



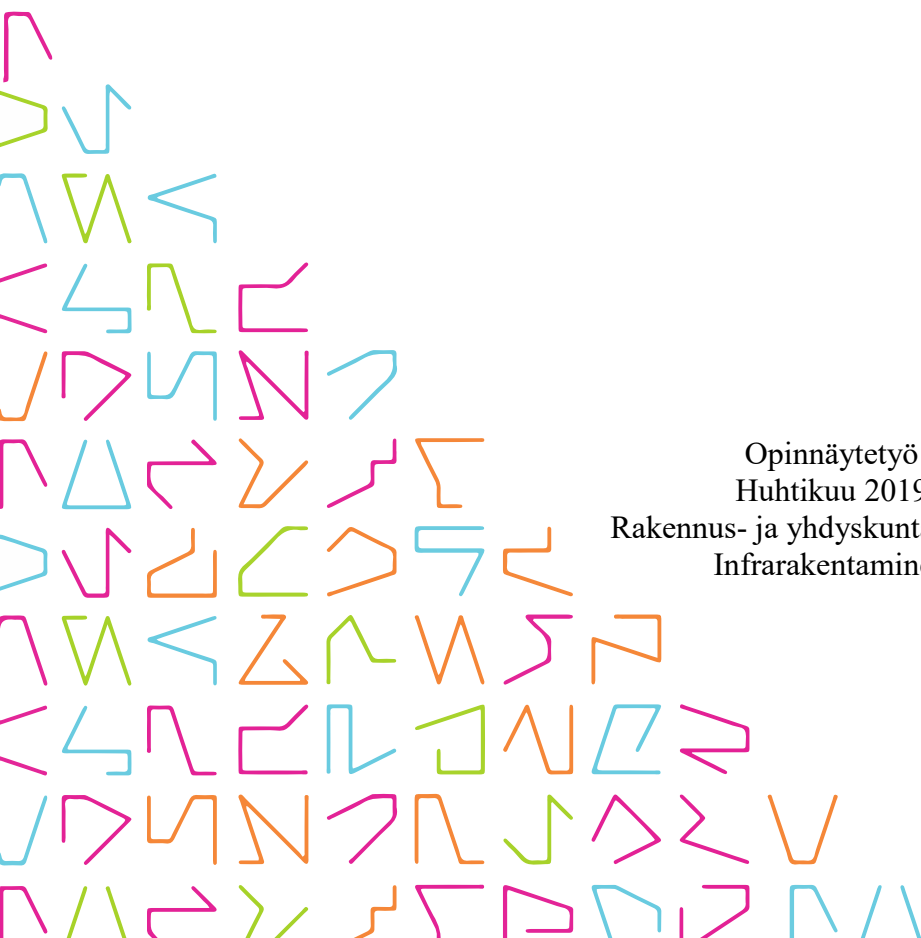
TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# RAITIORADAN RAKENTAMISEN KEHITTÄMINEN KATUJEN LIITTYMÄALUEILLA

Tampereen Raitiotieallianssi

Kalle Kuusisto

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2019  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Infrarakentaminen



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Infrarakentaminen

KUUSISTO, KALLE:

Raitioradan rakentamisen kehittäminen katujen liittymäalueilla  
Tampereen Raitiotieallianssi

Opinnäytetyö 71 sivua, joista liitteitä 10 sivua  
Huhtikuu 2019

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Tampereen Raitiotieallianssille ja työn toimeksiantajana sekä ohjaajana toimi YIT Suomi Oy yhtenä allianssin osapuolena. Työn tarkoitus oli kehittää raitiotien rakentamista katujen liittymäalueilla Tampereen raitiotiehankkeen 2. osalla. Jo toteutusvaiheessa olevalla hankkeen 1. osalla on havaittu useita ongelmia raitiotien kiintoraidelaattojen rakentamisen ja työnaikaisten liikennejärjestelyjen yhteensovittamisessa. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena oli havainnollistaa tuotannon suunnittelun tärkeyttä ja esitellä raitiotien rakentamisen työvaiheita työnaikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelua varten.

Työ on tehty alan kirjallisuutta hyödyntäen ja työharjoittelussa tehtyjen havaintojen perusteella. Työharjoittelu on ajoittunut vuosille 2017 ja 2018, jolloin hankkeen 1. osan toteutusvaihe on ollut käynnissä. Työtä varten on myös haastateltu allianssin asiantuntijoita raitiotiehankkeen 1. osan kehityskohtien selvittämiseksi.

Työssä käsitellään tuotannon suunnittelua ja ohjausta sekä esitellään tekniikkalajien erityispiirteitä, joita tulisi huomioida työnaikaisia liikennejärjestelyjä suunniteltaessa. Lisäksi työhön sisältyy Sepänkadulle laaditut työnaikaiset liikenteenohjaussuunnitelmat selostuksineen. Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi työnaikaisten liikenteenohjaussuunnitelmien lisäksi myös muistio tärkeimmistä seikoista, jotka vaikuttavat raitiotien kiintoraidelaatan rakentamisen vaiheistamiseen sekä työnaikaisten liikennejärjestelyjen suunnitteluun. Muistio on tarkoitettu niin suunnittelutyön kuin työnjohdon työnsuunnittelun tueksi.

---

Asiasanat: raitiotie, kiintoraide, työnsuunnittelu, liikennejärjestelyt, allianssi

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Civil Engineering

KUUSISTO, KALLE:  
Development of Tramway Construction at Street Crossroads  
Tampere Tramway Alliance, Finland

Bachelor's thesis 71 pages, appendices 10 pages  
April 2019

---

This thesis was made for Tampere Tramway Alliance. This study was commissioned and facilitated by YIT Finland Ltd, one of the partners of Tampere Tramway Alliance. The purpose of this thesis was to develop tramway construction at streets crossroads focusing on the second execution phase of the tramway construction project. During the first execution phase, linking the tramway construction and traffic arrangements together efficiently proved to be somewhat problematic. In addition, the aim of the thesis was to point out the importance of construction work design and extend the reader's understanding of traffic arrangements during tramway construction.

The background data for this study was obtained from relevant literature and the author's personal work experience in the project. Further data was collected by interviewing specialists working for Tampere Tramway Alliance.

The theoretical part of the thesis deals with controlling and planning construction work. Furthermore, it introduces special features of the areas of engineering which should be paid attention to while planning traffic arrangements nearby the worksite. This thesis includes traffic arrangement plans with reports concerning Sepänkatu in Tampere. As a result of this study, a memorandum of the main factors that affect the phasing of tramway construction and traffic arrangement planning was created. The memorandum is intended to be used for design work and supervision of work.

---

Key words: tramway, slab track, work planning, traffic arrangements, alliance

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET.....	8
	2.1 Työn taustaa ja tavoitteet .....	8
	2.2 Tutkimusmenetelmät .....	10
	2.3 Raitiotieallianssi.....	10
	2.4 Raitiotien merkitys Tampereen kaupungille.....	11
3	TUOTANNON SUUNNITTELU JA OHJAUS .....	14
	3.1 Työnsuunnittelun tarkoitus .....	14
	3.1.1 Suunnittelun ohjausryhmä.....	16
	3.2 Aikataulusuunnittelu .....	16
	3.3 Liikennejärjestelyt .....	17
	3.4 Työturvallisuus .....	18
4	PÄÄLLYSRAKENNETYÖT .....	21
	4.1 Raitioradan rakentamisen työvaiheet.....	21
	4.2 Kiintoraide .....	27
	4.2.1 Rakentaminen.....	29
	4.2.2 Hitsaus- ja jatkotyöt.....	30
	4.2.3 Radan kuivatus .....	33
	4.3 Laattajaot .....	35
5	LIITTYMÄALUEIDEN TOTEUTUS.....	36
	5.1 Työn vaiheistaminen liittymäalueilla.....	36
	5.2 Työnaikaiset liikenteenohjaussuunnitelmat.....	37
	5.2.1 Pirkankatu-Sepänkatu .....	37
	5.2.2 Satakunnankatu-Sepänkatu .....	41
	5.2.3 Savilinnankatu-Sepänkatu.....	46
	5.2.4 Paasikivenkatu-Sepänkatu.....	49
	5.3 Liikenteenohjauslaitteet .....	52
	5.4 Muotti- ja kalustokierto .....	56
6	POHDINTA.....	58
	LÄHTEET .....	59
	LIITTEET .....	62
	Liite 1. Tilapäisten liikennejärjestelyjen tarkastuslomake .....	62
	Liite 2. Muistio .....	63
	Liite 3. Pirkankatu – Sepänkatu vaiheessa 1 .....	64
	Liite 4. Pirkankatu – Sepänkatu vaiheessa 2 .....	65
	Liite 5. Satakunnankatu – Sepänkatu – Savilinnankatu vaiheessa 1 .....	66

Liite 6. Satakunnankatu – Sepänkatu – Savilinnankatu vaiheessa 2.1 .....	67
Liite 7. Satakunnankatu – Sepänkatu – Savilinnankatu vaiheessa 2.2 .....	68
Liite 8. Satakunnankatu – Sepänkatu – Savilinnankatu vaiheessa 3 .....	69
Liite 9. Paasikivenkatu – Sepänkatu vaiheessa 1 .....	70
Liite 10. Paasikivenkatu – Sepänkatu vaiheessa 2 .....	71

## ERITYISSANASTO

Kehitysvaihe (KAS)	Allianssihankkeen toteutusvaihetta edeltävä vaihe, jossa määritetään allianssiurakan toteutusvaiheen tekniset ja taloudelliset tavoitteet sekä laaditaan suunnitelma hankkeen toteuttamisesta.
Toteutusvaihe (TAS)	Alkaa kehitysvaiheen ja toteutus päätöksen jälkeen. Toteutusvaihe pitää sisällään rakentamis- ja takuuajan.
Osa 1	Käsittää raitiotielinjat Tampereen keskustasta yliopistolliselle sairaalalle (Tays) ja Hervantaan. Lisäksi 1. osaan sisältyy Hervantaan sijoittuva varikko.
Osa 2	Käsittää raitiotielinjan Tampereen keskustasta Lentävänniemeen sekä pistoraitteen Lielahteen.
Lean-ajattelu	Kehitysfilosofia, joka keskittyy hukan poistamiseen ja tuotannon tehostamiseen sekä asiakastyytyväisyyden parantamiseen.
Ulkoinen auditointi	Yrityksen ulkopuolisen, riippumattoman tahon suorittama tarkastus.
Sukitus	Putken saneerausmenetelmä, jossa saneerattavaan putkeen sujutetaan sukka, joka laajennetaan ja kovetetaan putken seinämille.
Päällysrakenne	Radan rakenneosa, joka muodostuu tukikerroksesta ja raiteesta.
Nurmirata	Raitiotie, jossa radan pinnoitteena on nurmi.
Kiintoraide	Ratarakenne, jossa betonilaatta toimii radan tukikerroksena.
Neutraalilämpötila	Lämpötila-alue, jossa kiskon lämpölaajeneminen on pienimmillään.
Termitihitsaus	Lisäaineellinen kiskon hitsausmenetelmä.
Kaivolaatta	Lyhyt kiintoraidelaatta, johon on upotettu ritiläkantinen kourukaivo.
Urakiskokaivo	Kaivo, joka kerää urakiskon pohjalla olevan veden.
Pandrol-pukki	Tukiteline, jolla kisko asemoidaan paikoilleen ennen kiintoraidelaatan valua.

## 1 JOHDANTO

Tampereelle rakennetaan täysin uusi, moderni raitiotiejärjestelmä palvelemaan kasvavan kaupungin tarpeita. Rakentamispäätös hankkeelle myönnettiin 2014 kaupunginvaltuuston päätöksellä ja toteutusmuodoksi valittiin YIT Rakennus Oy:n (nykyinen YIT Suomi Oy), VR Trackin (nykyinen NRC Group), Pöyry Finland Oy:n ja Tampereen kaupungin muodostama Raitiotieallianssi. Hankkeen kehitysvaihe alkoi kaupunginvaltuuston päätöksen jälkeen ja päättyi vuonna 2017, jolloin osan 1 toteutusvaihe alkoi. Osan 1 rakentamisaika ajoittuu vuosille 2017-2021, ja allianssilla on optio osalle 2, jonka rakentaminen ajoittuisi suunnitelmien mukaan vuosille 2021-2024. Tämän opinnäytetyön keskeisin tavoite on kehittää osan 1 työmailla havaittuja ongelmakohtia seuraavaa toteutusvaihetta silmällä pitäen. Osan 2 toteutukseen tähtäävä kehitysvaihe on alkanut ja kestää vuoteen 2020, joten opinnäytetyön tekeminen aiheesta on ajankohtaista.

Tämä opinnäytetyö vastaa tarpeeseen kehittää raitioradan rakentamista katujen liittymä-alueilla. Osan 1 rakennustöiden ja sieltä saatujen kokemusten perusteella päätettiin kehittää liittymäalueiden rakentamisen toimintatapoja. Pääpaino kehittämisessä asetettiin tekniikkalajien yhteensovittamiseen ja liikennejärjestelyjen toimivuuteen.

Opinnäytetyö koostettiin tutustumalla osan 2 jo valmistuneisiin katusuunnitelmiin ja kaupungin nykytilakarttoihin. Lisäksi työn aineistoa on kerätty haastatteluilla ja alan kirjallisuutta hyödyntämällä. Työn tavoitteena on löytää konkreettisia keinoja rakentamisen eri työvaiheiden yhteensovittamiseen ja rakentamisen sujuvoittamiseen. Työssä keskitytään löytämään osan 2 rakentamista palvelevia ratkaisuja, joiden avulla voidaan tehostaa ja selventää rakennustyön prosessia sekä minimoida ylimääräisen työn syntymistä.

## 2 LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

### 2.1 Työn taustaa ja tavoitteet

Opinnäytetyön tavoite on selkeyttää raitioradan kiintoraidelaattojen rakentamisen vaiheistusta katujen liittymäalueilla Tampereen raitiotiehankeella. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii YIT Suomi Oy yhtenä Raitiotieallianssin osapuolena, ja työ keskittyy käsittelemään erityisesti raitiotien 2. osan toteutusta ja siihen kuuluvia katuliittymiä. Raitiotien 2. osaa suunnitellaan rakennettavaksi Pyynikintorin ja Lentävänniemen väliselle osuudelle. Lisäksi 2. osaan kuuluisi pistoraitteen rakentaminen Hiedanrannasta Lielahteen. Raitiotien 2. osan rataosuus parantaa Tampereen keskustan saavutettavuutta länsi-Tampereen suunnasta. Osan 2 toteutukseen tähtäävä kehitysvaihe on käynnistynyt vuonna 2018 ja se kestää vuoteen 2020 asti. Kehitysvaiheen tarkoituksena on kartoittaa raitiotielle parhaat toteutettavissa olevat ratkaisut rakentamispäätöksen tueksi. Lopullinen päätös raitiotien rakentamisesta Pyynikintorilta Lentävänniemeen tehdään syksyllä 2020. Myös hankkeen toinen osa suunnitellaan toteutettavaksi allianssimallilla ja rakentamisen on suunniteltu sijoittuvan vuosille 2021-2024. (Raitiotieallianssi 2018.)



KUVA 1. Tampereen raitiotielinjat. Osa 1 on esitetty tummalla värillä, osan 2 suunniteltu linjaus puolestaan vaaleammalla sävyllä (Kuva: Yleiskaavoitus. Birgitta Helsing)

Tampereen raitiotien 1. osan toteutuksessa on kohdattu haasteita yhteensovittaa kadun rakennussuunnitelmat ja radan päällysrakennesuunnitelmat. Rakentamisen aikaiset ongelmat korostuvat erityisesti katujen liittymäalueilla, joissa useiden tekniikkalajien työt kohtaavat. Havaintoja kehityskohdista on kerätty tekemällä haastatteluja hankkeen työmaan eri lohkoilla. Työmaan edustajien lisäksi haastateltiin suunnittelutyön edustajaa, jotta kehitystarpeista saatiin kattavampi kokonaiskuva.

Havaittuja ongelmia liittymäalueiden toteutuksessa ovat muun muassa olleet:

- Suunnitelmien yhteensovitus: putki- ja johtolinjat törmäävät.
- Suunnitteluratkaisuja ei ole mahdollista toteuttaa laadukkaasti katujen ahtauden takia.
- Laattajaot ovat epäselviä eikä liikuntasauvojen sijaintia ole suunniteltu liikennejärjestelyjen näkökulmasta.
- Tieto kiskon tarkasta sijainnista liittymässä on epäselvä.
- Ei selkeää yhtenäistä työvaihetta, sillä liittymät rakennetaan useassa pienessä palasessa liikenteen ehdoilla.
- Uuden tasauksen sovittaminen vanhan pinnan kanssa.
- Suunnittelutyö vaikeutuu lähtötietoaineiston heikkolaatuisuuden takia.

Haastattelujen perusteella toimintaa haittaavia kipupisteitä on havaittavissa myös suunnittelutyössä, eivätkä työmaalla kohdatut epäkohdat ole näin ollen aina suoranaisesti suunnittelusta riippuvainen. Esimerkiksi lähtötiedoilla on suuri vaikutus siihen, miten laadukkaita suunnitteluratkaisuja kyetään toteuttamaan.

Työmaalla suurin huoli on kuitenkin kohdistunut liittymäalueiden työnaikaisten liikennejärjestelyjen suunnitteluun. Rakennussuunnitelmien ristiriitaisuuksien takia se on ollut ongelmallista, ellei jopa mahdotonta, eikä työnsuunnittelua olla voitu tehdä riittävän tarkalla tasolla. Kun työmaan liikennejärjestelyjä ei kyetä suunnittelemaan tarkasti, se väistämättä heijastuu epävarmuutena toteutustavan valinnassa. Toteutustavan valinta puolestaan vaikuttaa työvaiheen aikatauluun sekä kustannuksiin. Puutteellisen työnsuunnittelun vaikutukset voivat siis olla laajat. Suunnittelun tulee olla riittävän tarkkaa ja se on edellytys laadukkaalle ja onnistuneelle toteutukselle. Opinnäytetyön tutkimustulosten perusteella onkin tarkoitus tuottaa suunnittelijoiden ja rakentajien käyttöön muistio, jonka avulla liittymäalueiden työvaiheiden suunnittelu selkeytyisi.

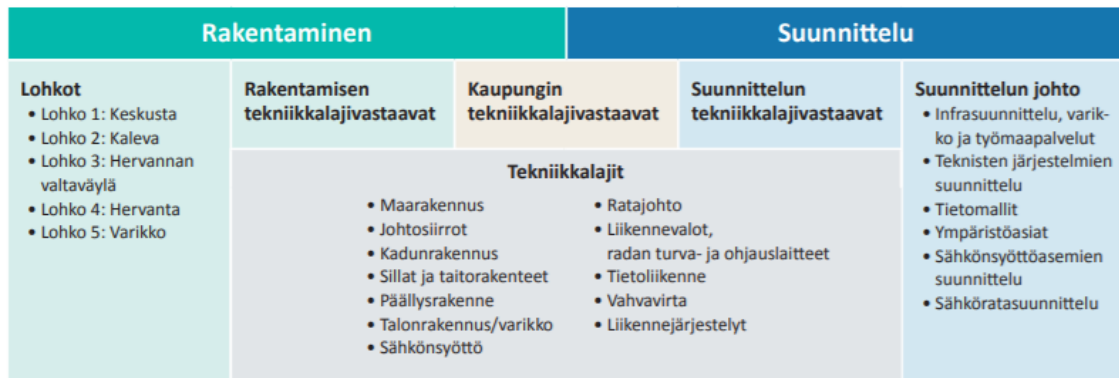
## 2.2 Tutkimusmenetelmät

Tämä opinnäytetyön keskeisin tutkimusmenetelmä on työtä varten hankitun aineiston sisällönanalyysi. Työtä varten tutustuin rakennushankkeen työn suunnitteluun ja ohjukseen liittyvään kirjallisuuteen. Lisäksi perehdyin raitiotien osan 2 suunnitelma-asiakirjoihin ja hyödynsin työssäni Väyläviraston ohjeita ja oppaita. Työn kehitysluonteisuuden takia oli myös luontevaa tehdä haastatteluja muun tiedonhankinnan tueksi. Haastattelut toteutettiin sekä henkilökohtaisina että sähköpostihaastatteluina.

## 2.3 Raitiotieallianssi

Allianssi on yhteistoimintamalli, joka on kehittynyt tarpeesta hallinnoida monimutkaisia yhteistoimintahankkeita, joissa korostuvat avoimuus ja yhteisvastuullisuus. Allianssissa tilaaja, suunnittelija ja urakoitsija toimivat yhteisen sopimuksen ehdoilla, jolloin toimijoilla on yhteiset tavoitteet. Ominaista on myös se, että riskit ja hyödyt jaetaan kaikkien allianssin toimijoiden kesken. Avoimuuden lisäksi keskeistä on luottamus, sillä allianssin toimijat työskentelevät yhteisten tavoitteiden eteen. (Rakennustieto 2013; Kemi, M. 2019.)

Tampereen raitiotien rakentamisesta vastaa Raitiotieallianssi, jonka muodostavat Tampereen kaupunki, YIT Suomi Oy, Pöyry Finland Oy ja NRC Group. Raitiotieallianssi vastaa hankkeen ensimmäisen toteutusvaiheen infrastruktuurin eli radan, pysäkkien ja varikon suunnittelusta ja rakentamisesta. Lisäksi Raitiotieallianssi vastaa hankkeen toisen osan – Pyynikintori-Lentävänniemi raitiotien jatkoyhteyden – kehitysvaiheen suunnittelusta. KAS-vaiheen eli kehitysvaiheen tarkoituksena on kehittää hankkeen sisältöä ja pohtia toteutusratkaisuja sekä asettaa taloudelliset tavoitteet toteutus- eli TAS-vaihetta varten. Keskeisiä kehitysvaiheen tehtäviä ovat myös luonnossuunnittelu, riskien kartoitus ja uusien suunnitteluratkaisujen innovointi. Projektiryhmä työstää näitä asioita allianssimallille ominaiseen tapaan yhteisessä työtilassa, Bigroomissa. Alla olevassa kuvassa on esitelty projektiryhmän asema toteutusvaiheen organisaatiokaaviossa. (Haukka, Jokinen & Yrjölä 2016, 40.)



KUVA 2. Toteutusvaiheen organisaatiokaavio (Kuva: Haukka ym. 2016, 70)

Toteutusvaihe pitää sisällään sekä rakentamis- että takuuajan. Takuu-aika on kestoltaan viisi vuotta ja tuona aikana allianssi vastaa mahdollisista takuuajan toimenpiteistä. Jokaisen osakohteen takuu-aika alkaa kyseisen kohteen osavastaanotosta. Rakentamistyön lisäksi takuu pitää sisällään myös suunnittelutyön. (Haukka ym. 2016, 50.)

## 2.4 Raitiotien merkitys Tampereen kaupungille

Raitiotietä on suunniteltu Tampereelle jo pitkään, ja vuonna 2014 kaupunginvaltuusto päätti hyväksyä suunnitelman radan rakentamisesta Hervannan ja Lielahden välille. Raitiotie valikoitui ratkaisuksi kaupungin kuormittuneeseen joukkoliikenneongelmaan, sillä pelkästään bussit eivät kykene vastaamaan tulevaisuudessa kasvaviin matkustajamääriin. Hankkeen toteutusmuodoksi valittiin allianssi, jonka tehtävä on vastata ratainfraan suunnittelusta ja rakentamisesta. Allianssin toteutussuunnitelma ja hankkeen kustannusarvio valmistuivat vuoden 2016 syksynä, jolloin kaupunginvaltuusto päätti raitiotien rakenta-

misesta. Hankkeen ensimmäisen osa Pyynikintorilta yliopistolliselle sairaalalle ja Hervannan kaupunginosaan on toteutusvaiheessa, ja se on määrä ottaa käyttöön vuonna 2021. (Kaupunkiliikenne.net 2018.)

Raitiotie nähdään keinoksi kehittää kaupungin maankäyttöä ja Tampereen kaupunkiseutua. Nykyistä yhdyskuntarakennetta voidaan täydentää, tiivistää ja kehittää raitiotien ansiosta, sillä raitiotie voidaan sijoittaa olemassa oleville väylille. Vastaavasti kaupunkirakentamista ohjataan tulevaisuudessa raitiotien varteen, mikä tukee asumista, työpaikkoja ja palveluita sekä tehostaa joukkoliikenteen käyttöä. Raitiotien ansiosta kaupunkiympäristön viihtyisyyttä keskustassa saadaan lisättyä, kun autoliikenteen melu- ja pölyhaitat vähenevät nykyisestä ja kestävä liikumisen edellytykset paranevat. Jalankulun ja pyöräilyn mahdollisuudet näin ollen vahvistuvat ja kaupungin keskustasta uskotaan muodostuvan houkuttelevampi. Raitiotie on helppokäyttöinen, turvallinen ja ennen kaikkea ekologinen ratkaisu yhdessä kasvavan sähköbussiverkoston kanssa. Raitiotie sujuvoittaa omien väyliensä ansiosta joukkoliikenteen ruuhkaisimpia osuuksia. Se myös mahdollistaa kasvun Tampereen suurimpiin kasvusuuntiin. Lisäksi raitiotie parantaa kaupunkilaisten liikkumista julkisten palveluiden välillä. (Raitiotieallianssi 2018; Tampereen kaupunkiseutu 2018, 4-5.)



KUVA 3. Havainnekuva raitiotiestä Tampereen keskustorilta (Kuva: Tampereen Raitiotie Oy 2019)

Tulevaisuudessa raitiotie mahdollistaa kasvavien matkustajavirtojen liikuttelun. Ennusteiden mukaan ihmiset kulkevat tulevaisuudessa nykyistäkin enemmän yli kuntarajojen, mihin mahdollisesti laajentuva raitiotieverkosto tarjoaa tehokkaan ratkaisun. Raitiotie yhdistää kaupunginosat busseja tehokkaammin kaupungin ydinkeskustaan, jolloin keskustan saavutettavuus paranee. Raitiotie myös edistää matkaketjujen toimivuutta ja liityntäpysäköinnin suosiota, jolloin esimerkiksi henkilöautoliikennettä varten kaupungin keskustaan tehtävät investoinnit vähenevät. (Tampereen kaupunki 2018. 42-43, 49-52.)

### 3 TUOTANNON SUUNNITTELU JA OHJAUS

#### 3.1 Työsuunnittelun tarkoitus

Projektitoiminnassa ominaista on suunnitelmallisuus. Suunnittelua tehdään, jotta työ valmistuu ajallaan, välttyttäisiin ikäviltä yllätyksiltä, ja projekti valmistuisi suunniteluilla kustannuksilla. On tutkittu, että hyvin suunniteltu projekti lyhentää hankkeen toteutusai-  
kaa merkittävästi. (Pelin 1999, 99.)

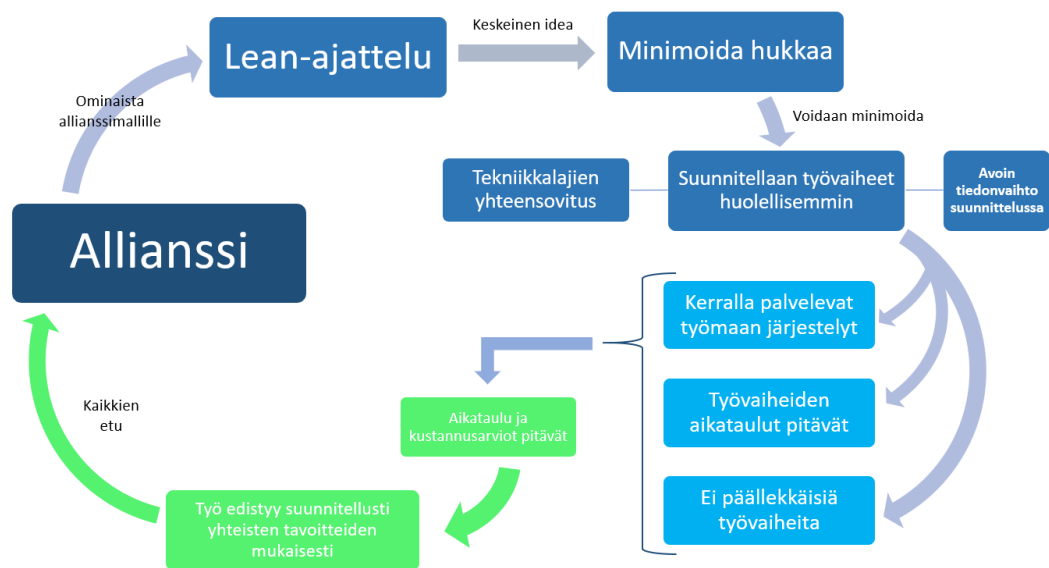
Suunnittelu on parhaan toteutustavan etsimistä, jossa eri ratkaisuvaihtoehtojen ajalliset ja taloudelliset tulokset vertaillaan, ja valitaan vaihtoehdoista parhain. Riittävän kattava ja tarkka suunnittelu on edellytys onnistuneelle toteutukselle. Pelkkä suunnittelu ei yksin riitä, vaan työn toteutusta on myös ohjattava ja valvottava sekä toteumaa seurattava. Muu-  
toin kallisarvoinen suunnittelu on aivan turhaa. (Pelin 1999, 101.)

Myöhästelyt, jatkuva kiire, resurssipula tai resurssien epätasainen jakautuminen, ainaiset aikataulumuutokset sekä yllätykset, joihin olisi voitu varautua ennakolta, kertovat hei-  
kosta projektin suunnittelusta. On ymmärrettävää, ettei kaikkeen ole mahdollista varau-  
tua, mutta monen karikon voi välttää tunnistamalla hankkeelle kohdistuvia riskejä. Tällä  
tavoin muutoksiin osataan varautua, kun mahdolliset riskit ja niiden seuraukset tiedoste-  
taan. (Pelin 1999, 99.)



KUVA 4. Miksi suunnitella (Kuva: Pelin 1999)

Toteutussuunnittelun tulisi olla riittävän monimuotoista, jotta eri tekijöiden vaikutukset tunnettaisiin kunnolla ja ne osattaisiin huomioida työn kannalta (Pelin 1999, 103). Vilkaassa kaupunkiympäristössä tekijöitä on runsaasti ja toimijoita paljon. Käytännön toteutuksen tärkeyttä ei voida suunnittelussa kuitenkaan liikaa korostaa. Usean eri tekniikkalajin projektissa tärkeä merkitys on suunnittelijoiden välisellä avoimella tiedonvaihdolla, jotta rakentamisvaiheen ristiriidoilta ja työn uudelleensuunnittelulta vältytään. Monet tämän työn alussa esitellyistä kehityskohdista ovat poistettavissa kehittämällä suunnittelua suuntaan, jossa tiedonvaihto eri tekniikkalajien välillä olisi avoimempaa. Lopputuloksen tulee olla realistinen toteutussuunnitelma.



KUVIO 1. Lean-filosofia työsuunnittelun taustalla

Allianssin toimintamalliin kuuluu olennaisena osana asiakkaan arvoa korostava ja arvoa rahalle -ideologia sekä jatkuvan parantamisen periaate. Niiden perusteella toimintaa on mahdollista kehittää ja muuttaa tuottavammaksi. Eräs Lean-filosofian kulmakivi on juuri jatkuva parantaminen. Lean-ajattelu kytkeytyy usein allianssimalliin ja sillä tarkoitetaan kehittämisfilosofiaa, jossa hukka pyritään eliminoimaan ja virtausta tehostamaan. Tässä tapauksessa hukka voidaan ymmärtää odotteluna, turhana työnä ja sekä sinä, ettei työntekijöiden osaamista hyödynnetä parhaalla mahdollisella tavalla. Virtaus puolestaan voidaan ymmärtää tilatun työn rakennusprosessina. Virtauksen tuottavuutta voidaan näin ollen parantaa kehittämällä rakennustyö tasaiseksi ja toimintavarmaksi prosessiksi. Tällä tavoin varmistetaan myös hyvän laadun syntyminen. Kaiken edellä mainitun edellytys

kuitenkin on toiminnan yhdenmukaisuus ja työn ohjaus standarditoimintatapojen mukaisesti. (Logistiikan maailma 2019; Kemi, M. 2019.)

### **3.1.1 Suunnittelun ohjausryhmä**

Allianssissa suunnittelun ohjausryhmä toimii olennaisena osana toteutusvaiheen työskentelyä. Suunnittelun ohjausryhmän tehtävänä on vastata suunnittelun ohjauksesta ja hallinnasta toteutusvaiheen aikana. Se yhteensovittaa suunnittelun ja rakentamisen sekä eri tekniikkalajien suunnitelmat. Suunnittelutarpeet ohjausryhmä saa aikatauluun sidottuna rakentamisryhmältä. Suunnittelun ohjauksen tavoite on tuottaa oikea-aikaisesti suunnitelmia rakentamisen tarpeisiin ja huolehtia suunnittelutyön kannalta riittävästä resurssista. Ohjausryhmän tehtäviin kuuluu myös vaikuttaa suunnitteluratkaisuihin uusien innovaatioiden avulla. Suunnittelun innovatiivisuus onkin eräs tärkeä allianssitoiminnan pilari. (Haukka ym. 2016, 40.)

### **3.2 Aikataulusuunnittelu**

Ajallisen hallinnan tarkoituksena on varmistaa hankkeen ajallisten tavoitteiden toteutuminen. Työtehtävien määrittäminen, toteutusjärjestys ja niiden keston arvioiminen ovat keskeinen osa hankkeen aikataulusuunnittelua. Aikataulusuunnittelun lähtökohtana toimii koko hankkeelle asetettu aikataavoite, jonka tilaaja tyypillisesti asettaa. Urakoitsijan tehtäväksi jää aikataulun suunnittelu siten, että asetettu aikataavoite saavutetaan. (Lindholm & Junnonen 2012, 21 & 26-27.)

Infrahankkeissa aikataulusuunnittelua tehtäessä on massojen siirron suunnittelun ohella keskityttävä myös muihin hankkeen kriittisiin työvaiheisiin. Raitioradan rakentaminen katujen liittymäalueilla on eräs tämän kaltainen kokonaisuus, jossa on useita limitettäviä, eri tekniikkalajien työvaiheita ja rajallinen aikaikkuna. Liittymäalueet ovat katujen vilkkaita kohtia, sillä eri liikennemuodot kohtaavat niissä. Työvaiheet on pyrittävä suunnittelemaan mahdollisimman tarkkaan käytettävissä olevien resurssien avulla. Aikaisemmasta referenssikohteesta saatujen tietojen perusteella vastaavanlainen työ voidaan arvioida kestoltaan melko tarkasti, samoin käytettävän työmenetelmän ja kaluston valinta on helpompaa. Mikäli aikaisempaa kokemusta työvaiheesta ei ole, kannattaa työvaihe pilkkoa mahdollisimman pieniin yksikköihin, jolloin työn keston ennustaminen onnistuu todennäköisemmin ja työn toteutus on paremmin hallittavissa.

Alustavan arvion mukaan hankkeen osan 2 kehitysvaihe päättyisi vuonna 2021. Tämän jälkeen alkaisi osan 2 toteutusvaihe eli varsinainen raitiotien rakentaminen Pyynikintorilta Lentävänniemeeseen ja Lielahteen. Liikenne raitiotien osalla 2 alkaisi rakennustöiden valmistuttua vuonna 2024. (Haukka ym. 2016, 5.)

### 3.3 Liikennejärjestelyt

Tiealueella suoritettavat työt aloitetaan aina liikennejärjestelyillä. Liikennejärjestelyt toteutetaan kirjallisen liikenteenohjaussuunnitelman pohjalta, joka hyväksytetään tilaajalla. Liikenne- ja työturvallisuuden takia kaista tai liittymäalue on suljettava yleiseltä liikenteeltä. Työnaikaisia liikennejärjestelyitä suunniteltaessa on muistettava huomioida kaikki liikennemuodot, myös pyöräily ja jalankulku. Töitä ei saa aloittaa tai työkoneita tuoda työalueelle ennen kuin työkohteen liikennejärjestelyt on pystytetty suunnitelman mukaisesti. Liikennejärjestelyjen suunnittelussa voidaan hyödyntää ohjeiden valmiita esimerkkiratkaisuja soveltaen niitä paikallisten olojen mukaan. Esimerkiksi Tampereen kaupunki tarjoaa sivuillaan useita periaatekuvia suunnitelmien tekoa varten (Tampereen kaupunki 2019, katuluvat). Vilkasliikenteisillä väylillä liikenteenohjaussuunnitelmat on kuitenkin suunniteltava huolellisesti vastaamaan tarkasti työkohteen todellisia oloja, joten valmiita esimerkkiratkaisuja tulee käyttää vain, jos ne vastaavat täysin työkohteen olosuhteita. Liikennejärjestelyt ovat olennainen osa tietöitä, joten niiden kustannus- ja aikavaikutus tulee huomioida työtä suunniteltaessa. (Liikenneviraston oppaita 3/2014, 48.)

Tampereen raitiotiehankkeella maa- ja katurakentaminen aiheuttaa pääväylille erityisen haastavia työnaikaisia liikennejärjestelyjä, jotka vaativat huolellista ennakkosuunnittelua (Raitiotieallianssi 2016, 13). Työnaikaisia liikennejärjestelyjä tehdään, jotta yleiselle liikenteelle voitaisiin järjestää mahdollisimman sujuva kulkeminen ja toisaalta taata rakennustyömaan työntekijöille turvallinen työympäristö. Liikennejärjestelyt on toteutettava siten, että ne ovat hyvin ennalta havaittavissa ja ne antavat tienkäyttäjälle yksiselitteiset toimintaohjeet. Tämä osaltaan tukee niin kutsutun sisäisen mallin toteutumista, jossa tienkäyttäjä oppii tietyt järjestelyt kohdatessaan toimimaan aina samalla tavalla. Liikennejärjestelyjen toimivuus varmistetaan vielä liikenteellisillä simuloinneilla. Turvallisuuden kannalta sisäisen mallin toteutuminen korostuu erityisesti liittymäalueilla, joissa eri liikennemuodot risteävät. Sisäisen mallin toteutuminen edellyttää liikenteenohjauslaittei-

den ja liikennemerkkien oikeaa ja yhtenäistä käyttöä. Työnaikaisissa liikennejärjestelyissä käytetään varoituslaitteita ja -valaisimia, joten niiden toimivuus on varmistettava myös pimeään aikaan. Liikenteenohjauslaitteiden kuntoa ja toimivuutta voidaan seurata ja muutoksia tehdä viikoittaisen MVR-mittauksen perusteella. (Liikenneviraston oppaita 3/2014, 47-48.) MVR-mittausta käsitellään myöhemmin alaluvussa 3.4 Työturvallisuus. Samoin liikenteenohjauslaitteita käsitellään tarkemmin tämän työn alaluvussa 5.2. Liikenteenohjauslaitteet.

### 3.4 Työturvallisuus

Työturvallisuuden lähtökohtana toimii valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 26.03.2009/205 (VNA 205/2009), jonka mukaan kaikkien rakennushankkeen osapuolten on huolehdittava siitä, ettei työstä aiheudu vaaraa työmaalla työskenteleville eikä muille työn vaikutuspiirissä oleville henkilöille. Eri osapuolten on oman päätösvaltansa puitteissa huolehdittava siitä, ettei rakennustyöstä aiheudu vaaraa työmaalla. Turvallisuussuunnittelua Raitiotieallianssin työmailla ohjaavat myös Tampereen kaupungin turvallisuusohjeet ja menettelyohjeet sekä allianssin tulostavoitteet turvallisuuden osalta. (Haukka ym. 2016, 73; Lindholm & Junnonen 2012, 86.)

Päätoteuttajan roolissa Raitiotieallianssi vastaa hankkeen turvallisuusjohtamisesta, työturvallisuuden suunnittelusta sekä töiden turvallisesta toteuttamisesta. Päätoteuttajan on työmaalla huolehdittava esimerkiksi aliurakoitsijoiden töiden turvallisesta yhteensovittamisesta ja varmistuttava, että aliurakoitsija on tehnyt omien töidensä osalta tarvittavat turvallisuusdokumentit ja tutustunut työmaan turvallisuuskäytäntöihin. Osaltaan tämä tapahtuu jo työmaan yleisperehdytyksessä, johon kaikkien työmaalla työskentelevien on osallistuttava ennen töiden aloittamista. Raitiotiehankkeessa turvallisuussuunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota muun muassa kaivantojen tuentaan, vaaraa aiheuttaviin putkistoihin ja sähkökaapeleihin sekä nostotöihin. Suunnitelmat on pidettävä ajantasaisina ja niitä on kyettävä muuttamaan olosuhteiden muuttuessa. Lisäksi pääurakoitsijan vastuulla on työmaaliikenteen ja yleisen liikenteen turvallinen järjestäminen sekä työmaan siisteydestä ja työympäristön terveellisyydestä huolehtiminen. (Lindholm & Junnonen 2012, 87.) Eri tekniikkalajien suunnitelmien ristiriidattomuus parantaa välillisesti myös työturvallisuutta, kun työmaan työnaikainen liikenteenohjaus kyetään suunnittelemaan realististen suunnitelmien pohjalta.

Rakennustyön turvallisuutta koskevassa valtioneuvoston asetuksessa on määritelty mitä rakennustöiden turvallisuussuunnittelun tulee käsittää. Sen mukaan ennen rakennustyön aloittamista on laadittava työturvallisuussuunnitelma, jonka perusteella eri työt työvaiheineen ja ajoituksineen voidaan järjestää siten, ettei työstä aiheudu varaa työn tekijöille tai muille työn vaikutuspiirissä oleville. (Lindholm & Junnonen 2012, 88.) Raitiotien rakentaminen tapahtuu joitain radan osuuksia lukuun ottamatta kaupungin vilkkaimmilla kaduilla ja alueilla, joten kansalaiset ja muun muassa joukkoliikenne on huomioita työnteossa jatkuvasti vahingon välttämiseksi. Raitiotien rakentaminen Tampereelle on sekä rakentajille että kaupunkilaisille täysin uudenlainen tilanne, ja työn luonne huomioon ottaen turvallisuussuunnittelua ei voida vähätellä. Useat työvaiheet, kuten radan rakentaminen, ovat spesifejä ja edellyttävät työn huolellista suunnittelua työvaiheiden ajoituksen ja työtapojen valinnassa. Erilaisia rakennustöitä tehdään samanaikaisesti useilla liittymäalueilla, joissa tilan ahtaus on kenties suurin yksittäinen haaste. Liittymäalueiden työt on siis suunniteltava erityisen huolellisesti ja työvaiheiden ajoitukseen on kiinnitettävä huomiota. Työmaaliikenteen lisäksi työmaa-alueella on taattava yleisen liikenteen, pyöräilyn ja jalankulun sekä joukkoliikenteen esteetön kulku. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että rakennustöiden tekeminen kaupungin keskusta-alueella edellyttää aina erityistä tarkkaavaisuutta.

Turvallisuussuunnittelu itsessään ei ole taan turvallisen työmaan olemiselle, vaan työtä on myös valvottava ja vaaratilanteisiin puututtava. Turvallisuussuunnittelun toteutumista Raitiotieallianssin työmaalla valvotaan erilaisin keinoin, ja työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle kohdistuvia vaaroja pyritään minimoimaan edellyttämällä työmaalla työskenteleviltä erilaisia pätevyksiä ja turvallisuuskoulutuksia työtehtävästä riippuen. Lähtökohtaisesti Työturvallisuuskortti ja Tieturva 1 -pätevyys vaaditaan tiealueella työskentelyyn. Työn luonteesta ja työntekijän vastuualueista riippuen voidaan vaatia myös tulityöpätevyys sekä Tieturva 2 - tai ensiapukoulutuksen (EA1/2) suorittamista. Työmaalla käytetään heijastavaa suojavaatetusta, kypärää, suojalaseja ja turvajalkineita. Muiden suojavausteiden käyttö on työtehtävästä riippuvaista. (Haukka ym. 2016, 73.)

Työnjohto kiertää työmaalohkot kerran viikossa ja tekee niistä maa- ja vesirakennustyömaan turvallisuustason mittauksen, eli MVR-mittauksen. Kerrallaan mitattavat alueet ovat tarpeeksi pieniä, jolloin MVR-mittari toimii parhaiten ja luotettavimmin. Turvallisuushavaintoja on myös hyvä olla riittävän suuri määrä. MVR-mittauksessa infratyömaan

turvallisuus on jaettu viiteen osa-alueeseen, jotka ovat *työskentely ja koneenkäyttö, kalusto, suojaukset ja varoalueet, ajo- ja kulkuväylät sekä järjestys ja varastointi*. (Lindholm & Junnonen 2012, 92). Lisäksi työmaille tehdään sisäisiä ja ulkoisia auditointeja turvallisuustason parantamiseksi. Viikoittaisen turvallisuuskierroksen palaute annetaan työviikossa lopussa koko lohkon työntekijöille, jolloin työturvallisuuden mahdollisista kehityskohteista ja onnistuneista toimenpiteistä voidaan keskustella ja palaute antaa yhteisesti.

Työnaikaisten liikennejärjestelyjen muuttuessa laatii työnjohto uusista järjestelyistä työnaikaisten liikennejärjestelyjen tarkastuslomakkeen. Dokumentin avulla todennetaan turvallisuus, ja se on hyvä työkalu järjestelyjen yleisen toimivuuden, ennakoitavuuden sekä liikenteenohjauslaitteiden näkyvyyden ja kunnan tarkistamiseen. Myös jalankulun ja pyöräilyn turvallinen ohjaaminen työmaa-alueella tulee huomioitua tämän tarkastuksen yhteydessä. Hankkeen käytössä oleva tarkastuslomake on tämän työn liitteenä 1.

## 4 PÄÄLLYSRAKENNETYÖT

Tässä luvussa kerrotaan päällysrakenteen rakentamisen työvaiheista ja kiintoraiteen rakentamisesta. Tiedot perustuvat osin työharjoitteluni aikana oppimaani ja tekemiini havaintoihin. Esitellyt asiat tukevat työnaikaisen liikenteenohjauksen suunnittelua ja niistä on hyötyä myös toteutus suunnitelmia laadittaessa.

### 4.1 Raitioradan rakentamisen työvaiheet

Raitioradan rakentaminen katu ympäristöön voidaan aloittaa johtosiirtotöiden valmistuttua. Radan alle ei saa jäädä pituussuuntaisia putkia tai johtoja, joten tämänkaltaiset linjat on siirrettävä pois radan alta. Vain radan poikkisuunnassa alittavat eli rataan nähden kohtisuorassa olevat linjat sallitaan. Uudet radan alittavat kaapelit ja vesihuoltoputkistot rakennetaan siis poikituksina, jotka asennetaan pääsääntöisesti teräksiseen suojaputkeen. Näin niiden uusiminen ja huolto on tulevaisuudessa mahdollista eikä aiheuta kohtuutonta haittaa raitiotieliikenteelle. Erityisen haastavissa paikoissa olemassa olevat betoniset vesihuoltoputkistot voidaan johtosiirron sijasta sukittaa, jolloin linjan käyttöikä on tällä tavoin mahdollista pidentää. (Haukka ym. 2016, 12.)

Sukituksessa vanhaan kunnostettavaan viemäriputkeen vedetään putken puhdistuksen jälkeen hartsilla kyllästetty polyesterikuidusta valmistettu sukka. Veto voidaan tehdä kaivosta tai kaivannosta. Sukka laajennetaan putken seinämiä vasten ilman- tai vedenpainon avulla ja kovetetaan lämmön tai uv-valon avulla. Kovettunut sukka vastaa ominaisuuksiltaan käytännössä uutta putkea. Sukitus ei edellytä suuria maankaivuutöitä eikä liikennettä häiritseviä kaivantoja näin ollen synny. Mikäli sukitus päätetään toteuttaa kaivannosta käsin, on turvallisen kokoisen kaivannon tilavaatimus huomioitava jo toteutus suunnittelutasolla. Johtosiirtotöihin liittyy usein myös ohipumppausjärjestelyjä, jotka on suunniteltava ja pumppausteho mitoitettava kulloisenkin saneerauksen perusteella. Etenkin viemäriin sukituksessa ohipumppaus on usein välttämätön. Vilkkaassa kaupunkikeskustassa ohipumppausjärjestelyt ovat eräitä johtosiirtotöiden kriittisimmistä työvaiheista. (Haukka ym. 2016, 12; Aarsleff 2016.)



KUVA 5. Ohipumppausjärjestelyt (Kuva: Raitiotieallianssi 2018)



KUVA 6. Menetelmäkuvaus viemärin sukkasujutuksesta (Kuva: Aarsleff 2016)

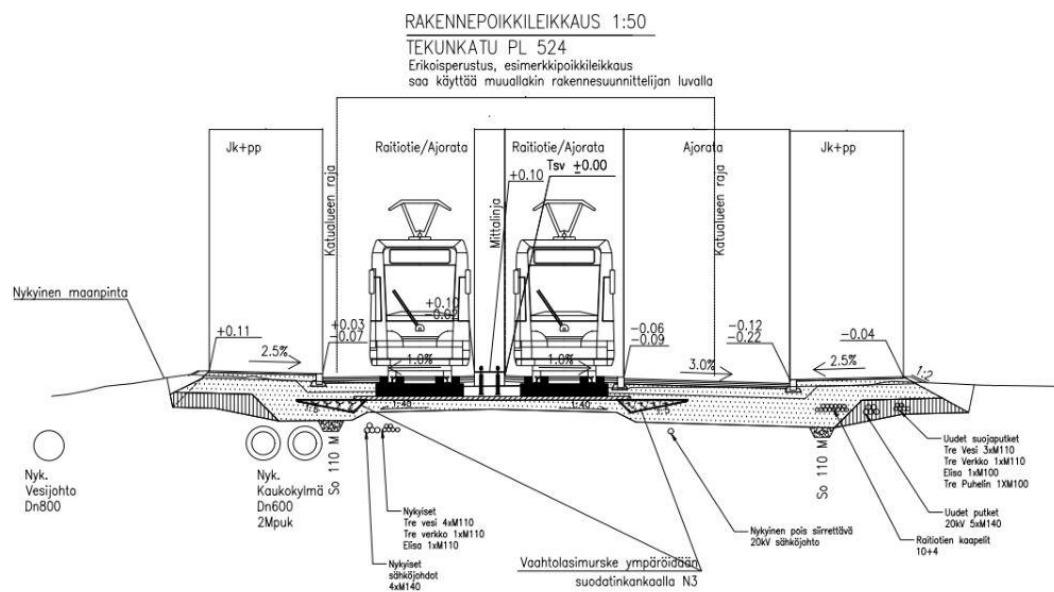
Ennen varsinaisen raitioradan rakentamista toteutetaan myös raitiotien vaatimat taitorakenteet, kuten sillat ja tukimuurit. Näiden ja edellä mainittujen johtosiirtojen jälkeen on edellytykset aloittaa itse raitioradan rakentaminen, joka alkaa radan pohjatöiden työvaiheilla. Kaupunkiympäristössä raitiorata toteutetaan pääosin kiintoraidelaattana eli radan tukikerros muodostuu betonilaatasta. Kiintoraidetta käsitellään tarkemmin tämän työn alaluvussa 4.2.

Kiintoraidelaatan alle rakennetaan suodatinkerros ja jakava rakennekerros, jotka muodostavat radan aluskerroksen. Suodatinkerroksen alle pohjamaahan rakennetaan useasta kaapelisuoja-putkesta muodostuva raitiotien runkoreitti sekä radan virransyötön putkireitti. Putkipatterin tilantarve on suuri, kun suojaetäisyydet huomioidaan. Tämä tulee huomioida varsinkin liittymäalueiden kaapelireittejä suunniteltaessa, sillä olemassa olevan infran takia kadun runko on jo valmiiksi melko ahdas. Luotettavien lähtötietojen perustana ovatkin riittävän tarkat kaapeleiden ja johtojen sijaintikartat. Sijaintikarttojen tiedoista on kuitenkin huomattava, että johtojen sijaintitiedot ovat usein viitteellisiä, sillä esimerkiksi monet kaapelit on saatettu kartoittaa vaiheessa, jossa rakenteet ovat olleet jo peitossa. Myöskään vanhoja kaapeleita ei kaapelikartoista useinkaan löydy. Sijaintikarttojen avulla on kuitenkin mahdollista saada realistinen käsitys siitä, mitä johtoja alueella on odotettavissa. Alla oleva kuva havainnollistaa hyvin maan alla kulkevien johtojen ja putkien määrää.



KUVA 7. Maanalaista infraa (Kuva: Lahti, K. 2018)

Radan aluskerrokseen sisällytetään myös kevennysrakenteet vaahtolasista raitioradan molemmille puolille. Paitsi että vaahtolasi toimii kevennysrakenteena, se myös tasaa painumaeroja radan ja kadun rakennekerrosten välillä. Oheinen rakennepoikkileikkaus auttaa hahmottamaan vaahtolasikiilojen sijainnin kadun poikkileikkauksessa. Aluskerroksen yläpinta on päällysrakenteen niin kutsuttu raakapohja, jonka päälle rakennetaan betoni kiintoraidelaatta. Aluskerroksen rakentamisen aikana tehdään myös tarvittavien suojaputkien ja jalustojen asennus sekä vesihuollon rakentaminen.



KUVA 8. Esimerkki kadun rakennepoikkileikkauksesta (Kuva: Raitiotieallianssi 2018)

Radan päällysrakenne muodostuu routaeristeestä sekä varsinaisesta paikalla valettavasta kiintoraidelaatasta, johon kiskot kiinnitetään. Suulakepuristettu XPS-eriste asennetaan jakavan kerroksen päälle tasatun asennushiekan varaan. XPS-eriste on kauppanimeltään Finnfoam ja sitä käytetään eristeenä muun muassa maanvaraisissa rakenteissa ja putkikaivannoissa. XPS-eristelevyt asennetaan kahteen kerrokseen ja limitetään siten, ettei pitkiä saumoja pääse syntyvän. Saumat yhdistetään toisiinsa polyuretaanivaahdolla saumojen tiiveyden takaamiseksi. Myös läpiviennit tiivistetään huolellisesti polyuretaanivaahdolla. Lisäksi kriittisimmät saumat ja läpivientien kaulukset teipataan.



KUVA 9. Radan routaeristys asennettuna



KUVA 10. Ratakiskot ja pölkyt laskettuna eristekerroksen päälle

Eristekerroksen valmistuttua ratapölkkyihin kiinnitetyt kiskot lasketaan ”blokkeina” eristekerroksen päälle. Kiskot asemoidaan oikeille paikoilleen Pandrol-pukkien ja painokivien avulla. Blokin ympärille rakennetaan valumuotti ja laatta raudoitetaan suunnitelmien

mukaan. Ennen valua laattaan asennetaan tarvittavat läpiviennit ja putkitukset muun muassa turvalaitteiden kaapelointeja varten. Myös radan geometrian paikkansapitävyys varmistetaan tarkistusmittauksella tässä vaiheessa. Lopuksi valmis raudoitettu ja varusteltu laatta valetaan. Valetun kiintoraidelaaan tulee antaa kuivua riittävästi ennen seuraavan työvaiheen aloittamista. Raskaiden koneiden liikkuminen tuoreen laatan päällä aiheuttaa liian suurta ennenaikaista kuormitusta, joka saattaa aiheuttaa laattaan ei-toivottuja halkeamia tai murtumia.



KUVA 11. Valmis kiintoraidelaaatta

Kun valettu kiintoraidelaaatta on kuivunut ja saavuttanut riittävästi lujuutta, voidaan päällysrakenteen työvaiheita jatkaa. Rakentaminen jatkuu laatan reunatyöillä. Reunat muotoillaan ja tasataan suunniteltuihin korkoihin ja kaltevuuksiin. Radan pintarakenne toteutetaan suunnitelmien mukaan joko viherraitena tai kestopäällysteellä. Esimerkiksi Hämeenkadun rataosuudella pintamateriaalina käytetään kolmen eri sävyn graniittista nupukiveä. Muutoin sekaliikennekaistoilla ja liittymäalueilla kiskot upotetaan asfalttiin. Poikkeuksena edellä mainitusta ovat sepeliraidesuurukset, joissa raiteet lepäävät raidesepelistä muotoillun tukikerroksen varassa.



KUVA 12. Hämeenkadulla kaksoisraiteen pintamateriaalina käytetään nupukiveä (Kuva: Tamperelainen 2018)

Pintarakenteiden valmistuttua raitiotielle asennetaan vielä maan päälle tulevaa varusteinfräa, kuten pylviäitä, ajojohtimia, turvalaitekaappeja, valaisimia, liikennevaloja ja -merkkejä. Osa pystytettävistä pylväistä on yhteiskäyttöpylväitä, jolloin samaan pylvääseen voidaan asentaa sekä kadun valaisimet että raitiotien ajolangan ripustimet. Raitiotien varteen istutetaan myös lukuisia puita ja muita istutuksia. Raitiotien varteen istutetaan yhteensä 440 puistolehmusta, 84 rauduskoivua ja kymmeniä kappaleita vuorijalavia, pylväshaapoja, vaahteroita, pylväspihlajia ja pilvikirsikoita. Puita istutetaan osan 1 radan varteen koko raitiotien reitille aina Pyynikintorilta Hervantaan asti. (Raitiotieallianssi 2018.)

## 4.2 Kiintoraide

Kiintoraide on vaativa erikoisrakenne. Sillä tarkoitetaan kantavaa betonilaattaa, johon radan kiskot kiinnitetään. Betonilaatta toimii siis radan tukikerroksena tavanomaisen sepelekerroksen tavoin. Betonilaatta pitää kiskon oikeassa asennossa, jakaa kuormia sekä toimii radan tasaisena ja kantavana alustana. Kiintoraiteen etuja tavanomaiseen sepelelirataan verrattuna ovat muuan muassa pidempi käyttöikä sekä alhaisempi kunnossapidon tarve. Kiintoraide mahdollistaa myös pienemmän rakennepaksuuden ja paremman pysyvyyden,

josta on apua esimerkiksi siltarakentamisessa. (Ratahallintokeskus 2008, 3; Haukka ym. 2016, 16.)

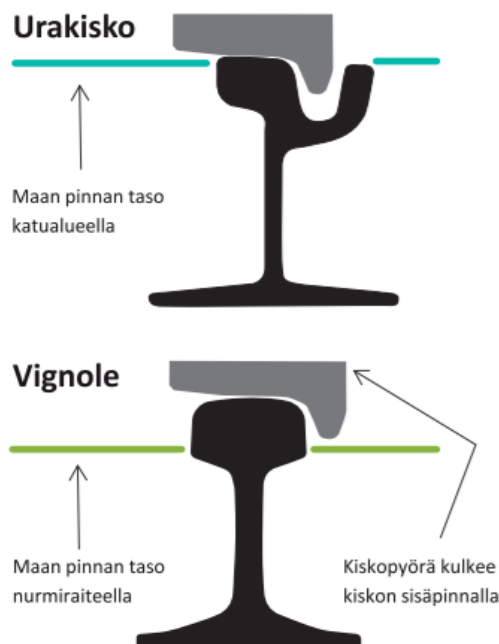
Tampereen raitiotiehankkeella 65% raiteesta rakennetaan kiintoraiteena. Ensimmäisessä vaiheessa rataa rakennetaan 15 kilometriä, joten kiintoraiteen osuus tästä on näin ollen 9,76 kilometriä. Tästä vajaat kolme kilometriä toteutetaan nurmiratana. Oheinen kuva havainnollistaa eri raidetyyppien sijoittumisen hankkeen 1. osassa. Osan 2 suunniteltu linjaus on muuttunut joiltain osin alla esitetystä, vuonna 2016 julkaistusta raitiolinjakar-tasta. Hiedanrannan uusin, suunniteltu raitiotien linjaus on nähtävissä sivulla 8 kuvassa 1. (Haukka ym. 2016, 16.)



KUVA 13. Eri raidetyypit osalla 1 (Kuva: Haukka ym. 2016, 17)

Tampereen raitiotiehankkeella kiintoraidelaatassa kiskoprofiilina käytetään ura- tai Vignole-kiskoja. Kiskot asennetaan ratapölkkyihin, valetaan pölkkyineen betonilaattaa ja lopuksi hitsataan jatkuviksi. Laatan rakentamisen yhteydessä kiskon päät tuodaan betonilaatasta ulos vähintään 1,5 metriä kiskon jatkuvaksi hitsausta varten ja tämä on huomioi-

tava työn toteutusta suunniteltaessa. Kiskoihin asennetaan myös eristekumit, joiden tarkoitus on vaimentaa kiskopyörän aiheuttamaa ääntä sekä vähentää sähköön hajavirtoja. (Haukka ym. 2016, 16.)



KUVA 14. Vignole- ja urakiskon profiilit (Kuva: Haukka ym. 2016, 16)

Yllä olevassa kuvassa on esitetty raitiotien radassa käytettävät kiskoprofiilit. Urakirkolla tarkoitetaan kiskoa, johon on valssattu ura raitiovaunun kiskopyörän kulkemista varten. Vignole-kiskotyypissä kiskopyörä taas kulkee kiskon kulkupinnan sisäreunalla. Sen käyttökohteet ovat nurmiradalla ja sepelirataosuuksilla, sillä sen puhtaanapito on helpompaa kuin urakiskon. (Haukka ym. 2016, 16.)

#### 4.2.1 Rakentaminen

Kiintoraiderakennetta käytetään Tampereen keskustan alueella aina Pyynikintorilta Tampereen yliopistolliselle keskussairaualalle asti sekä Hervannan kaupunginosassa. Kalevan ja Hervannan välissä raitiotie kulkee sepeliradalla. Sepeliradassa radan tukikerros muodostuu nimensä mukaisesti ratasepelistä. Rakennettavan raitioradan raideleveys on 1435mm (Haukka ym. 2016, 4).

Ratahallintokeskuksen ohjeistuksen (Ratahallintokeskus 2008, 66) mukaan kiintoraiteen asennus betoniseen tukirakenteeseen voidaan jakaa kahteen työvaiheeseen:

### Vaihe I

- Peruslaatan valmistelu
- Raiteen alustava paikalleen mittaus
- Kiintoraidejärjestelmän asennus
- Kiskojen kiinnitys kiintoraidejärjestelmään ja asemointi
- Raiteen paikalleen mittaus
- Betonoinnin valmistelu
- Tarkistusmittaus

Vaiheen I läpiviennin kannalta ratkaisevin tekijä on raiteen asemointi ja paikalleen mittaus. Lisäksi tulee huomioida tuotejärjestelmään mahdollisesti sisältyvät raudoitteet ja niiden edellyttämä asennustyö.

### Vaihe II

- Betonointi
- Asemointirakenteen vapautus ja purku
- Muottien purku
- Raidetyöt
- Tarkistusmittaus
- Kiskon ja komponenttien puhdistus
- Muut viimeistelytyöt

Vaiheessa II merkittävin seikka on betonoinnin logistiikka. Lisäksi tulee huomioida tuotejärjestelmään mahdollisesti sisältyvät erikoisbetoni ja muut materiaalit sekä niihin liittyvä asennustyö.

Väylärakentamisessa siirtymärakenteiden rakentaminen on tyypillistä, sillä maaperäolosuhteet vaihtelevat. Myös raitioradalle on tavanomaisen rautatien tavoin rakennettava siirtymärakenteita silloin, kun kovalta kantavalta pohjalta siirrytään vähemmän kantavammalle maapohjalle. Tällaisin kohtia ovat esimerkiksi siirryttäessä kiintoraiteelta sepeliraiteelle tai kiintoraiteen siirtyminen paalulaatalle ja sieltä pois. Siirtymärakenteen tarkoitus on estää materiaalien erilaisista muodonmuutosominaisuuksista johtuvia painumia jakamalla painumaero tasaisesti siirtymärakenteen matkalle. Siirtymärakenteen tarkoitus on myös estää, ettei kiskoon tai ratapölkkyyn kohdistu liian suurta paikallista rasitusta. Lisäksi se tasaa raideliikenteen kulkua muodonmuutoksen synnyttämällä epätasaisella osuudella. (Ratahallintokeskus 2008, 59.)

#### 4.2.2 Hitsaus- ja jatkostyöt

Ennen hitsausta kiskosta on poistettava jännitys ja saatettava se pituuteen, joka sillä olisi neutraalilämpötila-alueella. Neutraalilämpötila-alueeksi on määritelty  $17 \pm 5$  °C. Kiskon ollessa neutraalilämpötilassaan, voidaan se kiinnittää ratapölkkyihin ja hitsata jatkuvaksi. Mikäli kisko joudutaan hitsaamaan ja kiinnittämään neutraalilämpötilan alapuolella, on

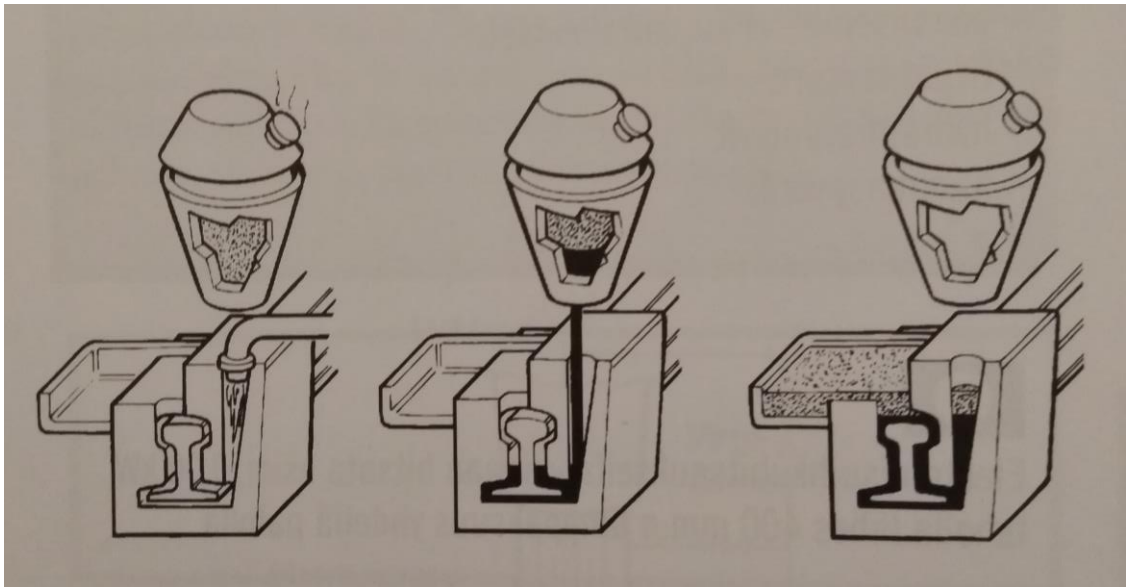
se saatettava joko lämmittämällä tai vetämällä neutraalipituuteensa. Raton osan 19 *Jatkuvakiskoraiteet ja -vaihteet* määrittelee sallituiksi hitsausmenetelmiksi ainoastaan lisääineelliset hitsausmenetelmät eli termiittijatkos- ja kaarijatkoshitsauksen. Lisäksi Suomessa käytetään myös leimuhitsausmenetelmää. Leimuhitsausta hyödynnetään myös Tampereen raitiotiehankkeella hitsattaessa kiskoja sepelirataosuuksilla. Menetelmä on soveltuvampi, sillä hitsattavat kisko-osuudet ovat pidempiä. Menetelmästä riippumatta jatkoshitsauksen tekijällä on oltava työhön kyseisen hitsausmenetelmän edellyttämä pätevyys. (Kauppinen 2011; Rajaranta 2019; Ratatekniset määräykset ja ohjeet 1998.)

Raitioradan rakentamisessa hitsausmenetelmänä käytetään paljon termiittijatkoshitsausta, sillä se on yleinen hitsausprosessi hitsattaessa ratakiskojen päittäisliitoksia. Tarkastellaan lähemmin tätä menetelmää. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet-teoksessa (Lepola & Ylikangas 2016, 200) termiittihitsausta kuvaillaan seuraavasti:

Termiittihitsaus on hitsausmenetelmä, jossa rautaoksidin ja alumiinijauheen kemiallisen reaktion tuloksena syntyy sulaa terästä ja juoksevaa kuonaa, jotka johdetaan muotitien ympäröimään railotilaan. Railossa seos sulattaa esikuumennetut liitospinnat ja näin saadaan syntymään hitsi. Termiittisulahitsaus perustuu siihen, että korkeassa kuumuudessa alumiini pelkistää toisissa metalleissa olevan hapen. Kun alumiini palaa, syntyy n. 3000 °C:n kuumuus. Alumiinin ja rautaoksidijauheen seos sytytetään palaamaan erityisellä sytytyspanoksella. Hitsauksen jälkeen muotti poistetaan ja purseet hiotaan pois.



KUVA 15. Kiskon termiittijatkoshitsaus (Kuva: Raitiotieallianssi. Pasi Tiitola)



KUVA 16. Termiittisulahitsauksen periaatekuva (Kuva: Lepola & Ylikangas 2016, 200)

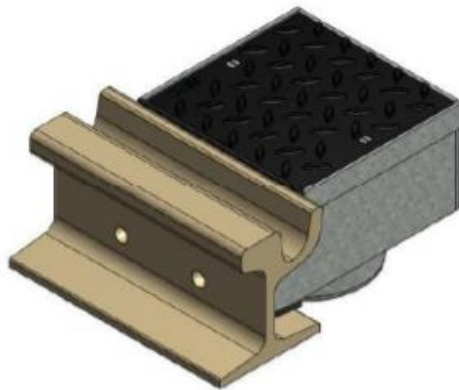
Suomessa vuodenaikojen aiheuttamat lämpötilavaihtelut aiheuttavat kiskoille suuria rasituksia. Jatkuvakiskoraiteessa kiskon päiden väliin ei jätetä lämpölaajenemisvaraa, sillä kiskot hitsataan yhtenäiseksi termiittihitsausmenetelmällä, kuten edellä todettiin. Jatkuvakiskoraiteessa lämpölaajeneminen onkin huomioitu

1. Kiinnittämällä erityistä huomiota asennuslämpötilaan. Asennus tehdään sopivassa, ns. neutraalilämpötilassa, jolloin lämpötilan aiheuttamat veto- ja jännitysvoimat ovat kiskossa pienimmillään. Tämä neutraalilämpötila-alue on määritelty olevaksi  $+12^{\circ}\text{C}\dots+22^{\circ}\text{C}$ .
2. Asentamalla kisko tiukasti ratapölkkyyn. Näin kiskoon syntyvät jännitykset siirtyvät kiskon kiinnityksen kautta ratapölkkyyn, josta edelleen radan tukikerrokseen. Juuri tästä syystä sepeliradalla ratapölkkyjen on oltava riittävän syvällä ratasepelissä, jotta ne pysyvät tukevasti paikallaan.

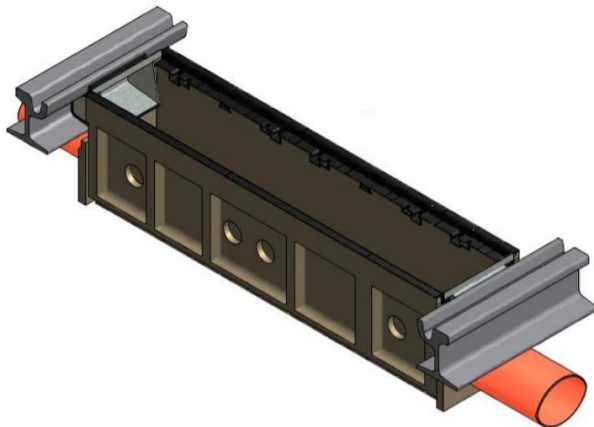
(Nieminen 2017, 10-11; Ratahallintokeskus 1998, 9; Tiede-2000, 2/1999.)

### 4.2.3 Radan kuivatus

Toimiva kuivatus on tärkeää radan toiminnan kannalta. Raitioradan kuivatus toteutetaan muun katu ympäristön kuivatukseen aina kun se on mahdollista. Sekaliikennekaistoissa ja muilla suljettujen ratarakenteiden osuuksilla, kuten asfalttipinnoilla, hulevedet ohjataan kaivoihin ja sitä myöten viemäriverkoston. Salaojien lisäksi radan pinnan kuivatusta voidaan parantaa myös urakiskokaivoilla tai ratarakenteeseen sijoitettavalla järeämmällä kourukaivolla, joka valetaan kaivolaattaan. Urakiskokaivolla tarkoitetaan kiskon kyljessä olevaa kotelomaista kaivoa, johon hulevedet virtaavat urakiskon uraan poratusta reiästä. Urakiskokaivo on ratkaisuna kevyempi eikä vaadi omaa kiintoraidealustaa liikunta- saumoihin. Kiskokaivosta vedet johdetaan edelleen putkea pitkin hulevesiviemäriin. Talvisin kiskokaivon toimivuus varmistetaan saattolämmityksellä. Alla on tyyppikuva urakiskon kylkeen asennettavasta kiskokaivosta. (Rajaranta 2019; Haukka ym. 2016, 14.)



KUVA 17. Tyyppikuva urakiskokaivosta (Kuva: MEA Group 2013)



KUVA 18. Tyyppikuva kiskojen väliin asennettavasta kourukaivosta (Kuva: MEA Group 2013)

Kaivolaatta on lyhyt betonilaatta, johon upotetaan ritiläkantinen kourukaivo. Kaivolaatta on osa raitiorataa ja se vaatii liikuntasaumaa tavallisen kiintoraidelaatan tavoin. Käytännössä tämä tarkoittaa liikuntasaumaa kolmen metrin välein. Yllä on esitetty tyyppikuva kourukaivosta, jolla pintavesiä voidaan hallita urakiskokaivoa tehokkaammin. Lisäksi kaivoon johdetaan laatan sisään sijoitettujen putkien avulla myös kiintoraidelaattaan muodostuva kosteus. Kourukaivosta vedet johdetaan kiskokaivon tapaan edelleen hulevesiviemäriin. Kokoonsa suhteutettuna kaivolaatta on vaativa rakentaa, ja työmäärältään ja kestoltaan sitä voidaanakin verrata sekaliikennelaatan rakentamiseen. Mikäli kaivolaatta päätetään toteuttaa osana radan kuivatusratkaisua, olisi se hyvä huomioida riittävän aikaisin suunnittelupöydällä johtosiirtotöiden ja liikuntasauaman sijainnin vuoksi. Huomatavaa on myös se, että tavalliseen kiintoraidelaattaan verrattuna kaivolaatan pohjan korko on kourukaivosta johtuen muuta rataa syvemmällä, mikä edellyttää syvempää maankaivuuta. Samoin viemäriiliitoksen yhdistäminen voi olla hyvinkin haastavaa riippuen siitä, missä kaivon tuleva purku sijaitsee. (Heinonen 2019, Rajaranta 2019.)



KUVA 19. Nurmirata tuo katukuvaan vihreyttä ja pidättää hulevesiä  
(Kuva: ratikka.info 2014)

Raitioradan nurmi- ja sepelirataosuudet ovat rakenteeltaan sekaliikennelaatoista poiketen vettä läpäiseviä, ja niissä kuivatus toteutetaan avo- tai salaojin. Vedenläpäisykykynsä lisäksi nurmirata vaimentaa melua ja sitoo katupölyä. Nurmiraadan alueella kiintoraidelaatta ei ole täysin yhtenäinen. Tietyissä kohdissa laattaa betoni on korvattu kasvualustalla, jolla

varmistetaan maapohjan ja kasvualustan yhteys. Yhteensä nurmirataa Tampereen raitiotien 1. osalle rakennetaan 2,88 kilometriä. (Haukka ym. 2016, 16.)

### 4.3 Laattajaot

Kiintoraiteen rakentaminen toteutetaan perinteisen sepeliraiteen rakentamisesta poiketen laattoina, jolloin raitiotien rakentaminen katu ympäristöön on mahdollista. Raitiorata siis jaetaan yksittäisiin laattoihin, jotka rakennetaan ennalta suunnitellussa järjestyksessä. Laattojen rakentamisjärjestykseen vaikuttaa esimerkiksi liikenne, jonka kulkureitit on turvattava rakentamisen aikana. Lisäksi laattajakoon voivat vaikuttaa laatan liikuntasauaman sijainti sekä esimerkiksi radan kuivatusjärjestelyt. Laattajaot on pyrittävä suunnittelemaan huolella kaikki tekniikkalajit ja liikennejärjestelyt huomioiden. Suunnittelun tärkeys ja huolellinen ennakotyö korostuvat katujen liittymäalueilla, joissa liikennevirrat ja maanalainen infra risteävät ja työn toleranssit ovat tarkemmat. Mitä enemmän työsuunnitteluun uhrataan aikaa, sitä enemmän voidaan välttyä yllätyksiltä ja muutoksilta, jotka väistämättä vaikuttavat työvaiheen aikatauluun ja seuraaviin työvaiheisiin. Allianssin KAS-vaiheessa edellä mainittuja ongelmia ratkotaan pohtimalla ja ideoimalla suunnitteluratkaisujen eri vaihtoehtoja. Siten raitioradan kiintoraidelaattojen rakentamiseen voidaan ryhtyä realistisin odotuksin, kun työn tekniset ratkaisut, riskit ja kustannukset on arvioitu huolella.

Kiintoraidelaattojen pituudet vaihtelevat lyhyimmistä 3-metrisistä kaivolaatoista aina pitempiin 30-metrisiin laattoihin. Laatan pituuden ja liikuntasauaman sijainnin määrittelyllä on suuri merkitys suunniteltaessa muun muassa työmaan liikennejärjestelyjä. Laattajakojen suunnittelu on osa tätä opinnäytetyötä ja se esitellään alaluvussa 5.2 Tarkemmin kiintoraidelaattojen jaosta ja työn toteutuksen vaiheistamisesta kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

## 5 LIITTYMÄALUEIDEN TOTEUTUS

### 5.1 Työn vaiheistaminen liittymäalueilla

Katujen liittymäalueiden työnaikaisia liikennejärjestelyjä suunniteltaessa on huomioitava ja yhteensovittettava useita eri asioita. Rakennustyötä helpottaa ja nopeuttaa huomattavasti se, jos koko liittymä voidaan sulkea työn ajaksi. Useinkaan tähän ei ole mahdollisuutta, vaan liikenteen on katutyön aikanakin päästävä kulkemaan. Liittymäalueen rakentaminen vaiheittain liikenteen ehdoilla edellyttääkin usein jopa hyvin monimutkaisia liikennejärjestelyjä. Tyypillisesti järjestelyt myös muuttuvat monesti työn edessä. Työnaikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelussa kannattaa kiinnittää huomiota rakennustyön työvaiheisiin ja siihen, että kerran perustetut järjestelyt palvelisivat työmaan tarpeita mahdollisimman pitkään. Raskasta ja henkilöautoliikennettä työmaa-alueilla voidaan tietyissä rajoissa rajoittaa, mutta edellytykset esimerkiksi joukkoliikenteen kulkemiselle sekä pyöräilylle ja jalankululle tulee huomioida työnaikaisten liikennejärjestelyjen eri vaiheissa. Luonnollisesti myös työmaan eri toiminnoille on varattava riittävä työskentelytila.

Katujen liittymäalueilla esiintyy paljon eri tekniikkalajien työvaiheita, joten ne ovat luonteeltaan haastavia työkohteita. Töiden yhteensovitus ja työvaiheiden suunnittelu on näin ollen myös mutkikkaampaa. Liittymien valmistuminen nopeutuu ja turhalta työltä vältytään, kun suunnittelulle asetetaan yksiselitteiset ohjeet. Työskentelyä tehostamalla on mahdollista saada myös taloudellista säästöä. Alle on koottu keskeisimmät liittymäalueen rakentamista koskevat asiat, jotka huomioimalla rakentamisprosessia voidaan selkeyttää ja työnaikaisesta liikenteenohjausta optimoida.

#### **Yhteensovituksessa muistettavaa:**

- Varmista lähtötietoaineiston laatu. Ahtailta kaduilla suunnitteluratkaisujen toteutavuus korostuu.
- Tutustu työkohteen liikennemääriin ja selvitä, paljonko liittymäalueesta voidaan sulkea työalueeksi ilman liikenteen kohtuutonta ruuhkautumista.
- Selvitä alueen johtosiirtotöiden tarve ja uusien johtojen sijoittelu. Johtosiirtotyöt vaativat yleisesti ottaen paljon työtilaa, joka vaikuttaa liikennejärjestelyjen mitoitukseen. Tässä vaiheessa on myös suositeltavaa tarkastaa raitiotien kuivatusratkaisut ja niiden toteutettavuus katuympäristön nykyiseen kuivatukseen.

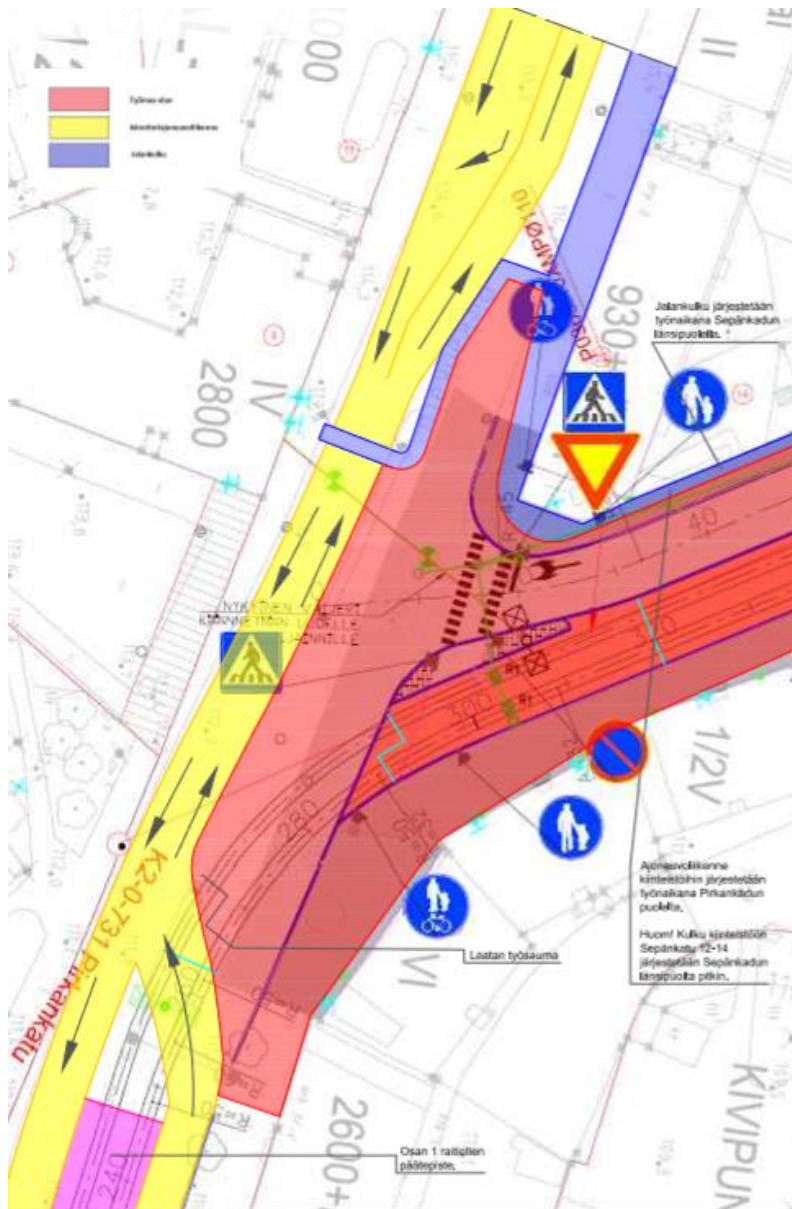
- Määritä radan liikuntasauaman sijainti. Sauaman ei ole suositeltavaa sijaita keskellä liittymäaluetta liikenteen kuluttavan rasituksen takia. Huomioi liikuntasauaman sijainti työnaikaisten liikennejärjestelyjen toteutettavuuden kannalta.
- Pyri suunnittelemaan kiintoraiteen laattajaot rakentamisen kannalta taloudellisesti. Liikuntasauaman ei ole suotavaa sijaita esimerkiksi keskellä suojatietä, sillä se vaikeuttaa työskentelyä rakentamisvaiheessa.

## **5.2 Työnaikaiset liikenteenohjaussuunnitelmat**

Eräs tämän opinnäytetyön tavoitteista oli laatia osan 2 toteutusvaihetta varten työnaikaisia liikenteenohjaussuunnitelmia ja pohtia liittymäalueiden työvaiheistusta. Osan 2 rakentamisen kannalta kriittisin katu on Sepänkatu, sillä se on kaduista ensimmäinen, jota pitkin raitiotie jatkuu Pyynikintorin päätepiesteeltä kohti Lentävänniemeä. Tästä syystä tarkasteltavaksi kaduksi valikoitui Sepänkatu. Seuraavissa alaluvuissa esitellään Sepänkadun katuliittymien työnaikaisia liikennejärjestelyjä ja laattajakoja koskevia suunnitelmia. Ratkaisuihin on päädytty luvussa 5.1. esitellyn muistion pohjalta.

### **5.2.1 Pirkankatu-Sepänkatu**

Pirkankadun ja Sepänkadun liittymäalueen työnaikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelukriteereinä ovat alueella suoritettavat vesihuollon johtosiirtotyöt sekä kiintoraidelaatan liikuntasauaman sijainti. Lisäksi lähtökohtana on kerralla mahdollisimman pitkään työmaan tarpeita palvelevat liikennejärjestelyt, sillä liittymä on vilkasliikenteinen. Alla olevissa suunnitelmissa on havainnollistettu mahdollinen ratkaisuvaihtoehto liikenteenohjaukseen työmaa-alueella. Työ esitetään toteutettavan työnaikaisilla vaiheen 1 ja 2 liikennejärjestelyillä. Ratkaisu perustuu tilanteeseen, jossa Sepänkatu suljetaan osittain yleiseltä liikenteeltä kadun rakennustyön ajaksi. Täysikokoiset suunnitelmat löytyvät liitteinä 3 ja 4 työn lopusta.



KUVA 20. Pirkankadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 1.

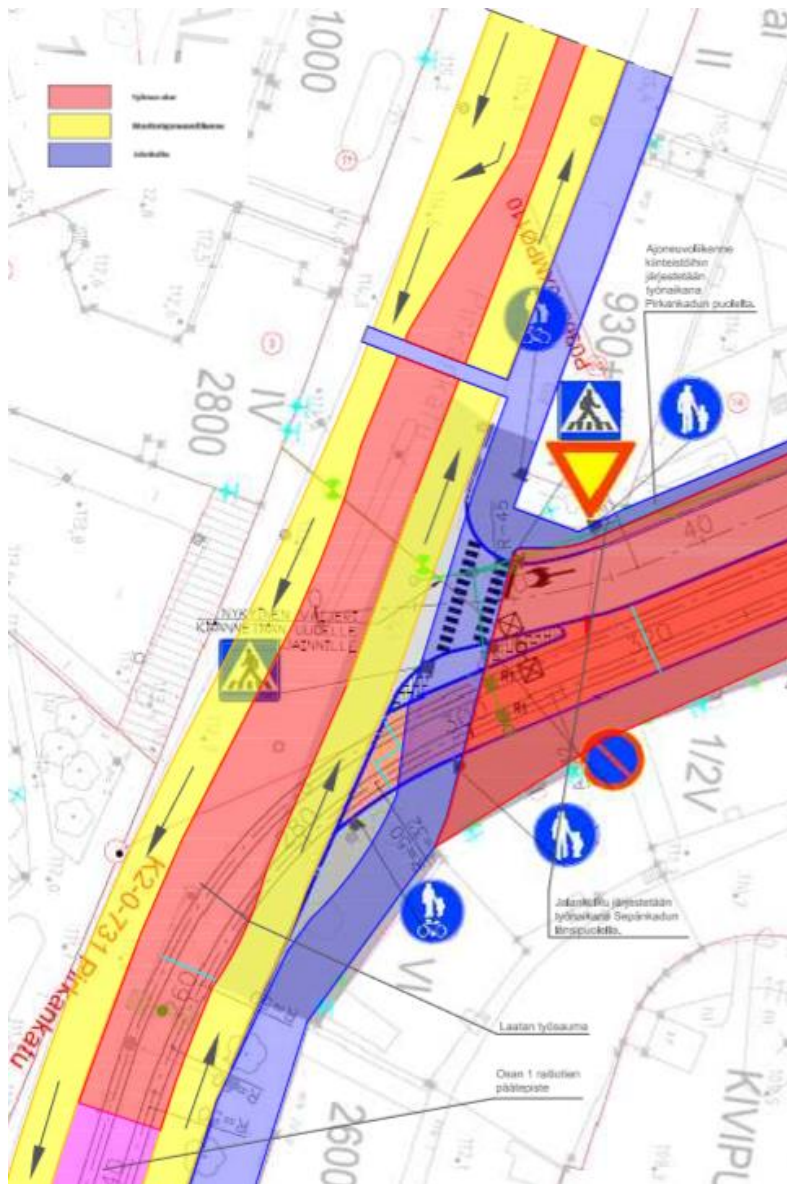
Vaiheen 1 liikennejärjestelyissä Sepänkatu on rajattu työmaa-alueeksi punaisen rasterin osoittamalta alueelta. Keltainen väri kuvaa moottoriajoneuvoliikenteen kulkureittejä, sininen puolestaan pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden kulkureittiä. Turkoosilla viivalla osoitetut katkot ovat kiintoraidelaatan liikuntasauvoja ja kertovat näin ollen laattajaon. Pirkankadulla sekä länteen että itään suuntautuva liikenne ohjataan kulkemaan yhtä kaistaa. Työmaa-alueen nopeusrajoitus on molemmissa vaiheissa 30km/h.

Vaiheen 1 järjestelyillä on mahdollista toteuttaa vanhojen rakenteiden purkutyöt, johtosiirtotyöt, kuivatus, sähköputkitukset, Kiintoraidelaatan rakentaminen sekä reunakivi- ja kiveystyöt uusien ajoratojen mukaisesti punaiseksi rasteroidulta alueelta. Työmaaliiken-

teen on myös mahdollista näillä järjestelyillä saapua ja poistua työmaa-alueelta muun liikenteen kulkusuunnassa, mikä sujuvoittaa sekä lisää liikenteen turvallisuutta. Pirkankadulle järjestettäisiin nykyisen suojatien kohdalle työnaikainen suojatie. Kulkua suojatielle porrastetaan viemärin alitusporauksen porauskaivannon tilantarpeen takia. Samalla porrastus parantaa jalankulkijoiden turvallisuutta. Suojatien järjestäminen lähelle olemassa olevaa suojatietä helpottaa mahdollisia liikennevalojen siirtoja.

Mikäli Sepänkatu suljettaisiin liikenteeltä, on katu mahdollista rakentaa Pirkankadun ja Satakunnankadun väliltä keralla valmiiksi. Tässä tapauksessa Satakunnankadulle suuntautuva liikenne ohjataan kiertoreitille Pirkankadun ja Satakunnankadun liittymästä takaisin Satakunnankadulle. Kulku Sepänkadun länsipuolen kiinteistöihin järjestetään Pirkankadun puolelta ja jalankulku rakennustyön aikana säilytetään Sepänkadun länsipuolella.

Pirkankadun ja Sepänkadun liittymäalueella raitiorataa on mahdollista rakentaa vaiheen 1 järjestelyillä kahden laatan verran. Bussiliikenteen takia Pirkankadun kaistajärjestelyt toteutetaan riittävän loivapiirteisinä, mikä vaikuttaa toisen laatan rakentamiseen. Laattaaan tehdään työsauma suunnitelman osoittamaan paikkaan ja laatan rakentamista jatketaan seuraavan vaiheen järjestelyillä. Rakentamalla raitiorataa vaiheen 1 järjestelyjen mahdollistamalla tavalla, saadaan Sepänkadun ylittävä suojatie siirrettyä lopulliselle paikalleen liikennejärjestelyjen seuraavaa vaihetta varten. Kun vaiheen 1 järjestelyjen mahdollistamat rakennustyöt ovat valmistuneet, siirrytään työnaikaisten liikennejärjestelyjen vaiheeseen 2.



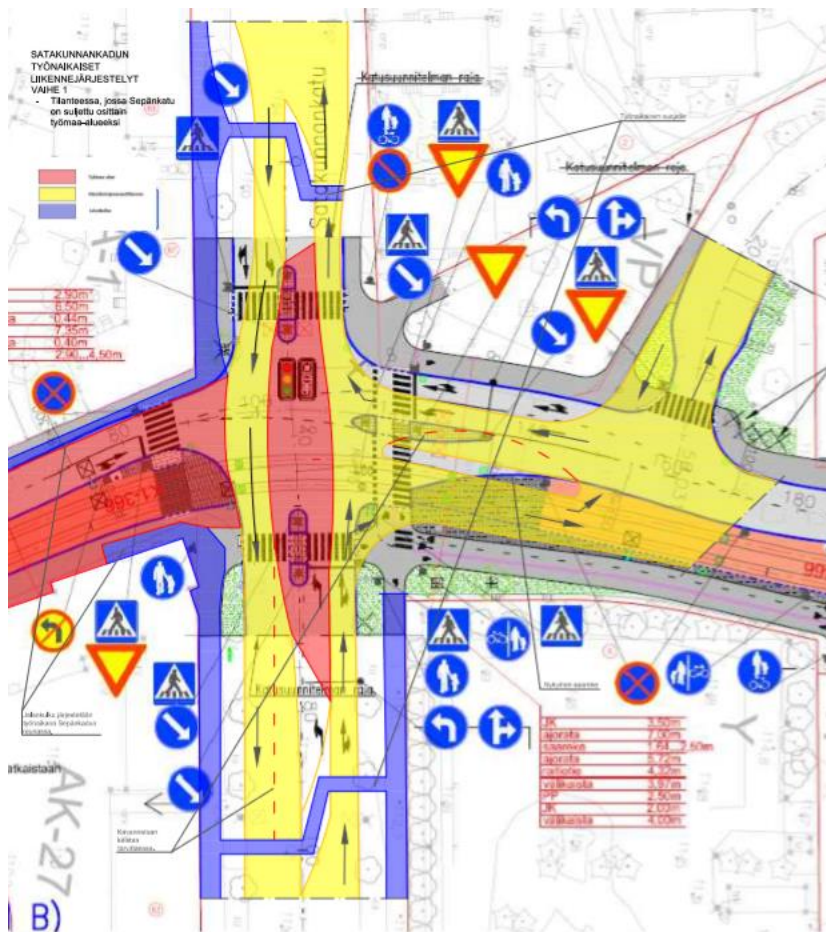
KUVA 21. Pirkankadun työaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 2.

Vaiheen 2 liikennejärjestelyissä Sepänkadun työmaa-alue supistuu kiintoraidelaatan valmistuttua paaluvälillä 270-320. Vastaavasti Pirkankadun keskiosa otetaan työmaa-alueeksi raitiotien rakentamisen jatkamiseksi Pyynikintorin aloituspisteeseen. Keskialueen työmaa-alue ulotetaan yli Sepänkadun liittymän vähintään Pirkankadun ylittävälle työaikaiselle suojatielle asti. Näin käyttöön saadaan varastotilaa työmaan tarpeisiin. Lisäksi itään ja länteen suuntautuvaa liikennettä on mahdollista vuoroin ohjata Pirkankadun keskialueelle ja kaventaa työmaa-aluetta, mikäli johtosiirtotyöt näin edellyttävät. Ohjaamalla liikenne uloimmille kaistoille saadaan suojatielle muodostettua saareke, joka parantaa jalkankulkijoiden liikenneturvallisuutta vilkkaasti liikennöidyllä Pirkankadulla. Turvallisuus korostuu etenkin tilanteissa, joissa suojatien valo-ohjaus ei ole käytössä.

Moottoriajoneuvoliikenne työmaalla ohjataan vaiheen 1 tavoin Pirkankatua pitkin, mutta poikkeuksena edellisestä vaiheesta, nyt Pirkankadun uloimpia kaistoja pitkin. Pirkankadun pohjoispuolella liikenne kulkee nyt valmiin kiintoraidelaatan päällä. Keskikaistat varataan tässä liikennejärjestelyjen vaiheessa työmaa-alueeksi edellä esitellyistä syistä. Jalankululle ja pyöräilylle avataan uusi suojatie pysyväksi kulkureitiksi Sepänkadun yli Pirkankadun pohjoispuolella. Suojatie on uuden katujärjestelysuunnitelman mukainen.

### **5.2.2 Satakunnankatu-Sepänkatu**

Satakunnankadun ja Sepänkadun liittymäalueen työnaikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelun lähtökohtina ovat alueella suoritettavat vesihuollon johtosiirtotyöt sekä kiintoraidelaatan liikuntasauaman sijainti liittymäalueella. Lisäksi lähtökohtana ovat kerralla mahdollisimman pitkään työmaan tarpeita palvelevat liikennejärjestelyt. Alla olevissa suunnitelmissa on havainnollistettu mahdollinen ratkaisuvaihtoehto liikenteenohjaukseen työmaa-alueella. Liittymäalueen rakennustyöt esitetään toteutettavan kolmessa eri vaiheessa siten, että vaiheeseen 2 liittyy myös välivaihe 2.2. Ratkaisu perustuu tilanteeseen, jossa Sepänkatu suljetaan osittain yleiseltä liikenteeltä kadun rakennustyön ajaksi. Täysikokoiset suunnitelmat löytyvät liitteinä 5, 6, 7 ja 8 työn lopusta.



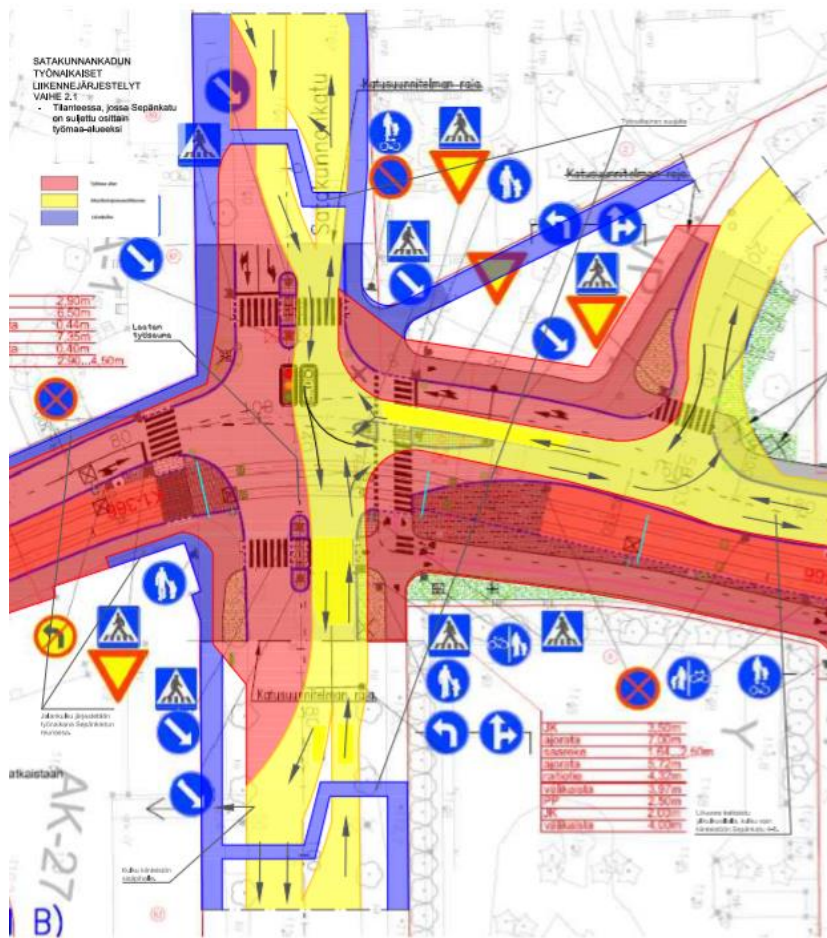
KUVA 23. Satakunnankadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 1.

Vaiheen 1 liikennejärjestelyissä Sepänkatu on rajattu työmaa-alueeksi punaisen rasterin osoittamalta alueelta. Keltainen väri kuvaa moottoriajoneuvoliikenteen kulkureittejä, sininen puolestaan pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden kulkureittiä. Turkoosilla viivalla osoitetut katkot ovat kiintoraidelataan liikuntasauvoja. Satakunnankadulla työmaa-alueen tuntumassa sekä lähteen että itään suuntautuvat liikenne ohjataan kulkemaan yhtä kaistaa. Työmaa-alueen nopeusrajoitus järjestelyjen molemmissa vaiheissa on 30km/h.

Vaiheen 1 järjestelyillä toteutetaan liittymäalueen keskellä hulevesiviemärin johtosiirto-työ. Hulevesiviemäri asennetaan suojaputkeen tulevan raitioradan alle. Myöhemmin toteutetaan myös vastaava suojaputkitus vesijohdon siirron yhteydessä.

Satakunnankadulle rakennetaan nykyisten suojateiden läheisyyteen työnaikaiset suojatie palvelemaan koko liittymäalueen rakennustöiden vaiheita. Kulkua suojateille porrastetaan turvallisuuden parantamiseksi. Toisaalta porrastamalla jalankulkijoiden kulkureittiä saadaan liikenteenjakkajan sisälle jäävä tila myös hyödynnettyä optimaalisesti. Suojatien ylityskohta toteutettaisiin yhden kaistan leveydeltä ilman valo-ohjausta. Lisäksi käytetään

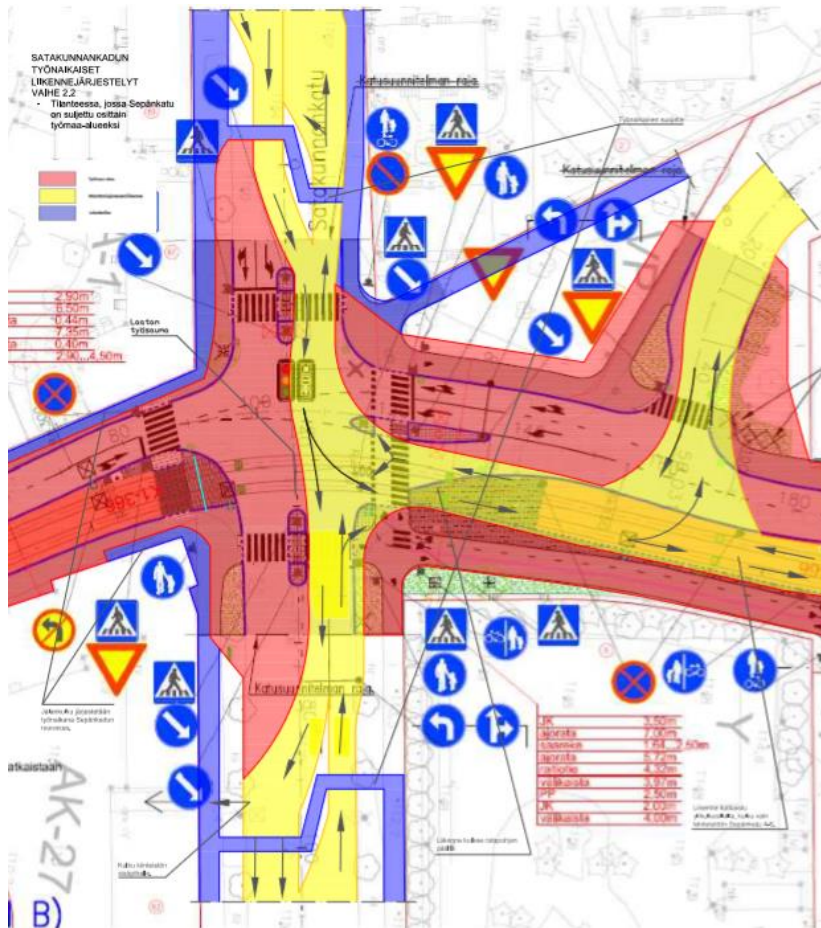
ajoratahidadeita hillitsemään ajonopeuksia. Johtosiirtotyön valmistuttua siirrytään järjestyksen vaiheeseen 2.1.



KUVA 24. Satakunnankadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 2.1

Vaiheen 2.1 liikennejärjestelyissä Sepänkatu on rajattu työmaa-alueeksi punaisen rasterin osoittamilla alueilla. Satakunnankadulla työmaa-alueen tuntumassa sekä länteen että itään suuntautuvat liikenne ohjataan kulkemaan 1+1 kadun pohjoisilla kaistoilla.

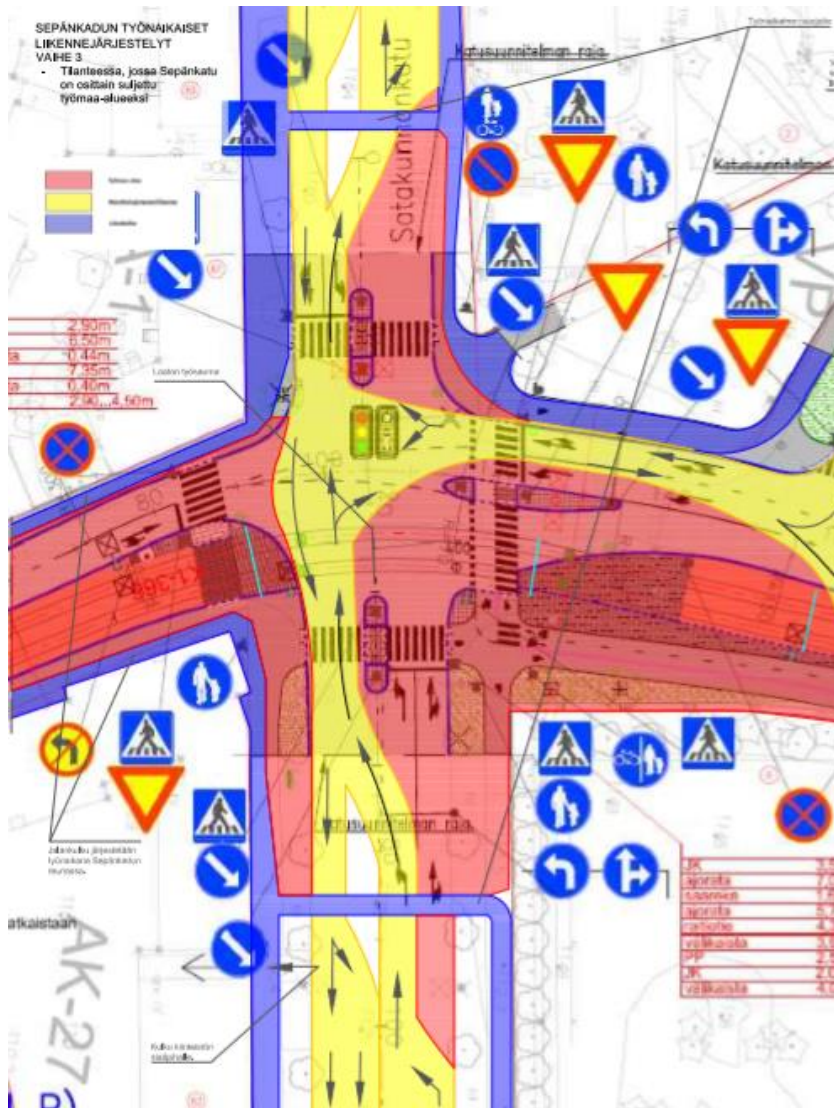
Vaiheen 2.1 järjestelyillä on mahdollista toteuttaa vanhojen rakenteiden purkutyöt, johtosiirtotyöt, kuivatus, sähköputkitukset, kiintoraidelaatan rakentaminen, reunakivi- ja kiiveystyöt sekä vihertyöt uusien ajoratojen mukaisesti punaiseksi rasteroiduilla alueilla. Muun muassa Satakunnankadun uudet suojatiesaarekkeet voidaan rakentaa valmiiksi, samoin liittymän länsipuolella toteutettava reunakivilinjan muutos. Vaiheessa 3 liikenne voidaan ohjata edellä mainituille valmistuneille alueille. Lisäksi jalankulkijoiden käytössä ovat jo 1. vaiheessa perustetut työnaikaiset suojatiet.



KUVA 25. Satakunnankadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 2.2

Vaiheen 2.1 aikana toteutetaan myös välivaihe 2.2 yllä olevan suunnitelman mukaisella tavalla. Välivaiheessa 2.2 liikennejärjestelyjä muutetaan hieman niin, että liikenne siirtyy kulkemaan vaiheen 2.1 aikana rakennetun radan pohjarakenteiden päälle. Samalla liittymäalueen länsipuolella työmaa-alue laajenee lisää Sepänkadulle. Näin työaluetta saadaan laajennettua lisää rakennustyön helpottamiseksi.

Satakunnankadun ja Sepänkadun liittymäalueella raitiorataa on mahdollista rakentaa vaiheiden 2.1 ja 2.2 järjestelyillä puolen laatan verran. Liittymäalueen sekaliikennelaattaa valetaan suunnitelman osoittamaan työsaumaan asti, ja laatta rakennetaan loppuun liikennejärjestelyjen vaiheessa 3.

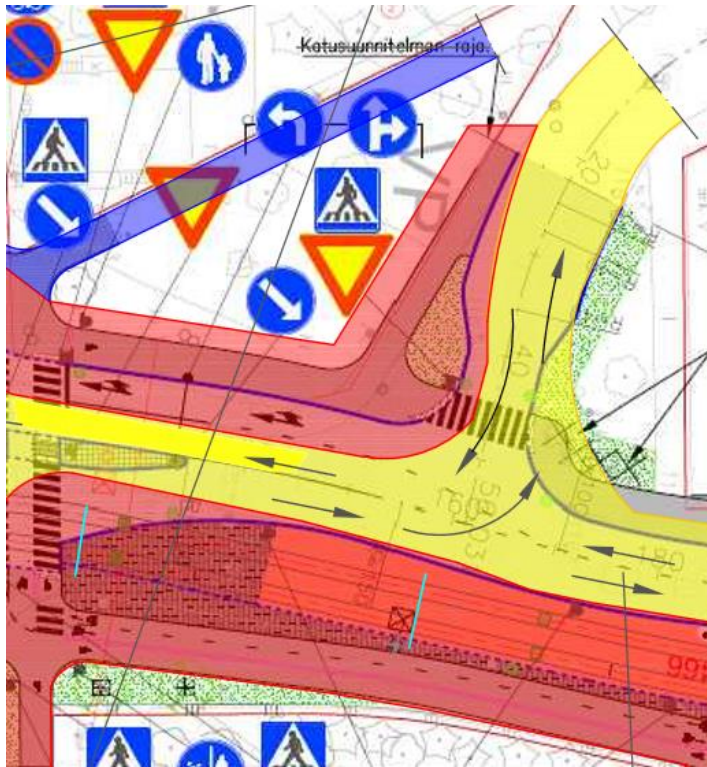


KUVA 26. Satakunnankadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 3.

Työnaikaisten liikennejärjestelyjen vaiheessa 3 Sepänkadun työmaa-alue siirtyy liittymäalueen pohjoispuolelle ja liikenne työmaa-alueella ohjataan suunnitelman mukaisella tavalla 1+1 kadun eteläisille kaistoille. Pirkankadun ja Satakunnankadun välillä työmaa-alue pysyy ennallaan. Kuten Pirkankadulla, myös Satakunnankadun työnaikaiset liikennejärjestelyt mahdollistavat sen, että työmaaliikenne on voi saapua ja poistua työmaa-alueelta muun liikenteen suunnassa, mikä parantaa liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta. Jalankulun ja pyöräilyn kulkureitit noudattelevat paljolti edeltävien vaiheiden järjestelyjä, lukuun ottamatta Sepänkadun itäpuolella kulkevaa kevyen liikenteen väylää, joka jää työmaa-alueen sisälle. Tältä osin kevyt liikenne ohjataan kiertoreitille Suokadun ja Sotkankadun kautta takaisin Satakunnankadulle. Vaiheessa 3 myös uusi Sepänkadun ylittävä, katujärjestelysuunnitelman mukainen suojetie (suunnitelmassa pl 85) voidaan avata jalankulun ylityspaikaksi, mikäli Sepänkadun valmistumisaste sen mahdollistaa.

### 5.2.3 Savilinnankatu-Sepänkatu

Savilinnankadun ja Sepänkadun liittymäalueen toteutuksen vaiheistus nojaa pitkälti edellisessä alaluvussa esiteltyihin Satakunnankadun liikennejärjestelyjen vaiheisiin. Savilinnankadulta on kulku alueen asuinkeinteistöihin sekä Tipotien terveysasemalle, eikä katu ole kovin vilkkaasti liikennöity. Savilinnankadun liittymän muutostyöt ovat pienimuotoisemmat verrattuna muihin liittymiin, joten muutostyö on luontevaa tehdä yhdessä Satakunnankadun liittymän rakennustöiden kanssa. Alla olevissa suunnitelmissa on havainnollistettu mahdollinen ratkaisuvaihtoehto liikenteenohjauksen järjestämiseen työmaa-alueella. Ratkaisu perustuu tilanteeseen, jossa Sepänkatu suljetaan osittain yleiseltä liikenteeltä kadun rakennustyön ajaksi. Täysikokoiset suunnitelmat löytyvät liitteinä 6, 7 ja 8 työn lopusta.

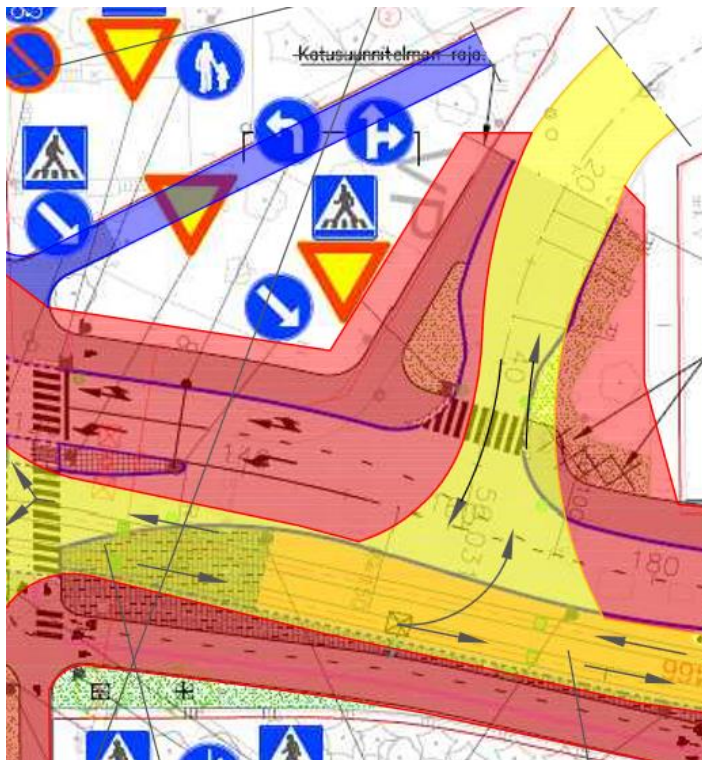


KUVA 27. Savilinnankadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 1

Savilinnankadun vaiheen 1 liikennejärjestelyt toteutetaan samanaikaisesti Satakunnankadun liittymäalueen rakennustöiden vaiheen 2.1 kanssa. Työmaa-alueeksi on rajattu Sepänkadun uloin kaista sekä koko kadun itäpuoli punaisen rasterin osoittamalla tavalla. Keltainen väri kuvaa moottoriajoneuvoliikenteen kulkureittejä, sininen pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden kulkureittiä. Savilinnankadun liittymän muutostöiden ajan jalankulku

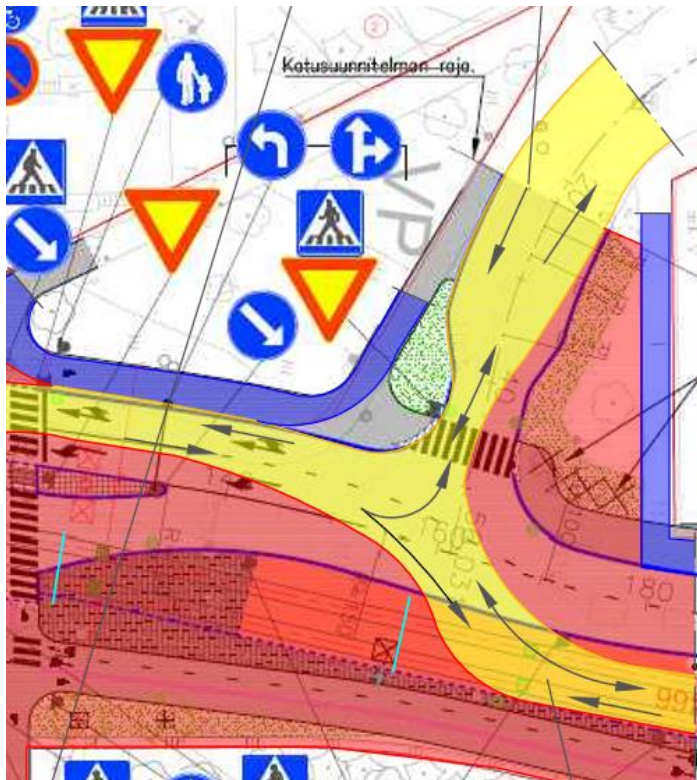
työmaa-alueen ohi järjestetään puistokäytävää pitkin. Vaiheen 1 aikana Sepänkadulta Savilinnankadulle suuntautuva liikenne ohjataan kulkemaan molempiin suuntiin yhtä kaistaa pitkin. Työmaa-alueen nopeusrajoitus rakennustöiden molemmissa vaiheissa on 30km/h.

Vaiheen 1 järjestelyjen alussa Savilinnankatua levennetään vanhan viheralueen päällä yllä esitetyn suunnitelman mukaisesti. Tällä tavoin punaiseksi rasteroidulla työmaa-alueella on mahdollista toteuttaa vanhojen rakenteiden purkutyöt, johtosiirtotyöt, kuivatuksen rakentaminen, sähköputkitukset sekä uusien ajoratojen mukaiset reunakivi- ja viher-työt. Järjestelyjen seuraavassa vaiheessa (2) Savilinnankadulta Sepänkadulle suuntautuva liikenne voidaan ohjata tälle valmistuneelle, uloimmalle kaistalle.



KUVA 28. Savilinnankadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 2

Vaiheen 2 liikennejärjestelyt toteutetaan samaan aikaan Satakunnankadun liikennejärjestelyjen vaiheen 2.2 kanssa. Muutokset työnaikaisissa liikennejärjestelyissä ovat Savilinnankadun liittymässäkin vähäiset. Tässä vaiheessa liikenne Savilinnankadulle ja Sepänkadun kiinteistöön ohjataan radan pohjarakenteiden päälle ja työmaa-alue laajenee liittymäalueen länsipuolella punaiseksi rasteroidun alueen osoittamalla tavalla.



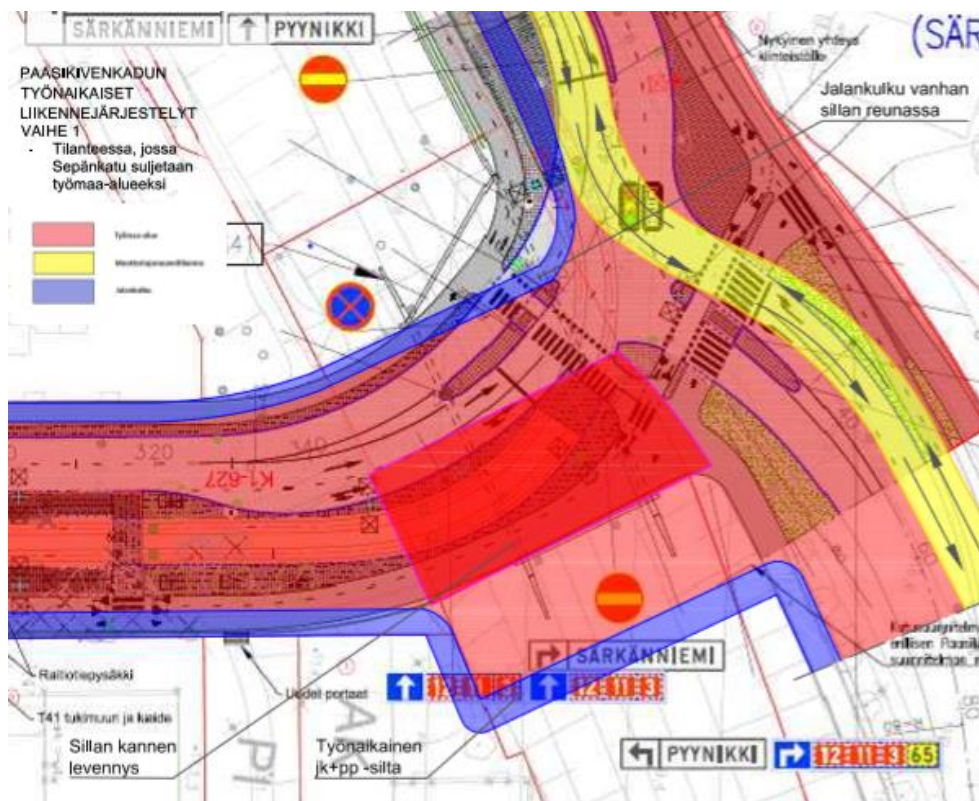
KUVA 29. Sivilinnankadun työaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 3

Vaiheen 3 liikennejärjestelyt toteutetaan samaan aikaan Satakunnankadun liikennejärjestelyjen vaiheen 3 kanssa. Tässä vaiheessa liikenne Sepänkadulla ohjataan edellisessä vaiheessa (2) valmistuneelle länsipuoleiselle kaistalle. Samalla työmaa-alueet Sivilinnankadun pohjoispuolella ja Sepänkadulla laajenevat punaiseksi rasteroidun alueen osoittamalla tavalla. Työmaa-alueen siirtyessä Sivilinnankadun liittymän pohjoispuolelle voidaan liittymäalueen eteläpuolelle valmistunut, katujärjestelysuunnitelman mukainen jalankulun ja pyöräilyn väylä ottaa nyt käyttöön. Lisäksi järjestelyillä on mahdollista toteuttaa loppuun vanhojen rakenteiden purkutyöt, tarvittavat johtosiirtotyöt, kuivatuksen rakentaminen, sähköputkitukset sekä reunakivi- ja vihertyöt ajoradan uuden linjauksen mukaisesti.

Vaiheen 3 aikana Sivilinnankadun liikenne työmaa-alueen tuntumassa ohjataan kulkemaan yhtä kaistaa ja väistämisvelvollisuus Tipotien suunnasta tuleville osoitetaan liikennemerkkein. Lisäksi kiinteistöön Sepänkatu 4-8 järjestetään kulku valmiin asfaltoidun kiintoraidelaatan päällä suunnitelman osoittamalla tavalla.

## 5.2.4 Paasikivenkatu-Sepänkatu

Paasikivenkadun ja Sepänkadun liittymäalueen työnaikaisten liikennejärjestelyjen tärkein suunnittelukriteeri oli Sepänkadun ylikulkusillan leventäminen. Lisäksi liikennejärjestelyjen tulisi molemmissa vaiheessa palvella työmaata mahdollisimman pitkään, sillä Paasikivenkatu on vilkasliikenteinen. Liikennejärjestelyt ja itse sillan rakennustyöt ovat haastavia, sillä työmaan ali kulkee toiminnassa oleva rautatie. Alla olevissa suunnitelmissa on havainnollistettu mahdollinen ratkaisuvaihtoehto liikenteenohjaukseen työmaa-alueella. Työ esitetään toteutettavan työnaikaisilla liikennejärjestelyillä vähintään kahdessa vaiheessa. Sillan rakennesuunnittelu on tämän työn tekovaiheessa vielä kesken, joten seuraavaksi esitettävä ratkaisu on periaatteellinen. Ratkaisu perustuu tilanteeseen, jossa Sepänkatu suljetaan yleiseltä liikenteeltä kadun rakennustyön ajaksi. Myös tämän liittymäalueen täysikokoiset suunnitelmat löytyvät liitteinä 9 ja 10 työn lopusta.

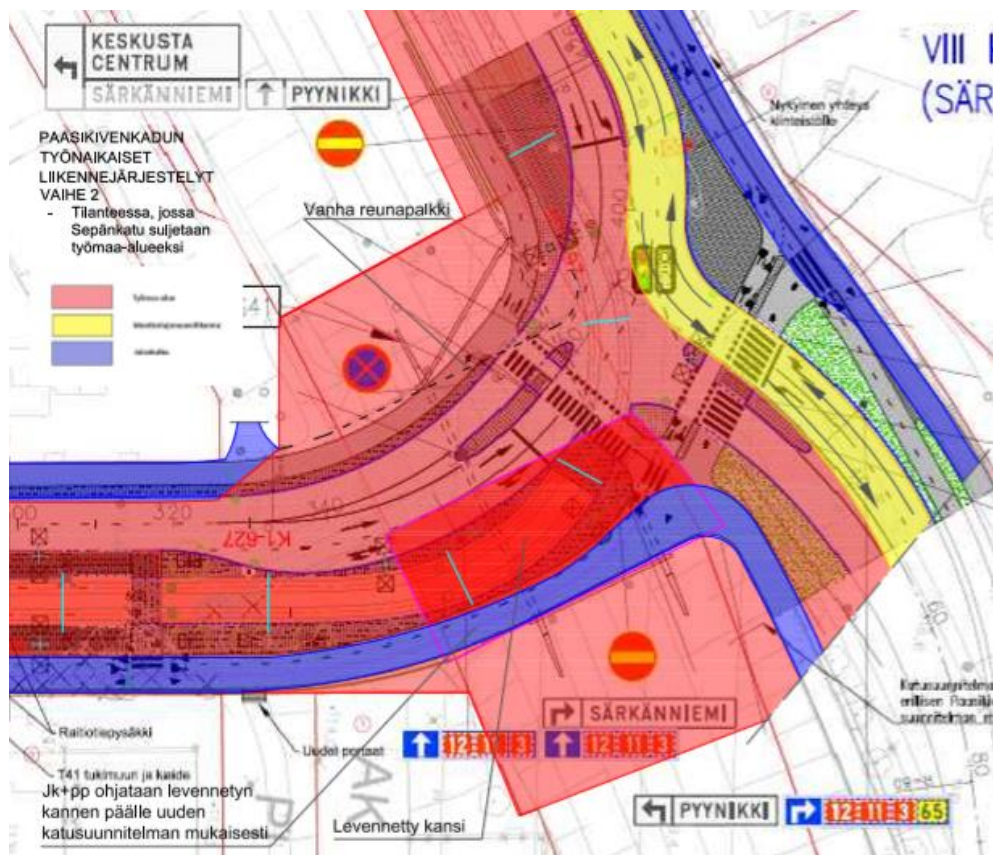


KUVA 30. Paasikivenkadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 1.

Vaiheen 1 työnaikaisissa liikennejärjestelyissä Sepänkadun ylikulkusilta ja Paasikivenkadun liittymäalue on rajattu työmaa-alueeksi punaisen rasterin osoittamalta alueelta. Keltainen väri kuvaa jälleen moottoriajoneuvoliikenteen kulkureittejä, sininen puolestaan

pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden kulkureittiä. Paasikivenkadulla työmaan ohittava liikenne ohjataan kulkemaan yhtä kaistaa suuntaansa. Työmaa-alueen nopeusrajoitus molemmissa vaiheissa on 30km/h.

Vaiheen 1 alussa rautatien päälle rakennetaan työnaikainen kevyen liikenteen silta palvelemaan kulkua Sepänkadulta Paasikivenkadulle. Vaiheen 1 aikana nykyisen ylikulkusillan itäpuolelle rakennetaan uusi kansi ja kiintoraidelaattaa rakennetaan Sepänkadulla paalulle 305 asti. Samanaikaisesti sillan kannen leventämisen kanssa rakennetaan uutta laatuikäytävää Paasikivenkadun liittymäalueen pohjoispuolelle. Lisäksi vaiheen 1 järjestelyillä on mahdollista toteuttaa vanhojen rakenteiden purkutyöt, johtosiirtotyöt ja rakentaa kuivatus punaiseksi rasteroidulla työmaa-alueella. Raitiotietä ei paaluvälillä 305-370 vielä rakenneta sillan rakennustöiden keskeneräisyyden takia.



KUVA 31. Paasikivenkadun työnaikainen liikenteenohjaus vaiheessa 2.

Vaiheessa 2 työmaa-alue on laajentunut ylikulkusillan länsipuolelle ja Paasikivenkadun eteläpuolelle. Tässä vaiheessa vanha osa ylikulkusillasta voidaan purkaa sen jäädessä työmaa-alueelle. Paasikivenkadulla työmaan ohittava liikenne ohjataan kulkemaan 1+1 ka-

dun pohjoisille kaistoille oheisen suunnitelman mukaisella tavalla. Jalankulun ja pyöräilyn kulkureitteihin tulevat muutokset ovat seuraavat: pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden käyttöön avataan levennetylle sillan kannelle rakennettu, uuden katusuunnitelman mukainen laatukäytävä. Samalla työnaikainen kevyen liikenteen silta poistuu käytöstä. Lisäksi ylikulkusillan vanhan kannen purkutöiden takia jalankulku Sepänkadun länsipuolella ohjataan Peurankallionkadulle. Paasikivenkadun pohjoispuolelle vaiheen 1 aikana rakennettu Rantatielle suuntautuva laatukäytävä voidaan nyt myös ottaa osittain pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden käyttöön.

Vaiheen 2 aikana alkuperäisen, puretun kannen tilalle rakennetaan uusi kansi ja kokonaisuudessaan uusi ylikulkusilta on tämän jälkeen lopullisessa leveydessään. Järjestelyjen vaiheessa 2 rakennetaan tukimuuri Paasikivenkadun eteläpuolelle rautatien viereen, minkä jälkeen raitioradan rakenteiden ja kiintoraiteen rakentaminen uuden ylikulkusillan yli voidaan toteuttaa. Työmaa-alueella voidaan myös toteuttaa loput vanhojen rakenteiden purkutöistä, johtosiirtotyöt sekä rakentaa kadun kuivatus, suojatiesaareke ja liittymän tulpat katusuunnitelman mukaisille paikoilleen.

Vaiheen 2 liikennejärjestelyjen mahdollistamien rakennustöiden jälkeen toteutetaan vielä loput pienimuotoiset työt, kuten kiveys- ja vihertyöt omina kokonaisuuksinaan liikenteen kulkiessa jo lopullisten kaistajärjestelyjen mukaisesti.

### 5.3 Liikenteenohjauslaitteet

Tiealueella suoritettavat työt aloitetaan aina liikennejärjestelyillä. Liikennejärjestelyt työmaalla toteutetaan kirjallisen liikenteenohjaussuunnitelman pohjalta, jonka päätoteuttaja toimittaa ja hyväksyttää hankkeen tilaajalla. Liikenteenohjaussuunnitelmassa esitetään mitä liikenteenohjauslaitteita työmaalla käytetään. Alle on listattu Tampereen raitiotiehankkeella yleisesti käytössä olevia, katurakennustyömaalla hyödynnettäviä liikenteen ohjaus- ja varoituslaitteita (Elpac 2019). Myöhemmin luvussa esitetään esimerkkiratkaisuja työnaikaisista liikennejärjestelyistä. Järjestelyistä on löydettävissä alla esitellyjä laitteita:

- sulkutaulut ja -pylväät
- Mini-Guard -turvakaide
- kaistanjakolementit
- raskassuojat
- työmaan suoja-aidat
- liikennemerkkit
- varoitusvilkut
- Ajonopeuksia työmaa-alueella voidaan hillitä ajoratahidasteilla ja nopeusnäyttötauluilla



KUVA 32. Kaistanjakolementti (Elpac 2019)



KUVA 33. Mini-Guard -turvakaide

## Esimerkkiratkaisuja



KUVA 34. Ajosillat osana kevyen liikenteen väylän järjestelyjä

Kuvassa 34 on esitetty työnaikaiset liikennejärjestelyt jalankulku- ja pyöräilyväylällä. Kulkusuunnat on eroteltu toisistaan kahdella erillisellä ajosillalla. Ajosiltojen näkyvyyttä on parannettu sulkupylväillä ja huomioteipillä. Lisäksi työmaa-aitojen näkyvyyttä pimeässä on parannettu varoitusvilkuilla.



KUVA 35. Turvallinen suojatie

Kuvassa 35 suojatie on osana työnaikaisia liikennejärjestelyjä. Jalankulkijan havaittavuutta on parannettu läpinähtävillä verkkoaidoilla ja itse suojatien havaittavuutta maali-merkinnöin ja suojatiemerkein. Lisäksi suojatien turvallisuutta on tehostettu heijastimilla, varoitusvilkuilla ja nopeuksia hillitsevällä ajoratahidasteella. Lisäksi suojatien esteettömyys on huomioitu luiskaamalla reunakiven vierusta öljysoralla.



KUVA 36. Työnaikainen kiertoliittymä Sammonaukiolla

Kuvassa 36 työnaikaisen kiertoliittymän tulpat on toteutettu Mini-Guard -turvakaitteella ja betonisilla raskassuojilla, keskisaareke puolestaan heijastimilla varustetuilla raskassuojilla. Raskassuojat ovat oiva suojausratkaisu, sillä ne ovat matalia eivätkä peitä turvallisuuden kannalta tärkeitä näkemiä. Lisäksi niitä on vaivatonta siirtää työkoneen siirtyessä työmaa-alueelle ja sieltä pois. Kiertoliittymän ajoratamerkinnyt on maalattu kulutusta kestäväällä tiemerkinntämaalilla ja liittymän optista ohjausta on parannettu sulkupylväillä.

#### 5.4 Muotti- ja kalustokierto

Kiintoraidelaatan rakentaminen on monivaiheinen prosessi, kuten aikaisemmin luvussa 4.2.1 todettiin. Työhön vaaditaan myös hyvin erityistä kalustoa. Monesti katu ympäristöön perustetun työmaan ahtaus aiheuttaa haasteita päällysrakenteen rakentajille kaluston ja rakennustarvikkeiden sijoittelulle. Esimerkiksi kiskojen ja ratapölkkyjen nosto ja asennus sekä laatan betonointi joudutaan usein tekemään liikenteellä olevalta kadulta käsin tilanpuutteen takia. (Rajaranta 2019.)



KUVA 37. Betonipumppuautoa käytetään kiintoraidelaattojen valuissa. Ajoneuvon tilantarve tulee huomioida työsuunnittelussa



KUVA 38. Kiskot asemoidaan paikoilleen Pandrol-pukkien ja painokivien avulla

Kiintoraidelaatan rakentamiseen käytettävä kalusto koostuu pääosin valumuoteista, Pandrol-pukeista ja painokivistä. Valumuotit rakennetaan muottilaudasta ja hyödynnetään seuraavalla valukohteella mahdollisuuksien mukaan. Muotin raudoittamisen jälkeen pölkyt kiskoineen asennetaan paikoilleen Pandrol-pukkien varaan, joilla myös kiskon tarkka asemointi tehdään. Pukit vuorostaan lukitaan paikalleen painokivien avulla. Järjestelyt on esitetty yllä olevassa kuvassa 38. Lisäksi työssä olennaisessa osassa on betonointiin tarvittava kalusto. Laattavaluissa betonointi toteutetaan valupuomilla varustetulla betonipumppuautolla. Laattavalun valmistuttua luvussa 4.2.1 esitettyjen työvaiheiden jälkeen kalusto kiertää eri valukohteiden välillä sekä rakennuslohkon sisällä että tarpeen mukaan yli lohkorajojen. Hyvällä työnsuunnittelulla voidaan laatan rakennustyösäkin varmistua siitä, että tarvittava kalusto on kulloinkin saatavilla. (Rajaranta 2019.)

## 6 POHDINTA

Tämä opinnäytetyö syntyi tarpeesta kehittää raitioradan rakentamista katujen liittymäalueilla. Haasteita tekniikkalajien yhteensovittamisessa on havaittu useilla osan 1 työmaan lohkoilla. Myös lähtötietojen laadussa havaittiin haastattelujen perusteella puutteita, jotka puolestaan heijastuvat suunnitteluratkaisujen heikkolaatuisena toteutettavuutena.

Haastattelujen perusteella saatiin arvokasta tietoa kehitystarpeista hankkeella työskenteleviltä henkilöiltä. Henkilöhaastattelut olivat tärkeä osa opinnäytetyön tiedonkeruuta, sillä Tampereen raitiotien kaltainen hanke on Suomessa ainutlaatuinen, eikä valmista konseptia katujen liittymäalueiden rakentamisesta ole. Lisäksi rakentajat ja suunnittelijat ovat itse parhaita henkilöitä kertomaan, mitkä asiat vaativat kehitystä ja palvelisivat juuri tämän hankkeen rakentamisen sujuvoittamista.

Työn haastattelujen tulokset tukevat käsitystä siitä, että haasteita on kohdattu sekä työmaalla että suunnittelijan pöydällä, eivätkä ongelmiin johtaneet syyt ole aina täysin yksiselitteisiä. Kuitenkin panostamalla lähtötietojen laatuun, tukemalla eri tekniikkalajien suunnitelmien yhteensovittamista ja suunnittelemalla kiintoraidelaattojen jaot selkeämmin ja taloudellisesti, on mahdollista yhteisellä päästä valmiiseen lopputulokseen nopeammin ja kustannustehokkaammin. Kulloisetkin työalueet saadaan palvelemaan rakennustyötä tehokkaammin, kun työnsuunnittelu voidaan tehdä realististen toteutussuunnitelmien pohjalta. Samalla liikennejärjestelyt ovat yleiselle liikenteelle selkeämmät ja pysyvämmät, mikä edesauttaa sisäisen mallin toteutumista. Turhan työn välttäminen niin suunnittelussa kuin rakentamisessakin on avainasia tämän mittaluokan hankkeessa.

## LÄHTEET

Aarsleff. 2016. Sujutusputki. Menetelmäkuvaus. Luettu 12.2.2019. Saatavilla: [https://asiakas.kotisivukone.com/files/testaus.palvelee.fi/tiedostot/Aarsleff-sujutus-putki\\_esite.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/testaus.palvelee.fi/tiedostot/Aarsleff-sujutus-putki_esite.pdf)

Aarsleff. 2016. Sukkasujutus eli sukitus - maailman käytetyin viemärien saneerausmenetelmä. Saatavilla: <https://www.aarsleff.fi/sukitus>

Elpac. 2019. Työmaan tarvikkeet ja ohjauslaitteet. Luettu 10.3.2019. Saatavilla: <http://elpac.fi/fi/kategoria/tyomaan-tarvikkeet-ja-varoitustlaitteet/>

Haukka, A. & Jokinen, E. & Yrjölä, S. 2016. Tampereen raitiotien toteutussuunnitelma. Suunnitelmaselostus osalle 1: Hervanta-keskusta-Tays. Raitiotieallianssi. Luettu 6.1.2019. Saatavilla: [https://www.tampere.fi/tiedostot/t/xOxdPt2ot/Raitiotieallianssi\\_toteutussuunnitelma\\_osal\\_20160905.pdf](https://www.tampere.fi/tiedostot/t/xOxdPt2ot/Raitiotieallianssi_toteutussuunnitelma_osal_20160905.pdf)

Heinonen, J. Pääsuunnittelija. 2019. Haastateltu sähköpostitse 11.3.2019. Haastattelija Kuusisto, K. Tampere.

Helsing, B. Yleiskaavoitus. Tampereen raitiotielinjat. Saatavilla: <https://raitiotieallianssi.fi/wp-content/uploads/2018/03/Ratikkalinjat.jpg>

Junnonen, J-M. & Lindholm M. 2012. Infrahankkeen tuotannonhallinta. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Kauppinen, M. 2011. Ratakiskon elinkaari. Maa- ja pohjarakenteiden koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Liikenneviraston julkaisuja 01/2011. Luettu 3.2.2019. Saatavilla: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/Its\\_2011-01\\_ratakiskon\\_elinkaari\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/Its_2011-01_ratakiskon_elinkaari_web.pdf)

Kaupunkiliikenne.net. Raitiotiehanke. 2018. Luettu 28.12.2018. Saatavilla: <http://www.kaupunkiliikenne.net/Tampere/index.html>

Kemi, M. Projekti-insinööri. 2019. Allianssimalli. Luento. 7.2.2019. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Lahti, K. Hämeenkadun aluevastaava. 2019. Haastateltu sähköpostitse 15.2.2019. Haastattelija Kuusisto, K. Tampere.

Lahti, K. Raitiotieallianssi. 2018. Maanalaista infraa.

Lepola, P., Ylikangas, R. 2016. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Liikennevirasto. 2008. Kehäradan kiintoraideselvitys. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A17/2008. Helsinki. Luettu 29.1.2019. Saatavilla: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rhk\\_2008-a17\\_keharadan\\_kiintoraideselvitys\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rhk_2008-a17_keharadan_kiintoraideselvitys_web.pdf)

- Liikennevirasto. 2014. Liikenneviraston oppaita 3/2014 Tieturva 1 Teillä työskentelyn turvallisuuskoulutus. Luettu 17.1.2019. Saatavilla: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lop\\_2014-03\\_tieturva\\_1\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lop_2014-03_tieturva_1_web.pdf)
- Logistiikan maailma. 2019. Lean-ajattelu. Luettu 9.2.2019. Saatavilla: <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>
- Mäki, A. Lohkopäällikkö. 2019. Haastateltu 13.2.2019. Haastattelija Kuusisto, K. Tampere.
- Nieminen, V. 2017. Rautatiekiskon Verse® mittaus ja neutraalilämpötilatietojen hallintaa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Saatavilla: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126348/Niemen\\_Ville.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126348/Niemen_Ville.pdf?sequence=1)
- Nurmi, J. 1999. Tiede-2000 -lehti. Luettu 7.2.2019. Saatavilla: [https://www.tiede.fi/artikkeli/kysy/mihin\\_suuntaan\\_yhtenaiset\\_rautatiekiskot\\_laajenevat](https://www.tiede.fi/artikkeli/kysy/mihin_suuntaan_yhtenaiset_rautatiekiskot_laajenevat)
- Pelin, R. 1999. Projektihallinnan käsikirja. 2. uudistettu painos. Espoo. Projektijohtaminen Oy Risto Pelin.
- Raitiotieallianssi. 2017. Ratikkasanakirja. Luettu 10.1.2019. Saatavilla: <https://raitiotieallianssi.fi/ratikkasanakirja/>
- Raitiotieallianssi. 2018. Tampereen raitiotie. Luettu 28.12.2018. Saatavilla: <https://raitiotieallianssi.fi/tampereen-raiotie/>
- Raitiotieallianssi. 2018. Tiedotteet. Raitiotiehankkeen toisen osan kehitysvaihe alkamassa. Luettu 21.1.2019. Saatavilla: <https://raitiotieallianssi.fi/tiedotteet/raitiotiehankkeen-toisen-osan-kehitysvaihe-alkamassa/>
- Raitiotieallianssi. 2018. Tiedotteet. Raitiotien ensimmäiset uudet katupuut Hervantaan. Luettu 21.2.2019. Saatavilla: <https://raitiotieallianssi.fi/tiedotteet/raitiotiereitin-ensimmaiset-uudet-katupuut-hervantaan/>
- Raitiotieallianssi. 2018. Sujutus aseman kupeessa. Saatavilla: <https://raitiotieallianssi.fi/sujutus-aseman-kupeessa/>
- Rajaranta, M. Päälyysrakenteen työnjohtaja. 2019. Haastateltu 22.2.2019. Haastattelija Kuusisto, K. Tampere.
- Rakennustieto. 2013. Rakentajain kalenteri. Allianssimalli. Luettu 21.1.2019. Saatavilla: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130202.pdf>
- Ratahallintokeskus. 1998. Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 19 Jatkuvakiskoraiteet ja -vaihteet. Luettu 3.2.2019. Saatavilla: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rato\\_19\\_jatkuvakiskoraiteet\\_vaihteet.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rato_19_jatkuvakiskoraiteet_vaihteet.pdf)
- Ratikka.info. Raitiotie Kayserin kaupungissa keski-Turkissa. Saatavissa: <http://ratikka.info/tag/investointi/>

SBM-Drain. MEA Drainage solutions for tramway tracks. Saatavissa: [https://www.sbm-drain.ro/userfiles/files/downloads/21/Drainage\\_solutions\\_for\\_tram\\_tracks\\_2013\\_10\\_11.pdf](https://www.sbm-drain.ro/userfiles/files/downloads/21/Drainage_solutions_for_tram_tracks_2013_10_11.pdf)

Tampereen kaupunki. 2016. Tampereen raitiotien vaikutusten arviointi. Yhteenvetoreportti. Luettu 28.12.2018. Saatavilla: [https://www.tampere.fi/tiedostot/t/yKwzQN-hEx/raitiotieallianssi\\_arviointiraportti.pdf](https://www.tampere.fi/tiedostot/t/yKwzQN-hEx/raitiotieallianssi_arviointiraportti.pdf)

Tampereen kaupunki. 2019. Katuluvat. Luettu 17.1.2019. Saatavilla: <https://www.tampere.fi/liikenne-ja-kadut/katujen-rakentaminen-ja-kunnossapito/katuluvat.html>

Tampereen kaupunkiseutu. Raitiotien tulevaisuuden suunnat Tampereen kaupunkiseudulla. 2018. Luettu 31.12.2018. Saatavilla: [https://www.tampereenseutu.fi/site/assets/files/17733/raitiotien\\_tulevaisuuden\\_suunnat\\_tampereen\\_kaupunkiseudulla\\_2018-05-17.pdf](https://www.tampereenseutu.fi/site/assets/files/17733/raitiotien_tulevaisuuden_suunnat_tampereen_kaupunkiseudulla_2018-05-17.pdf)

Tampereen Raitiotie Oy. 2019. Ratikat kohtaavat Keskustorilla. Saatavilla: <https://www.tampereenratikka.fi/mediapankki/>

Tamperelainen. 2018. Kaksoisraidetta Hämeenkadulla. Saatavilla: <https://www.tamperelainen.fi/artikkeli/699979-hameenkadun-ratikkaurakassa-ylittyi-haamuraja-nain-paljon-rataa-syntyy-viikossa>

Tiitola, P. Raitiotieallianssi. 2018. Kiskon termiittijatkoshitsaus. Saatavilla: <https://www.vipbro.pw/media/BkSF-9bnXwo>

Tuomisto, O. Lohkopäällikkö. 2018. Suullinen tiedoksianto. Annettu 5.11.2018.

## LIITTEET

## Liite 1. Tilapäisten liikennejärjestelyjen tarkastuslomake

# RAITIOTIE- ALLIANSSI

## TILAPÄISTEN LIIKENNEJÄRJESTELYJEN TARKASTUSLISTA

Tarkastanut: \_\_\_\_\_  
Tarkastuspvm: \_\_\_\_\_

Työn tarkoitus: \_\_\_\_\_  
Työkohde: \_\_\_\_\_

### TIETYÖMERKIT (142)

- Työmaa merkitty jokaisesta suunnasta
- Merkit risteävillä kaduilla lisäkilvellä 812 (työkohteen sijaitessa risteuksen välittömässä läheisyydessä)

### PYSÄYTTÄMISKIELTO (371) JA PYSÄ- KÖINTIKIELTOMERKIT (372)

- Merkkejä asetettaessa paikalla olleet ajoneuvot kirjattu ja lomake lähetetty pysäköinninvalvontaan
- Merkeissä voimassaoloaikaa osoittava lisäkilpi (lyhytaikaiset työt)
- Pysäköintikiellon päättymismerkki asetettu (372+lisäkilvet tai 521+lisäkilpineen)

### TYÖMAA-ALUEEN MERKITSEMINEN JA RAJAAMINEN

- Ajoradalla ja kevyen liikenteen väylillä sijaitsevat aidat varustettu heijastimilla, tai merkitty sulkupylväillä
- Aidat ovat riittävän korkeat
- Aidat ovat riittävän tukevat
- Aidan raoista ei ole putoamisvaaraa / takertumisvaaraa
- Aitojen jalustat ja tukirakenteet eivät aiheuta kompastumis- tai törmäysvaaraa
- Rakennustelineiden katuun nähden poikittaiset tuet riittävän korkealla
- Liikenneväylillä sijaitsevat rakenteet merkitty heijastimilla tai huomiolaudoilla

### JALANKULKUREITIT JA PYÖRÄTIET

- Leveys jalkakäytävällä joka kohdassa vähintään 1,5m
- Yhdistetyn pyörätien ja jalkakäytävän leveys vähintään 3,0m, poikkeustapauksissa < 3,0m
- Yhdistetty pyörätie ja jalkakäytävä merkitty merkillä 423
- Reitti on esteetön / esteetön reitti merkitty ao. merkeillä (luiskat, portaat yms)
- Reitti on erotettu työkohteesta verkko- tai levyaidalla
- Reitti on erotettu ajoneuvoliikenteestä vähintään verkko- tai levyaidalla
- Opastus väliaikaisella reitillä katkeamaton
- Väliaikainen reitti on valaistu
- Väliaikaisen reitin kunnossapitotaso korvatus reitin mukainen

### PYSÄKIT

- Käytöstä poistetulta pysäkillä poistettava pysäkkikilvet ja kaikki matkustajainfo (aikataulut, linjakartat, jne.)
- Uudelle pysäkillä viedään siirtyneiden linjojen linjakilvet ja matkustajainfo

### KAIVANTOSILLAT

- Sillat riittävän tukevia väylän käyttötarkoitukseen nähden
- Sillat on varustettu riittävän korkeilla ja tukevilla kaiteilla
- Siltojen väleissä ei rakoja
- Sillat ankkuroitu tukevasti
- Sillan luiska on tienpinnan tasossa
- Sillan leveys vähintään 3,5m ajoradalla
- Sillan leveys vähintään 1,5m kevyen liikenteen väylällä

### LIIKENNEMERKIT

- Merkit puhtaita ja ehjiä
- Merkin heijastavuus on vaatimusten mukainen
- Merkit suunnattu oikein
- Merkit pystytetty tukevasti
- Merkkien jalustat eivät aiheuta kompastumis- tai törmäysvaaraa
- Liikenteenjakajat ja pakolliset ajosuunnat osoittavat oikeaan suuntaan
- Käännettävissä liikenteenjakajissa / pakollisissa ajo-suunnissa merkki lukittu, jottei se pääse kääntymään

### MUUT

- Työmaa varustettu työmaataululla, jossa kerrotaan mitä tehdään, kuka tekee, koska aloitus ja lopetus, poikkeavat järjestelyt sekä niiden aikataulu ja karttaesitys
- Liikenteenohjauslaitteissa ja aitausvälineissä työnsuorittajan yhteystiedot
- Kadun katkaisu ilmoitettu pelastuslaitokselle Vastuuhenkilö tietoinen järjestelyä koskevasta valvonta-velvoitteistaan
- Työmaan kunnossa- ja puhtaanapito järjestetty
- Liikenteenohjaajilla III-luokan turvaliivi
- Liikenteenohjaajat perehdytetty tehtävään
- Liikenteenohjaajille pysäytysmerkki (400mm) ja tarvittaessa radiopuhelimia
- Joukkoliikenne huomioitu, reitti- ja pysäkkimuutoksista sovittu kaupungin joukkoliikenneyksikön kanssa
- Pysäkit + kulut + opasteet huomioitu
- Erikoiskohteet (koulut, päiväkodit, yms.) huomioitu
- Väliaikaisille liikennejärjestelyille on tehty liikenneturvallisuusauditointi. (ainakin isommissa kohteissa.)

**Työmaaturvallisuudesta huolehtiminen kuuluu kaikille työmaan osapuolille. Raitiotieallianssin toimijat ovat yhteisvastuullisia työmaajärjestelyjen turvallisuudesta.**

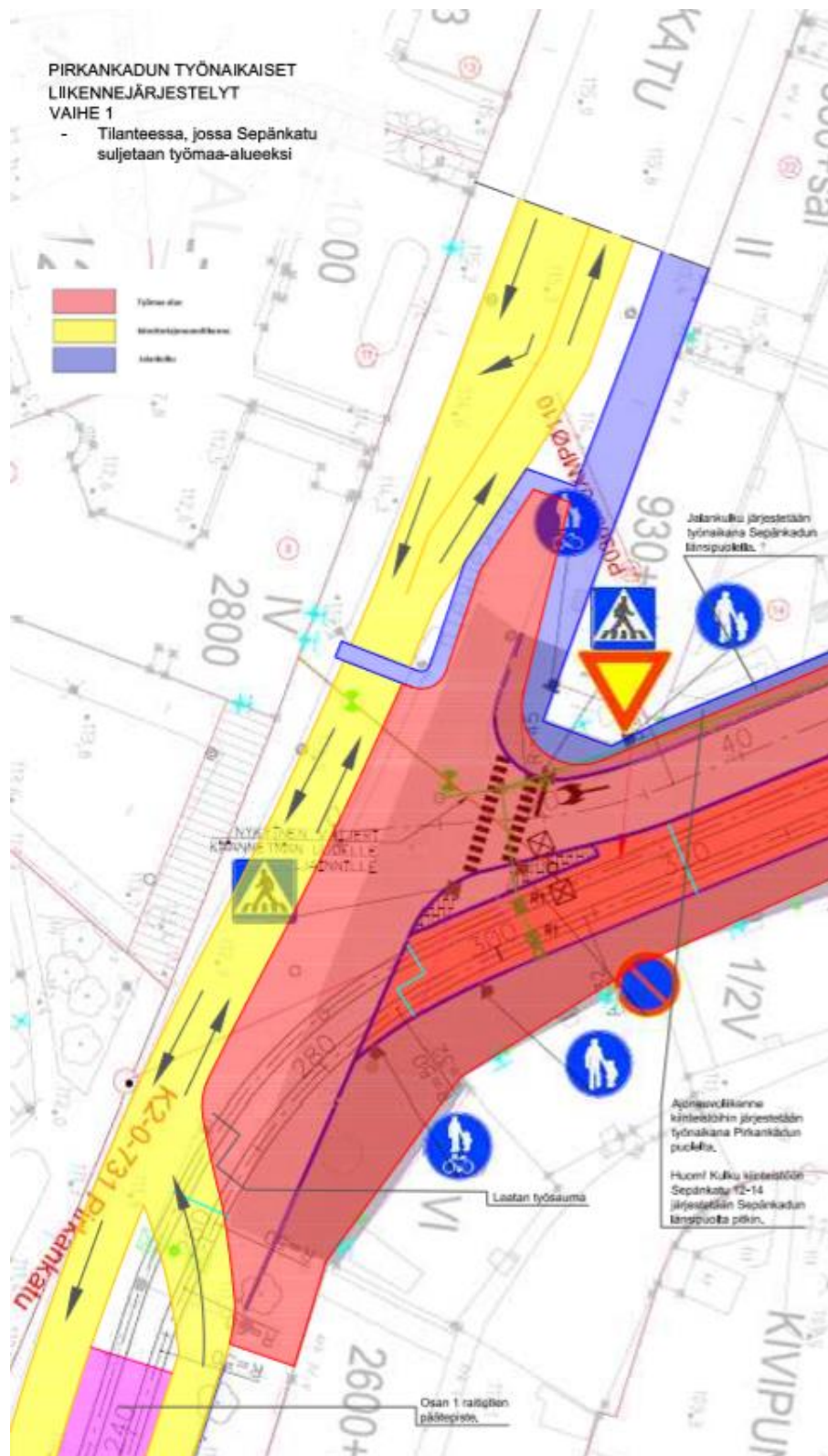
**LIPPUSIIMA EI OLE AITAAMISVÄLINE! SEN KÄYTTÖ ON SALLITTU AINOASTAAN AJORADALLA OPTISEEN OHJAUKSEEN!**

## Liite 2. Muistio

### **Yhteensovituksessa ja liikennejärjestelyjen suunnittelussa muistettavaa:**

- Varmista lähtötietoaineiston laatu. Ahtailla kaduilla suunnitteluratkaisujen toteutavuus korostuu.
- Tutustu työkohteen liikennemääriin ja selvitä, paljonko liittymäalueesta voidaan sulkea työalueeksi ilman liikenteen kohtuutonta ruuhkautumista.
- Selvitä alueen johtosiirtotöiden tarve ja uusien johtojen sijoittelu. Johtosiirtotyöt vaativat yleisesti ottaen paljon työtilaa, joka vaikuttaa liikennejärjestelyjen mitoitukseen. Tässä vaiheessa on myös suositeltavaa tarkastaa raitiotien kuivatusratkaisut ja niiden toteutettavuus katuympäristön nykyiseen kuivatukseen.
- Määritä radan liikuntasauaman sijainti. Sauaman ei ole suositeltavaa sijaita keskellä liittymäaluetta liikenteen kuluttavan rasiuksen takia. Huomioi liikuntasauaman sijainti työnaikaisten liikennejärjestelyjen toteutettavuuden kannalta.
- Pyri suunnittelemaan kiintoraiteen laattajaot rakentamisen kannalta taloudellisesti. Liikuntasauaman ei ole suotavaa sijaita esimerkiksi keskellä suojatietä, sillä se vaikeuttaa työskentelyä rakentamisvaiheessa.

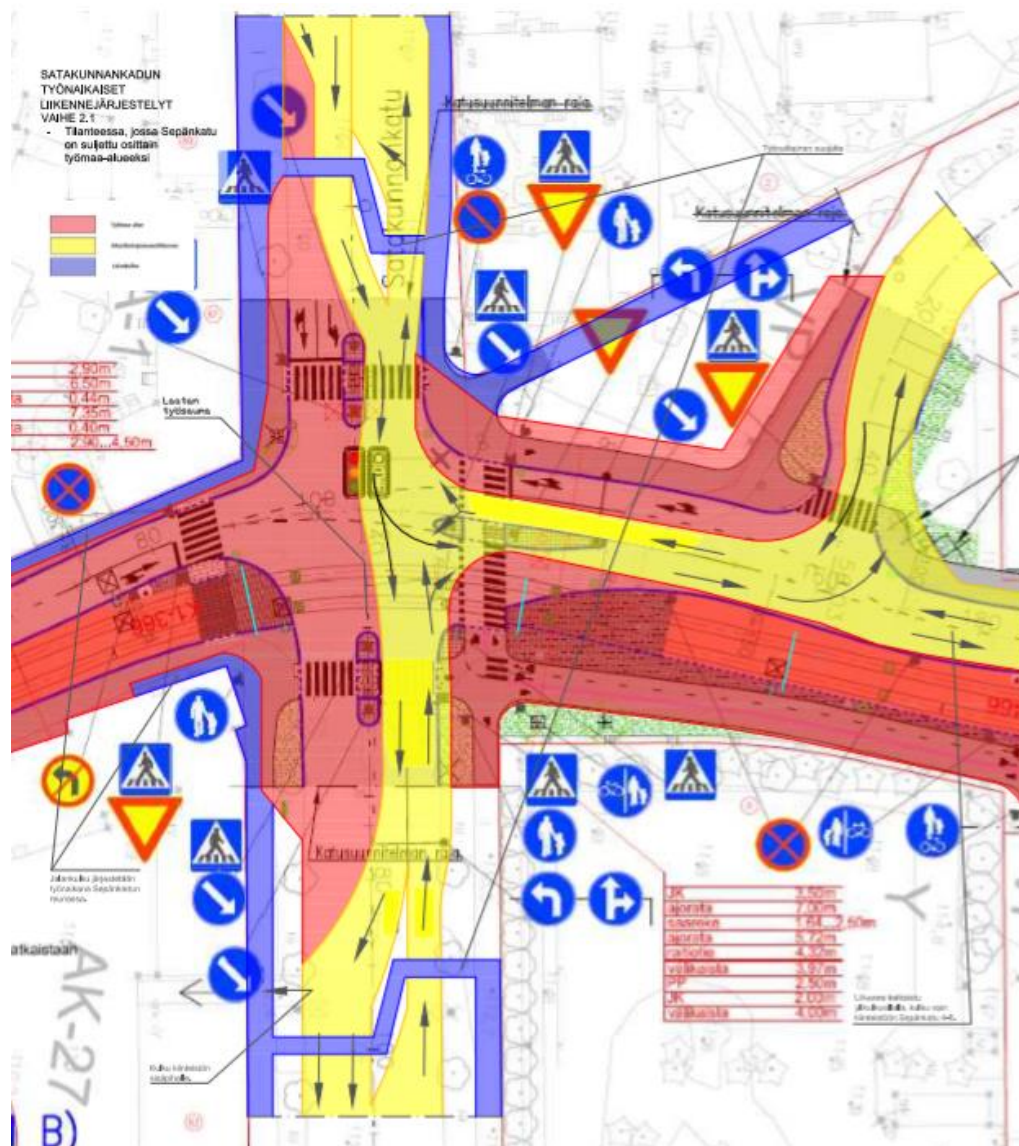
## Liite 3. Pirkankatu – Sepänkatu vaiheessa 1



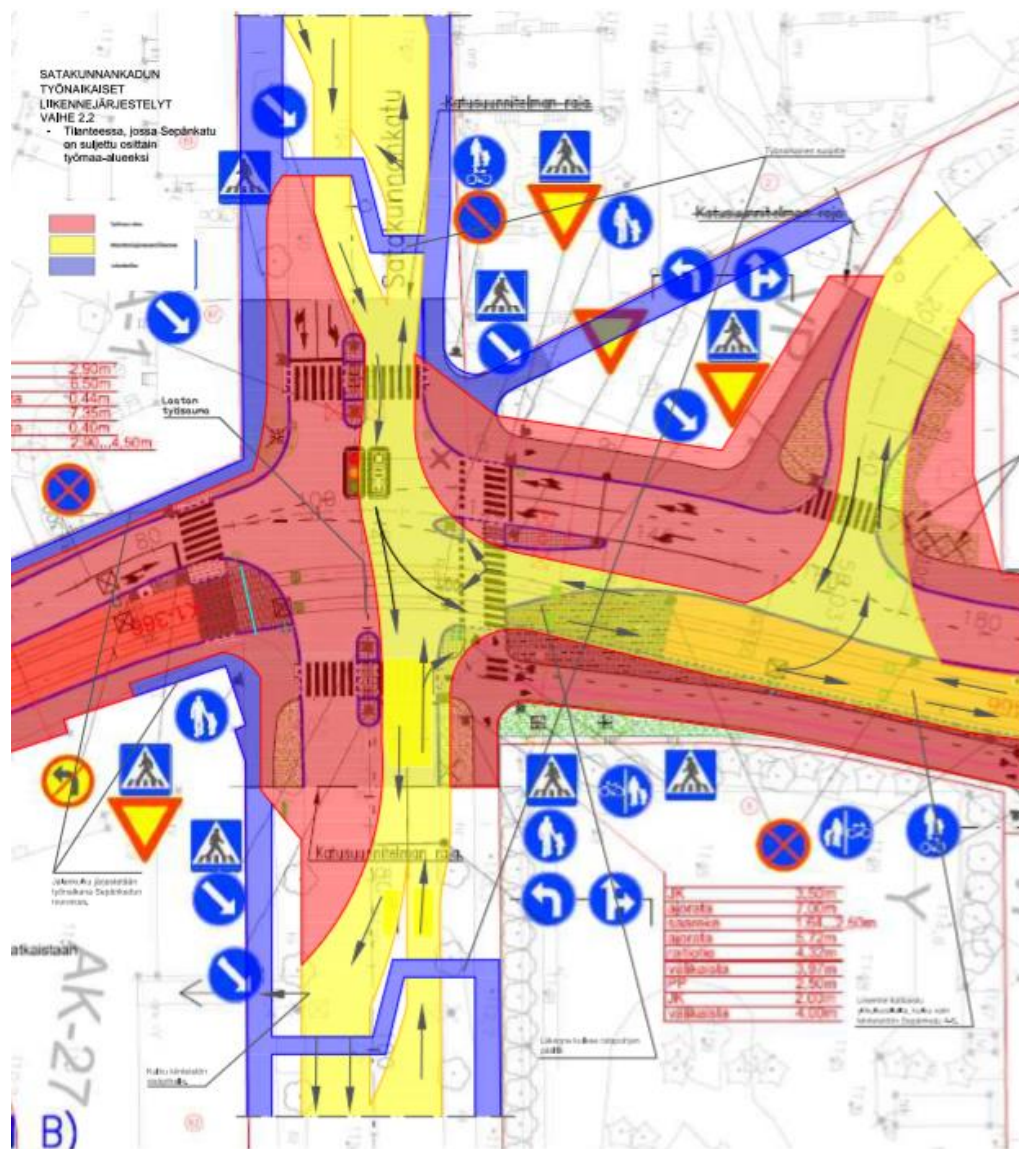




## Liite 6. Satakunnankatu – Sepänkatu – Savilinnankatu vaiheessa 2.1



## Liite 7. Satakunnankatu – Sepänkату – Savilinnankatu vaiheessa 2.2







## Liite 10. Paasikivenkatu – Sepänkatu vaiheessa 2

