittämiseen. Mallissa esiintyvien tekstielementtien tekoon on käytetty Simulinkin huomautus-toimintoa (engl. annotation).



KUVA 8. *Yleisnäkymä* -paneeli (1) ja *konfiguraation informaatio* -paneeli (2) kojelautanäkymässä

Näkymän valinta -paneeli (kuva 9) mahdollistaa yksittäisten komponenttien aikasarja-arvojen tarkastelun tarkemmin erillisessä näkymässä. Paneelissa käytetään Simulinkin alajärjestelmä-toimintoa (engl. subsystem), mikä mahdollistaa näkymän vaihtamisen mallissa napsauttamalla valintalaatikkoa kahdesti.

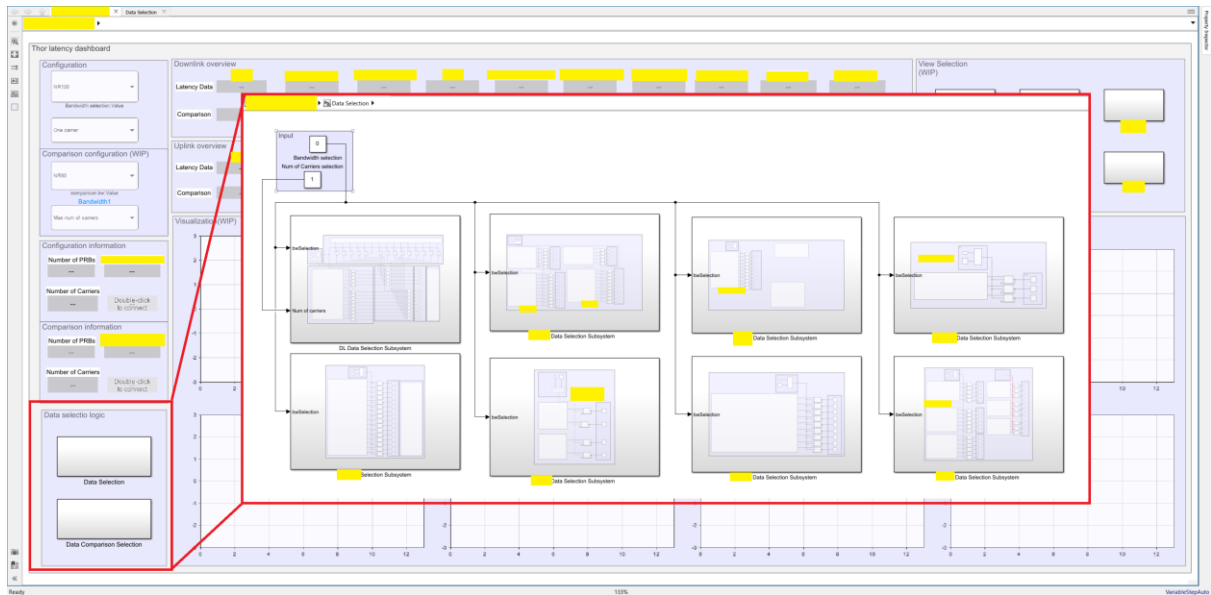


KUVA 9. Näkymän valinta -paneeli kojelaudalla

Keskeinen visualisointi -näkyvä (kuva 10) sisältää aikasarjadataa visuaaliset esitykset kuvaaja-muodossa. Osa-alue on sijoitettu keskeiselle paikalle kojelaudalla ja siinä on hyödynnetty Simulinkin Dashboard-kirjaston *dashboard scope* -lohkoja aikasarjadataa visualisointiin. Osiota on mahdollista skaalata mallin alustavaa Matlab-skriptiä hyödyntäen.



KUVA 10. Keskeinen visualisointi -näkyvä kojelaudalla



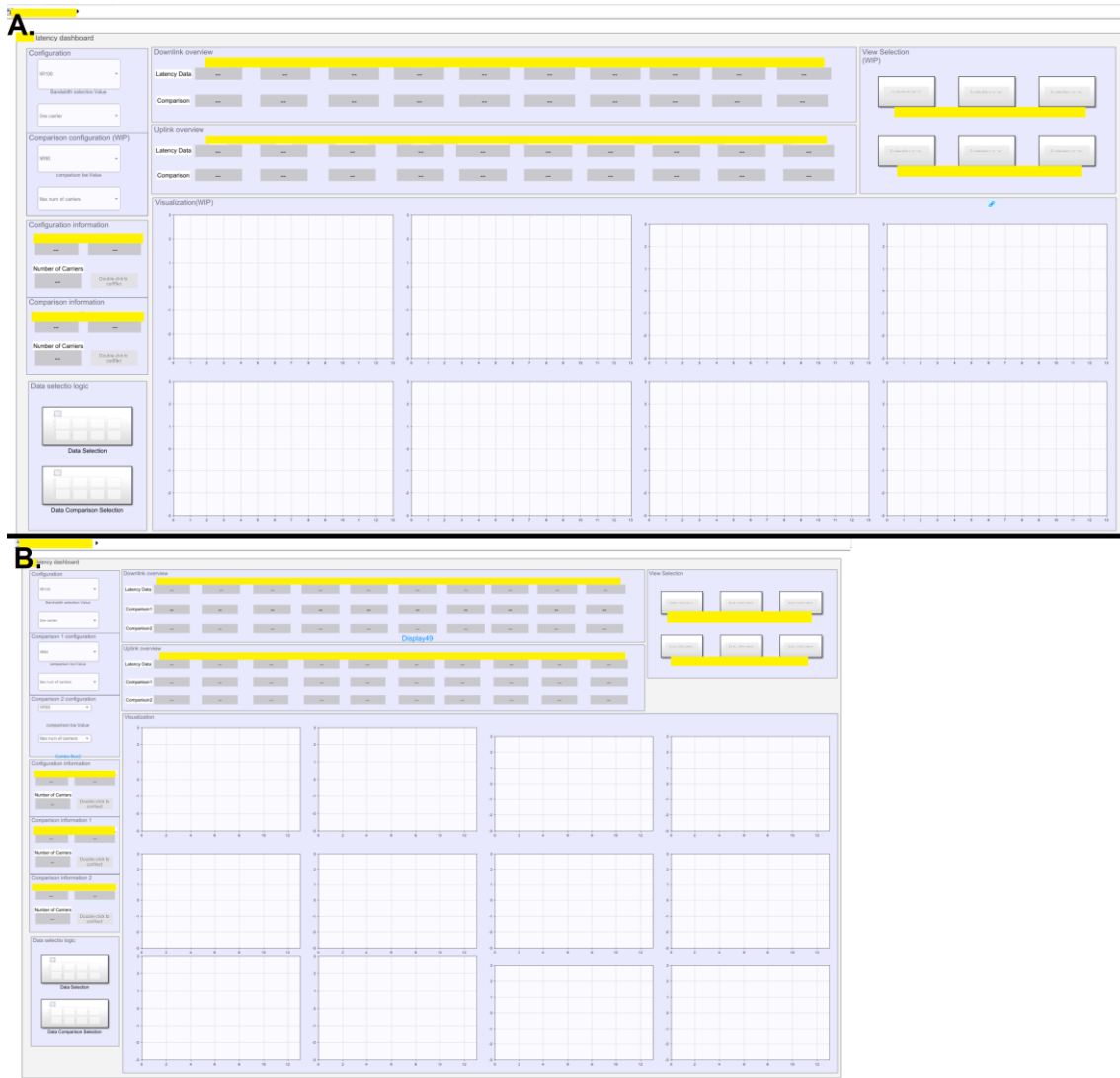
KUVA 11. Mallin toiminnalliset osat ja tätä vastaava alijärjestelmä näkymä kojelaudalla

Simulink-mallin toiminnallisiin osuuksiin on myös mahdollista päästä käsiksi siihen sijoitetun alijärjestelmän kautta (kuva 11). Toiminnalliset osat eivät ole keskeinen asia visualisoinnin kannalta, joten ne on sijoitettu *konfiguraation informaatio* -paneelin alle alijärjestelmiin. Tämän kautta mallin toiminnallisuuksia voidaan tarpeen mukaan muokata.

4.2.3 Matlab-skripti

Vaikka Simulink onkin pääasiallisesti graafista käyttöliittymää hyödyntävä työympäristö, on sitä mahdollista hallita myös ohjelmallisesti ulkoisia Matlab-skriptejä hyödyntäen (6). Tämä lähestymistapa Simulinkin käyttöön on hyödyllinen, kun mallia on tarpeellista alustaa ennen sen käyttöönottoa. Kojelautatoteutuksessa tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi esitettävien datasarjojen tai eri kojelautajärjestelyjen valintaan.

Tämän opinnäytetyön toteutuksessa Matlab-skriptiä käytetään pääsääntöisesti kojelaudan järjestykselliseen alustamiseen. Sen toimintaperiaatteena on skaalata ja mukauttaa kojelautaa ja siinä esitettävää tietoa annettujen parametrien mukaan. Eri parametrejä muuttamalla mallista voidaan muokata verrattavia konfiguraatioita sekä lisätä verrattavien konfiguraatioiden määrää.



KUVA 12. Esimerkki eri Matlab-parametreihin pohjautuvista kojelautoista

Toteutuksessa hyödynnetään keskeisimmin funktioita `add_block` ja `set_param`. Näiden toiminta on kohtalaisen suoraviivaista. Funktio `add_block` lisää malliin määritellyn lohkon. Esimerkiksi Dashboard-kirjaston `display`-lohkon lisääminen malliin ja sen nimeäminen `display1`:ksi tapahtuu komennolla `add_block('Simulink/Dashboard/Display', 'model_name/display1')`. Tässä ensimmäinen argumentti `Simulink/Dashboard/Display` osoittaa hakemiston ja lohkon, joka malliin lisätään. Toinen argumentti `model_name/display1` puolestaan osoittaa mallin ja tason, jolle lohko lisätään, sekä lisättävän lohkon nimen, joka tässä esimerkissä on `display1`. Komennolla `set_param` pystytään muuttamaan eri Simulink-elementtien, kuten mallien, alajärjestelmien, kirjastojen tai yksittäisten lohkojen, sisäisiä parametrejä. Esimerkiksi komennolla `set_param('model_name/display1', 'Position', [50 100 110 120])` muutetaan aiemmin lisätyn `display`-lohkon sijaintia mallissa. Komennossa ensimmäinen argumentti `model_name/display1` määrittää käsiteltävän komponentin halutusta

mallista ja halutulta mallin tasolta ja toinen argumentti *Position* määrittelee käsiteltävän parametrin, joka on tässä tapauksessa lohkon sijainti mallissa. Kolmas argumentti määrittelee halutun arvon käsiteltävälle parametrille, mikä on tässä esimerkissä neljän luvun sarja, joka määrittelee lohkon sijainnin ja ulottuvuudet mallissa.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Nokialle tukiasemien kehitystyötä avustava aikasarjadataan visualisointiin kykenevä toteutus Matlab- ja Simulink-ohjelmistoja käyttäen. Toteutuksen oli alun perin tarkoitus tulla osaksi Nokialla jo aiemmin kehitteillä ollutta 5G NR UL/DL Matlab -mallikokonaisuutta. Lopputuloksena syntyi tässä työssä esitelty erillinen kojelautamuotoinen visualisointityökalu, joka voidaan myöhemmin halutessa liittää osaksi jo olemassa olevaa järjestelmää. Opinnäytetyö onnistui siis pääasiassa suunniteltujen tavoitteiden mukaan.

Valmistuneessa toteutuksessa on visualisoinnin käytettävyyden kannalta tiettyjä rajoituksia. Simulinkin visualisointikeinot olivat loppujen lopuksi melko rajalliset, ja käyttöympäristön ei-reaaliaikaisuus tekee toteutuksen käytöstä hieman kankeaa halutun käyttötarkoituksen suhteen, joka on halutun tiedon esittäminen nopealla ja helppokäyttöisellä tavalla. Simulink on myös kohtuullisen hidas mallin avaamisessa ohjelman käynnistyessä, mikä haittaa toteutuksen käyttäjävälisyyttä jonkin verran.

Mallissa olisi voinut olla myös enemmän konfiguraatiomahdollisuuksia visualisoitavan datan sisällön suhteen. Esimerkiksi valmiissa mallitoteutuksessa aikasarjan yksittäisten datapisteiden muuttaminen on vielä varsin haastavaa osittain sen vuoksi, miten pohjadokumentin sisältämät aikasarjarvot on malliin tuotu.

Kokonaisuudessaan visualisointitoteutus on toimiva ja työ onnistuttiin saamaan valmiiksi suunnitellussa aikataulussa. Työ toimi myös hyvänä lisäperehdytyksenä sen käsittelemiin aihepiireihin, joista suuri osa olivat jo jokseenkin tuttuja ennen työn aloitusta.

Tässä työssä kehitetyn visualisointitoteutuksen mahdollisia jatkokehitysmahdollisuuksia voisivat olla esimerkiksi mallin ulkoasun ja vuorovaikutteisten elementtien jatkokehittäminen. Mallin ulkoasu on opinnäytetyön valmistuessa vielä kohtuullisen pelkistetty ja sitä voitaisiin parantaa esimerkiksi kehittämällä eri esitysaselmia sekä lisäämällä erilaisia visualisointielementtejä nykyiseen toteutukseen. Mallin vuorovaikutteisuutta voitaisiin kehittää esimerkiksi lisäämällä sen sisältämien konfiguraatiovaihtoehtojen määrää.

Mallin käytettävyyden jatkokehittämiseksi olisi mahdollista myös luoda visualisointipohjasta yleis-
pätevämpi, jolloin sitä voitaisiin hyödyntää myös muiden datajoukkojen visualisoinnissa. Nykyinen
malli on skaalaltaan hieman rajallinen, sillä sen käyttötarkoitus rajoittuu tietyn yksittäisen datajou-
kon visualisoinnin ympärille.

LÄHTEET

1. International Telecommunications Union 2015. IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030. Report ITU-R M.2370-0 (07/2015). Series M. Hakupäivä 10.2.2023. https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2370-2015-PDF-E.pdf.
2. Laihiainen, Jaakko 2022. Oran-standardin vaikutukset L1low-radio-ohjelmistoon. Oulun ammattikorkeakoulu. Tietotekniikantutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 18.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022060615849>.
3. Babitzin Aleksander 2021. 5G-verkon tuomat uudistukset ja hyödyt. Hämeen ammattikorkeakoulu. Tieto- ja viestintäteknikka. Opinnäytetyö. Hakupäivä 9.1.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202105128447>.
4. 3rd Generation Partnership Project(3GPP) 2022. The Mobile Broadband Standard. Hakupäivä 22.1.2023. <https://www.3gpp.org/>.
5. O-RAN Alliance 2023. O-RAN Specifications. Hakupäivä 22.1.2023. <https://www.o-ran.org/specifications>.
6. Puhakka, Toni 2022. 5G NR UL/DL Matlab-mallin integrointi ja automatisointi. Oulun ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 14.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022090119774>.
7. Mathworks 2022. Simulink. Hakupäivä 15.1.2023. <https://se.mathworks.com/products/simulink.html>.
8. Mathworks 2023. Matlab. Hakupäivä 15.1.2023. <https://se.mathworks.com/>.
9. Mathworks Simulink. Modeling a fault tolerant fuel control system. Kuva 4. Hakupäivä 19.1.2023. <https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/modeling-a-fault-tolerant-fuel-control-system.html>.

10. Ala-Mäyry 2021, Elina. Digitaalinen kaksonen–digital twin. Elomatic blog. Hakupäivä 14.12.2022. <https://blog.elomatic.com/fi/digitaalinen-kaksonen-digital-twin/>.
11. IBM. What is data visualization. Hakupäivä 14.12.2022. <https://www.ibm.com/topics/data-visualization>.
12. Microsoft Power BI. Data dashboards. Hakupäivä 14.12.2022. <https://powerbi.microsoft.com/en-us/data-dashboards/>.
13. Parm 2022. Kuinka suunnitella mielekäs dashboard (Kojelauta). Hakupäivä 16.12.2022. <https://parm.com/fi/how-to-design-a-meaningful-dashboard/>.
14. Juuso, Joonas 2022. Suorituskykymittausten visualisointi tukiasemien RF-moduuleissa. Oulun ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 18.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022121931034>.
15. Mathworks 2023. Approach modeling programmatically. Hakupäivä 16.12.2022. <https://www.mathworks.com/help/simulink/ug/approach-modeling-programmatically.html>.
16. Harri, Hämäläinen 2020. Uplink data measurement and analysis for 5G eCPRI radio unit. University of Oulu. Faculty of Information Technology and Electrical Engineering. Master's thesis. Hakupäivä 14.12.2022. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-202011273208>.