



**Tampereen  
Ratikka**

**Pirkkala-Linnainmaa raitiotien hankesuunnitelma**

**Raitiotien teknisten järjestelmien raportti  
GRK**

**16.12.2022**

Sisällys

1	RATASÄHKÖISTYS.....	3
1.1	Lähtötiedot ja suunnitteluperusteet .....	3
1.2	Sähkönsyöttö.....	3
1.2.1	Simuloinnit.....	3
1.2.2	Sähkönsyöttöasemien sijoittelu.....	3
1.2.3	Herkkyystarkastelut .....	10
1.3	Ratajohtosijoitus .....	11
1.3.1	Ratajohtorakenteet .....	11
1.3.2	Pylvässijoittelu .....	13
1.4	Ohjaus- ja turvalaitteet.....	13
1.5	Tietoliikenneverkko .....	13
1.6	Vahvavirta.....	13
1.7	Maadoitukset .....	13
1.8	Valaistus ja tapahtumasähköt .....	13
1.9	Liikennevalot.....	14
1.10	Varikko.....	14
1.12	Kustannusarvio .....	15
2	Liitteet .....	16

# 1 RATASÄHKÖISTYS

## 1.1 Lähtötiedot ja suunnitteluperusteet

Sähkösyötön simulointien lähtötietoina toimivat ratajohtoverkon kytkentätilanteet ja syöttöjärjestelmän toimintaperiaatteet, syöttävän keskijänniteverkon ja raitiotien liikkuvan kaluston tekniset tiedot, radan pystygeometria ja nopeudet sekä linjoille suunnitellut pysäkit ja raiteenvaihtopaikat.

Syöttöjärjestelmän on toimittava normaalisti myös yhden syöttöaseman ollessa pois käytöstä vian tai huollon vuoksi. Syöttöalueet ovat kaksipuoleisia eli niitä syötetään molemmista päistään myös näissä tilanteissa. Tulevaisuuden tarpeisiin liittyviä herkkystarkasteluja varten myös ratahaarat Rantaperkiö-Vuores ja Linnainmaa-Lamminrahka mallinnettiin niiltä osin, kuin niiden tehontarve vaikuttaa suunnitellun alueen sähkösyöttöön.

Malliin sisällytettiin nykyisen rataverkon vaikutus suunniteltavien alueiden sähkösyöttöön. Samalla mallinnettiin liikenteen lisääntymisen vaikutus nykyisen rataverkon sähkösyöttöön keskustassa ja sen lähialueilla.

Tampereen Sähköverkko laski syöttöasemien liityntäpisteille impedanssiarvot, joiden perusteella raitiotietä syöttävä keskijänniteverkko mallinnettiin.

Liikkuvana kalustona käytettiin 47,3 m pitkää, nykyisestä raitiovaunutyyppistä pidennettyä Škoda Artic X45-vaunua, jonka paino täytenä on 96,55 t. Vuoroväli simuloinneissa oli 5 min, keskusta-alueella Hatanpäältä Sammonaukiolle 2,5 min. Toimenpiteinä kysynnän kasvaessa on tihentää vuoroväliä jokaisella linjalla nykyisestä 7,5 minuutista 5 minuuttiin tai pidentää vaunukalustoa.

Ajojohdin mallinnettiin nykyisen verkon pohjalta kannattimellisena ajolangalla 120 mm<sup>2</sup> CuAg 0.1 ja kannattimella 70 mm<sup>2</sup> Cu.

Laskettuun malliin sisällytettiin syöttömuuntajat nykyisen käytössä olevan muuntajatyypin parametreja käyttäen. Muuntajat syöttävät tasasuuntaajia siten, että ratajohdon nimellisjännite on 750 V.

## 1.2 Sähkösyöttö

### 1.2.1 Simuloinnit

Raitiovaunujen tehontarve simuloitiin vaunun ajodynamiikan mallilla.

Simuloinneissa tarkasteltiin tilannetta, jossa kaksi vaunua kiihdyttää samanaikaisesti samassa kohdassa reittiä. Tämä vastaa liikennettä keskusta-alueella Vuoreksen linjan valmistuttua, jolloin raitiovaunuja kulkisi Linnainmaalta Pirkkalan lisäksi Vuorekseen.

### 1.2.2 Sähkösyöttöasemien sijoittelu

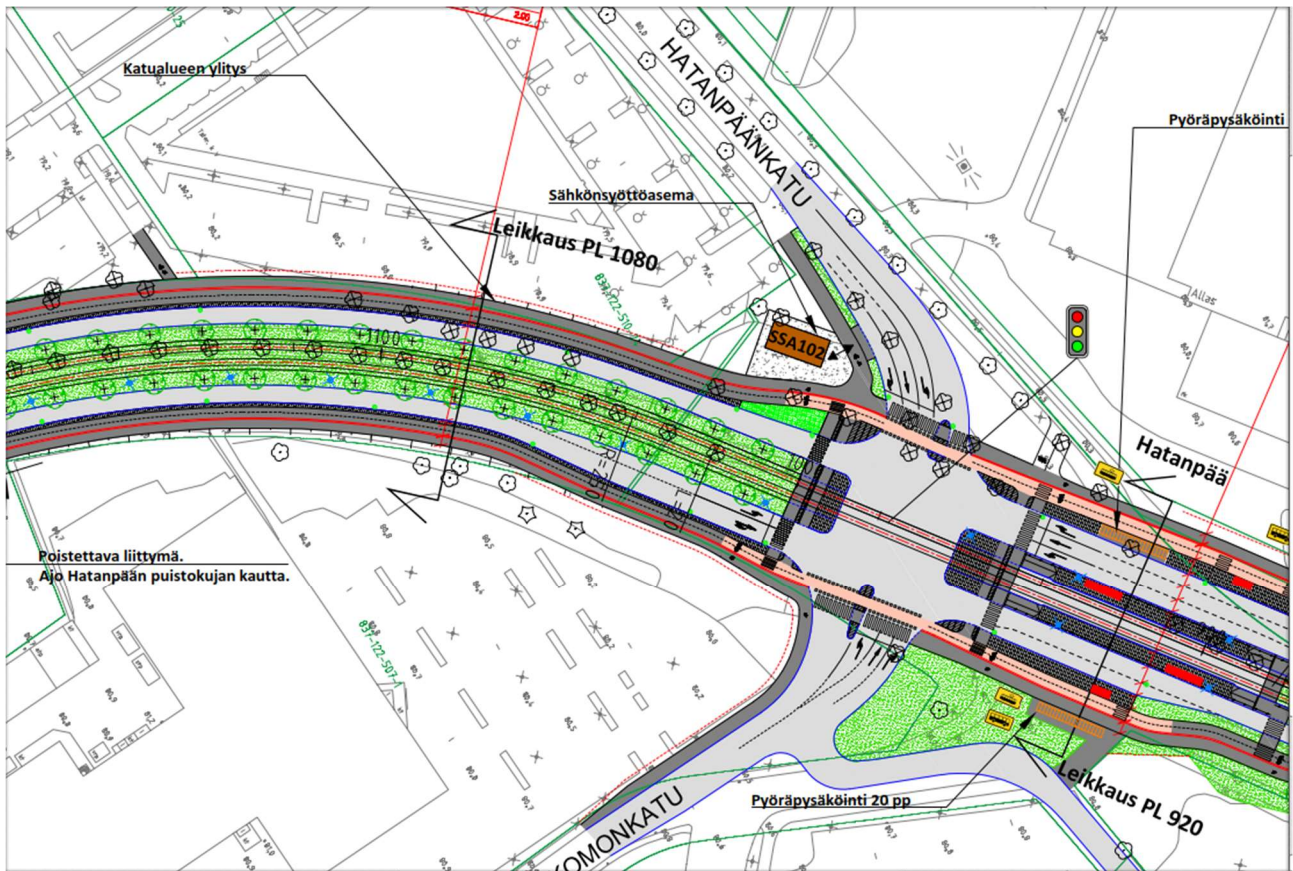
Pirkkalan haaralle on toteutettava simulointitulosten perusteella 5 uutta sähkösyöttöasemaa, joille määriteltiin katu- ja kaavoitussuunnittelun kanssa taulukon 1 mukaiset sijainnit.

Taulukko 1: Syöttöasemien sijainnit Pirkkalan haaralla.

Tunnus	Kohde	Sijainti	Huomautukset
SSA102	Viinikanlahti	Hatanpään valtatie ja Hatanpäänkadun liittymä	Syöttöaseman jaksoerotin sijoitetaan Lahdenperänpään pohjoispuoliselle alueelle.
SSA103	Rantaperkiö	Nuolialantien ja Tuomikujan liittymä Rantaperkiön kentän kulmassa	Laajennettavissa syöttämään tulevaa Vuoreksen haaraa.
SSA104	Partola	Nuolialantien ja Pereentien liittymä	
SSA105	Simonpolku	Simonpolun alikulun luona	
SSA106	Haikka	Kurikantien liittymä, nykyisen huoltoaseman tontti.	Laajennettavissa lentoaseman jatkoyhteyttä varten.

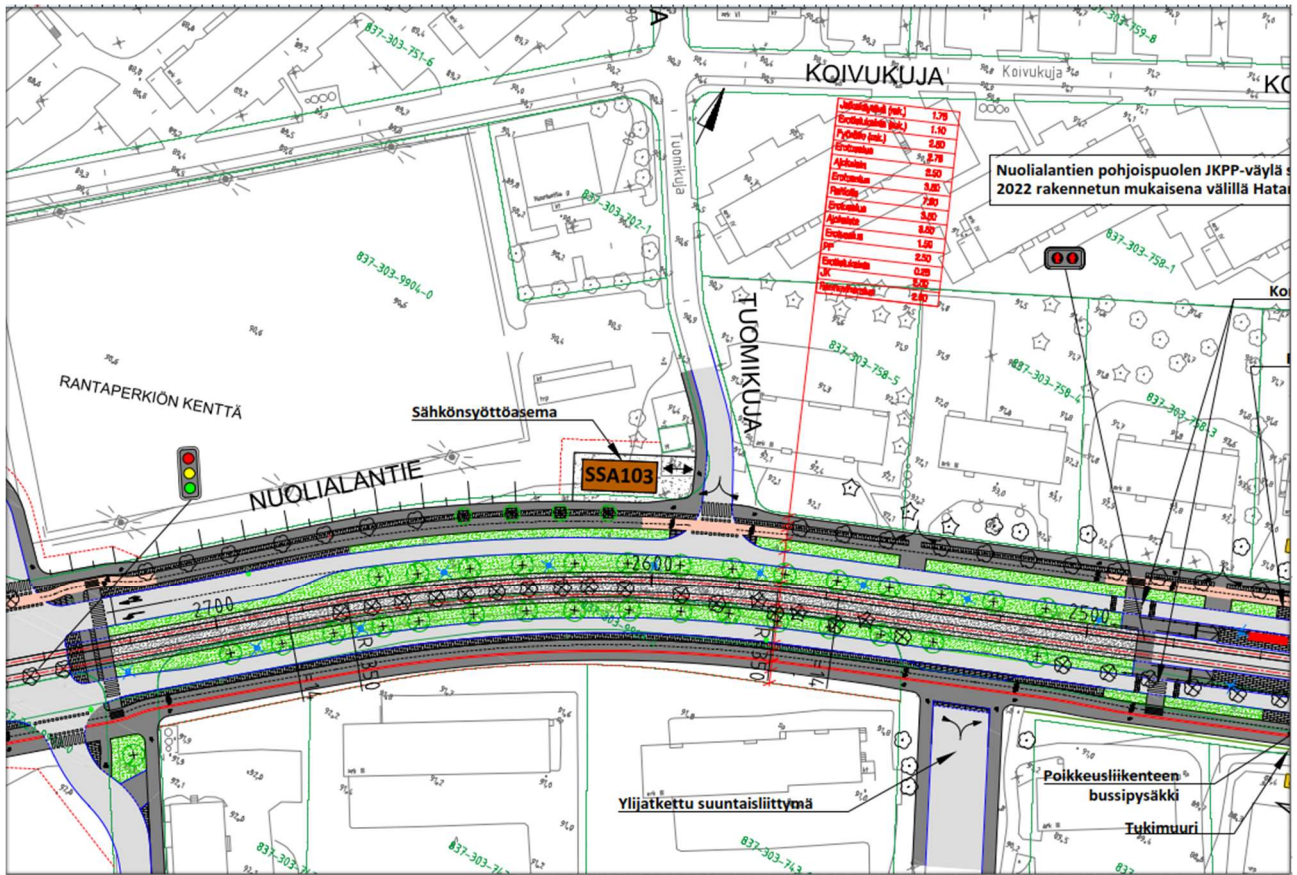
Syöttöaseman SSA106 sijainti määriteltiin katu- ja kaavoitussuunnittelun kanssa Kurikantien liittymään huoltoaseman tontin luo, koska alue sen itäpuolella on pientaloaluetta. Jos rataa jatketaan tulevaisuudessa Pirkkalan keskustasta lentoaseman suuntaan, seuraavan sähkönsyöttöaseman tilavarauksen tulisi olla Lentokentäntien varressa terveyskeskuksen ja jäähallin välisellä alueella.

Kuvissa 1-5 on esitetty sähkönsyöttöasemien sijainnit katusuunnitelmissa 1.20/21977/1-11 (Tampere) ja 2171.12-20 (Pirkkala).



Kuva 1: Syöttöaseman SSA102 sijainti Hatanpäänkadun ja Hatanpään valtatie liittymässä.

Pirkkala-Linnainmaa raitiotien hankesuunnitelma  
 Raitioitien teknisten järjestelmien raportti

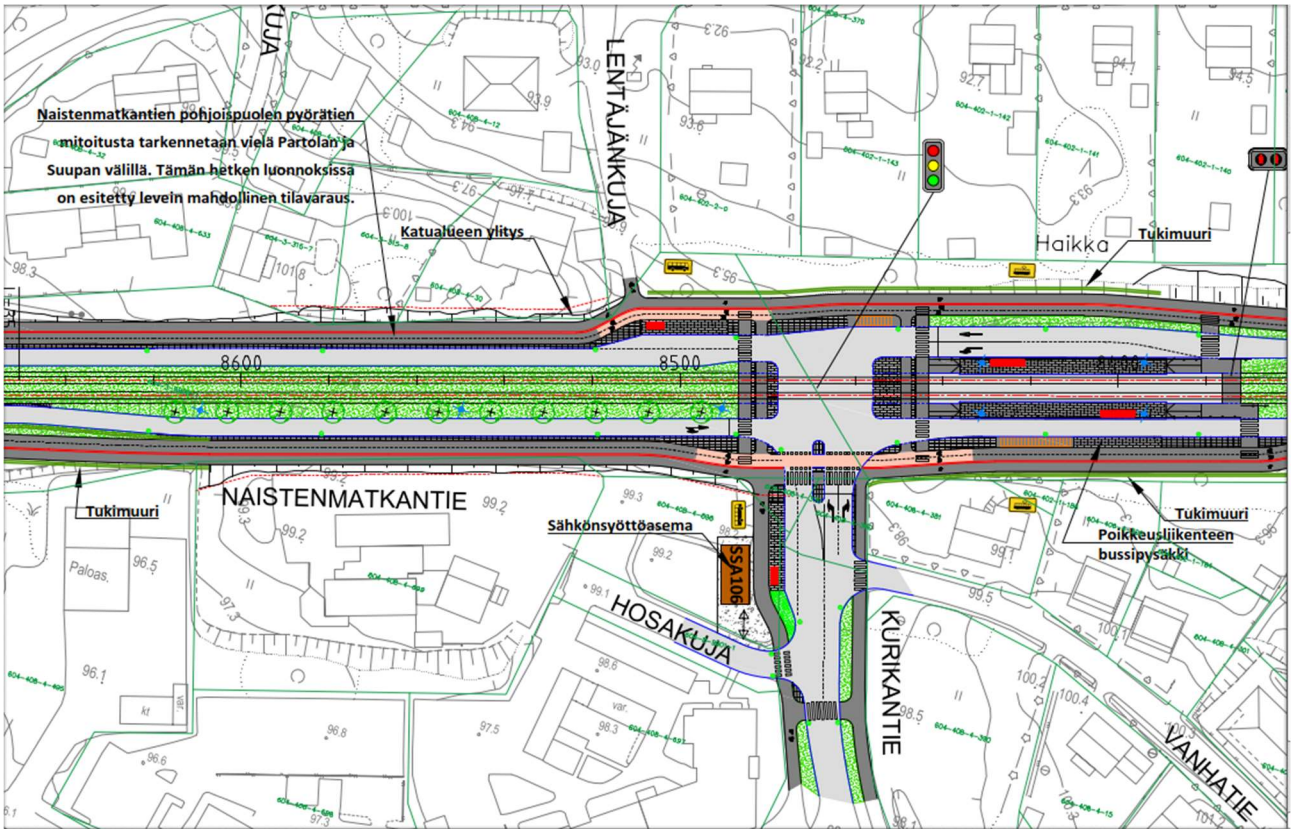


Kuva 2: Syöttöaseman SSA103 sijainti Nuolialantien ja Tuomikujan liittymässä.





Pirkkala-Linnainmaa raitiotien hankesuunnitelma  
Raitioitien teknisten järjestelmien raportti



Kuva 5: Syöttöaseman SSA106 sijainti Naistenmatkantien ja Kurikantien liittymässä.



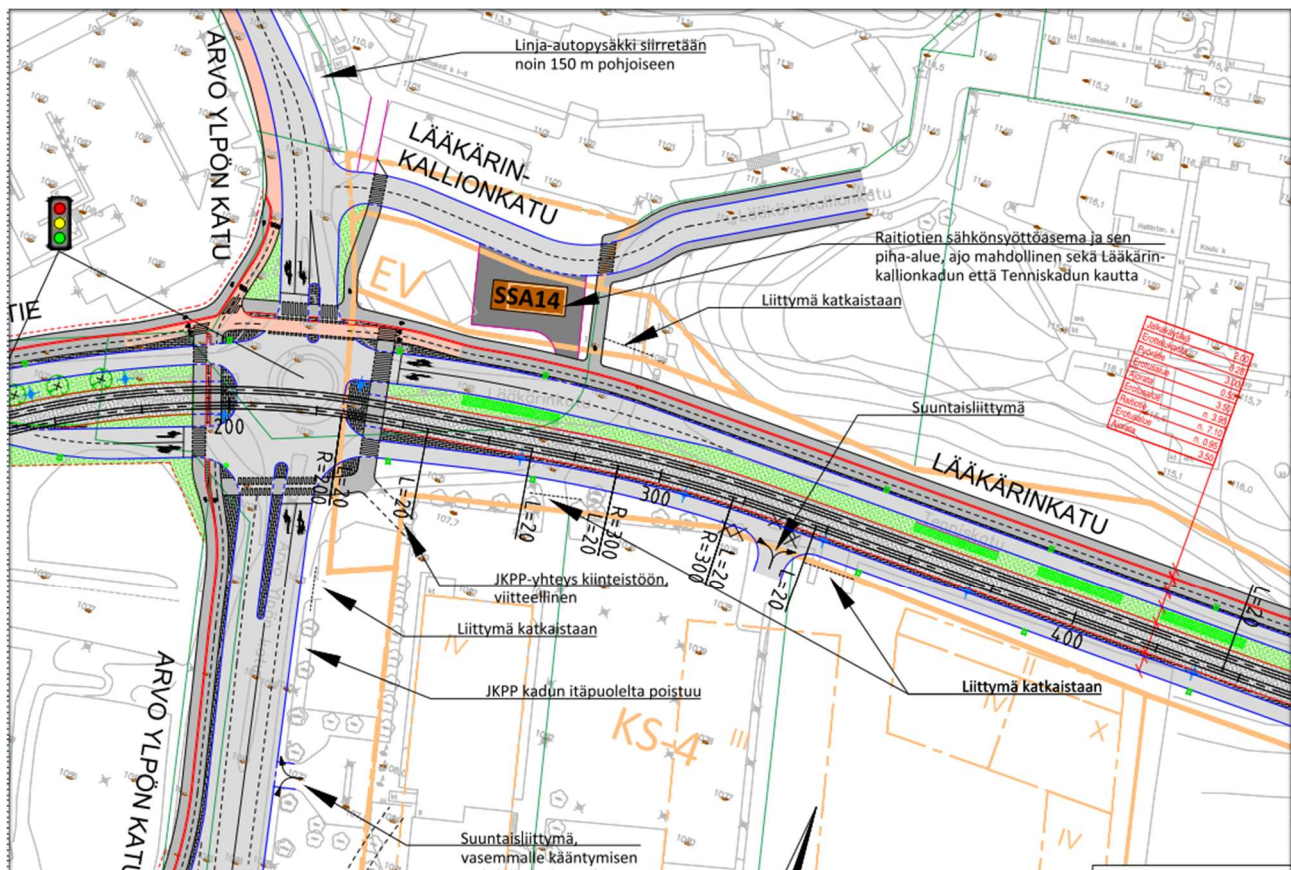
Linnainmaan suunnassa syöttöasemien sijoitukset ovat seuraavat:

Taulukko 2: Syöttöasemien sijainnit Linnainmaan haaralla.

Tunnus	Kohde	Sijainti	Huomautukset
SSA14	Arvo Ylpön katu	Arvo Ylpön kadun ja Lääkärikadun liittymä	
SSA15	Alasjärvi	Nykyinen huoltoaseman tontti	Luontoarvot ja kauko- lämmön putkireiitit tuke- vat sijoitusta huoltoase- man tontille.
SSA16	Linnainmaa	Heikkilänkatu, nykyinen huoltoaseman tontti	Syöttää myös mahdolli- sen tulevan varikon.

Syöttöasemalle SSA16 ei ole tilaa valtatie 9, Heikkilänkadun ja Aitolahdentien välissä, jossa sen mahdollinen sijaintialue sijoittuisi ahtaalle ja kaupunkikuvallisesti merkittävälle raitiotieterminaali- ja liittymäalueelle. Syöttöaseman sijainti on esitetty varikolle, jossa se on samassa tilassa varikkoa syöttävän muuntajan kanssa.

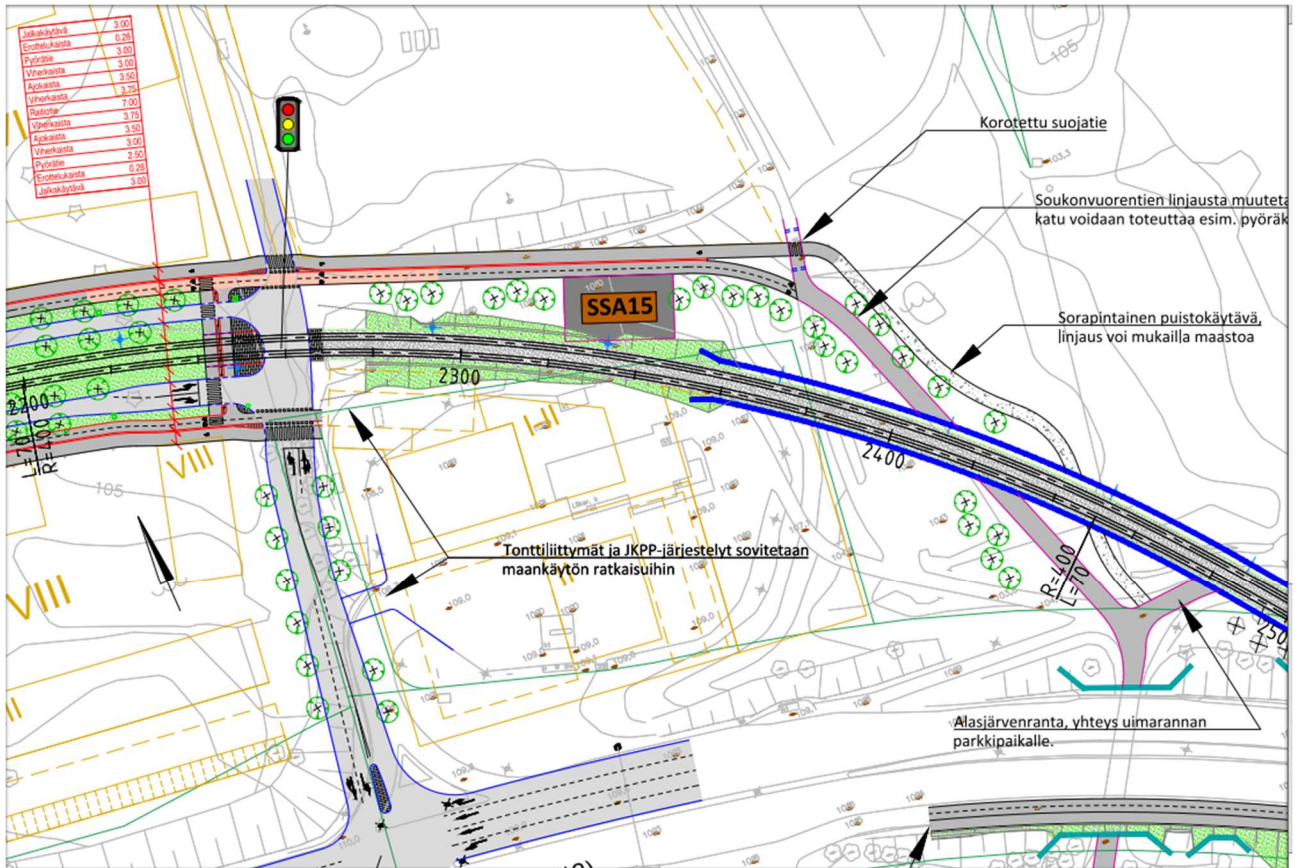
Taulukon 2 syöttöasemien sijainnit katusuunnitelmissa 1.20/21978/1-9 on esitetty kuvissa 6-8.



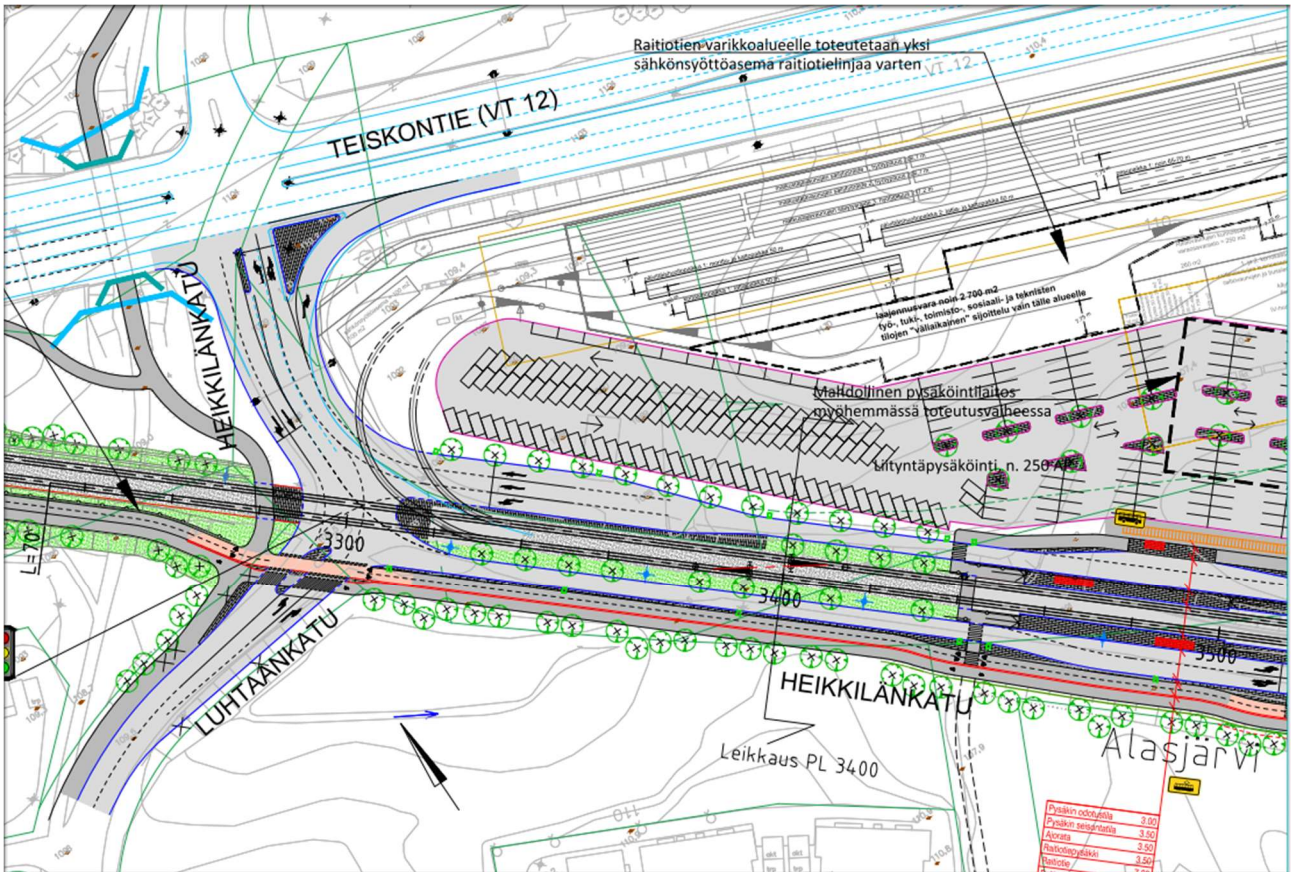
Kuva 6: Syöttöaseman SSA14 sijainti Arvo Ylpön kadun ja Lääkärikadun liittymässä.



Pirkkala-Linnainmaa raitiotien hankesuunnitelma  
Raitioitien teknisten järjestelmien raportti



Kuva 7: Syöttöaseman SSA15 sijainti Alasjärvellä nykyisen huoltoaseman tontin kohdalla.



Kuva 8: Syöttöaseman SSA16 sijainti Heikkilänkadun ja Teiskontien liittymässä varikkoalueella ja nykyisen huoltoaseman tontilla.

### 1.2.3 Herkkyystarkastelut

Sähkönsyöttö suunniteltiin riittävälle tasolle minkä tahansa yhden syöttöaseman ollessa pois käytöstä. Sähkönsyötön riittävyyttä suunnittelualueella simuloitiin myös tulevaisuuden tilanteessa, jossa jatkolinjat Vuorekseen ja Lamminrahkaan on rakennettu. Herkkyystarkasteluissa tarkasteltiin tarkemmin asemia SSA101 (Linja-autoasema), SSA13 (Tekunkatu) ja SSA16 (Heikkilänkatu), jotka ovat Pirkkalan ja Linnainmaan haarojen päätepisteissä sekä asemaa SSA103 (Rantaperkiö), joka syöttää tulevaisuudessa myös Vuoreksen haaraa. Laskennalla todettiin, että nykyisen ja uuden raitiotieverkon sähkönsyötöt toimivat hyvin yhteen ja kattavat riittävän tehontarpeen.

Jatkettaessa rataa Linnainmaalta Lamminrahkan suuntaan on rakennettava kaksi uutta syöttöasemaa, joiden alustaviksi sijainneiksi simuloitiin herkkyystarkasteluissa taulukon 3 mukaiset paikat.

Taulukko 3: Syöttöasemien alustavat sijainnit Linnainmaan alueen herkkyystarkastelua varten välillä Linnainmaa – Lamminrahka.

Tunnus	Kohde	Sijainti	Huomautukset
SSA17	Orimuskatu	Orimuskadun ylityksen luona kadun itäpuolella ja vt 12 liittymän pohjoispuolella	
SSA18	Rissonkatu	Risso, Rissonkatu	

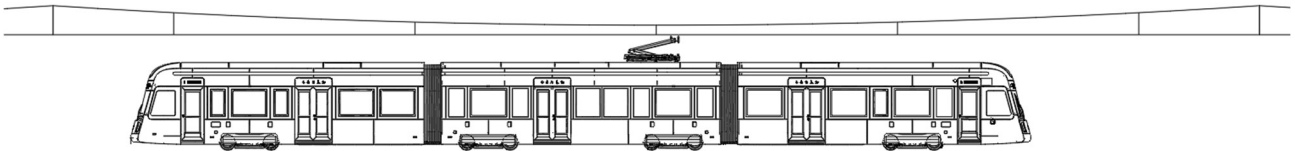


## 1.3 Ratajohtosijoitus

Kaikki raiteet sähköistetään. Sähkö syötetään raitiovaunulle ajolangasta, jonka rinnalla kulkee sähköinen tukijohdin. Ratajohtorakenteet sovitetaan yhteen kadun ja ympäristön kanssa myös kaupunkikuvallisin perustein.

### 1.3.1 Ratajohtorakenteet

Linjalla pyritään käyttämään kannattimellista ratajohtorakennetta, jolloin sähköinen tukijohdin nostetaan ajolangan yläpuolelle ja ne yhdistetään toisiinsa ripustimilla 5-15 metrin välein. Kannattimellinen ajolanka voidaan rakentaa seuraamaan radan pystygeometriaa myös pylväiden välillä, jolloin se kuluttaa vaunun virroitinta vähemmän ja mahdollistaa suuremmat ajonopeudet sekä pylväsvälit. Ripustimilla ajolankaan sidottu kannatinlanka rajaa sähköratavaurion vaikutusaluetta tilanteessa, jossa ajolanka katkeaa ulkoisen voiman vaikutuksesta.



Kuva 9: Raitiovaunun ja ratajohtorakenteen sivukuva. Ylempi lanka on kannatinlanka, joka kannattelee ripustimilla ajolankaa.

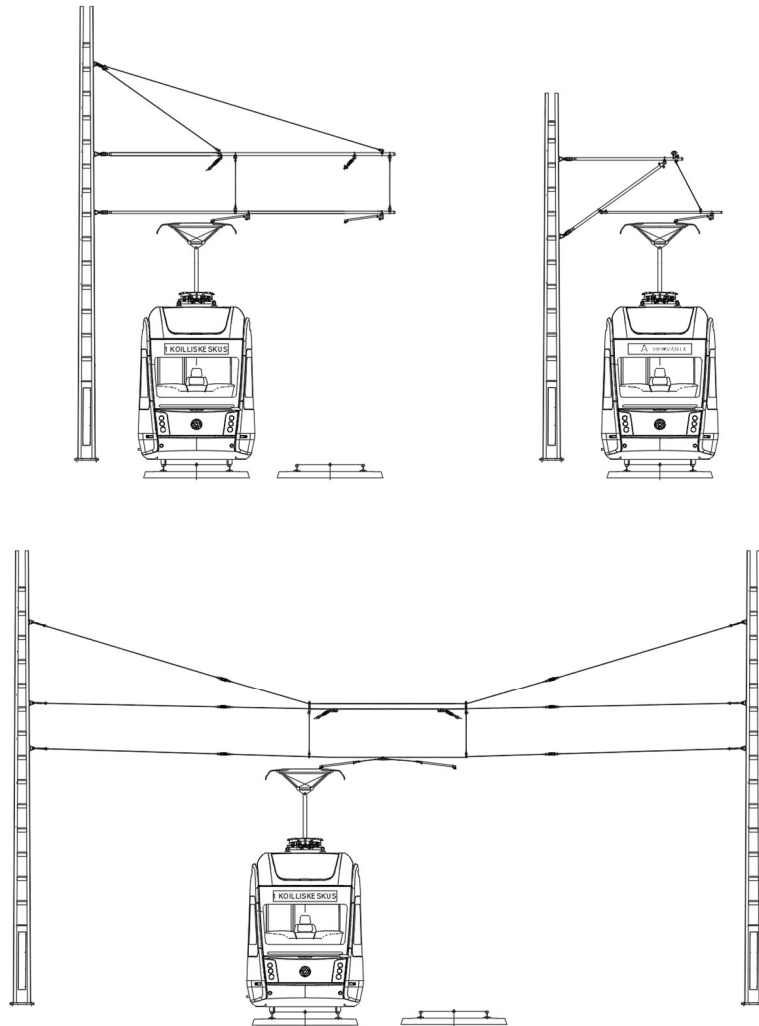
Hankesuunnitelmassa on käytetty kahden raiteen kääntöortta, jolloin pylväiden määrä saadaan pidettyä mahdollisimman alhaisena.



Kuva 10: Raitiovaunun ja ratajohtorakenteen sivukuva. Ylempi lanka on kannatinlanka, joka kannattelee ripustimilla ajolankaa.



Pysäkeillä ja ahtaissa paikoissa, joissa pylväitä ei voida sijoittaa radan välittömään läheisyyteen voidaan käyttää köysiportaalirakennetta tai yhden raiteen kääntöorsia.



*Kuva 11: Ratajohdon kannatusrakenteet ylhäältä vasemmalta lukien 2. raiteen kääntöorsi, 1. raiteen kääntöorsi ja köysiportaali.*

Ajolangan lämpötilavaihtelun aiheuttamat pituuden muutokset kompensoidaan 0,5-0,7 kilometrin välein asennettavilla kiristyslaitteilla. Samalla mahdollisten ulkopuolisten tekijöiden aiheuttamat ajolankavauriot rajautuvat kiristyslaitteen vaikutusalueelle.

Ratajohto jaetaan sähköisiin ryhmiin siten, että osa raitiotielinjasta voidaan kytkeä jännitteettömäksi katkaisematta liikennettä koko raitiotieverkolla. Esimerkiksi poikkeusliikennetilanteessa ratajohtoryhmien sähkönsyöttöä voidaan kauko-ohjata liikenteenohjauskeskuksesta tai paikallisesti käsikäytöllä. Ratajohto ryhmitellään syöttöasemien ja poikkeustilanteiden edellyttämien liikennöintisuuntien vaatimusten mukaisesti. Rakennussuunnitelmissa esitetään erottimien tarkempi sijoittelu.

### 1.3.2 Pylvässäjoittelu

Ratajohtopylväitä voidaan sijoittaa 20-60 metrin välein. Pylväsväliin vaikuttavat käytetty ratajohtorakenne, radan geometria, käytettävissä oleva tila sekä varautuminen poikkeus- ja vaurioilanteisiin.

Ratasähkö-, valaisin- ja liikennevalopylväiden yhteiskäyttö mahdollistetaan siellä missä se on taloudellisesti järkevää. Risteysalueiden pylvässäjoittelussa huomioidaan myös näkymä sekä kiilautumisvaara.

Ratajohtopylväiden sijoittelu on esitetty katusuunnitelmakartoilla.

## 1.4 Ohjaus- ja turvalaitteet

Raitiotien ohjaus- ja turvalaitteiden tarkoitus on varmistaa raitiovaunun sujuva ja turvallinen liikennöinti kaikissa tilanteissa. Raitiovaunua liikennöidään kuljettajan näkemän mukaisesti.

Raitiotien vaihteiden asento ilmaistaan kuljettajalle vaihdeopastimilla. Sähköisten vaihteiden asento voidaan kääntää vaihteenohjauskeskuksesta, raitiovaunusta tai paikallisesti painikkeilla. Risteysalueille tulevien vaihteiden tilatieto välitetään myös risteuksen liikennevalo-ohjauskeskukseen.

## 1.5 Tietoliikenneverkko

Raitiotien yhteydessä rakennetaan raitiotien omien järjestelmien käyttöön tietoliikennekuitukaapelointi radan pituussuunnassa koko rakennettavalle rataosuudelle. Tietoliikenneverkossa kulkee mm. raitioitien kameravalvonnan, sähkönsyötön ja raitioitien turvalaitteiden signaaleja.

## 1.6 Vahvavirta

Raitiotien vahvavirtajärjestelmään liitetään raitiotiehen suoraan liittyvät järjestelmät kuten vaihteiden lämmitys ja raitiotietä varten toteutettava valaistus. Kaikki vaihteet varustetaan lämmitysjärjestelmällä.

## 1.7 Maadoitukset

Kiskot toimivat raitiotien sähkönsyötön paluuvirtatienä ja sähköturvallisuuden sekä hajavirtojen vuoksi linjalla kiskot eristetään ympäröivästä maadoitusverkosta ja vesimaasta. Raitiotien läheisyydessä olevat suuret sähköä johtavat kohteet, kuten sillat ja tukimuurit sekä pysäkkirakenteet maadoitetaan raitiotien paluuvirtatiehen maadoitusohjeen mukaisesti.

## 1.8 Valaistus ja tapahtumasähköt

Raitiotien vaihde- ja pysäkkialueet sekä ylityspaikat valaistetaan raitiotien suunnitteluohjeen valaistusvaatimusten mukaisesti. Valaistusvaatimus voi täytyä myös katuvalaistuksen myötä ja kohteiden valaistus täytyy tarkastella tapauskohtaisesti. Tarvittaessa valaistuksen rakentamisen yhteydessä voidaan rakentaa liittymispisteitä myös tapahtumasähkölle.

## 1.9 Liikennevalot

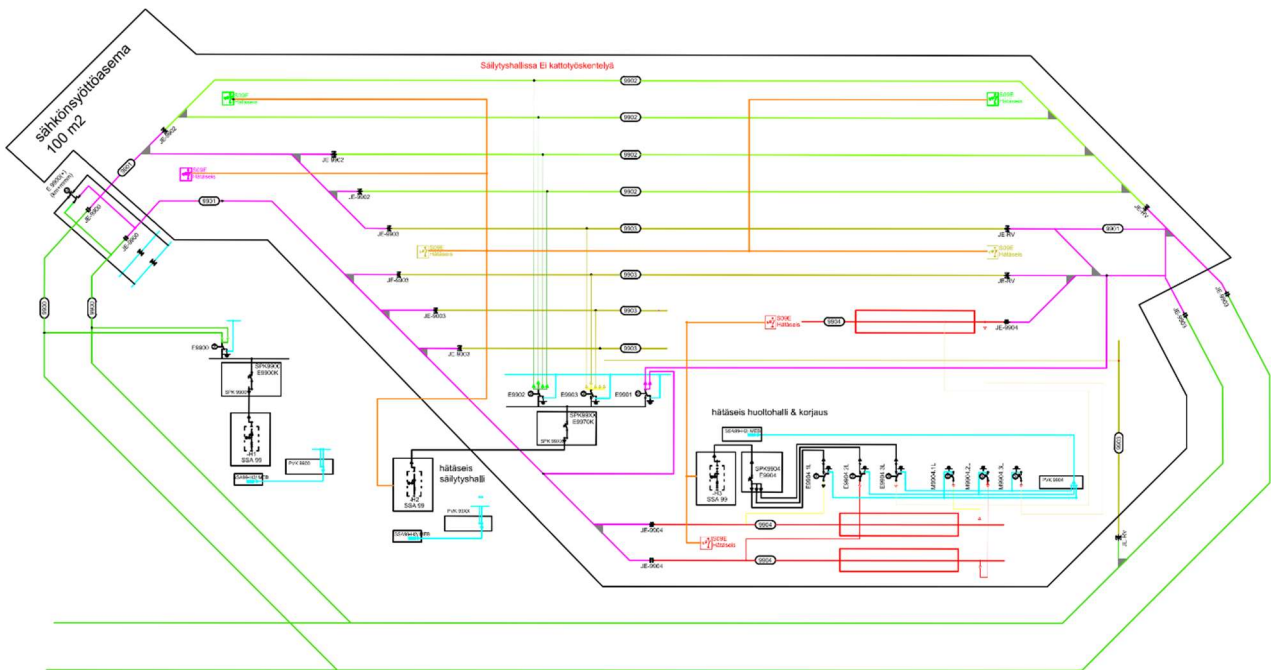
Liikennevalojärjestelmä pyritään toteuttamaan nykyisten järjestelmien laajennoksena ja raitiovaunuille järjestetään etuus- ja kauko-ohjausjärjestelmä.

## 1.10 Varikko

Varikon kaikki raiteet sähköistetään. Varikon sähköistyksessä käytetään kääntöorsia, köysiportaita sekä kattotyöskentelytasoilla kiinteää ajojohdinkiskoa.

Varikon sähkönsyöttö ryhmitellään tilojen käyttötarkoituksen mukaan. Huoltoraiteiden jännite voidaan kytkeä huoltotöiden ajaksi pois, ilman että muun varikon toiminta häiriintyy. Rakennuksen ovilla sisä- ja ulkopuolen ratajohtorakenteet erotetaan sähköisesti siten, että jännitettä ei voida tuoda virroitimella alueelle, jossa ihminen voi työskennellä ratajohton läheisyydessä.

Linjan ja varikon rajalla ratajohto ja kiskot eristetään ja varikko voi toimia itsenäisesti, vaikka linjan jännite olisi kytketty pois.



Kuva 12: Varikon sähköinen ryhmittely.



## **1.12 Kustannusarvio**

Raitiotien teknisten järjestelmien kustannukset sisältyvät hankesuunnitelman kustannusarvioliitteen laskelmiin.

## **2 LIITTEET**

Liite 1: Ratasähkönsyötön simulointiraportti



**Tampereen  
Ratikka**

**Raitiotien hankesuunnitelma: Pirkkala, Suuppa –  
Tampere, Koilliskeskus Liite 1**

**Ratasähkönsyötön simulointiraportti**

**Versio 1.0  
30.11.2022**



## VERSIOHISTORIA

<b>Versio</b>	<b>Päiväys</b>	<b>Muokkaaja</b>	<b>Muutoksen kuvaus</b>
<b>1.0</b>	30.11.2022	Markus Nuuttila, GRK Suomi Oy	Alkuperäinen versio

## Sisällys

1	Taustaa .....	4
2	Simuloinnin lähtötiedot ja simulointimalli.....	5
2.1	Yleistä lähtötiedoista .....	5
2.2	Liikkuva kalusto ja liikenne .....	5
2.3	Syöttöjärjestelmä .....	5
3	Simulointitulokset, Pirkkalan haara.....	7
3.1	Viisi uutta sähkönsyöttöasemaa.....	7
3.2	Neljä uutta sähkönsyöttöasemaa .....	12
3.3	Herkkyystarkastelut .....	15
3.4	Syöttöasemien sijoitus Pirkkalan haaralla ja johtopäätökset.....	16
4	Simulointitulokset, Linnainmaan haara .....	18
4.1	Kolme uutta syöttöasemaa.....	18
4.2	Herkkyystarkastelut .....	21
4.3	Syöttöasemien sijoitus Linnainmaan haaralla ja johtopäätökset.....	22
5	Yhteenveto.....	23

# 1 TAUSTAA

Tässä raportissa on käsitelty Tampereen raitiotien osuuksien Pirkkala-Tampereen keskusta ja Tampereen keskusta - Linnainmaa hankesuunnitelmavaiheeseen sisältyvät ratasähkönsyötön simuloinnit ja niiden tulokset. Simuloinneilla selvitettiin uusien sähkönsyöttöasemien määrä ja sijainnit, kun nykyistä raitiotieverkkoa laajennetaan osuuksilla Sorin aukio – Pirkkala ja Kaupin kampus – Linnainmaa.

Tampereen nykyisessä raitiotieverkossa on kaksi linjaa seuraavasti:

- Hervanta-Pyynikintori (-Lentävänniemi)
- Kaupin kampus – Sorin aukio.

Linjojen vuorovälit ovat 7,5 min. Raitiotien nykyisenä liikkuvana kalustona on Škoda Artic X34 -vaunu, jonka pituus on 37,3 m ja paino täytenä 76,5 tonnia.

Raitiotieverkon pituus ja pystygeometria vaikuttavat ratajohtojärjestelmän ja liikkuvan kaluston tehontarpeeseen. Merkittävä raidegeometrian päivitys hankesuunnitelmavaiheessa on tehty luontoarvot huomioon ottaen osuudella Kaupin kampus – Linnainmaa valtatie 12 ylityskohdassa Alasjärvellä.

## 2 SIMULOINNIN LÄHTÖTIEDOT JA SIMULOINTIMALLI

### 2.1 Yleistä lähtötiedoista

Sähkönsyötön simulointien lähtötietoina olivat

- ratajohtoverkon kytkentätilanteet ja syöttöjärjestelmän toimintaperiaatteet,
- syöttävän keskijänniteverkon ja raitiotien liikkuvan kaluston tekniset tiedot,
- raitiotieliikenteen vuorovälit ja liikennöinti,
- radan pystygeometria ja ajonopeudet sekä
- linjoille suunnitellut pysäkit ja raiteenvaihtopaikat.

Näiden tietojen perusteella toteutettiin simulointimallit kummallekin tarkasteltavalle raitiotieverkon haaralle.

### 2.2 Liikkuva kalusto ja liikenne

Mitoittavana kalustona simuloinneissa käytettiin Tampereen raitiotien tulevaa Škoda Artic X45-vaunua, jonka pituus on 47,3 m ja paino täytenä 96,55 tonnia. Jokaisen linjan vuorovälinä simuloinneissa käytettiin 5 minuuttia kumpaankin suuntaan.

Kun raitiotien haarat Pirkkalaan, Linnainmaalle ja edelleen Lamminrahkaan ja edelleen Vuorekseen on toteutettu, raitiotien linjat ovat seuraavat:

- Pirkkala – Linnainmaa (-Lamminrahka)
- Hervanta – Lentävänniemi
- Vuores – Linnainmaa

Sähkönsyötön simuloinnin lähtötietona käytettiin myös vaunun ajodynamiikan mallia, jossa on otettu huomioon radan pystygeometria ja vaunun pysähdykset ja liikkeelle lähdöt pysäkeillä.

### 2.3 Syöttöjärjestelmä

Simulointien lähtökohtana on varmistaa järjestelmän toimivuus ja riittävä jännitetaso myös tilanteissa, joissa yksi sähkönsyöttöasema kerrallaan on pois käytöstä vian tai huollon vuoksi.

Raitiotietä syöttävä keskijänniteverkko mallinnettiin Tampereen Sähköverkko Oy:n (Tampereen kaupungin alueella) ja Elenia Verkko Oyj:n (Pirkkalan kunnan alueella) laskemien impedanssi- eli kokonaisvastusarvojen avulla.

Muuntajan ja ratajohtojärjestelmän lähtöarvot on arvioitu simulointimalleihin nykyiselle raitiotieverkolle toteutettujen syöttöasemien komponenttien arvoihin perustuen. Syöttöasemat syöttävät tyhjäkäynnillä olevaan verkkoon noin 825 V DC jännitteen, jolloin raitotiejärjestelmän nimellisjännitteeksi kuormitettuna saadaan 750 V DC. Ratajohdon jännitteen standardi on EN 50163.

Tampereen nykyisen raitiotieverkon ajojohdinjärjestelmässä ajolankana on 120 mm<sup>2</sup> CuAg 0.1 ja kannattimena 70 mm<sup>2</sup> Cu. Tämä ajojohdin mallinnettiin myös simulointimalleihin.

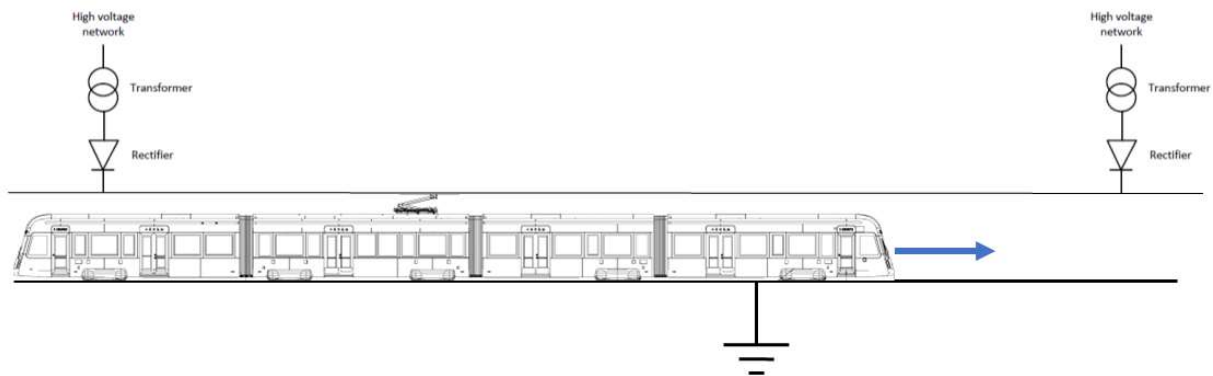


Uusien syöttöasemien numerointi alkaa 102:sta Pirkkalan haaralla ja 14:sta Linnainmaan haaralla jatkona nykyisten syöttöasemien numeroinnille.

Syöttöalueet ovat kaksipuoleisia kuvan 1 mukaisesti, jolloin vierekkäiset syöttöasemat syöttävät samaa syöttöaluetta sen eri päistä. Jos jokin syöttöasema on pois käytöstä, kumpikin sen viereisestä syöttöasemista syöttää pois käytöstä olevan syöttöaseman jaksoerotin yli. Poikkeuksina ovat haarojen päissä olevat yksipuoleiset syöttöalueet.

Raitiotieverkon risteyskohdassa Liisanpuistossa oleva nykyisen verkon sähkönsyöttöasema SSA07 syöttää kolmea syöttöaluetta. Myös Pirkkalan haaralle tuleva SSA103 syöttää Vuoreksen haaran toteuttamisen jälkeen kolmea syöttöaluetta Tampereen keskustan, Pirkkalan ja Vuoreksen suuntiin. Muut syöttöasemat syöttävät kahta syöttöaluetta.

Nykyisen verkon syöttöasemien komponenttien nimellisvirtojen perusteella oletettiin, että yksi syöttöasema pystyy syöttämään 2500 A virtaa ylikuormittumatta.



*Kuva 1: Syöttöjärjestelmän periaate.*

Ratajohdolle ja syöttöjärjestelmälle toteutettu simulointimalli perustuu yleisesti tunnettujen virta- ja jännitelakien ratkaisemiseen. Malli mahdollistaa syöttöasemien ja kuormitusten vapaan sijoittelun raitiotieverkon tutkittavalle osalle ja niiden parametrien muokkaamisen.

## 3 SIMULOINTITULOKSET, PIRKKALAN HAARA

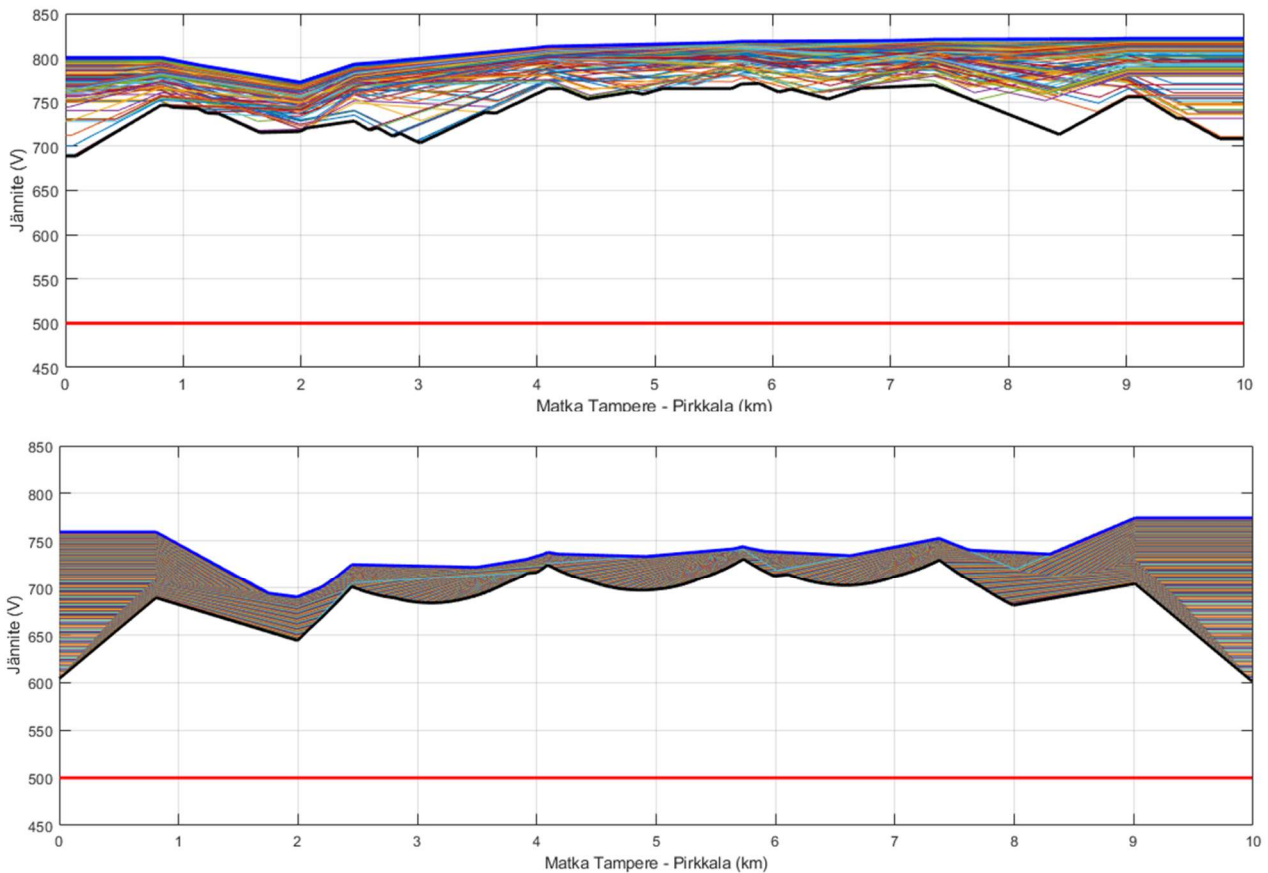
### 3.1 Viisi uutta sähkösyöttöasemaa

Syöttöasemat sijoitettiin simulointien aluksi tasavälein linjalle alkaen nykyiseltä SSA101:ltä, joka sijaitsee Tampereen linja-autoaseman alueella. Syöttöasemien määrä määritettiin simuloimalla ratajohdon jännite linjan pituuden perusteella mahdollisille määrävaihtoehdoille. Simulointi suoritettiin sekä normaalissa kytkentätilanteessa että eri poikkeavissa kytkentätilanteissa jonkin syöttöaseman ollessa pois käytöstä. Syöttöasemien kuormitusvirroista tutkittiin, että niiden virta ei ylitä 2500 ampeeria, jolloin muuntajat eivät ylikuormitu.

Kun syöttöasemien määrä saatiin ratkaistua, syöttöasemien sijoitus optimoitiin sähköteknisestä näkökulmasta. Lopuksi sijoitus tarkennettiin katu- ja kaavoitussuunnittelun kanssa, ja lopullisten sijoitusten toimivuus varmistettiin simuloimalla. Tämä sijoitus on esitetty taulukossa kappaleessa 3.4.

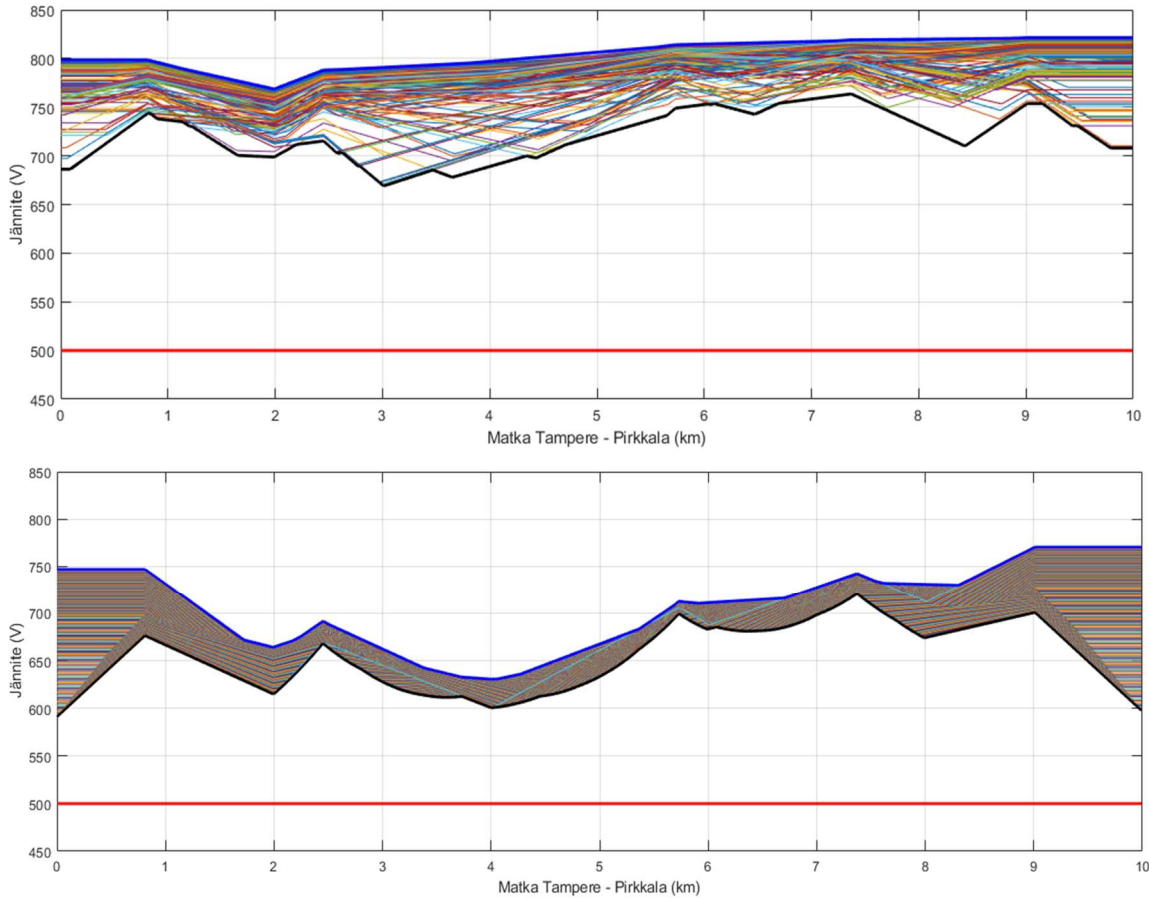
Tulokset on esitetty kuvissa 2-10. Kuvaajien nollapiste on Koskipuistossa Hämeenkadun ja Hatanpään valtatie liittymässä. Ylempi kuvaajista esittää ratajohdon jännitettä aikataulun mukaisella liikenteellä. Alemmassa kuvaajassa on kuvattu tilanne, jossa kaksi X47-vaunua kiihdyttää yhtä aikaa samassa kohdassa reittiä. Kuvaajissa olevat punaiset viivat osoittavat standardin EN 50163 mukaisen sallitun jännitteen 500 V alarajan.

Kuvassa 2 ratajohdon jännite on simuloitu käyttäen viittä uutta sähkösyöttöasemaa.



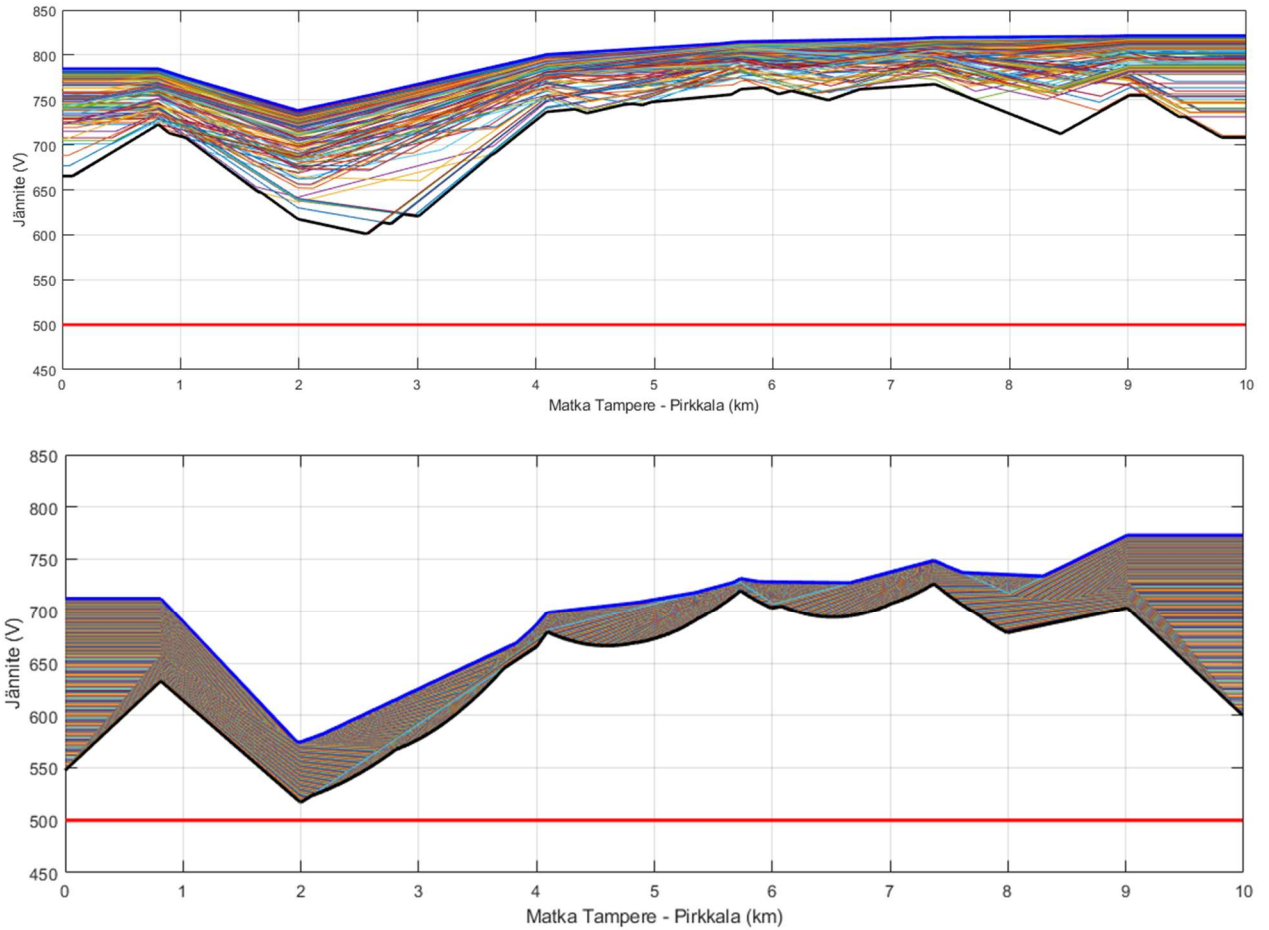
Kuva 2: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, viisi uutta sähkösyöttöasemaa, normaali kytkentätilanne. Aikataulun mukainen liikenne ja kahden X47-vaunun yhtäaikaiset kiihdytykset.

Tampereelta lukien toisen uusista sähkönsyöttöasemista eli SSA103:n tulee normaalissa kytkentätilanteessa syöttää myös Vuoreksen haaraa sen toteuttamisen jälkeen. Jos tämä syöttöasema on pois käytöstä, ratajohdon jännite on kuvan 3 mukainen.



Kuva 3: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, viisi uutta sähkönsyöttöasemaa, joista SSA103 on pois käytöstä.

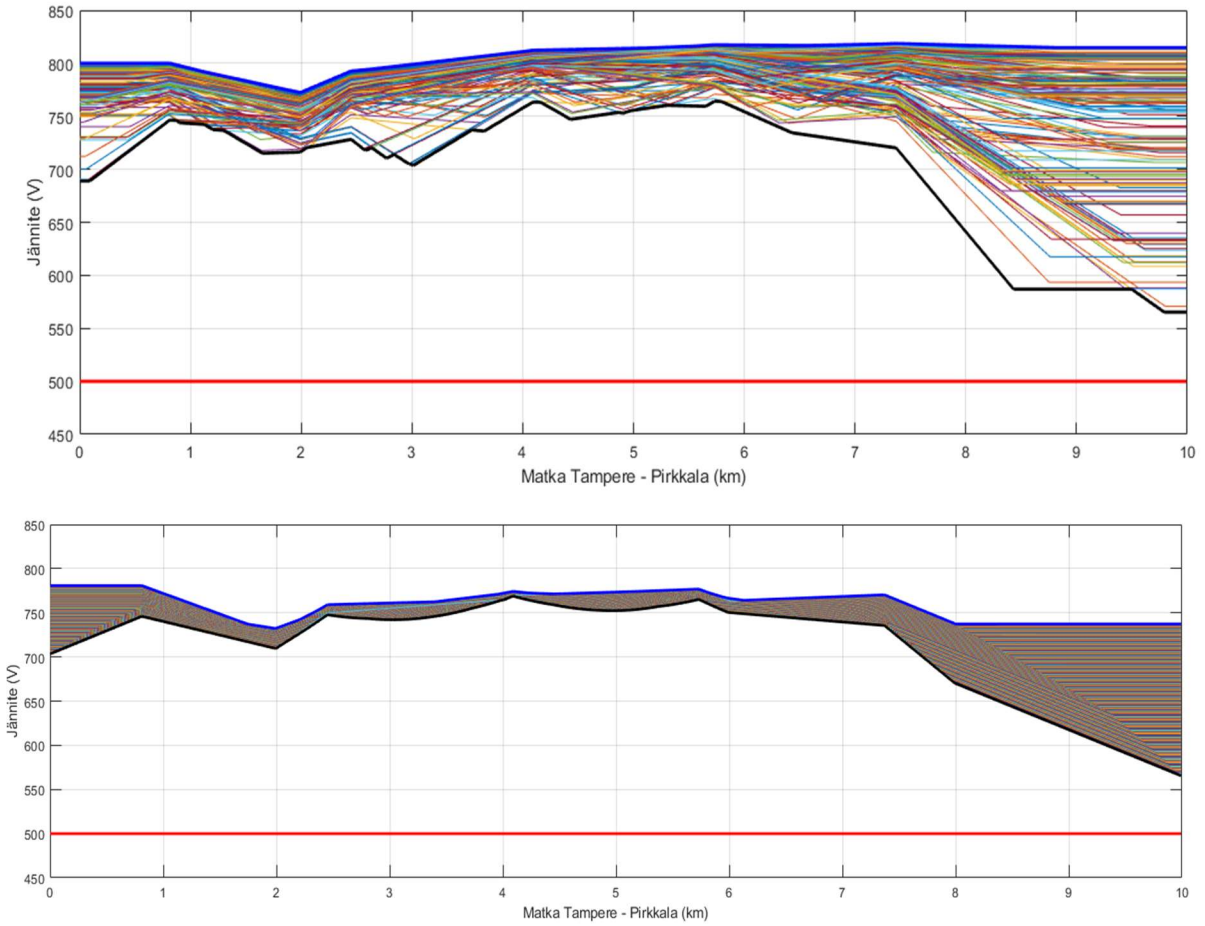
Kuvassa 4 on esitetty simuloitu ratajohdon jännite, kun Tampereelta lukien ensimmäinen sähkönsyöttöasema SSA102 on pois käytöstä.



Kuva 4: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, viisi uutta sähkönsyöttöasemaa, joista SSA102 on pois käytöstä.

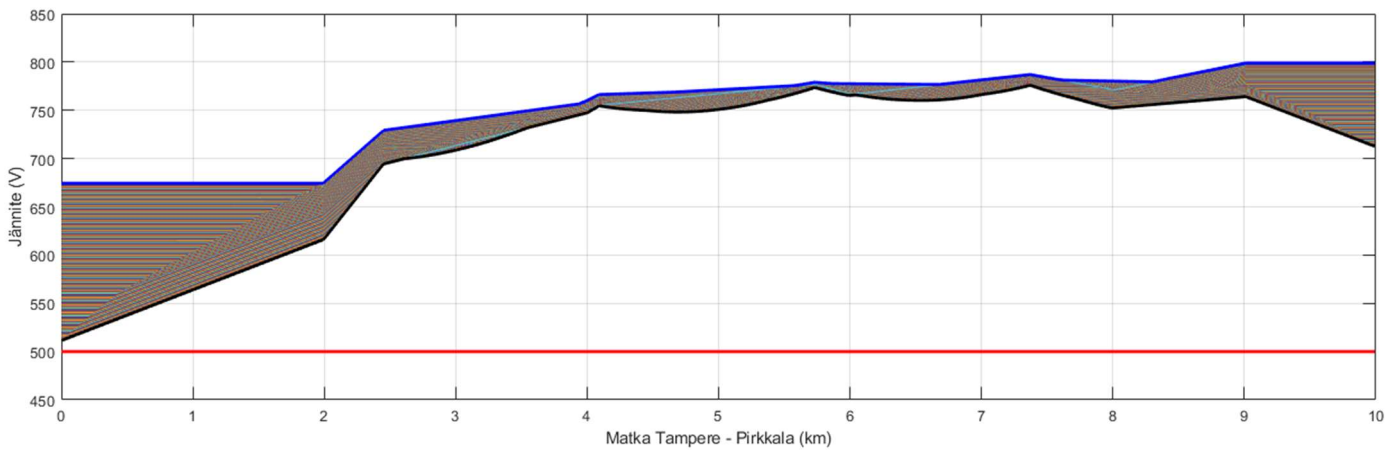
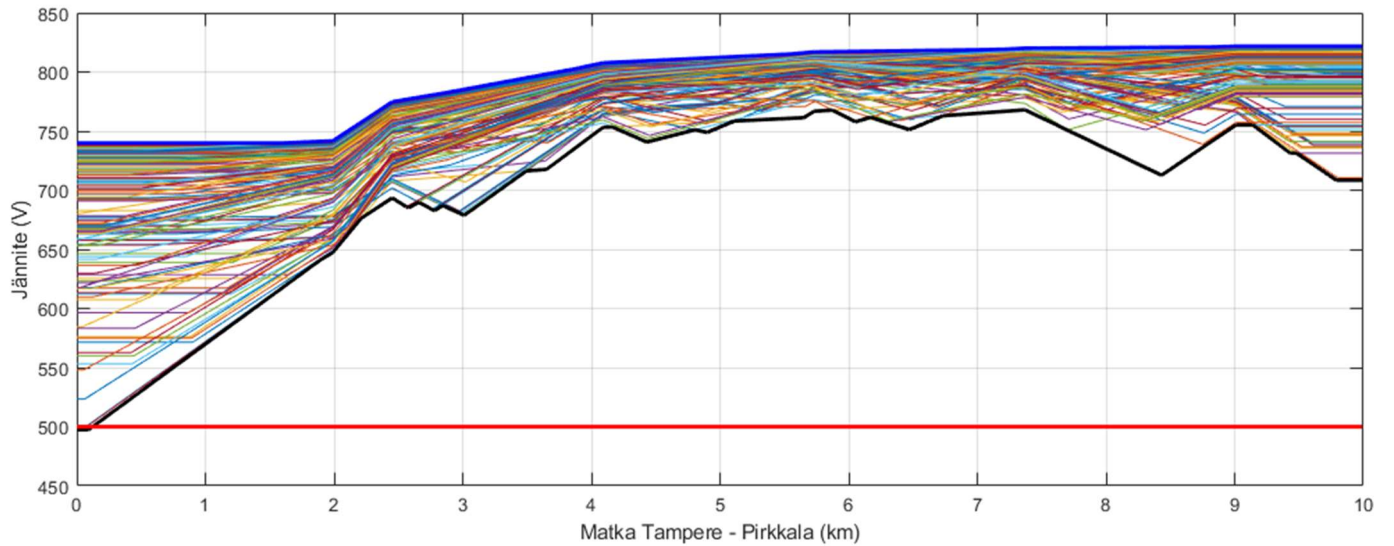


Jos Pirkkalaa lähin syöttöasema SSA106 on pois käytöstä, ratajohdon jännite on kuvan 5 mukainen.



Kuva 5: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, viisi uutta sähkönsyöttöasemaa, joista SSA106 on pois käytössä.

Nykyisen syöttöaseman SSA101 ollessa pois käytöstä SSA102 ylikuormittuu sen virran ylittäessä 2500 A. Jännite pienenee lähes sallitulle alarajalle asti kuvan 6 mukaisesti, jos Hatanpään valtatie syöttö Koskipuiston kohdalla on erillään Hämeenkadusta. Hatanpään valtatie tulee siis syöttää myös Hämeenkadun puolelta syöttöasemilta SSA05 ja SSA06, jotta SSA102 ei ylikuormitu.

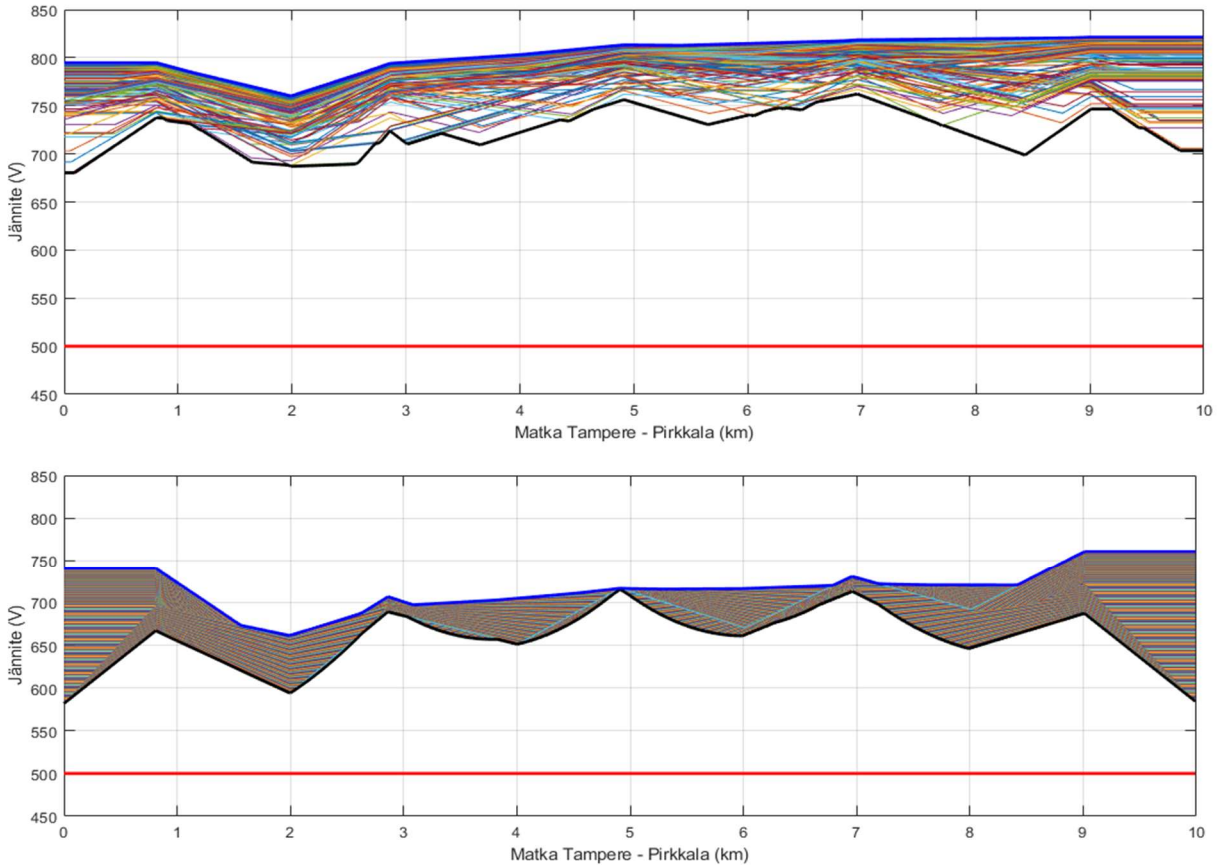


*Kuva 6: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, viisi uutta sähkönsyöttöasemaa. SSA101 on pois käytöstä ja Hatanpään valtatie syöttö yksipuoleisena SSA102:lta.*

Kuvien 2-6 simulointitulosten perusteella Pirkkalan haaran sähkönsyötön riittävyys on hyvällä tasolla, jos haaralle toteutetaan viisi uutta syöttöasemaa.

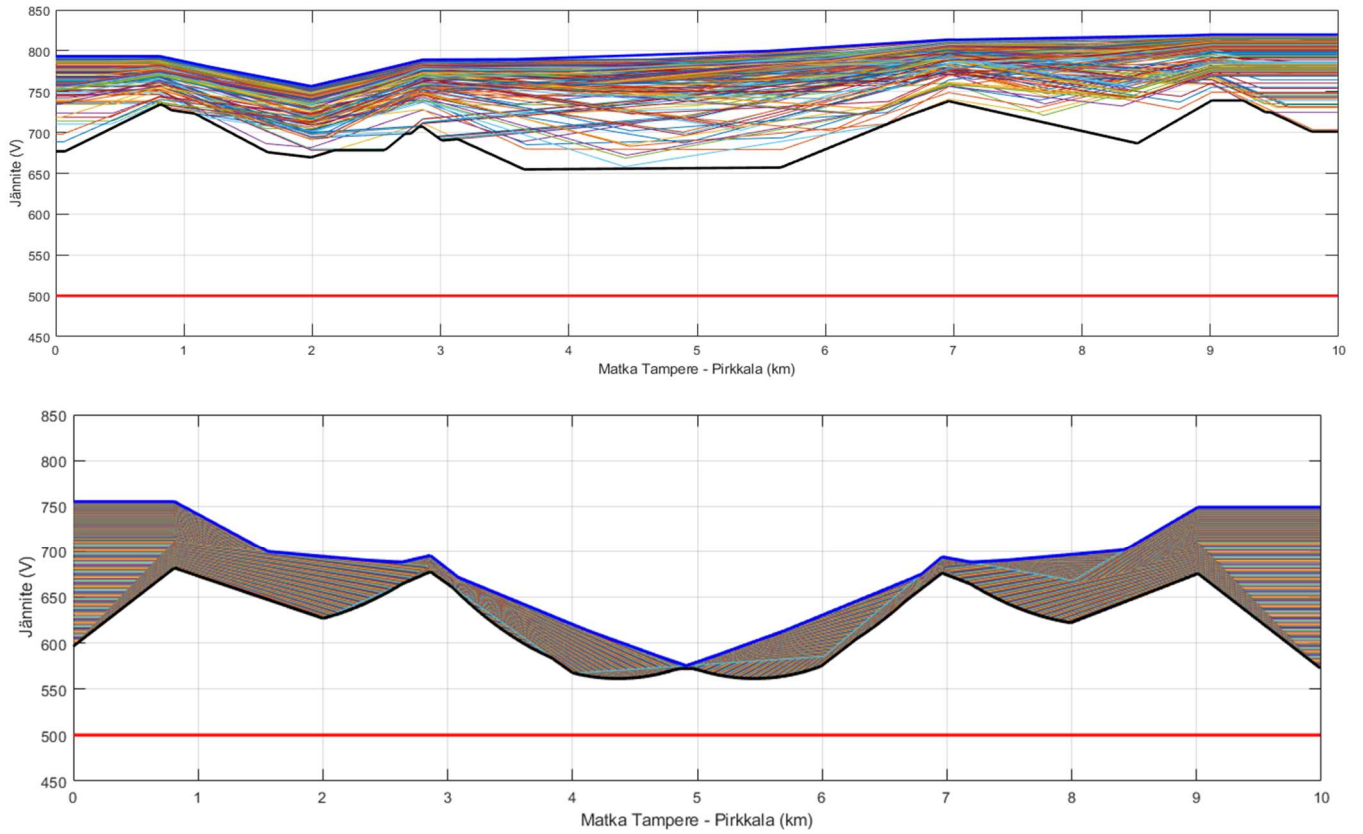
### 3.2 Neljä uutta sähkönsyöttöasemaa

Jos syöttöasemia toteutetaan neljä, simuloitu ratajohdon jännite normaalissa kytkentätilanteessa on kuvan 7 mukainen.



Kuva 7: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, neljä uutta sähkönsyöttöasemaa, normaali kytkentätilanne.

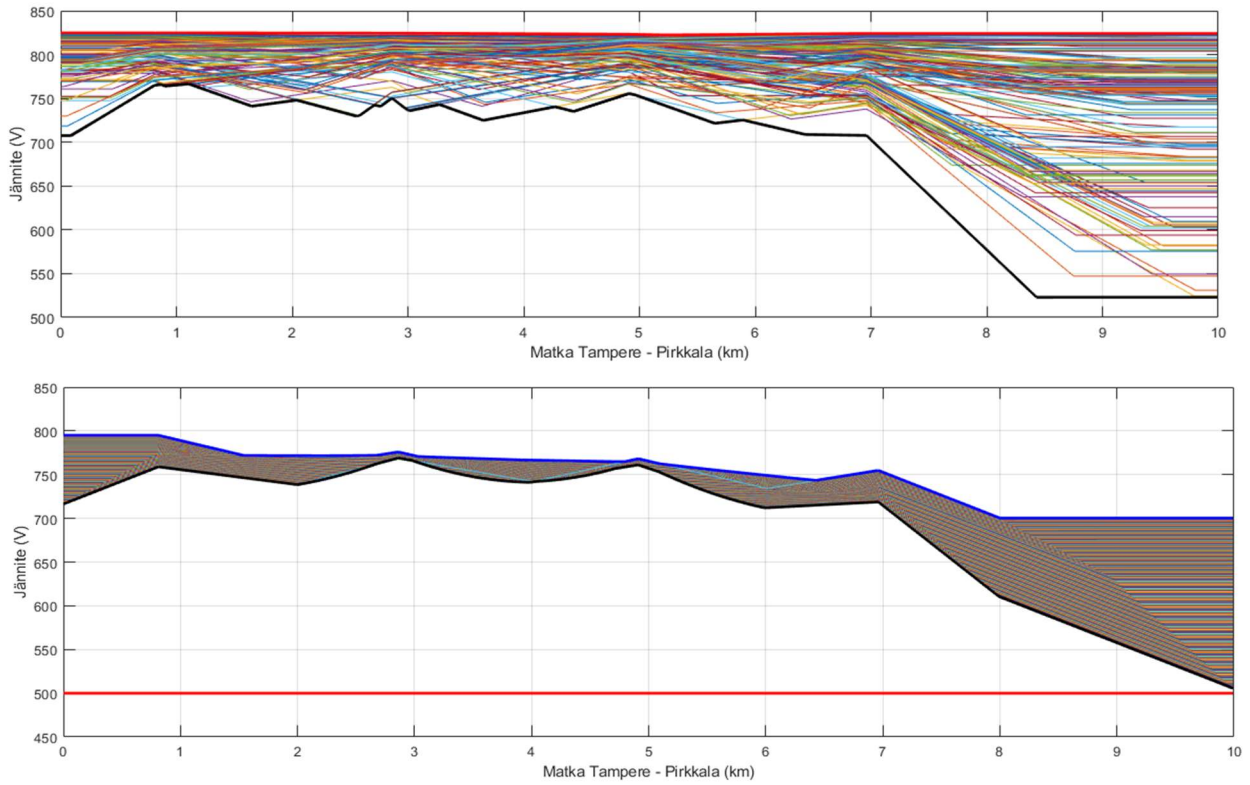
Myös neljää syöttöasemaa käytettäessä syöttö Vuoreksen suuntaan toteutetaan syöttöasemalta SSA103. Ratajohdon jännite syöttöaseman SSA103 ollessa pois käytöstä on esitetty kuvassa 8. Syöttöasemat SSA102 ja SSA104 ylikuormittuvat, koska niiden virta on suurempi kuin 2500 A.



Kuva 8: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, neljä uutta sähkönsyöttöasemaa, SSA103 on pois käytöstä.

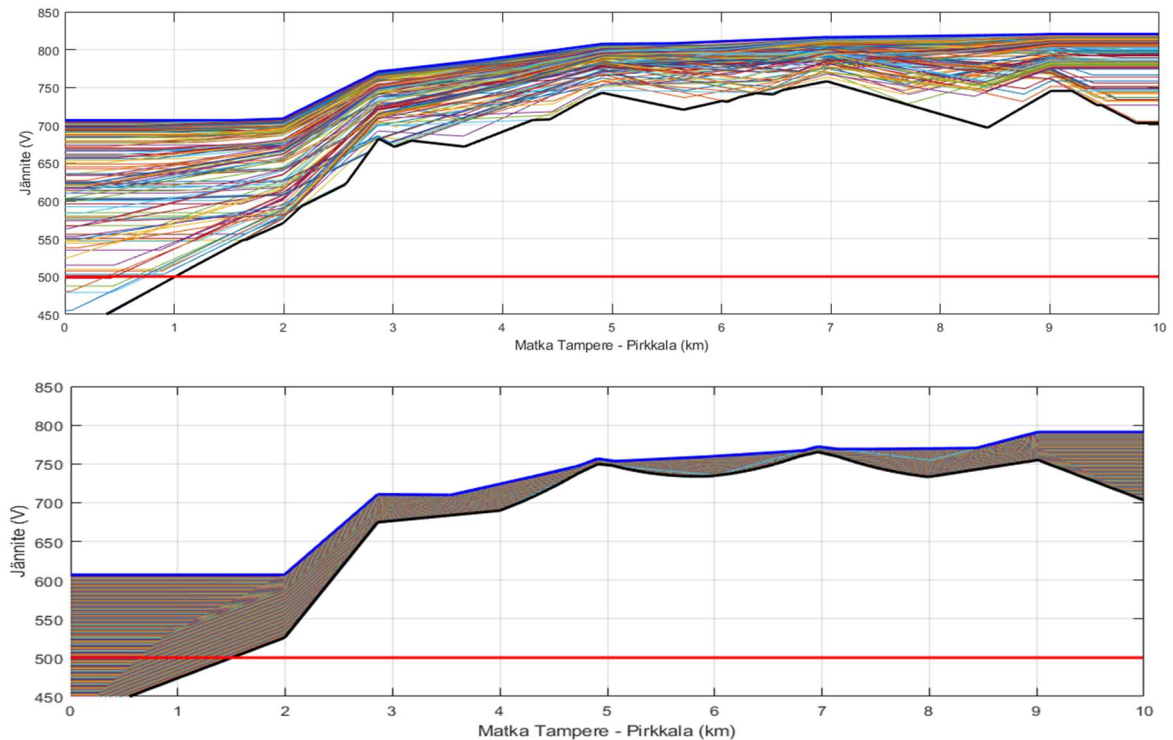


Pirkkalan keskustaa lähin asema on nyt SSA105. Sen ollessa pois käytöstä SSA104 ylikuormittuu ja ratajohdon jännite on alarajallaan Pirkkalassa radan päässä kuvan 9 mukaisesti.



Kuva 9: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, neljä uutta sähkönsyöttöasemaa, SSA105 on pois käytöstä.

Nykyisen SSA101 ollessa pois käytöstä ratajohdon jännite ei pysy sille sallittujen rajojen sisällä, ja SSA102 ylikuormittuu. Jännite on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10: Simuloitu ratajohdon jännite Pirkkalan haaralla, neljä uutta sähkönsyöttöasemaa. SSA101 on pois käytöstä ja Hatanpään valtatie syöttö yksipuoleisena SSA102:lta.

Tulosten perusteella haaralle tarvitaan viisi uutta sähkönsyöttöasemaa, jotta syöttöasemat eivät ylikuormitu poikkeavissa kytkentätilanteissa.

### 3.3 Herkkyystarkastelut

Pirkkalan haaran sähkönsyötön simuloinneissa tarkasteltiin Vuoreksen haaran vaikutusta sähkönsyöttöasemien kuormitukseen. Haara oli mallinnettu sen keskimääräistä kuormitusta kuvanneella 1400 A vakiovirtakuormalla, joka asetettiin Nuolialantien, Hatanpään valtatie ja Sarankulmankadun liittymään. Vuoreksen haaran varrelle tulevien sähkönsyöttöasemien määrä ja sijainti simuloitiin myöhemmissä suunnitteluvaiheissa.

Lisäksi arvioitiin Tampereen linja-autoaseman alueella nykyisen raitiotieverkon ja uuden Pirkkalan haaran sähkönsyötön toimivuutta poikkeavassa kytkentätilanteessa tilanteessa, jossa Pirkkalan haara on toteutettu. Kappaleen 3.2 tulosten perusteella nykyisen rataverkon ja Pirkkalan haaran sähkönsyötöt toimivat hyvin yhteen.

Pirkkalan keskusta-alueella tarkasteltiin myös alustavasti seuraavan sähkönsyöttöaseman sijaintialuetta, jos rataa jatketaan Pirkkalan keskustasta Tampere-Pirkkalan lentoaseman suuntaan. Mahdollinen sijainti syöttöasemalle on Lentokentäntiellä Pirkkalan terveyskeskuksen ja jäähallin välisellä alueella.

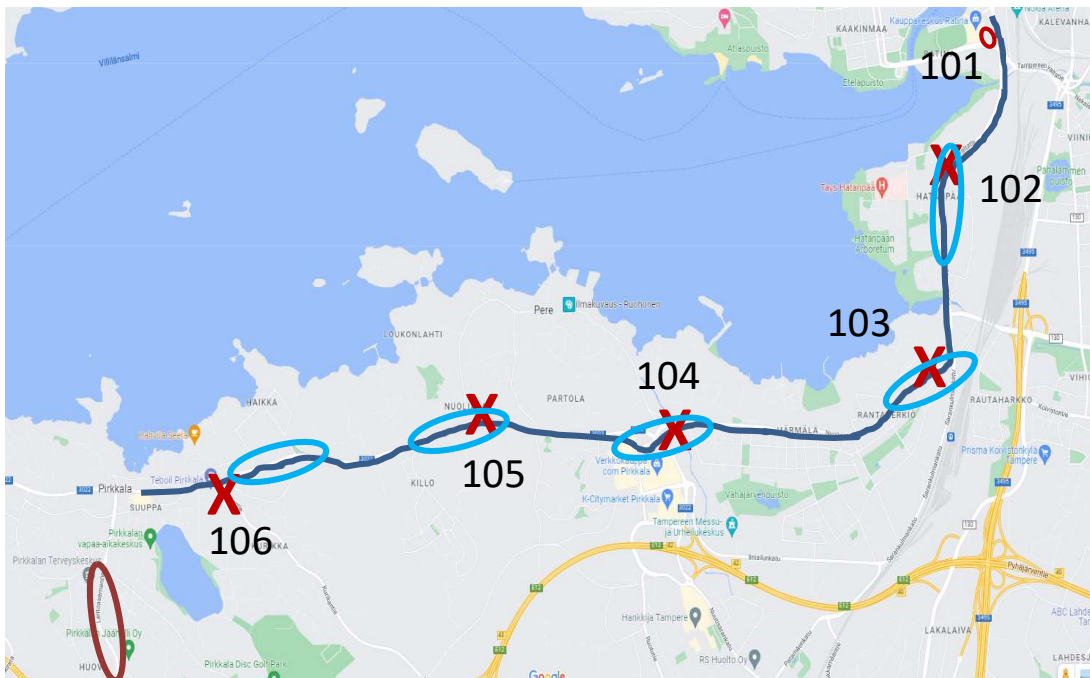
### 3.4 Syöttöasemien sijoitus Pirkkalan haaralla ja johtopäätökset

Syöttöasemien katu- ja kaavoitussuunnittelun kanssa tarkennetut sijainnit on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2: Syöttöasemien tunnuksot ja sijainnit Pirkkalan haaralla.

Tunnus	Kohde	Sijainti	Huomautukset
SSA102	Viinikanlahti	Hatanpään valtatie ja Hatanpäänkadun liittymä	Syöttöaseman jaksoerotin sijoitetaan Lahdenperänkadun pohjoispuoliselle alueelle.
SSA103	Rantaperkiö	Nuolialantien ja Tuomikujan liittymä Rantaperkiön kentän kullmassa	Laajennettavissa syöttämään tulevaa Vuoreksen haaraa.
SSA104	Partola	Nuolialantien ja Pereentien liittymä	
SSA105	Simonpolku	Simonpolun alikulun luona	
SSA106	Haikka	Kurikantien liittymä, nykyisen huoltoaseman tontti	Laajennettavissa lentoaseman jatkoysteyttä varten.

Sijainnit ja syöttöasemille simuloitut sähköiset optimialueet on esitetty kartalla kuvassa 11.



Kuva 11: Pirkkalan haaran syöttöasemat ja niille simuloitut sähköiset optimialueet kartalla. Toteutettavat syöttöasemat on merkitty karttaan punaisilla rasteilla ja niiden optimialueet sinisillä ellipseillä. Nykyinen sähkönsyöttöasema SSA101 punaisella ympyrällä ja mahdollisen tulevan syöttöaseman sijoitusalue Pirkkalassa Lentokentäntiellä on merkitty punaisella ellipseillä.

Syöttöaseman SSA102 pohjoisempi syöttöalue ulottuu syöttöasemarakennuksen sijainnista etelään siten, että syöttöaseman jaksoerotin sijoitetaan simuloinnin perusteella Lahdenperänsäädin pohjoispuoliselle alueelle.

Syöttöasemalle SSA106 simuloitu sähkötekniinen optimialue on kokonaisuudessaan pientaloaluetta, joten syöttöasema sijoitettiin katusuunnittelun toiveesta Kurikantien liittymään nykyisen huoltoaseman tontin luo. Jos rataa jatketaan tulevaisuudessa Pirkkalan keskustasta lentoaseman suuntaan, seuraavan sähkönsyöttöaseman tilavarauksen tulisi tällöin olla Lentokentäntien varressa terveyskeskuksen ja jäähallin välisellä alueella kuvan 11 mukaisesti.

## **4 SIMULOINTITULOKSET, LINNAINMAAN HAARA**

### **4.1 Kolme uutta syöttöasemaa**

Linnainmaan suunnassa simulointimallin nollapiste asetettiin Itsenäisyydenkadulle nykyisen syöttöaseman SSA106 jaksoerottimelle. Näin saatiin simuloitua poikkeavan kytkentätilanteen vaikutus Liisanpuiston syöttöaseman SSA07 kuormitukseen, kun SSA13 on pois käytöstä ja Linnainmaan haara toteutettu.

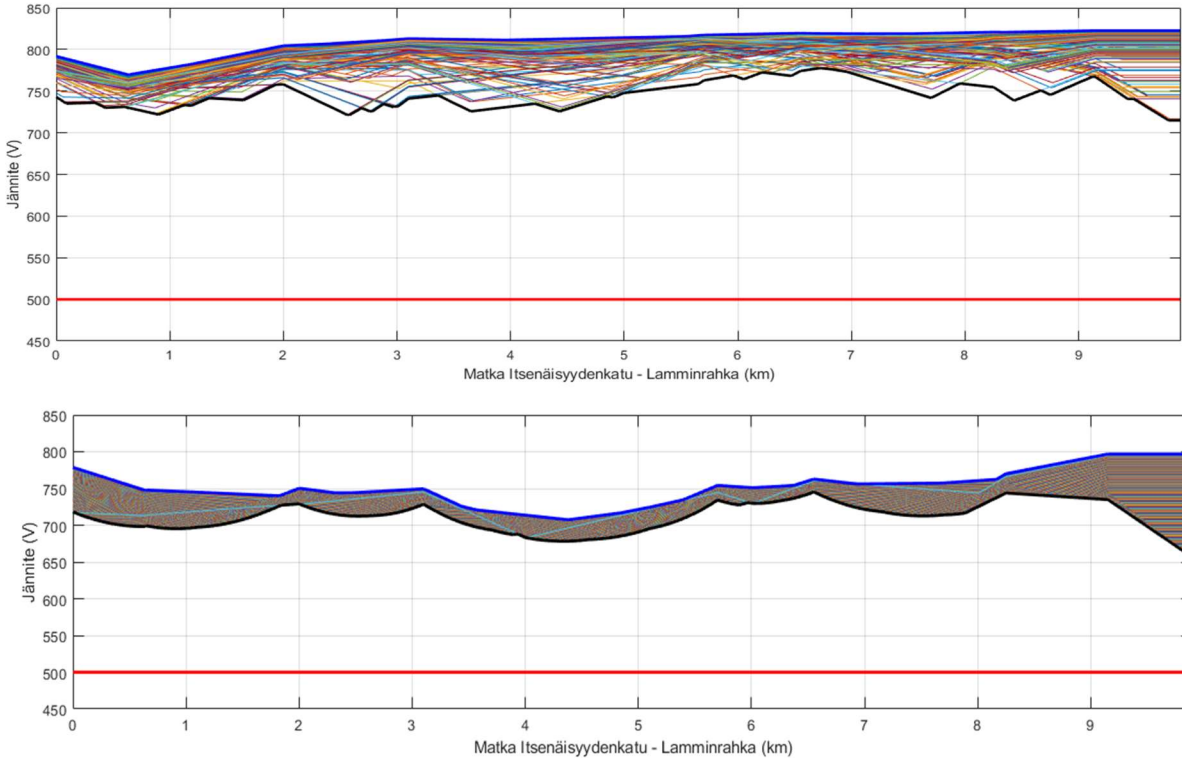
Syöttöasema SSA14 on jo aikaisemmissa suunnitteluvaiheissa sijoitettu paikalleen Arvo Ylpön kadun ja Lääkärikadun liittymään nykyisen Kaupin kampuksen päätepysäkin itäpuolelle. Tämän syöttöaseman ja Linnainmaan Koilliskeskuksen pysäkin välille sijoitettiin malliin aluksi kaksi sähkönsyöttöasemaa. Itäisempi syöttöasemista sijoitettiin Heikkilänkadun ja Aitolahdentien liittymän luo. Alasjärven alueella otettiin huomioon Alasjärven ranta-alueen luontoarvot ja kaukolämmön putkireitit sekä valtatie 12 ylittävä silta. Syöttöasema sijoitettiin nykyiselle huoltoaseman tontille. Sähkönsyöttö simuloitiin aluksi tälle sijoitukselle, jonka jälkeen syöttöasemien sijoitusta tarkennettiin katu- ja kaavoitussuunnittelun kanssa. Lopuksi sijoituksen toimivuus varmistettiin simuloimalla.

Idässä alustava malli ulottuu Lamminrahkaan asti. Välille Linnainmaa – Lamminrahka sijoitettiin simuloinneissa alustavasti kaksi uutta sähkönsyöttöasemaa Koilliskeskuksen alueen sähkönsyötön riittävyyden tarkastelemiseksi.

Tulokset on esitetty kuvissa 12–14. Kuvaajissa olevat punaiset viivat osoittavat standardin EN 50163 mukaisen sallitun jännitteen 500 V alarajan.

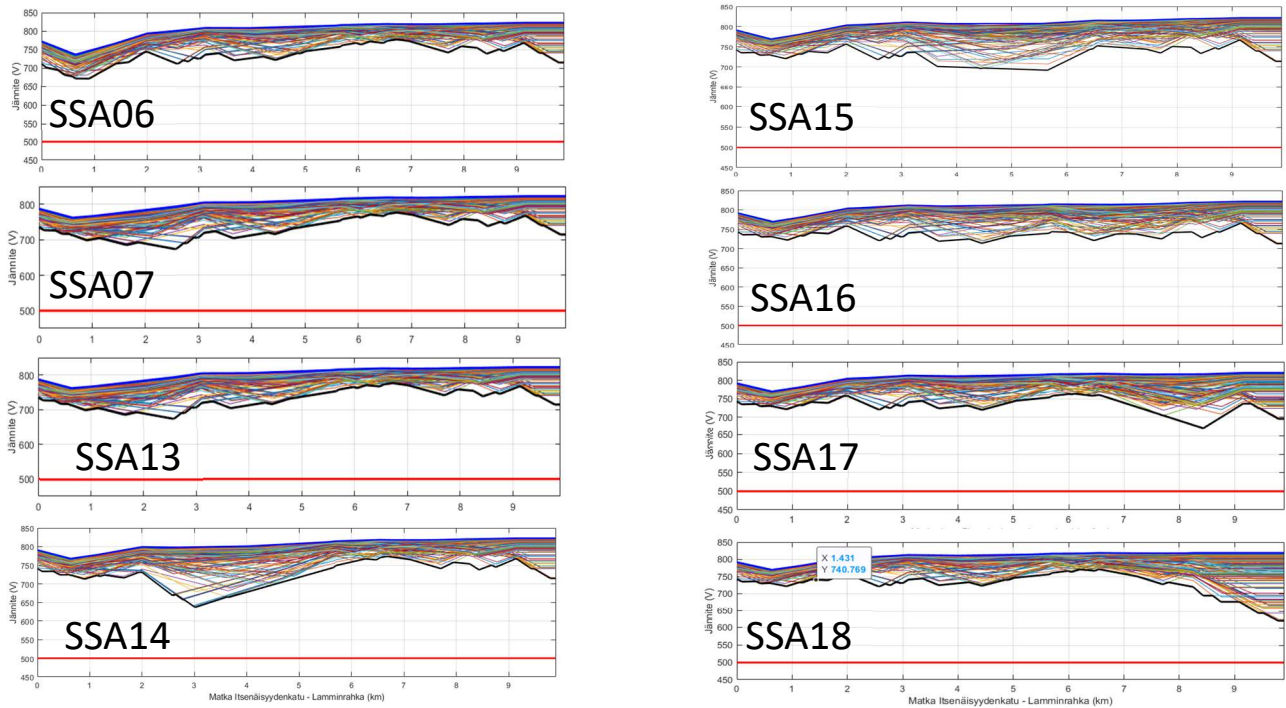


Kuvassa 12 ylempi kuvaajista esittää ratajohdon jännitettä aikataulun mukaisella liikenteellä. Alemmassa kuvaajassa on kuvattu tilanne, jossa kaksi X47-vaunua kiihdyttää yhtä aikaa samassa kohdassa reittiä.

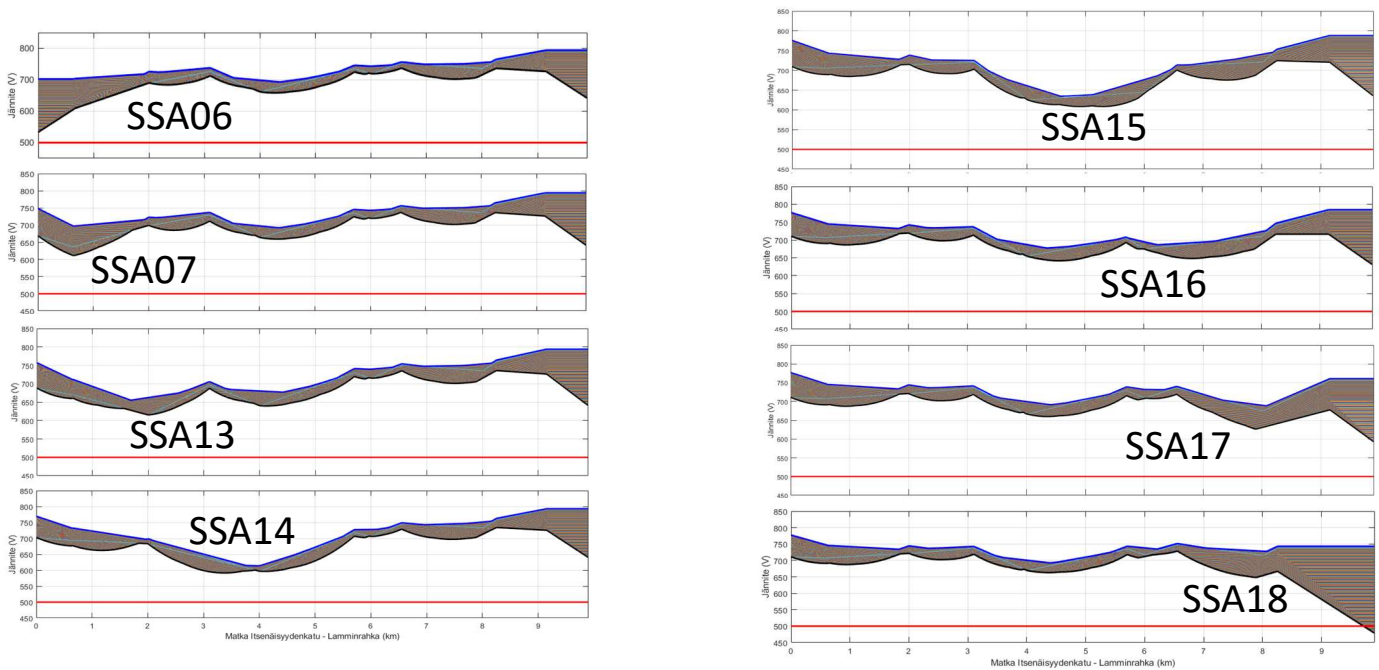


Kuva 12: Simuloitu ratajohdon jännite Linnainmaan ja Lamminrahkan haaralla, kolme uutta sähkönsyöttöasemaa välillä Kaupin kampus – Linnainmaa, normaali kytkentätilanne.

Poikkeavien kytkentätilanteiden simulointitulokset koko välillä Tullintorilta Lamminrahkaan on esitetty kuvissa 13 ja 14. Kuvassa 13 simuloinnit on ajettu aikataulun mukaisella liikenteellä ja kuvassa 14 kahdella yhtäaikaisesti samassa kohtaa reittiä kiihdyttävällä X47-vaunulla.



Kuva 13: Simuloitu ratajohdon jännite Linnainmaan ja Lamminrahkan haaralla, kolme uutta sähkönsyöttöasemaa välillä Kaupin kampus – Linnainmaa, poikkeavat kytkentätilanteet ja aikataulun mukainen liikenne. Tunnukset kuvaajien yhteydessä tarkoittavat kussakin simulointitapauksessa pois käytöstä olevaa syöttöasemaa.



Kuva 14: Simuloitu ratajohdon jännite Linnainmaan ja Lamminrahkan haaralla, kolme uutta sähkönsyöttöasemaa välillä Kaupin kampus – Linnainmaa, poikkeavat kytkentätilanteet ja kahden X47-vaunun yhtäaikaiset kiihdytykset. Tunnukset kuvaajien yhteydessä tarkoittavat kussakin simulointitapauksessa pois käytöstä olevaa syöttöasemaa.

Sähkönsyötön riittävyys välillä Kaupin kampus – Linnainmaa on tulosten perusteella hyvällä tasolla, kun välille rakennetaan kolme uutta sähkösyöttöasemaa.

## 4.2 Herkkyystarkastelut

Kuvissa 12-14 on esitetty ratajohdon jännite myös nykyisten sähkösyöttöasemien SSA07 ja SSA13 syöttöalueilta Linnainmaan haaran toteuttamisen jälkeen. Sammonkadun liikenne linjalla Hervanta – Lentävänniemi mallinnettiin kadun syöttöalueen keskimääräiseksi kuormitukseksi arvioidun 2000 A virran avulla.

Linnainmaan alueen syöttöaseman SSA16 sähkönsyötön riittävyyttä tarkasteltiin mallintamalla välin Linnainmaa – Lamminrahka syöttöasemat taulukossa 3 kuvattuihin sijainteihin.

*Taulukko 3: Syöttöasemien tunnuksot ja alustavat sijainnit Linnainmaan alueen herkkyystarkastelua varten välillä Linnainmaa-Lamminrahka.*

Tunnus	Kohde	Sijainti	Huomautukset
SSA17	Orimuskatu	Orimuskadun ylityksen luona kadun itäpuolella ja vt 12 liittymän pohjoispuolella	
SSA18	Rissonkatu	Risso, Rissonkatu	

Linnainmaan haaran sähkönsyöttö todettiin simuloinneissa yhteentoimivaksi nykyisen raitiotieverkon sähkönsyötön kanssa. Sähkönsyötön riittävyys syöttöaseman SSA16 syöttöalueella on hyvä myös sen jälkeen, kun rataa pidennetään Linnainmaalta Lamminrahkaan.

Lamminrahkan haaran syöttöasemien lopullinen määrä ja syöttöasemien sijainnit simuloidaan haaran varsinaisen suunnittelun yhteydessä. Pirkkala-Linnainmaa -hankesuunnitelmassa syöttöasemat mallinnettiin vain syöttöaseman SSA16 sähkönsyötön riittävyyden tarkastelemiseksi.

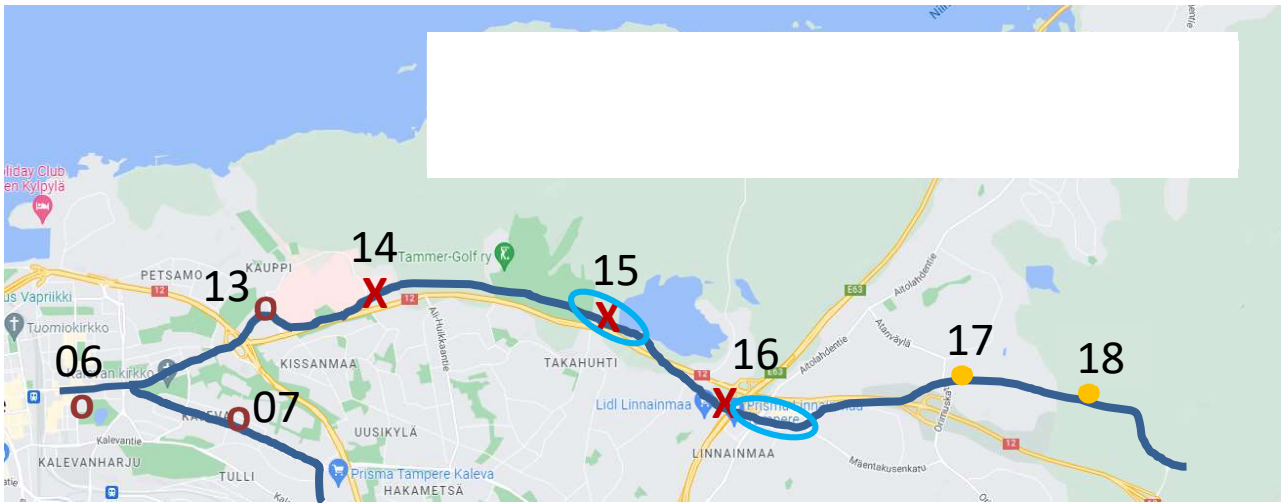
## 4.3 Syöttöasemien sijoitus Linnainmaan haaralla ja johtopäätökset

Katu- ja kaavoitussuunnittelun kanssa määritellyt sijainnit Linnainmaan haaran syöttöasemille on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 4: Syöttöasemien tunnuksot ja alustavat sijainnit Linnainmaan haaralla välillä Kaupin kampus – Linnainmaa.

Tunnus	Kohde	Sijainti	Huomautukset
SSA14	Arvo Ylpön katu	Arvo Ylpön kadun ja Lääkärikadun liittymä	
SSA15	Alasjärvi	Nykyinen huoltoaseman tontti	Luontoarvot ja kaukolämmön putkireitit tukevat sijoitusta huoltoaseman tontille.
SSA16	Linnainmaa	Heikkilänkatu, nykyinen huoltoaseman tontti	Syöttää myös mahdollisen tulevan varikon.

Syöttöasemien sijainnit on esitetty kartalla kuvassa 15.



Kuva 15: Linnainmaan haaran sähkönsyöttöasemat kartalla. Toteutettavat syöttöasemat on merkitty karttaan punaisilla rasteilla. Syöttöasemien SSA15 ja SSA16 sähköiset optimalueet on merkitty sinisillä ellipseilla. Nykyiset sähkönsyöttöasemat on merkitty punaisilla ympyröillä ja Lamminrahkan haaralla käytetyt syöttöasemien sijainnit oransseilla palloilla.

Syöttöaseman SSA16 sijainnin optimalue on ahdasta ja kaupunkikuvallisesti merkittävää raitiotie-terminaali- ja liittymäaluetta, joten syöttöasema sijoitettiin mahdollisen varikon syöttöaseman yhteyteen nykyiselle huoltoaseman tontille. Varikon tiloihin tulisi tällöin omat muuntajansa raitiotielinjan ja varikkoalueen syötöille.

## 5 YHTEENVETO

Simuloinneilla selvitettiin suunniteltavien raitiotiehaarojen sähkönsyötön riittävyyttä, kun myös tulevaisuuden jatkolinjat Rantaperkiö – Vuores ja Linnainmaa – Lamminrahka on rakennettu. Simulointien tuloksena määriteltiin kappaleissa 3.4 ja 4.3 esitetyt paikat viidelle uudelle sähkönsyöttöasemalle Pirkkalan haaralla ja kolmelle uudelle syöttöasemalle Linnainmaan haaralla.

Simuloinneilla on myös varmistettu, että sähkönsyöttökyky riittää tulevaisuuden jatkoyhteyksien tarpeeseen, vaikka jokin sähkönsyöttöasema olisi pois käytöstä. Nykyisen ja uuden raitiotieverkon sähkönsyötöt on todettu yhteentoimiviksi.

Pirkkalan keskustaan on tarpeellista varata uudelle sähkönsyöttöasemalle tilaa kappaleessa 3.4 esitetysti, jos linjan jatkamiseen tulevaisuudessa kohti lentoasemaa halutaan varautua. Tulevaisuuden suunnittelutarpeena on myös Vuoreksen ja Lamminrahkan haarojen syöttöasemien määrien ja sijaintien simulointi näitä haaroja suunnitellessa.