

VANTAAN RATIKAN YLEISSUUNNITELMA –
LIITE 7A: RATIKAN LIKENNÖINTITARKASTELU

Sisällysluettelo

LIKENNÖINTITARKASTELU.....	3
Tavoitteet	3
Oletukset ja lähtötiedot, raitiotieinfrastruktuuri	3
Ajonopeuden kerroin ja ajoaikojen pelivara	3
Tulokset	4
KALUSTO- JA KULJETTAMÄÄRÄ	5
LISÄTARKASTELUJA	6
Vertailu VISSIM-viiveisiin	6
Pysäkin poiston vaikutus matka-aikaan	6

LIKENNÖINTITARKASTELU

TAVOITTEET

Ratikan liikennöintitarkastelun tavoitteena on ollut ensisijaisesti ratikan ajonopeuden ja matka-ajan määrittäminen. Lisäksi on simulointia hyödyntäen laadittu toimiva kaupallinen aikataulu. Toimivalla kaupallisella aikataululla tarkoitetaan aikataulutettujen lähtöjen ja matka-aikavoitteiden toteutumisen hyvää luotettavuutta. Tarkemmin laskennat on esitetty liitetiedostossa 7b ”Vantaan LRT, Operation and modelling Report, January 2019”.

Ajonopeuden ja matka-aikojen lisäksi edellä mainitussa raportissa on laskettu kalusto- ja kuljettajamäärä. Näitä tietoja ei kuitenkaan ole hyödynnetty raportissa liikennöintikustannuksia laskettaessa, koska tammikuun 2019 jälkeen on matkustajamääräennusteet päivitetty. Uusien matkustajamääräennusteiden myötä muutuivat vuorovälit, jolla oli puolestaan vaikutuksia kalusto- ja kuljettajamäärään.

Esitettäviä tuloksia ovat muun muassa neljä aikataulurakennetta: talvi- ja kesäarki, lauantai ja sunnuntai (taulukot, graafiset raitiovaunuaikataulut) sekä kaavioesitykset kaluston sitoutumisesta liikennöintiin.

OLETUKSET JA LÄHTÖTIEDOT, RAITIOTIEINFRASTRUKTUURI

Raitiovaunukalusto (Transtech Artic XL)

- Simuloinnissa käytetty pituus on 33 metriä, 4 vetävää akselia, täysi matkustajakuorma, mallinnettu tarpeellisten teknisten tietojen (mm. vetovoimakäyrät) pohjalta.
- Kiihdytykset (maksimi 1,2 m/s²) ja hidastukset (maksimi 1,3 m/s²) on mitoitettu matkustajamukavuusvaatimuksen perusteella.
- Raitiovaunujen pyörien ja raiteiden välinen kitka (asetettu ns. keskivertotasolle); riittävä kitka on vaatimuksena, jotta voidaan liikennöidä jyrkillä pystykaltevuuksilla. Raitiovaunun suorituskyky kulloisellakin kitka- ja kaltevuustasolla on johdettavissa mm. raitiovaunujen vetovoimakäyrästä.
- Tunnelit eivät aiheuta aerodynaamisia vastuksia raitiovaunun kululle

Pysäkit

- Jaettu suunnittain kolmeen kategoriaan niiden matkustajamäärien perusteella; kategorioiden keskimääräiset pysähdyskestot ovat A=20 sekuntia, B=25 sekuntia ja C=32 sekuntia, perustuen Raide-Jokerin hankesuunnitelmassa kuvattuihin lähtökohtiin.
- Päätepysäkkien tekninen minimikäntöaika on 2 minuuttia.

Raiteisto

- Pituus 19,3 km. Mallissa on huomioitu pystykaltevuus, kaarresäteet ja niiden mukaiset kaarrenopeedet; säteiden ollessa raja-arvojen väliltä on nopeustasoa mukautettu lineaarisesti.
- Nopeusrajoitukset ja sekaliikennealueille (Jumbo, Tikkurilan keskusta) asetetut nopeusrajoitusta matalammat keskiajonopeudet.
- Pysäkkien tarkat sijainnit.
- Valo-ohjattujen liittymien täydet etuudet raitiovaunuille.
- Reitillä ei ole valo-ohjaamattomia liittymiä vaan ainoastaan valo-ohjaamattomia suojateitä.

AJONOPEUDEN KERROIN JA AJOAIKOJEN PELIVARA

HSL:n tavoitteena on mitoittaa kaupallinen matka-aika palvelulupauksen "raitiovaunut eivät aja etuajassa" mukaisesti siten, että 25 % vuoroista voi saapua etuajassa. Tämä tarkoittaa, ettei raitiovaunun kulku noudata aikataulujen mukaisia aikoja säännönmukaisesti. Aikataulusuunnittelulle tämä tarkoittaa sitä, että käytetään 100 %:n suorituskyvyn ajoajan (=teoreettinen ajoaika eli raitiovaunut kiihtyvät ja hidastavat normaaliteholla ja ajavat täsmälleen sallittujen nopeuksien mukaisesti) sijaan tarkkaan muodostettua mitoitusmatka-aikaa. Seuraavassa on kuvattu periaatteet sen muodostamiseksi.

Mitoitusmatka-aika muodostuu alennetun suorituskyvyn ajoajan (=raitiovaunut ajavat tietyn prosenttiosuuden verran sallittuja nopeuksia hitaammin, kuitenkin hidastaessa ja kiihdyttäessä pysähdyksiä varten normaaliteholla), pysäkkipysähdysaikojen keskiarvojen ja erikseen määritetyn pelivaran summasta.

Alennetun suorituskyvyn ajoaikana käytettiin tässä työssä 92 %:n suorituskyvyllä simuloitua ajoaika eli

- ajaminen 8 % hitaammalla ajonopeudella verrattuna i) nopeusrajoitukseen, ii) sallittuihin kaarrenopeuksiin ja iii) sekaliikennealueen keskiajonopeuksiin

Pelivarana käytettiin 92 %:n ja 97 %:n suorituskyvyllä ajettujen ajoaikojen erotusta, joissa on huomioitu pysähdykset pysäkeille mutta ilman itse pysähdyksissä olon kestoa.

Pysähdyskestojen osuus saatiin laskemalla yhteen kaikkien pysäkkien keskimääräiset pysähdyskestot.

Jos aikataulu suunniteltaisiin heikomman suorituskyvyn, suuremman pelivaran ja pidempien pysäkkipysähdyskeskiarvojen perusteella, liian iso osa raitiovaunuista saapuisi pysäkeille etuajassa.

Alennetun suorituskyvyn ajoaika huomioi kuljettajien ajokäyttäytymisvaihtelun lisäksi

- Valo-ohjattujen liittymien mahdolliset häiriöt ja jalankulkuvihreiden minimiajat, jotka ajoittain estävät täysistä etuuksista huolimatta raitiovaunujen vapaan kulun liittymän läpi
- Lähellä liikennevaloja olevilta pysäkeiltä lähdöt ja siitä aiheutuvat mahdolliset hidastukset
- Liittymien edessä ajoittain mahdollisesti syntyvät ”lukkotilat”, jotka estävät raitiovaunun vapaan kulun
- Reitin muutamat suojatiet, jotka aiheuttavat ajoittaisia hidastuksia raitiovaunuille

Raitiovaunun reitin pysäkkiväleille halutulla suhteella jaettava pelivara huomioi

- pysähdyskestojen mitoituskeskiarvojen riittävän säännönmukaiset ylittymiset tietyillä pysäkeillä; tämän työn simuloinneissa on käytetty pysähdysten kohdalla kiinteää keskiarvoa pysäkkikategoriasta riippuen eli jokainen saman liikennöintiajankohdan simulointiajo antaa samat pysähdyskestot
- Reitin ongelmakohdat, joita koskeville pysäkkiväleille voidaan niiden tunnistamisen pohjalta (esim. tieliikenteen toimivuustarkastelut) jakaa pelivaraa ylipainotuksella.

Täyden suorituskyvyn ja alennetun suorituskyvyn (92 % eli 8 % täyttä suorituskykyä hitaampi ajonopeus) ajoaikaerotusta ja pelivaran muodostamaa lisäaikaa (mitoitusmatka-aikaan nähden) verrattiin VISSIM-simulointien tuloksiin raitiovaunujen viiveistä suunnittain koko reitillä. Tulokset on esitetty liitteen lopussa.

TULOKSET

Matka-aika

Taulukossa 2 on esitetty matka-aikasimuloinnin tulokset talvivuorokauden iltaruuhkalle. Matka-aikojen vaihtelu simuloinneissa muodostuu pysäkkikategorioiden vuodenaika- ja vuorokausivaihtelusta.

Taulukko 1 Iltaruuhkatunnin matka-aikasimuloinnin tulokset suunnittain

	Lento- asema-Mel- lunmäki	Mellun- mäki-Lento- asema,
Ajoaika (100 %), h:min:s	0:34:49	0:34:08
Ajoaika (92 %) + pelivara, h:min:s	0:38:38	0:37:51
Ajoaika (92 %) + pelivara per ajo- aika (100 %), %	11	10,9
Kokonaismatka- aika, h:min:s	0:47:20	0:46:38
Keskinopeus, km/h	24,46	24,83

Taulukon tulokset ovat tulkittavissa seuraavien tietojen perusteella:

- **Ajoaika (100 %)** = teoreettinen minimiajoaika jossa on huomioitu hidastaminen ja kiihdyttäminen kutakin pysähdystä varten muttei pysähdyskestoja
- **Ajoaika (92 %)** = ajaminen 92 %:n suorituskyvyllä (=nopeudella) nopeusrajoitukseen verrattuna
- **Pelivara** = 92 %:n nopeudella ja 97 %:n nopeudella suoritettujen ajojen aikaero. Pelivaran suuruudeksi määritettiin eteläsuuntaan 92 ja pohjoissuuntaan 90 sekuntia. Pelivara lisättiin pysäkkiväleittäin seuraavasti: Pohjoissuuntaan 30 sekuntia pysäkit 26–23, 23 –14 ja 14–1; eteläsuuntaan 32 sekuntia pysäkit 1–14 ja 30 sekuntia pysäkit 14–23 ja 23–26.
- **Ajoaika (92 %) + pelivara per ajoaika (97 %), %** = ajoaika 92 %:n ja pelivaran summan sekä teoreettisen minimiajoajan erotus jaettuna teoreettisella minimiajoajalla eli: paljon nopeimpaan mahdolliseen ajoaikaan on lisätty marginaalia

- **Kokonaismatka-aika** = varmuusmarginaalin sisältävän ajoajan ja pysähdysaikojen summa
- **Keskinopeus, km/h** = pyöristetyn matka-ajan mukaan laskettu keskinopeus raitiovaunulle.

Teoreettinen minimiajoaika tyhjällä kalustolla

Teoreettinen minimiajoaika (100 %) tyhjällä kalustolla ja ilman pysähdyksiä on suuntaan Lentoasema–Mellunmäki 0:30:57 ja suuntaan Mellunmäki–Lentoasema 0:30:26. Vastaavat teoreettisen minimiajoajat täydellä kalustolla, pysäkeille pysähtyen (pysähdyskesto 0 sekuntia) ovat vastaavasti 0:34:49 ja 0:34:08.

KALUSTO- JA KULJETTAJAMÄÄRÄ

Tässä esitetty kalusto- ja kuljettajamäärä perustuu ruuhkassa 7,5 minuutin vuoroväliin. Näitä tietoja ei kuitenkaan ole hyödynnetty raportissa liikennöintikustannuksia laskettaessa, koska tammikuun 2019 jälkeen on matkustajamääräennusteet päivitetty. Uusien matkustajamääräennusteiden myötä muuttuivat vuorovälit, jolla oli puolestaan vaikutuksia kalusto- ja kuljettajamäärään.

Kalustomäärä perustuu sen kiertoon liittyvään suunnitteluun, jossa on huomioitu raitiovaunujen epätasällisyydestä aiheutuva kääntöaikojen pelivara. Minimikääntöaikana suunnittelussa on ollut 5 minuuttia 2 minuutin teknisen minimikääntöajan sijaan. Kääntöajat vaihtelevat. Syynä on vuorovälistä, matka-ajasta ja lähtöajoista aiheutuva tahdistus eli minuuttilukuarvojen kerronnallisuus.

Suunnittelussa käytetty 5 minuutin minimikääntöaika varmistaa kalustokierron toteutumisen käytetyllä 95 %:n mitoitusvarmuudella. Tämä tarkoittaa, että ainakin 95 %:ssa tapauksista täytyy saapuvan raitiovaunun olla ajoissa valmiina aikataulunmukaiseen lähtönsä.

Taulukossa 2 on esitetty raitiovaunujen vuorovälit eri liikennöintiaikoina. Liikennöinti on käynnissä läpi vuorokauden. Liikkeet Vaaralan varikolle ja sieltä pois on huomioitu. Yksikään raitiovaunuyksikkö ei ole yhtämittaisesti ajossa yli 24 tuntia.

Taulukko 2 Vuorovälit eri liikennöintiaikoina

Talvi		Kesä	
Ma-Pe	Vuoroväli	Ma-Pe	Vuoroväli
4:30 - 5:30	30	4:30 - 5:30	30
5:30 - 6:30	15	5:30 - 6:30	15
6:30 - 9:30	7,5	6:30 - 20:30	10
9:30 - 14:30	10	20:30 - 23:30	15
14:30 - 17:30	7,5	23:30 - 1:30	30
17:30 - 20:30	10	1:30 - 4:30	60
20:30 - 23:30	15	Lauantai	
23:30 - 1:30	30	4:30 - 7:30	30
1:30 - 4:30	60	7:30 - 8:30	15
Lauantai		8:30 - 20:30	10
4:30 - 7:30	30	20:30 - 23:30	15
7:30 - 8:30	15	23:30 - 1:30	30
8:30 - 20:30	10	1:30 - 4:30	60
20:30 - 23:30	15	Sunnuntai	
23:30 - 1:30	30	4:30 - 7:30	30
1:30 - 4:30	60	7:30 - 23:30	15
Sunnuntai		23:30 - 1:30	30
4:30 - 7:30	30	1:30 - 4:30	60
7:30 - 23:30	15		
23:30 - 1:30	30		
1:30 - 4:30	60		

Raitiovaunujen liikennöintimalli on rakennettu siten, että Lentoaseman laiturilla on käytännössä aina seisomassa raitiovaunuyksikkö arkisin 6.30–20.30 ja lauantaisin 8.30–20.30 lentoasemalta matkalaukkujen kanssa saapuvien matkustajien korkean palvelutason varmistamiseksi.

Tarvittavan kuljettajamäärän laskenta perustuu raitiovaunujen operointitunteihin ja tarvittaviin henkilötyötunteihin. Laskelmissa on huomioitu mm. tehokkaan työajan osuus, pyhäpäivät, lepotauot, poissaolot sekä vuosittainen työntekijäkohtainen ajossaoloaika.

Liikennöitiin talviarkipäivinä eli mitoittavana ajankohtana tarvittavan kaluston minimimäärä on 15 yksikköä. Huoltovaran kanssa tarve on **18 yksikköä**. Vuorokaudessa liikkuu suurimmillaan 21 raitiovaunuyksikköä varikolta ja varikolle: 11 jatkuvassa ajossa olevaa, 4 kahdesti vuorokaudessa varikolta ajoon poistuvaa ja 2 yöliikenteen ajoon poistuvaa yksikköä.

Kesäarkipäivänä sekä lauantaisin liikennöinnin vaatima minimikalustomäärä ilman huoltovaraa on 11 yksikköä ja vastaavasti sunnuntaisin 9 yksikköä.

Vuorokaudessa operointiin tarvittava kuljettajamäärä on suurimmillaan **84 henkilöä**.

LISÄTARKASTELUJA

Vertailu VISSIM-viiveisiin

Suuntaan Lentoasema–Mellunmäki jää käyttämättä lisäajasta 0:01:12 ja suuntaan Mellunmäki–Lentoasema 0:02:10. Taulukossa 3 on esitetty vertailun tulokset 13:lle VISSIM-simuloinneissa tarkastellulle reitin osalle/liittymälle (järjestys Lentoasemalta kohti Mellunmäkeä). Jumbon läheisyydessä (kohde 5) viiveet ovat selvästi reitin suurimpia; tälle välille täytyy allokoida isoin osa lisäajasta, vähentäen allokoitua muualta.

Taulukko 3 VISSIM-viiveiden ja RailSys-lisäajan vertailu (luvut ovat sekunteja; erotuksista on mahdollista laskea RailSysin lisäajan määrä suunnittain)

VISSIM		
Kohde	Mellunmäkeen	Lentoasemalle
1	1	1,3
2	18	15
3	9	0
4	20,8	0,6
5	70,5	63,8
6	30	11
7	10	10
8	4,6	0,9
9	35	55
1-9	198,9	157,6
Erotus, VISSIM-RailSys	56,9	18,6
10	20	10
11	23,2	12,5
10-11	43,2	22,5
Erotus, VISSIM-RailSys	-79,8	-99,5
12	3,7	3,3
13	3,6	0
12-13	7,3	3,3
Erotus, VISSIM-RailSys	-48,7	-48,7
Yht	249,4	183,4
Yht. pelivara + lisäosa RailSys	321	313
Erotus, VISSIM-RailSys	-71,6	-129,6

Tässä suunnitteluvaiheessa riittää tieto, että tarkemmassa aikataulusuunnittelussa on mahdollista mitoittaa pysäkkien väliset ajoajat VISSIMin viiveiden perusteella.

Koko reitin tarkastelutasolla on jäljellä käyttämätöntä lisäaikaa, jota voidaan käyttää muihin verkon hidastevaikutuksiin (suojatiet, poikkeustilanteet liikenteessä kuten liikennetukos, joka estää vihreää valoa saavan raitiovaunun kulkua, VISSIM-tarkasteluun kuulumattomat muut valo-ohjatut liittymät, kuljettajien tehoton ajokäyttäytyminen, jne.).

Pysäkin poiston vaikutus matka-aikaan

Myös pysähdysten poistamisen aikavaikutus tutkittiin. Jos kyseessä on B-kategorian pysäkki (keskimääräinen pysähdyskesto 25 sekuntia) ja nopeusrajoitus on 40 km/h, matka-aika lyhenee laskennallisesti 37 sekuntia ja vastaavasti nopeusrajoituksen ollessa 50 km/h 40 sekuntia. Tulokset perustuvat oletukseen, että raitiovaunu ajaa täsmälleen nopeusrajoituksen mukaisesti sen reitin läpi, jolla hidastus (40/50 km/h → 0 km/h) ja kiihdytys (0 km/h → 40/50 km/h) tapahtuvat.