

Ilja Pelenen

Väyläprojektin logistiikkareittien suunnittelu,
kriittisten polkujen kartoituksen avulla.

CASE VT12 Lahden eteläinen kehätie.

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

09.08.2017

Tekijä(t) Otsikko	Ilja Pelenen
Sivumäärä Aika	Väyläprojektin logistiikkareittien suunnittelu, kriittisten polkujen kartoituksen avulla. CASE VT12 Lahden eteläinen kehätie 46 sivua + 2 liitettä 9.8.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Lehtori Mika Räsänen, Metropolia AMK Laskentainsinööri Antti Lindqvist, YIT Rakennus Oy DI Jere Keskinen, YIT Rakennus Oy
<p>Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii YIT Rakennus Oy infrapalvelut laskentayksikkö. Väylähankkeen logistiikkareittien suunnittelu on osa tuotannonhallinnan suunnittelua ja hankkeen logistiikan kokonaisuudenhallinnasta. Hyvin suunnitelluilla työmaareiteillä voidaan hankkeen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa säästää aikataulullisesti ja täten myös hankkeen kokonaiskustannuksissa.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutustutaan ensin väylähankkeen tuotantosuunnitteluun ja sen jälkeen kartoitetaan Liikenneviraston Vt12 Lahden eteläisen kehätien hankkeen mahdollisia reittejä työmaakuljetuksille ja materiaalien toimituksille. Opinnäytetyössä kartoitettiin hankkeen Vt12 Lahden eteläinen kehätie työmaan kriittisimmät työvaiheet urakoitsijan näkökulmasta. Hankkeen töistä tehtiin karkea aikataulu, josta selvitettiin kriittiset polut ja katkot. Tässä työssä keskitytään lähinnä hankkeen kriittisten polkujen löytämiseen ja reittien suunnitteluun. Aikataulujen tekemiseen ja kriittisten polkujen kartoitukseen käytettiin DynaRoad-ohjelmistoa. Kun hankkeen kriittiset polut löydettiin, suunniteltiin työmaareittejä ja tieyhteyksiä kiireellisiin työvaiheisiin. Aikataulujen tekemisessä kerättiin tietoja Vt12 Lahden eteläinen kehätie internetsivuilla olevasta aineistosta ja kriittisten paikkojen kartoittamiseksi tietoja kerättiin omista tutkimuksista, sekä ohjaajien neuvoista ohjauspalaverissa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kartoitettua Vt12 Lahden eteläinen kehätie hankkeen kriittisimmät työvaiheet, sekä suunniteltiin 32 erilaista reittivaihtoehtoa ja tieyhteyksiä massankuljetuksille ja materiaalien toimituksille. Reittivaihtoehtoista on kerätty kooste, johon on merkitty mahdolliset reitit ja kriittiset paikat reiteillä. Reittivaihtoehdot on esitetty havainnollisesti ja kirjallisesti erillisenä raporttina.</p>	
Avainsanat	reittiensuunnittelu, tuotannosuunnittelu, DynaRoad, väylähanke

Author(s) Title	Ilja Pelenen
Number of Pages Date	46 Pages + 2 appendices 9 September 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Infrastructural Engineering
Instructor(s)	Mika Räsänen, Lecturer, Metropolia AMK Antti Lindqvist, Bidding Engineer, YIT Rakennus Oy Jere Keskinen, M.Sc (Tech), YIT Rakennus Oy,
<p>This thesis is done for YIT Rakennus Oy infrastructures accounting unit. Road construction project's route planning is a part of the project's whole logistics management. By well-planned routes costs during the project can be saved on time scheduling and on the total costs of the project.</p> <p>In this thesis, possible routes for site transportation and material deliveries on Vt12 Lahden eteläinen kehätie project are identified by finding the most critical steps of the construction site project by the main contractor point of view.</p> <p>For finding the most critical steps a rough timetable of works on the construction site was done, from which critical steps were found investigation. This work mainly focused on finding the most critical steps of project and planning the work site routes. Dynaroad software was used to schedule the work assignments and finding sites critical steps. After the critical steps of the project were found, the route planning and connections to busiest works on construction site were started. Knowledge data for this thesis was collected from Vt12 Lahden eteläinen kehätie web page. As knowledge in finding the critical steps were used the instructor's advices and knowledge at the meetings and from own researches during the project.</p> <p>As a result of this thesis, the most critical steps of the Vt12 Lahden eteläinen kehätie project were mapped and 32 different route alternatives were planned for land transportation and construction site material deliveries. The route options have been complied with a list of possible routes and critical locations on the routes. The route alternatives are presented in an illustrative and written form as a separate report document.</p>	
Keywords	route planning, route mapping, civil construction, DynaRoad

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet	1
1.2	Näkökulma ja rajaus	2
2	Väylähankeen suunnittelu	3
2.1	Väylähankeen suunnittelu vaiheet	3
2.2	Väylähankeen tuotantosuunnittelun lähtökohdat	5
2.3	Hankkeen osittelu	6
2.3.1	Perusosittelu	6
2.3.2	Jatko-osittelu	7
3	Väylähankeen tuotantosuunnittelu	9
3.1	Massatalous suunnitteluvaiheessa	9
3.2	Massatalous tuotannonsuunnittelu vaiheessa	9
3.2.1	Maamassojen tilavuuskäsitteet	10
3.2.2	Maamassojen kelpoisuusluokat	11
3.3	Aikataulumuodot	12
3.3.1	Jana-aikataulu	12
3.3.2	Tieaikakaavio	13
3.3.3	DynaRoad	13
3.4	Aikataulusuunnittelu	15
3.4.1	Yleisaikataulu	16
3.4.2	Osa-aikataulu	17
4	Työmaan logistiikka	18
4.1	Materiaali- ja tietovirta	18
4.2	Väylähankeen logistiikka	18
4.3	Työmaan sisäinen logistiikka	19
4.4	Materiaalien toimitukset työmaalle	20
4.4.1	Väylähankeen kalusto	21
5	CASE VT12 Lahden eteläinen kehätie	31

5.1	Valtatie 12	31
5.2	VT12 Lahden eteläinen kehätie	31
5.2.1	Hankeosa 1A	32
5.2.2	Hankeosa 1B	33
5.2.3	Hankeosa 2	33
6	Reittien suunnittelu CASE Vt12 Lahden eteläinen kehätie	34
6.1	Väylähankkeen reittien suunnittelu	34
6.2	Vt12 Lahden eteläisen kehätien yleisaikataulun luonti	34
6.3	Tehtävien aikataulutus	35
6.4	Vt12 Lahden eteläisen kehätien kriittiset polut	38
6.4.1	Hankeosa 1A kriittiset polut	38
6.4.2	Hankeosa 1B	38
6.5	Vt12 Lahden eteläisenkehätien reittien suunnittelu	39
6.6	Reitti esimerkki	40
7	Tulokset	44
8	Yhteenveto	44
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Taulukko tien pohjanmaa ja alusrakenteen kelpoisuusluokista	
	Liite 2. Tilavuus käsitteet ja massakertoimet	

Lyhenteet

ETL	Eritasoliittymä
E(x)	Eritasoliittymän numero esimerkiksi E1 – eritasoliittymä numero 1
Kt	Kantatie
Letke	Lahden eteläinen kehätie
PLV	Paaluväli
R(x)	Eritasoliittymään rakennettava rampin numero esimerkiksi E1R1 – eritasoliittymä numero 1 ramppi numero 1
SR-urakka	Suunnittele ja rakenna urakka
ST-urakka	Suunnittele ja toteuta urakka
Vt	Valtatie
Mt	Maantie
KVL	Kekskivuorokausiliikenne

1 Johdanto

Väylähankkeet ovat iso osa-alue infrastruktuurien rakentamista. Väylähankkeen kokonaisuutta voidaan karkeasti jakaa kahteen osaan, teiden ja moottoriteiden rakentamiseen eli väylärakentamiseen ja siltojen ja tunneleiden rakentamiseen eli taitorakentamiseen. Väylärakentamiseen kuuluvat moottoriteiden, katujen, teiden ja muiden ajoneuvoille ja kevyelle liikenteelle tarkoitettujen liikenneväylien maanrakennus työt. Väylähankkeen taitorakentamiseen kuuluvat sillat, tunnelit, tukimuurit, meluesteet ja paalulaatat rakenteet.

Uusia tieväyliä rakennetaan, kun olemassa oleva maantieverkko ei enää täytä liikenteen ja maankäytön tarpeita eikä nykyisen tien parantamisella voida saavuttaa näitä tarpeita. Uusia teitä rakennetaan ja nykyisiä parannetaan muun muassa seuraavista syistä:

- Liikkuminen lisääntyy asunto-, työpaikka- ja palvelurakentamisen myötä
- Elinkeinoelämän kuljetustarpeet on voitava hoitaa entistä paremmin
- Liikkuminen työ- ja vapaa-aikana lisääntyy sekä autojen määrät kasvavat
- Tiet halutaan turvallisemmiksi ja liikenteen ympäristöhaitat pienemmiksi
- Kevyen liikenteen olosuhteita ja joukkoliikenteen käyttöä halutaan edistää
- Liikkumisen sujumista halutaan parantaa

1.1 Työn tavoitteet

Tässä työssä tutustutaan väylähankkeen tuotannon suunnitteluun ja tarkoituksena on suunnitella väylähankkeen logistiikalle reitit, koska työmaakuljetukset vaikuttavat isoissa väylähankkeissa paljon työmaan kokonaisaikatauluihin ja täten myös työmaakustannuksiin. Väylähankkeen logistiikka muodostuu pääosin työmaareiteistä, jotka ovat massasiirtokuljetuksia-, rakennusmateriaalien toimituksia- sekä työntekijöiden työmaalla liikkumista varten. Kustannustehokkaat reitit tutkitaan kartoittamalla hankkeen kriittiset polut sekä kartoittamalla mahdolliset esteet valituilla kuljetusreiteillä ja löytämällä vaihtoehtoiset reitit työmaakuljetuksille. Kartoitettuja reittejä voidaan tarvittaessa käyttää työmaasuunnittelussa ja massansiirtosuunnittelussa. Hyvin suunnitelluilla työmaareiteillä voidaan säästää hankkeen toteutusvaiheessa aikataulullisesti sekä taloudellisesti.

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa Liikenneviraston Vt12 Lahden eteläisen kehätie hankkeen mahdollisia työmaalogistiikan reittejä massansiirtokuljetuksille, materiaalien toimitukselle sekä muille työmaa ajoille. Tämän työn tavoitteena on löytää erilaisia vaihtoehtoja ja tieyhteyksiä rakennettavalle tielinjalle ja esittää ne havainnollisesti. Tässä opinnäytetyössä selvitetään, millä perusteella työmaareittejä kartoitetaan ja mitä on otettava huomioon väylähankkeen reittien suunnittelussa. Väylähankkeen kriittiset polut ovat tuotannosuunnittelun ja rakentamisen kannalta vaikuttavat yksityiskohdat, kuten pitkäkestoiset työvaiheet, vaikeat työkohteet, vaikeat rakennusolosuhteet, ympäristö olosuhteet ja katkot eli estot töiden etenemisessä, joita tässä työssä kartoitetaan ja sovelletaan reittien valinnassa.

1.2 Näkökulma ja rajaus

Työn ohjaajina toimivat YIT Rakennus Oy infrapalveluiden teknisen toimiston päällikkö Jere Keskinen ja laskenta insinööri Antti Lindqvist. Työ tehdään YIT Rakennus Oy infrapalveluiden tuotannosuunnittelun tuotantotaloudellisesta näkökulmasta.

CASE Vt12 Lahden eteläinen kehätien hankekokonaisuus sisältää kolme hankeosaa. Vt12 Letke hankekokonaisuus on jaettu tilaajan toimesta kolmeksi hankeosaksi. Hankeosien kilpailutus tapahtuu jokaiselle hankeosalle omana kilpailuna. Opinnäytetyön reittien suunnittelu rajataan hankkeen Vt12 Lahden eteläisen kehätien hankeosiin 1A ja 1B. Vt12 Lahden eteläinen kehätie hanke sisältää myös hankeosan 2, jonka reittejä ei tässä työssä tutkita.

2 Väylähankkeen suunnittelu

2.1 Väylähankkeen suunnittelu vaiheet

Väylähankkeen suunnitteluprosessissa on neljä vaihetta. Suunnittelu etenee ja tarkenee seuraavissa vaiheissa: esiselvitys, yleissuunnittelu, tiesuunnittelu ja rakennussuunnittelu. Väylähanke muotoutuu vaiheittain hankkeen suunnitteluprosesseissa, jotka sovitaan yhteen maankäytön suunnittelun kanssa. Uuden tien rakentaminen tai nykyisen parantaminen on kytkettynä vahvasti maankäyttöön ja maankäyttösuunnitteluun (kuva 1).



Kuva 1. Tiensuunnittelu ja maankäytön suunnittelun vuorovaikutus (8.)

Esiselvityksiä on eri nimisiä ja erilaisia sisällöltään, sillä esiselvityksiä tehdään eri tarkoituksiin. Tiensuunnittelun esiselvityksen tarkoituksena on tarkastaa nykyisen maankäytön sekä nykyisen tien ja liikenteen olosuhteita ja toimivuutta. Maankäytön muutokset selvi-

tetään tässä vaiheessa ja suunnitellaan millä toimenpiteillä voidaan kehittää liikenneolojen kehittämistä maankäytön asetetuille tavoitteille. Esiselvityksen tuloksena hahmottuu hanke, jolle on alustavasti selvitelty mahdollisia vaihtoehtoja ja toimenpiteitä.

Yleissuunnittelun tuloksena saadaan tien likimääräinen sijainti, tien kytkennät olemassa oleviin väyliin sekä maankäyttöön. Yleissuunnittelu vaiheessa selvitetään myös tekniset ja liikenteelliset perusratkaisut sekä ympäristöhaittojen torjumisen periaatteet. Mikäli lainsäädäntö edellyttää ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA), se tehdään YVA-lain mukaisesti tässä suunnitteluvaiheessa. Yleissuunnitteluvaihetta voidaan pitää väylähankkeen tärkeimpänä vaiheena, koska yleissuunnitelmassa määräytyvät tien sijainnit, laatu ja hanke kustannukset sekä sen vaikutukset ihmisten olosuhteisiin ja ympäristöön. Kun yleissuunnitelmasta saadaan hyväksymispäätös, projekti voidaan sisällyttää lähivuosien toteuttamisohjelmiin.

Tiesuunnitelma on laakiin perustuva asiakirja, jota ohjaa maantielaki ja maantieasetus. Tiesuunnitelman laatii yleensä suunnittelukonsultti tilaajan määrittämien tavoitteiden mukaan. Tiesuunnitelman laatimisen aikana kaikki ne, joiden omaisuuteen tai olosuhteisiin hanke vaikuttaa voivat osallistua tiesuunnitteluun ja niiden näkökulmat on otettava huomioon suunnittelun aikana. Erityisesti on otettava huomioon alueen asukkaat sekä maan omistajat, joiden osallistuminen tiesuunnittelussa tapahtuu yleistilaisuuksissa ja neuvotteluissa. Tässä suunnitteluvaiheessa voidaan siis vaikuttaa hankkeen yksityiskohtien ratkaisemisessa. Tiesuunnitteluvaiheen aikana kuulutetaan suunnittelun aloittamisesta yleensä sanomalehdissä, alueen asukkaisiin voidaan myös tarvittaessa ottaa yhteyttä esimerkiksi postitse. Tiesuunnitelman tuloksena saadaan tien tarkka sijainti, hankkeen toteuttamista varten tarvittavat alueet, hankkeen kustannusarvio ja mahdolliset kustannusten jaot sekä muut yksityiskohtaiset ratkaisut ja toimenpiteet. Suunnitelmasta tehdään hyväksymispäätös, joka antaa tienpitäjälle oikeuden tietä varten tarvittavan alueen haltuun ottamisen. Väylähankkeen rakentaminen voidaan aloittaa, kun rahoitus on varmistunut.

Rakennussuunnittelu kuuluu rakentamisvaiheeseen ja se kattaa rakentamisessa tarvittavien asiakirjojen laatimisen. Rakennussuunnitelman laatimisesta vastaa usein urakoitsija. Pienissä hankkeissa voidaan tiesuunnitteluvaiheen ja rakennussuunnitteluvaiheen yhdistää. Rakennussuunnittelun tuloksena saadaan rakentamisessa tarvittavat asiakirjat. (8.)

2.2 Väylähankkeen tuotantosuunnittelun lähtökohdat

Väylähankkeen tuotantosuunnittelu alkaa yleensä jo ennen hankkeen rakentamisen aloittamista. Tuotannosuunnittelu alkaa rakentamisen valmisteluvaiheessa, kun urakoitsija saa tilaajalta tarjouspyynnön, joka sisältää lähtötiedot rakennettavasta kohteesta. Hanke toteutetaan rakentamisvaiheessa suunnitelmien mukaisesti lopputuotteeksi. Hyvin tehdyllä hankesuunnittelulla ja suunnittelun ohjauksella on iso merkitys rakentamisvaiheen onnistumisella. Tuotannosuunnittelu ja tuotesuunnittelu tapahtuvat osittain samanaikaisesti urakoissa, joihin on sisällytetty suunnittelua. Tällöin urakoitsijalla voi suunnitteluvaiheessa tehdä ratkaisuja, jotka heijastuvat tuotantovaiheeseen. Näin ollen tilaaja ei ole määritellyt suunnitteluratkaisuja massojen käytöstä ja siirroista sekä hankkeella käytettäviä korvaavia materiaaleja voidaan tarkastella laajemmin. Hankkeen toteutusmuodosta riippumatta hankeohjelman laadinta ja tavoitteiden asettaminen ovat kuitenkin tilaajan vastuualuetta. (2.)

Hankkeen tuotantosuunnittelu jakaantuu alustavaan tuotantosuunnitteluun, jossa hanketta mietitään kokonaisuutena ja tarkastetaan karkeasti kokonaisuutta ja yksityiskohtaiseen tuotantosuunnitteluun, jossa tarkastetaan isoimmat ja vaativimmat työt sekä tehdään tarkkoja suunnitelmia osakohteen toteuttamisesta. Väylähankkeen isoimmat ja tärkeimmät suunniteltavat vaiheet ovat:

- massansiirrot
- hankkeen aikataulut
- hankkien budjetointi

Väylähankkeen tuotantosuunnittelu alkaa tavallisesti alustavalla massansiirtosuunnitelman tekemisellä. Massansiirtosuunnitelman avulla tehdään hankkeesta tuotantotarpeiden mukainen osittelu, eli hanke jaetaan tuotantolohkoihin, työpaketteihin ja hankintapaketteihin. Osittelun tarkoituksena on jakaa hanke ohjauksen ja valvonnan kannalta tarkoituksenmukaisiin osiin. Näin ollen, kun massansiirtosuunnitelma on tehty, tehdään hankkeen osittelu, hankeosat hinnoitellaan ja luodaan hankkeelle budjetti. Hankkeen aikataulu tehdään myös samanaikaisesti osittelun kanssa. Aikataulujen avulla voidaan kohdistaa hankkeen budjetti eri töille ja osioille. Tuotannosuunnittelun jälkeen hanke toteutetaan suunnitelmien mukaisesti sekä valvotaan tuotantoon osallistuvia resursseja ja hankintoja. (2.)

2.3 Hankkeen osittelu

Hankkeen osittelu tehdään isoissa infrahankkeissa, jolloin hanke jaetaan pienempiin osakokonaisuuksiin. Jokainen osa suunnitellaan ja valvotaan erillisesti. Osittelusta hyötyä on hankesuunnittelussa, -toteutuksessa ja -valvonnassa. Osittelu tehdään siten, että se toimii projektinjohtamisessa tehokkaana apuvälineenä. Jokaisen osan kustannukset, aikataulullinen kesto sekä vastuuhenkilöt voidaan määrittää erikseen. Osittelu tehdään kahdessa vaiheessa. Ensiksi perusosittelu ja tämän perusteella tehdään jatko-osittelu. Perusosittelussa tunnistetaan hankkeen pääosat ja pääosat ositellaan pienempiin jatko-osiiin. Osittelun tarkoituksena on:

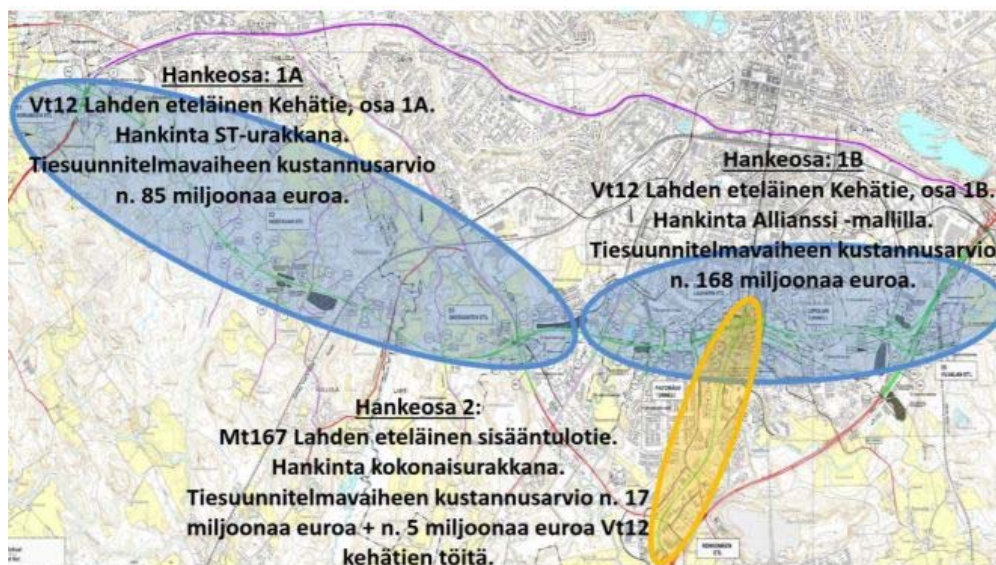
- määrittää kustannukset
- tarkentaa aikatauluja
- jakaa hanke vastuukokonaisuuksiin
- jakaa aikataulut osa-aikatauluiksi
- helpottaa hankkeen ohjausta
- luoda kustannusohjauksen puitteet
- mahdollistaa koko hankkeen kustannusarvion, aikataulun ja resurssien tarkan määrityksen
- yhdistää hankkeen ajallinen ja taloudellinen suunnittelu ja ohjaus

Infrahankkeen osittelun lopputuotteet ovat itsenäiset hankeosat. Hankeosat jakautuvat tuoteosiin, rakennusosiin ja panoksiin. (2.)

2.3.1 Perusosittelu

Väylähankkeen osittelu alkaa hankeosien määrittämisellä. Tämä tarkoittaa, että hankeosat ovat itsenäisiä rakennettavia kohteita. Hankeosat vaativat itsenäisiä päätöksiä hankkeen toteuttamisesta ja toteuttamatta jättämisestä, hankeosalle voidaan valita erilaisia toteutusmuotoja ja suunnitteluvaihtoehtoja (kuva 2). Hankeosien laatutaso voidaan valita kullekin omansa. Hankeosan laajuus ja hankeosan sisältö määritetään hankeohjelmassa. Hankeohjelmassa kuvataan kaikki hankeosat, koska hankeosien laajuuden muuttuminen vaikuttaa koko hankkeen kustannuksiin. Hankeosat voidaan jakaa harkin-

nanvaraisiin ja välttämättömiin eli pakollisiin osiin. Välttämättömät hankeosat ovat esimerkiksi tie joka on saatava laillisesti liikennöitävään kuntoon. Harkinnanvaraiset hankeosat ovat kaistojen lisääminen, ylimääräisten liittymien lisääminen ja levähdysalueiden tai huoltoasema varauksien suunnittelu ja rakentaminen. (2.)



Kuva 2. Vt12 Lahden eteläisen Kehätie hankkeen perusosittelu. Hankekokonaisuus on jaettu kolmeksi osahankkeiksi tilaajan toimesta. Hankeosat ovat itsenäisiä osahankkeita joilla on eri toteutusmuodot. (kuva: <http://www.liikennevirasto.fi/vt12letke>)

2.3.2 Jatko-osittelu

Perusosittelua seuraa hankkeen jatko-osittelu, jota voidaan tehdä eri näkökulmista. Jatko-osittelua voidaan tehdä

- tuotannollisena ositteluna
- hankintoihin liittyvinä ositteluina
- vastuualueisiin liittyvinä ositteluina
- vaiheisiin perustuviin ositteluihin
- sijainnin perustuviin ositteluihin

Tuotannollinen osittelu tarkoittaa hankkeen osittelua aikataulujen ja resurssien näkökulmista sellaisiksi, että hankeosien hallinta ja valvonta ovat mahdollista. Tuotannollisia

hankeosia voivat olla esimerkiksi työpaketit, työtehtävät, työvaiheet ja työajajat. Tuotannon osittelu kuvaa hankkeen valmistuvia vaiheita.

Hankintoihin liittyvissä ositteluissa, hankeosat jaetaan siten, että hankinnat voidaan toteuttaa järkevästi. Hankinta osittelua voidaan tehdä suunnitteluvaiheessa sekä tuotantovaiheessa. Tuotantovaiheessa hanke osittelun tarkoituksena on tehdä osien hankintasopimukset. Suunnitteluvaiheessa osittelu tehdään siten, että suunnittelupalveluiden hankinta saataisiin tehtyä suunnittelijoiden osaamisen ja erikoisosaamisen mukaan.

Vaiheisiin osittelulla voidaan käsitellä hankkeen alussa koko hankkeen jakamista päävaiheisiin, mutta yleensä sillä ymmärretään hankkeen eritasoisten osien suunnittelua ja tuotannon määritystä.

Hankkeen sijaintiin perustuvalla osittelulla on väylähankkeessa tärkeä merkitys tuotannonhallinnan kannalta. Väylähankkeet ovat usein maantieteellisesti laajoja esimerkiksi (30 km tiehanke), jolloin hankkeen osittelu on tuotannonhallinnan ja hankintojen tarpeiden kannalta järkevin tehdä sijainnin perusteella. (2.)



Kuva 3. E18 Hamina-Vaalimaa hankkeen tuotantoon ja sijaintiin perustuva jatko-osittelu. (kuva: <http://www.liikennevirasto.fi/e18vaalimaa>)

3 Väylähankkeen tuotantosuunnittelu

3.1 Massatalous suunnitteluvaiheessa

Väylähankkeen tuotantosuunnittelun oleellinen vaihe on louhittavien, kaivettavien ja siirrettävien maa- ja kalliomassojen siirtosuunnitelmat. Suunnitteluvaiheessa massatalouden tavoitteena on, että kaikki leikattava materiaali käytetään hyväksi samassa kohteessa rakenteissa. Suunnitteluvaiheessa rakennettavan väylän linjaus on suunniteltava siten, että leikattavat ja pengertävät määrät jäävät mahdollisimman pieneksi. Jos urakamuoto sisältää suunnittelua, voidaan osa suunnittelusta sisällyttää pääurakoitsijan tehtäväksi. Tässä tapauksessa voidaan tehdä suunnitteluratkaisuja massansiirtosuunnittelujen kanssa samanaikaisesti. Suunnitteluvaiheen massahallinnan tavoitteena on kustannusten kannalta taloudellinen massatilanne, jossa massojen kaivuu- ja kuljetuskustannukset pysyvät mahdollisimman alhaisina. (2.)

3.2 Massatalous tuotannosuunnittelu vaiheessa

Tuotantovaiheessa on massatalouden suunnittelulla kolme päävaihetta:

- massansiirtosuunnitelman laatiminen
- massansiirtosuunnitelman yhdistäminen aikatauluun
- massataloutta parantavat toimenpiteet

Massansiirtosuunnitelmia tehdään tilaajan ilmoittamien määrien ja maamassojen kelpoisuusluokkien mukaan. Massansiirtosuunnitelmaa tehtäessä hanke jaetaan pienempiin massatalousalueisiin. Pienemmät alueet rajataan aikatauluissa toteuttaviin alueisiin, jotta niitä olisi helpompi hallita. Nykyään massansiirtosuunnitelmien tekemisessä hyödynnetään tietoteknisiä ohjelmistoja. (2.) Massansiirtosuunnitelman ja karkean aikataulun tekemisessä on tässä insinöörityössä käytetty hyväksi tietoteknistä ohjelmistoa DynaRoad.

Massatalouden jakoa pyritään tekemään suunnitelmakarttojen ja aikataulujen avulla siten, että alueen massansiirroilla ei ole sisäisiä esteitä. Massansiirtojen esteitä voivat olla esimerkiksi vesistöjen ylitykset, rautateiden ylitykset ja yleinen liikenne. Jokaisessa

hankkeessa on massansiirtoja rajoittavia tekijöitä, niitä kutsutaan hankkeen reittien katkoiksi ja ne ovat yksi hankkeen kriittisistä polkuista, joita tässä työssä insinööriyössä kartoitetaan. Tyypillisiä massansiirtojen kuljetuskatkoja aiheuttavat tekijät ovat yleinen liikenne, siltatyömaa, vesistyönylytykset ja tunnelit, vaikeakulkuinen maasto sekä ympäristörajoitukset, kuten liitu-oravat. Kuljetuskatkot aiheuttavat siirtokustannuksien kasvua ja pakottavat työmaaliikennettä yleisen liikenteen sekaan, jotka kasvattavat materiaalien siirtomatkoja ja siirtokustannuksia. (2.) Hankeen reittien suunnittelulla voidaan kartoittaa vaihtoehtoisia reittejä massankuljetuksille, joilla kierretään reiteillä olevia katkoja. Kriittisten paikkojen eli katkojen tunnistaminen on tärkeää tehdä ennen yksityiskohtaisen massansiirtosuunnitelman tekemisen.

Massansiirtosuunnitelmassa noudatetaan tyypillisesti seuraavia periaatteita:

- Kaikki käyttökelpoiset massat käytetään.
- Kelvottomia massoja leikataan mahdollisimman vähän.
- Välivarastointia vältetään.
- Penkereitä rakennetaan mahdollisimman vähän.
- Vuodenaikojen vaikutukset otettava huomioon.
- Mahdollisimman lyhyet kuljetusmatkat. (2.)

Massojen siirtojen suunnittelussa on otettava huomioon myös, että rakennekerroksissa maalajit ovat käänteisessä järjestyksessä niiden tarpeiden suhteen. Ensimmäisenä poistettava pintamaakerros tarvitaan tierakenteessa vasta viimeisenä työnä tehtävänä luisakatäytössä. Tämän takia on tärkeää myös suunnitella materiaalien väliaikaista käyttöä, esimerkiksi rakentamalla väliaikaiset työmaatiet tai suunnitella materiaalien välivarastointipaikkoja.

3.2.1 Maamassojen tilavuuskäsitteet

Massansiirtosuunnittelussa on tärkeää ymmärtää massojen tilavuuskäsitteet ja muuttaa massat samaan tilavuusyksikköön. Massansiirtosuunnitelmassa on kiintoteoreettiset kuutiot m^3_{ktr} muutettava rakenneteoreettiseksi kuutioksi m^3_{rtr} . Suurin muutoskerroin kiintoteoreettisesta rakenneteoreettiseksi on louheella, jolla se on 1,5-2,1 riippuen kallion laadusta ja louhintamenetelmästä (liite 2). Määrämittauksessa käytetään seuraavia mitayksiköitä:

- m^3_{ktr} – teoreettinen kiintotilavuus

Teoreettisella kiintotilavuudella tarkoitetaan teoreettisten poikkileikkauksien perusteella mitattuja massojen teoreettisia tilavuuksia luonnontilassa.

- m^3_{ktd} – todellinen kiintotilavuus

Todellisella kiintotilavuudella tarkoitetaan massantilavuutta luonnontilassa todellisten poikkileikkauksien perusteella mitattuna työn valmistuttua.

- m^3_{itd} – todellinen irtotilavuus

Todellisella irtotilavuudella tarkoitetaan massojen todellista tilavuutta, joka on maamassan kuormattaessa kuljetusvälineen lavalle.

- m^3_{rtd} – todellinen rakennetilavuus

Todellisella rakennetilavuudella tarkoitetaan massan tilavuutta, joka on mitattu todellisten rakennettujen poikkileikkausten mukaisista rajapinnoista.

- m^3_{rtr} – teoreettinen rakennetilavuus

Teoreettisella rakennetilavuudella tarkoitetaan tilavuutta, joka on laskettu teoreettisista poikkileikkauksista. (5.) (liite 2).

3.2.2 Maamassojen kelpoisuusluokat

Maamassojen kelpoisuusluokka kuvaa materiaalin soveltuvuutta tierakenteeseen tai penkereeseen ja pohjamaantyyppin soveltuvuutta tien alusrakenteeksi. (7.) Karkeasti voidaan luokitella maalajit siten, että H1, H2 ja S1 ovat kelpaavia maamassoja ja U1, U2, U3, U4 rakenneeroksiin kelpaamattomia maamassoja. (Liitteessä 1 on esitetty taulukko tien pohjanmaa ja alusrakenteen kelpoisuusluokista.)

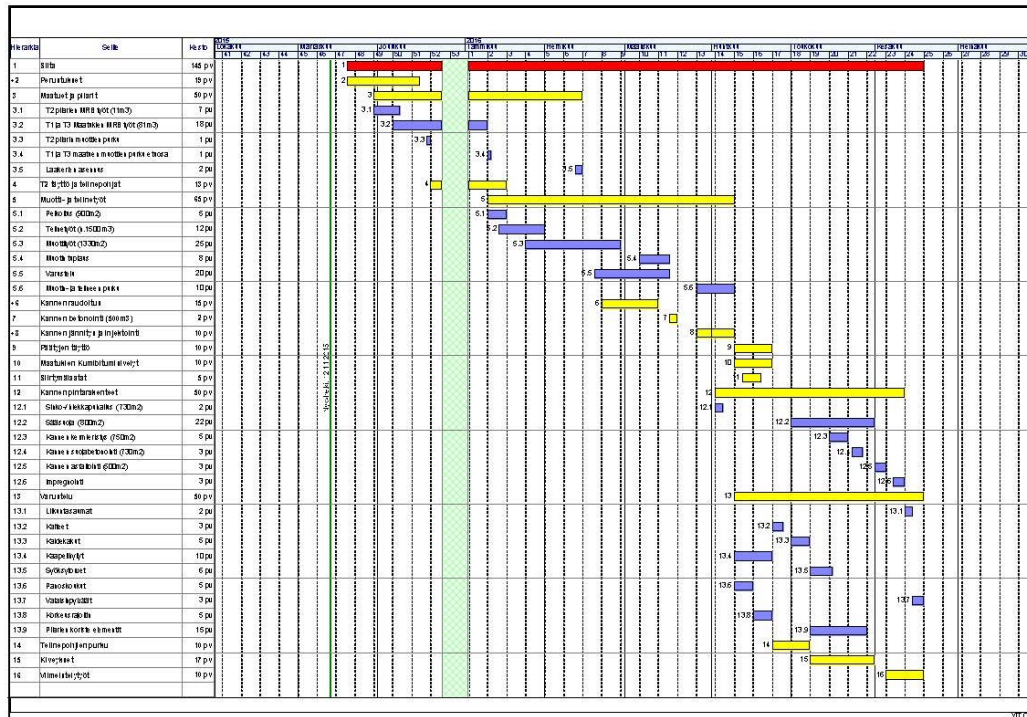
3.3 Aikataulumuodot

Väylähankkeen aikasuunnittelussa käytetään yleisesti kahta eri aikataulutemuotoa, perinteistä Gantt jana-aikataulutemuotoa ja tieaikakaaviota. Erilaista aikataulutemuotokaa voi käyttää ja soveltaa eri tehtäviin ja monella eri tavalla. Töiden aikataulutettaessa voidaan lisätä töiden riippuvuudet, jotka voidaan jakaa neljään ryhmään:

- Luonnolliset riippuvuudet, jotka kuvaavat teknisesti mahdollisia työjärjestyksiä. Esimerkiksi sillan raudoitustyöt on suoritettava ennen betonointia.
- Olosuhderiippuvuudet, jotka määräytyvät sääolosuhteiden, sopimusten tai muiden tekijöiden perusteella. Esimerkiksi asfaltointi on suoritettava ennen talven tuloa.
- Tekniset riippuvuudet, jotka määräytyvät toteutusteknisistä seikoista. Esimerkiksi siltakannen jännitystyöt voidaan suorittaa vasta kun betoni on saavuttanut jännityslujuutensa.
- Resurssiriippuvuudet, jotka kuvaavat resurssien siirtymistä paikasta toiseen. Esimerkiksi rauditusryhmä siirtyy seuraavalle kohteelle yhden valmistuttua. (2.)

3.3.1 Jana-aikataulu

Gantt eli jana-aikataulu on selkeä ja yksinkertainen aikataulumuoto, joka on yleisesti käytössä erilaisissa hankkeissa. Janakaavio esittää projektin työvaiheiden edistymistä suhteessa aikaan. Kaavion keksi ja kehitti amerikkalainen insinööri Henry Gantt 1800-luvulla ja se on nimetty hänen mukaansa. Ganttin kaavioita voidaan tehdä erilaisilla tietoteknisillä aikataulutemuotiohjelmistoilla, kuten esimerkiksi PlaNet+. Jana-aikataulua voidaan myös simuloida Microsoft Excel ohjelmassa mukauttamalla palkkikaaviota ja tuomalla esiin tehtävien aloitus- ja lopetusajat. Jana-aikataulussa työtehtävät listataan pystyakselille ja työnkesto vaakakselille. Janan alkupiste kuvaa tehtävän alkamishetkeä ja päätepiste kuvaa tehtävän loppuhetkeä. Perinteinen jana-aikataulutemuoto on käyttökelpoinen pienissä ja yksinkertaisissa hankkeissa. Lisäksi se on käyttökelpoinen myös silloin, kun isoa hanketta on pystytty jakamaan tarpeeksi pieniksi osahankkeiksi. Tällöin jokaiselle osahankkeen työtehtävälle voidaan muodosta oma jana-aikataulu. Esimerkiksi ison väylähankkeen jokaisesta siltakohteesta voidaan tehdä oma jana-aikataulu. (kuva 4).



Kuva 4. PlaNet+ ohjelmiston siltapaikan tehtävien yksityiskohtainen jana-aikataulu.

3.3.2 Tieaikakaavio

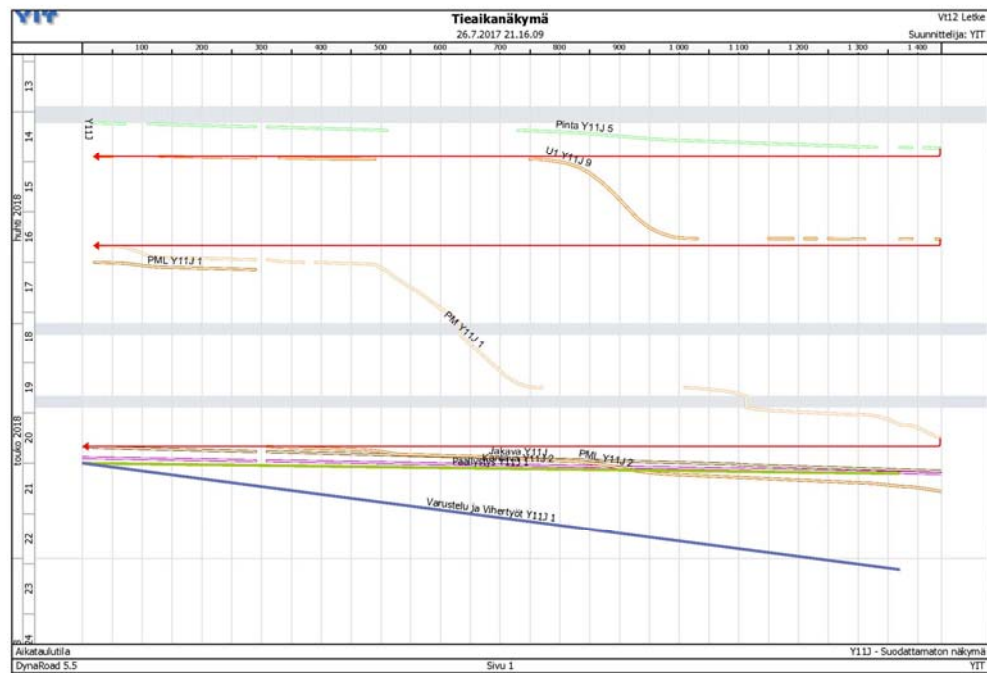
Tieaikakaavio on paikka-aikaan sidonnainen kaavio, jossa työtehtävät esitetään vinoviivoina. Tieaikakaaviota käytetään linjamaisissa infrahankkeissa, kuten tie- ja rautatiehankkeissa, tunneleissa, vesihuoltorakentamisessa, jotka ovat paikkaan sidonnaisia ja sisältävät toistuvia työvaiheita. Tieaikakaavion pystyakselilla kuvataan aika ja vaakakselilla paikkaa esimerkiksi kilometripäälujen lukemin. Tieaikakaavion luonnin tunnetuin ja käytetyin tietotekninen aikataulutuksen ohjelmisto on DynaRoad (kuva 5).

3.3.3 DynaRoad

DynaRoad ohjelmiston kehitys alkoi vuonna 1999, kun suomalaiset maarakennusurakoitsijat, Helsingin teknillinen korkeakoulu (TKK) nykyinen Aalto-yliopisto ja DynaRoad-yhtiö alkoivat kehittää uutta infrahankkeiden projektinhallintaan ja -massansiirtoihin erikoistunutta ohjelmistoa. Nykyään DynaRoadin ohjelmiston kehitys kuuluu japanilaiselle

Topcon Positoining Systems konsernille, jonka päätoimialoihin kuuluvat maanmittauslaitteet, koneenohjauslaitteet, silmääläkäreiden ja silmäleikkausten laitteet sekä niiden kehitys. (9.)

DynaRoad on tietotekninen projektinhallintaohjelmisto työkalu isoille maarakennushankkeille. Ohjelmisto on massansiirtosuunnitteluun erikoistunut työkalu, jonka avulla parannetaan ja analysoidaan massansiirtoja, aikataulutetaan massansiirtotöitä sekä valvotaan ja ohjataan töiden etenemistä. Ohjelmisto käyttää Windowsin graafista käyttöliittymää, joka sisältää karttanäkymän, massansiirtonäkymän, resurssikuvaajan ja tieaikanäkymän. DynaRoadin tieaikakaaviolla on maarakennushankkeen suunnittelussa paljon vahvuuksia verrattuna perinteiseen projektinhallinnassa suosittuun Ganttin janakaavioon, sillä maarakennushankkeen tehtävät ovat paikka-aikaan sidonnaisia, joten perinteisellä janakaavioon avulla ei saada tarvittavalla tarkkuudella aikataulutettua tie-aikaan sidottuja tuotannon työvaiheita. (6.)



Kuva 5. Tieaikanäkymä DynaRoad ohjelmistosta, jossa tieosuuden tehtävät ovat riippuvaisia toisista ja paikka-aikaan sidonnaisia.

3.4 Aikataulusuunnittelu

Aikataulusuunnittelun perustana on tyypillisesti tilaajan asettamat aikataavoitteet ja koko hankkeen valmistumispäivä. Tilaaja määrittää aikataulutavoitteet ja urakoitsijan tehtäväksi jää hankkeen suunnittelu siten, että tavoitteet täyttyvät. Aikataulusuunnittelu koostuu tyypillisesti työmaatehtävistä, tehtävien kestoista ja tehtävien välisistä riippuvuuksista sekä työmaaresursseista. Tärkeät ajanhetket ja hankkeen välitavoitteet ovat myös määritettävät ja suunniteltavat aikataulusuunnittelun perusasiat.

Aikataulusuunnittelun alussa tunnistetaan ja määritetään tehtävät. Tehtävät resursoidaan ja asetetaan niihin liittyvät työmenetelmät. Tämän jälkeen voidaan arvioida tehtävien kestoa. Kestoa voidaan lyhentää tai pidentää resurssien määrän ja koon mukaan. Kun tunnetaan tehtävät ja niiden kesto, tehtävät lisätään aikataulusuunnitteluun työtehtävien välisten riippuvuuksien mukaan. Väylähankkeissa aikataulusuunnittelun lähtökohdaksi toimii massansiirtosuunnitelma tehtävät. Hankkeen kokonaiskestoa voidaan karkeasti arvioida siirrettävien massojen määrien perusteella. Täten infrahankkeen päätehtäväksi voidaan määrätä massansiirtotyöt, koska sillä on erittäin suuri kustannusvaikutus. Aikataulusuunnittelun tavoitteena on löytää toteutusmuoto, joka toteutetaan mahdollisimman lyhyillä massansirroilla ja pienillä resursseilla, eli parhaalla kustannustehokkuudella tavalla. Kun massojen siirrot on suunniteltu, voidaan sovittaa muut tehtävät hankkeen kokonaisaikatauluun. Tehtävät lisätään aikatauluihin niiden pakollisten riippuvuuksien mukaisesti. Tehtävien pakollisia riippuvuuksia maanrakennushankkeessa ovat esimerkiksi pintamaan poisto ennen louhintatöiden aloittamista.

Väylähankkeen työsuunnitteluun ja aikataulujen hallintaan vaikuttavat isosti myös työaikaiset liikennejärjestelyt. Työnaikaisten liikennejärjestelyiden tavoitteena on estää työalueen ulkopuoleisen yleisliikenteen liiallinen häiritseminen. Hankkeen liikennejärjestelyistä laaditaan kirjalliset suunnitelmat. Työmaan vastuhenkilö vastaa liikennejärjestelysuunnitelmien laatimisesta tai määrää siihen ulkopuolisen asiantuntijan. Liikennejärjestelyihin kuuluvat liikenteenpysäytyksen, kaistojen sulkeminen ja tilapäiset kiertotiet sekä liikenteen oikea opastus eli oikeiden liikennemerkkien käyttö hankealueella. (2.)

3.4.1 Yleisaikataulu

Jokaisella projektilla on jonkin tyyppinen yleisaikataulu. Väylähankkeen yleisaikataulu sisältää ainakin jokaisen työkohteen aloitus- ja lopetusajankohdat. Aikataulujen tavoitteena on pitää huolta kohteen valmistumisesta budjetin mukaisesti. Yleisaikataulun lisäksi jokaisesta työpaketista tai osahankkeesta tehdään täsmentävä aikataulu. Työpaketeista voidaan tehdä myös yksityiskohtaisempi tehtäväaikataulu. Yleisaikataulu toimii työmaa tuotannon lähtökohtana, josta muodostetaan tarvittavat osa-aikataulut. Väylähankkeen tehtävillä ei ole optimikestoja vaan sille määrätään tuotantonopeuden perusteella taloudellinen tavoitekesto. Tuotantonopeus perustuu väylähankkeen massatalouteen. Hankkeen kestoa voidaan lyhentää lisäämällä resursseja, joka puolestaan lisää hankkeen kustannuksia. Isoja hankkeita voidaan kuitenkin tarpeen vaatiessa jakaa lohkoiksi, jolloin pystytään vaikuttamaan kokonaisaikataulun lyhentämiseen ja samoja työvaiheita tehdään samanaikaisesti eri lohkoilla. Lohkot muodostetaan huomioimalla massatalousalueet, teiden, liittymien, vesistöjen yms. risteyskohdat sekä työssä käytettävät toimintayksiköt ja hankkeen rahoitustekijät. Väylähankkeen maa- ja siltarakennustöiden aikataulujen suunnittelussa on varauduttava myös häiriötekijöihin. Yleisaikataululle on ominaista, että pienet työvaiheet jäävät suunnittelematta. Nämä työt eivät yleensä vaikuta hankkeen kokonaiskestoan, mutta ne on otettava huomioon hinnoittelun vaiheessa.

Myös vuodenajat vaikuttavat hankekestoan. Talvesta on eniten haittaa, koska se hidastaa rakentamista. Yleisenä pakkasrajana pidetään infrahankkeilla -25 °C . Talvella häiriötekijät lisääntyvät, työsaavutukset pienenevät. Talvirakentaminen aiheuttaa lisätöitä eli myöskin työmäärät ja kustannukset kasvavat. Talvirakentaminen pienentää työtehoa noin 10 prosentilla. Tyypillisiä talven lisätöitä ovat lumen raivaus ja jäätyneen maan eli roudan rikkominen. (2.)

Väylähankkeen yleisaikataulun laatiessa on otettava huomioon ainakin:

- resurssien eli työkoneiden ja työvoiman tasaisuutta (liian iso määrä työkohteita ja työvoimaa ei takaa tehtävien kustannustehokkuutta)
- Tuotantotekniset rajoitukset (vuodanajat, painuma-ajat, tehtävien suoritusajat)
- työkohteeseen pääsy
- materiaalien saatavuus ja toimitukset

3.4.2 Osa-aikataulu

Osa-aikataulut täydentävät ja täsmentävät hankkeen yleisaikatauluja. Tyypillisestä omat osa-aikataulut tehdään ainakin hankinnoista, työpaketeista, kalustosta ja resursseista. Osa-aikataulujen laatiessa on varmistettava niiden yhteensopivuutta yleisaikatauluun.

Hankinta-aikataulut sisältävät hankkeen isoimmat hankintakokonaisuudet sekä hankkeen kriittiset hankinnat. Kriittiset hankinnat ovat pitkällä toimitusajalla ja isolla kustannuksilla olevat hankinnat. Hankinta-aikataulu suunnitelmiin merkitään kriittisten hankintojen tarveajankohdat, tarjouspyyntöjen jättöajat, tarjousten jättöajat, tilausajat sekä toimitusajat.

Työpaketit ovat hankkeen pieniä osia, joita suunnitellaan ja valvotaan erillisenä kokonaisuutena. Paketit sisältävät yksiselitteisiä työkokonaisuuksia, jotka ovat suunniteltavissa ja valvottavissa, joiden kestoja voidaan ennakoida ja jonka työt ovat kohdistettuna yksiselitteisesti yhdelle työpaketille. Työpakettien aikatauluja käydään läpi ja niille muodostetaan oma jana-aikataulu.

Kalusto- ja resurssiaikataulut ovat hankkeiden yksi tärkeimpiä aikataulusuunnittelu vaiheita. Tavoitteena on käytettävissä olevien resurssien kustannustehokas käyttö. Käytössä oleville ja tarvittaville resursseille ja kalustolle tehdään oma aikataulu, josta ilmenee resurssien tarve hankkeen eri vaiheessa. Resurssien aikataulujen suunnittelu kulkee käsikädessä massansiirtosuunnitelman kanssa, koska massansiirtosuunnitelmien tavoitteena on käytettävien resurssien optimointi. Resurssi- ja kalusto-aikataulusuunnittelulla pyritään käytön jatkuvuuteen ja tasaisuuteen, jotta resurssit eivät ole hukkakäytössä tai joutuvat lähtemään ja palamaan työmaalle useita kertoja. (2.)

4 Työmaan logistiikka

Logistiikalla tarkoitetaan prosessia, joka lähtee liikkeelle asiakkaan tekemästä tilauksesta ja prosessi päättyy, kun valmis tuote on loppuasiakkaalla. Tämä prosessi läpäisee yrityksen eri toiminnot suunnittelusta ja tuotannosta. Lyhyesti ja tiivistetysti logistiikalla tarkoitetaan materiaalivirtojen ja tietovirtojen hallinnan kokonaisuutta. Toimivan logistiikan tarkoituksena on saavuttaa päämäärää mahdollisimman pienillä kokonaiskustannuksilla. Työmaan logistiikan tavoitteena on järjestää materiaali- ja tietovirta, siten että tarvittavat työmateriaalit, materiaalitiedot ja materiaalin määrät ovat kustannustehokkaasti oikeassa paikassa, oikeaan aikaan. (1.)

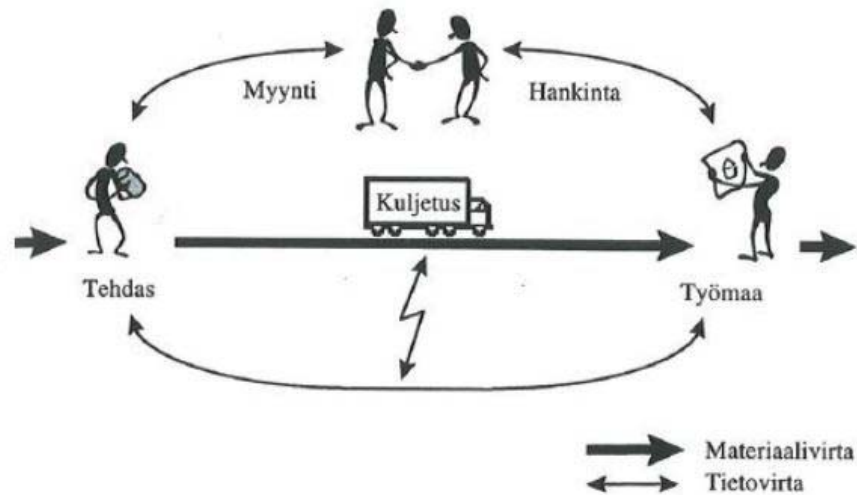
4.1 Materiaali- ja tietovirta

Materiaalivirta on logistisen kokonaisuuden yksi osa. Materiaalivirta tarkoittaa materiaalityötoimitusten fyysistä käsittelyvaihetta eli materiaalin toimitusta loppuasiakkaalle. Tietovirroiksi kutsutaan logistisen kokonaisuuden sellaisia vaiheita, kuten toimituksiin liittyvien piirustuksien käsittely, tilausvahvistuksien ja vahvistustietojen käsittelyt. Materiaali- ja tietovirrat pyritään järjestämään työmaalla siten, että mahdollisia materiaalien käsittely-, siirto-, välivarastointi- ja kuljetuskertoja olisi mahdollisimman vähän, sekä materiaalien kuljetusreitit mahdollisimman lyhyitä. Työmaalla tarvittavien rakennusmateriaalien aikataulusuunnitelma on erittäin tärkeää, työvaiheistuksen ja kokonaikataulujen kannalta. (1.) Tässä insinööriyössä keskitytään väylähankkeen Vt12 Lahden eteläisen kehätien reittien suunnitteluun eli materiaali- sekä tietovirtoihin hankkeella.

4.2 Väylähankkeen logistiikka

Väylähankkeen materiaalin tilaajana ja toimittajana toimii usein sama rakennusliike, rakennusliikkeen sisälle muodostuu logistiikka kokonaisuus. Esimerkiksi hankkeelta louhittua kalliota käytetään muualla samassa hankkeessa tien rakenneosien ja -kerroksien rakentamiseen. Tässä esimerkissä kalliolouhe toimii asiakkaalta tilattavana materiaalina, joka jalostetaan ja käytetään lopputuotteena samalla hankkeella, eli materiaalin toimittaja ja loppukäyttäjä ovat sama rakennusliike. Tämä tarkoittaa, että logistiikan eli tietovirta ja materiaalivirta pitäisi toimia mahdollisimman tehokkaasti, jotta hankkeella voisi

suorittaa useita työvaiheita samanaikaisesti. Tämä vaatii logistisen ajattelutavan materiaalien käytön- ja työvaiheen suunnittelussa. Tiehankkeen materiaalien toimituksien kannalta on tärkeää suunnitella ja kartoittaa mahdolliset kuljetusreitit materiaaleille.



Kuva 6. Materiaalitoimitusten hallintaan osallistuvat osapuolet. (1.)

Kuvassa 6 on havainnollistettu hyvin materiaalin kulku tehtaalta työmaalle. Infrahankkeella työmaa toimii tehtaana, hankintana sekä kuljetusliikkeenä. Esimerkiksi hankkeella louhittua kalliota käytetään samalla hankkeella toisessa työvaiheessa tierakennekerrokseen. Louhinta toimii silloin tehtaana ja rakennekerroksien rakentaminen tällöin materiaali tilaaja asiakkaana. Materiaalin saatavuus, toimitus, välivarastoinnit ja kuljetukset pysyvät siis väylähankkeella usein yksissä käsissä, joten tämä vaatii tarkan hankekohtaisen työsuunnitelman, jotta vältetään ylimääräisistä kustannuksista, jotka aiheutuvat materiaalien varastoinneista ja kuljetuksista.

4.3 Työmaan sisäinen logistiikka

Väylähankkeen sisäinen logistiikka käsittää hankkeen sisällä tehtäviä maa-aineksien ja työmateriaalien siirtoja. Maa-aineksia kuljetetaan paljon työmaalla eri rakennus- tai varastointikohteisiin. Rakennekerrokseen kelpaamattomat tai rakennusprosessissa ylijää-

mät maamassat ajetaan läjitysalueille eli loppusijoituspaikoille. Rakennekerroksissa käytettävät maat kuten kallioulouhe voidaan ajaa joko suoraan maatyttöihin ja rakennekerroksiin tai ensin käsiteltäväksi esimerkiksi murskaimelle. Hankkeelta irrotettua kalliota käsitellään murskaimella, josta kalliosta saadaan eri raekoolla olevaa kalliomursketta. Murskaimet pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle isoja kallioleikkauksia, jota siirrot olisivat mahdollisimman lyhyitä, murskaimelle pitäisi varata myös tarpeeksi tilaa murskekasojen varastoinnille, eli rakennetaan niin sanotut murskavarastot. Joitakin maamassoja ajetaan ensiksi varastointi alueille, josta myöhemmässä rakennusvaiheessa siirretään tarvittavat maa-ainekset tarpeen mukaan työkohteisiin. Tyypillisesti hankkeen alkuvaiheessa poistetut pintamaat varastoidaan niille suunnitelluilla varastoalueilla ja poistettuja pintamaita käytetään vasta väylähankkeen viimeisessä viimeistelyvaiheessa.

Myös isoimmat rakennusmateriaalien hankinnat varastoidaan työmaalla tai työmaan läheisyydessä, josta eri rakennusvaiheessa voidaan hakea tarvittavia materiaaleja. Väylähankkeella varastoitavat rakennusmateriaalit ovat tyypillisesti materiaalit, joilla on rakentamisaikana jatkuva menekki. Esimerkiksi sähköputket, kaivot ja puumateriaalit. Työmaalla varastoitaville materiaaleille tulisi tuotannon suunnittelun aikana suunnitella varastointipaikkoja sekä suunnitella materiaalien siirto ajoreittejä varastoiti alueille.

4.4 Materiaalien toimitukset työmaalle

Rakennusmateriaalien toimitukset työmaalle on logistiikan yksi vaihe, joka tähtää materiaalien tehokkaaseen käyttöön ilman välivarastointia ja ylimääräisiä materiaalien siirtoja. Materiaalien tilauksia ja toimituksia on suunniteltava siten, että materiaalia tilataan riittävä määrä kerrallaan. Toimitusajankohta valitaan juuri ennen sen käyttö tarvetta. Materiaalin saapuessa työkohteeseen on huolehdittava, että kohteessa on materiaalien vastaanotossa tarvittava nosto- ja purkukaluosto, sekä materiaalille on suunniteltu purkupaikka. Purku- ja varastointi paikka on syytä valita läheltä materiaalin käyttöpaikka, jotta vältetään ylimääräisiltä materiaalien siirroilta. Väylätyömaalla on tyypillistä, että esimerkiksi siltapaikkojen materiaalit toimitetaan suoraan siltarakennuspaikalle, eikä materiaaleja välivarastoida. Tässä tapauksessa on toimitusajankohta valittava siten, että sillä on käytön tarpeen mukaan looginen toimitusajankohta. Alkuvaiheessa toimitetaan sillan perustuksissa tarvittavat muottimateriaalit ja teräkset ja vasta tämän jälkeen toimitetaan sillan kansirakenteen teline- ja muottimateriaalit sekä teräkset. Vähemmän tilaa vievät

materiaalit kuten esimerkiksi kaivonkannet ja pultit voidaan toimittaa yhtenä tilauksena työmaalle ja välivarastoida, oikea määrä siirretään kohteeseen vasta tarvitessa. (1.)

4.4.1 Väylähankkeen kalusto

Rakennusmateriaalit toimitetaan työmaalle melko aina kuorma-autoilla ja ajoneuvo yhdistelmillä, jossa vetoautona toimii kuorma-auto. Materiaalien purussa kohteessa tarvitaan nosto- tai purkukalustoa materiaalista ja purkutavasta riippuen. Isompien työkoneiden siirto työmaalle ja siirrot työmaalla tapahtuu lavetilla, sekä massansiirrot ajetaan maasto-olosuhteiden mukaan maansiirtokuorma-autoilla tai traktoridumppereilla. Kuormien lastauksessa käytetään erilaisia kuormauskalustoja, kuten kaivinkone, pyöräkuormaaja ja kaivurikuormaaja.

Väylähankkeen massan ja materiaaliensiiro- ja käsittelytyökaluna käytetään seuraavia kalustoa:

Kuorma-auto KA

Kuorma-auto on logistiikan perustyökalu. Kuorma-autolla voidaan käytännössä ajaa kaikkia tavaroita ja ne ovat yleiset kuljetusvälineet maarakennustöissä. Kuorma-autoilla hoituvat massankuljetuksien lisäksi myös materiaalien kuljetukset.

”Kuorma-auton suurin sallittu pituus on 12,00 metriä, korkeus 4,40 metriä ja leveys 2,60 metriä. Yli 22,00 metrin mittaisissa ajoneuvoyhdistelmissä lämpöeristämättömän ajoneuvon leveys saa kuitenkin olla korkeintaan 2,55 metriä. Kuorma-auton suurinta sallittua massa rajoittavat sekä lainsäädäntö, että ajoneuvon rakenne. Lain mukaan kaksiakselisen kuorma-auton suurin sallittu kokonaismassa on 18 tonnia, kolmiakselisen 26 tonnia, neliakselisen 35 tonnia ja viisiakselisen 42 tonnia.” (11)



Kuva 7. Maansiirtolavalla varusteltu kuorma-auto

Ajoneuvoyhdistelmä

Ajoneuvoyhdistelmä on vetoajoneuvosta ja perävaunusta koostuva ajoneuvo yhdistelmä. Yhdistelmän vetoautona toimii kuorma-auto. Ajoneuvoyhdistelmä tyyppejä ovat puoliperävaunu- tai täysiperävaunuyhdistelmä. Puoliperävaunun vetämiseen käytetään lyhyttä kuorma-autoa, jonka taka-akselilla on vetopöytä. Puoliperävaunuyhdistelmän enimmäispituus on 16,5 metriä ja suurin sallittu kokonaismassa kuudella akselilla 48 tonnia. Täysperäyhdistelmä koostuu varsinaisestakuorma-autosta ja perävaunusta. Täysperävaunun enimmäispituus on 25,25 metriä ja ilman ABS-jarruja 22,0 metriä ja suurin sallittu kokonaismassa 76 tonnia yhdeksällä akselilla. Kansainvälisessä liikenteessä kuitenkin suurin sallittu kokonaismassa on 40 tonnia viidellä akselilla.



Kuva 8. Puoliperävaunu kuorma-auto yhdistelmä materiaalien toimitukselle



Kuva 9. Täysiperävaunu kuorma-auto yhdistelmä materiaalien toimitukselle

Kasetti kuorma-auto

Kasetti kuorma-auto on maansiirrossa käytettävä täysperävaunuyhdistelmä ajoneuvo. Kasetti koostuu kuorma-autosta, jonka päällä kipattava maansiirtolava ja perässä perä-

vaunu, jonka päällä on liikkuva maansiirtolava. Kuorman purkaessa ensin irrotetaan perävaunu ja kipataan auton päällä oleva lava, jonka jälkeen kasettilava vedetään kiskoja pitkin kuorma-auton lavan sisälle ja uusi kippaus voidaan suorittaa. Kasetti kuorma-autoa on kustannustehokasta käyttää, kun massansiirtomatkat ovat pitkiä.



Kuva 10. Kasetti yhdistelmä murskeen lastaus paikalla

Kuljetuslavetti

Lavetiksi kutsutaan kuorma-auton perävaunu alustaa, jota käytetään kaluston esimerkiksi kaivinkoneen siirrossa työmaalla sekä toimitettaessa kalustoa työmaalle.



Kuva 11. Lavetti peräkärri kaivinkoneiden siirtoon työmaalla

HIAB kuorma-auto

HIAB kuorma-auto on tehokkaalla HIAB nosturilla varustettu kuorma-auto, jolla asennusnostot, kuorman lastaaminen ja purkaminen ovat helppoa ja kustannustehokasta. HIAB nosturin avulla kuorma-auto voi itse lastata ja purkaa kuorman ilman lisälaitteita. HIAB kuorma-autoa voi käyttää pelkästään nosto- ja asennustöissä.



Kuva 12. HIAB nosturilla varustettu kuorma-auto toimittaa ja asentaa betoniset melusteet

Traktoridumpperi TRD

Traktoridumpperit ovat erittäin vaikeakulkuisessa maastossa maansiirtotyöhön tarkoitettuja ajoneuvoja. Dumppereilla voidaan tyypillisesti kuljettaa noin 20-50 tonnia kuormaa kerralla. Niiden etu on liikkuvuus kuorman kanssa vaikeassa maastossa, eivätkä ne tarvitse työmaatietä kulkeakseen. Traktoridumppereita käytetään tyypillisesti suljetuilla työmailla, jossa massojen siirrot ovat isoja ja maansiirto etäisyyden lyhyitä.



Kuva 13. TRD traktoridumperi vaikeassa maastossa, jossa työmaatietä ei ole rakennettu

Kaivinkoneet KKht ja KKHp

Kaivinkone on maanrakennuskone, joka on rakennustyömaalla käytössä kaiken tyyppisissä tehtävissä. Kaivinkoneen ylävaunu kääntyy 360 astetta, jonka ansiosta sen kaivusäde on suuri ja työskentely tehokas. Kaivinkoneet ovat varustettu erilaisin puomein ja alustain. Kaivinkoneet jaetaan niiden liikkumisalustan mukaan tela-alustaiseksi kaivinkoneeksi KKht tai pyöräalustaiseksi kaivinkoneeksi KKHp. Kaivinkoneiden teho määräytyy sen koon eli painon mukaan. Kaivinkoneisiin on saatavissa paljon erilaisia lisävarusteita sekä eri tarkoituksiin olevia kauhoja. Kaivinkoneita on myös eri pituisilla jopa 20 metrisillä puomeilla sekä eri rakenteisilla jäykällä teleskooppi- tai taittuvilla nivelpuomeilla.

Tela-alustaiset koneet ovat vakaita ja tasapainotettuja, koska telaketjut jakavat painon koko telan alueelle sekä teloilla on hyvä pito liikkua vaikeassa ja huonosti kantavassa maastossa. Tela-alustaisia koneita käytetään pidempikestoisissa työvaiheissa, koska niiden pidemmissä siirroissa työmaalla tarvitaan erillistä siirtokalustoa – lavettiautoa.

Pyöräalustaiset kaivinkoneet ovat yleisempiä lyhytkestoisissa töissä, koska ne siirtyvät työmaalla paikasta toiseen nopeasti omilla pyörillä. Maanrakennustöissä, joissa ei ole

kantavuusongelmia käytetään pyöräalustaisia koneita niitten helpon ja nopean liikkumisen takia.



Kuva 14. KKHT tela-alustainen kaivinkone lastaamassa kuorma-autoa



Kuva 15. KKHp pyöräalustainen kaivinkone

Kaivurikuormaaja KKT

Kaivurikuormaajalla on edessä kauha ja kaivukauha koneen takana. Kaivurikuormaajan kaivulaita kääntyy noin 180 astetta, joka rajoittaa sen tehokasta työskentelyä verrattuna kaivinkoneeseen. Kaivurikuormaajat ovat työmaan monipuolisia yleiskoneita. Niillä voidaan suorittaa esimerkiksi työmaateiden kunnossapidot ja työmaateiden harjaukset, kuorman lastaukset sekä kuorma-autojen purut vaihtamalla oikeanlaiset lisälaitteet kauhan tilalle.



Kuva 16. KKT kaivurikuormaaja rakentamassa työmaaliittymää

Pyöräkuormaaja KUP

Pyöräkuormaajat ovat kuormaamiseen tarkoitettuja työkoneita. Pyöräkuormaajat eivät ole tarkoitettu varsinaiseen kaivamiseen. Yleisimmin pyöräkuormaajaa käytetään murskatun kiviaineksen kuormaamiseen. Pyöräkuormaaja ei juurikaan sovellu maan irrotukseen renkaiden alapuolelta, mutta sitä voidaan kuormaamisen lisäksi käyttää myös rakennekerrosten tasaamisessa sekä täyttötöissä. Kuormaajan kauhan tilalle voidaan vaihtaa myös trukkihaarukat tai harjalaite, jolloin kone sopii myös kappaletavaran käsittelyyn ja tien kunnossapitoon. Pyöräkuormaajat ovat tyypillisesti varustettuna isolla huuliveykauhalla, joka sopii irtoavan maa-aineksen esimerkiksi murskeen käsittelyyn. Kyn-

sillä varustettu kauhaa käytetään vaikeammin irrotettavan maan, kuten louheen kuormaamiseen. Suurimmat kevyen tavarankäsittelyyn tarkoitetut pyöräkoneen kauhat ovat jopa 20 kuutiometriä. Pyöräkuormaaja on tehokas työkalu kuorma-autojen lastauksessa esimerkiksi murskaimella tai asfaltiaseman kiviaineksen lastauksessa.



Kuva 17. KUP Pyöräkuormaajat murskevarastolla

5 CASE VT12 Lahden eteläinen kehätie

5.1 Valtatie 12

Valtatie 12 kulkee Kouvolasta Lahden ja Tampereen kautta Raumalle ja se on eteläisen Suomen tärkeimpiä poikittaisreittejä. Tien kokonaispituus on 339 kilometriä. Se on tärkein maantieväylä Etelä-Pohjanmaalta, Satakunnasta, Varsinais-Suomesta, Pirkanmaalta, Etelä-Karjalaan ja Venäjälle. Valtatie 12 on pääosin kaksikaistainen maantie, nelikaistaisia osuuksia on Lahden, Tampereen ja Rauman seudulla. Kangasalan ja Tampereen välillä sekä Lahden länsipuolella ja Hollolan kohdalla tie on moottoriliikennetietä. Nokian ja Tampereen välille sijoittuu myös lyhyt moottoritieosuus. Valtatie 12 on Suomen vilkasliikenteisimpiä teitä pääkaupunkiseudun ulkopuolella.

Valtatie 12 kulkee nykyisin Lahden keskustan ja Hollolan kunnan läpi ja se on ainoa kaupunkiseudun läpi kulkeva valtatie Suomessa. Nykyisen tien liikennemäärät ovat suuria noin 13 000 - 20 000 (KVL 2013) ajoneuvoa vuorokaudessa, eikä tielle ole olemassa vaihtoehtoisia reittejä. Nykyisellä tiellä kulkee Lahden keskustan läpi paljon raskasta liikennettä ja vaarallisten aineiden kuljetuksia päivittäin, joiden osuus keskivuoroliikenteestä on noin 10 %. Nykyisen valtatie liikenteestä välillä Lahti-Hollola aiheutuu haittoja asutukselle ja tie ruuhkautuu, joka vaikeuttaa kuljetusten sujumista. Vt12 turvallisuustaso on erittäin heikko, sekä nykyinen reitti estää maankäytön kehittämistä Lahdessa ja Hollolassa. Ruuhkien lisäksi uusi tiehanke vaikuttaa paljon ympäristöön, koska nykyisin se kulkee maailman parhaan pohjavesiesiintymän päällä ja siirtämällä tietä etelämpään saadaan pohjavesien saastuttamisen riskiä pienennettyä. (3.)

5.2 VT12 Lahden eteläinen kehätie

Nykyisen tien siirtäminen etelämpään parantaa merkittävästi liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta, sillä liikenne ohjataan pois Lahden ja Hollolan keskustan alueilta. Kehätiellä saavutetaan myös säästöjä kuljetuskustannuksissa, koska keskustan liikennevalojen aiheuttamat aiheettomat liikenteen pysähdykset poistuvat. Eteläinen kehätie tehostaa Lahden maaseudun, Askon alueen, Sopenkorven sekä Hollolan keskustan maankäytön kehittämistä. Eteläinen kehätie luo tehokkaat reitit teollisuus- ja logistiikka alueille, sekä edistää niiden kehittymistä. Ympäristötavoitteena on vähentää liikenteestä aiheutuvaa

pohjavesien pilaantumisriskiä Lahden seudulla. Eteläisellä kehätiellä vähennetään vaarallisten aineiden kuljetusta keskustassa ja pohjavesialueilla. Tavoiteaikataulujen mukaisesti työt maantiellä 167 alavat keväällä 2017 ja valtatie 12 osalta vuonna 2018 tavoitteena on, että hanke valmistuu kokonaisuudessa vuoden 2021 loppupuolella. (3.)

Vt12 Lahden eteläisen kehätien hankekokonaisuuteen kuuluu valtatie 12 Lahden eteläisen kehätien rakentaminen ja maantie 167:n Lahden eteläisen sisääntulontien parantaminen. Valtatietä parannetaan 1-ajorataiseksi kaksikaistaiseksi valtatieksi Soramäen ja Okeroisten välillä sekä 2-rataiseksi nelikaistaiseksi valtatieksi Okeroisten ja Kujalan välillä. Hankekokonaisuus sisältää kahden tunnelin rakentamista, Patomäen tunnelin ja Liipolan tunnelin. Hankkeella rakennetaan viisi eritasoliittymää Soramäkeen, Nostavaan, Okeroisiin, Launeisiin ja Kujalaan. Hankekokonaisuus sisältää uusien siltojen rakentamista ja olemassa olevien korjaus- ja levennystöitä. Siltapaikkoja on yhteensä 36 kappaletta. Lisäksi kehätien poikittaisiin katuihin ja teihin tehdään muutoksia. Meluntorjuntaa toteutetaan hankkeella noin 5,4 km. Launeen pohjavesialueella tie sijoitetaan noin 100 metrin matkalla betonikaukaloon. Uusia kevyen liikenteen väyliä rakennetaan ja olemassa olevia parannetaan koko hankkeen alueella. Vt12 Lahden eteläinen kehätie hankekokonaisuus on tilaajan puolesta jaettu kolmeksi hankeosaksi, jotka kilpailutetaan erillisinä hankkeina erilaisin hankemuodoin. Tilaajan jakamat hankeosat ovat valtatie 12 parantaminen hankeosat 1A ja 1B sekä maantien 167 parantaminen hankeosa 2 (kuva 2). (3.)

5.2.1 Hankeosa 1A

Hankeosa 1A välillä Soramäen eritasoliittymä ja Okeroisten eritasoliittymä hankintamalli on ST-urakka. Hankinta-aikataulujen mukaan rakentaminen maastossa alkaa keväällä 2018. Hankeosa 1A sisältää noin 7,2 kilometriä moottoritien rakentamista kolmen eritasoliittymän rakentamista ja yhteensä 19 siltapaikkaa. (3.)

ST-urakka eli suunnittelu ja toteutus – urakkamuodossa urakoitsija sekä suunnittelee että toteuttaa hankkeen. ST-urakkaa tunnetaan myös nimellä SR-urakka, suunnittele ja rakenna urakka. Urakoitsija ja tämän kanssa toimivat suunnittelijat kehittävät yhdessä parhaan mahdollisen ratkaisun urakan toteuttamiseen, joka täyttää rakennuttajan asettamat vaatimukset. Rakennuttajan vaatimukset voivat perustua laatupainotteiseen-, edullisuuspainotteiseen-, tai hintapainotteiseen ST-urakkaan. Rakennuttaja solmii ST-

urakassa sopimuksen yhden urakoitsijan kanssa, joka hoitaa rakennushankkeen suunnittelun ja toteutuksen. (4.)

5.2.2 Hankeosa 1B

Hankeosan 1B välillä Okeroisten eritasoliittymä ja Kujalan eritasoliittymä hankintamalli on allianssihankemalli. Hankinta-aikataulujen mukaan rakentaminen maastossa alkaa elokuussa 2017. Hankeosa 1B sisältää 6,2 kilometriä moottoritein rakentamista, kahden eritasoliittymän rakentamista ja kahden tunnelin rakentamista sekä 17 siltapaikkaa. (3.) Hankeosien 1A ja 1B tarkemmat työmäärät selvitetään työmaankriittisten polkujen kartoituksen avulla.

Allianssihanke on yhteisvastuullinen projektin toteutusmuoto, jossa hankkeen osapuolet muodostava yhteisen tiimin, jolla hanke suunnitellaan ja toteutetaan jakaen hakeneeseen liittyvät riskit. Allianssiin kuuluu vähintään rakennuttaja ja yksi palveluntuottaja eli urakoitsija. Allianssiin voidaan tarvittaessa sopia myös muita osapuolia. Yleisimmin allianssin muodostavat rakennuttaja, urakoitsija ja pääsuunnittelija. Vastuut hankkeen riskeistä jakaantuu yhtenäisesti allianssin sisällä. Työtehtävät jaetaan allianssin sisällä hankkeen parhaaksi periaatteella. Allianssin kaikki osapuolet ovat mukana päätöksenteossa ja myös kaikki hankkeeseen liittyvät kustannukset avataan hankkeen osapuolille. Allianssihanke muoto sopii parhaiten vaativiin ja isoihin hankkeisiin, joissa lähtötiedot ovat epäselviä ja aikataulu tiukka. (4.)

5.2.3 Hankeosa 2

Hankeosa 2 Lahden eteläisellä sisääntulotiellä parannetaan rakentamalla toinen ajorata nykyisen tien itäpuolelle noin 3,2 kilometrin matkalta. Parannettava tie sijaitsee maantie 167 Lahti-Koskenkylä osuudella. Tie rakennetaan nelikaistaiseksi reilun kolmen kilometrin matkalla, joka varmistaa sujuvan liittymisen eteläiselle kehätielle ja valtatie 4:lle. Tieosuudella uusitaan liikennevaloja sekä kaistajärjestelyjä. Uusi ajorata rakennetaan nykyisen tien itäpuolelle. Kevyen liikenteen väyliä rakennetaan 3,4 kilometrin matkalta, joka parantaa kevyen liikenteen kulkua. Hankkeeseen sisältyy 9 siltapaikkaa, joista kaksi alikulkukäytävää suurennetaan, kaksi alikulkukäytävää uusitaan sekä yksi vesistösilta uusitaan. Vt167 valmistuttuaan siirtyy kaupungin omistukseen ja ylläpitoon. (3.)

6 Reittien suunnittelu CASE Vt12 Lahden eteläinen kehätie

Työn tarkoituksena on tutkia ja suunnitella logistiikka reitit Vt12 Lahden eteläisen kehätiehankeosille 1A ja 1B. Hankeosaa 2 maantien 167 reittejä ei tässä työssä tutkita.

6.1 Väylähankkeen reittien suunnittelu

Reittien suunnittelun takoituksena on palvella koko työmaaliikennettä sekä ohjata yleistä liikennettä. Työmaaliikenteeksi kutsutaan massansiirto liikennettä, työmateriaalien toimituksen liikennettä, työkoneiden liikennettä ja henkilöautojen liikennettä hanke alueella. Hankkeen reittien suunnittelu aloitetaan tutustumalla hanke aineistoon ja suunnitelmakarttoihin. Suunnitelmakarttojen lisäksi on hyödyllistä tutustua lisäksi muihin saatavilla oleviin kartta aineistoihin ja mahdollisesti käydä paikan päällä tutustumassa maastoon. Nykyään on hyvä hyödyntää erilaisia sähköisiä karttapalveluja sekä vertailla niitä keskenään ja suunnitelmakarttoihin, koska suunnitelmakartoista saattaa puuttua tärkeitä maaston päivityksiä. Tässä työssä reittien suunnittelu on aloitettu luomalla karkean hankkeen yleisaikataulun DynaRoad ohjelmiston avulla. Yleisaikataulujen ja suunnitelmakarttojen avulla kartoitettiin kriittiset työvaiheet ja rakennettavalla tielinjalla olevia katkoja, jotka ovat aikataulujen ja työvaiheiden lisäksi hankkeen kriittisiä polkuja. Hankkeen kriittiset polut muodostuvat isoista, vaikeista ja valmistumisaikaa vievistä työvaiheista, kuten isot massanvaihdot, maan ja kallion leikkaustyöt sekä isot sillat ja tunnelit. Kaikki edellä mainitut työvaiheet ovat aikataulullisesti tärkeitä työvaiheet, koska niiden toteutus suunnittelu ja valmistuminen vievät paljon aikaa ja täten työt kohteissa on aloitettava mahdollisimman aikaisin. Jotta työt kohteessa voitaisiin aloittaa ajoissa, on suunniteltava pääsy kohteisiin eli reitit kriittisiin työvaiheisiin.

6.2 Vt12 Lahden eteläisen kehätien yleisaikataulun luonti

Case hankeosien 1A ja 1B yleisaikataulujen tekeminen aloitettiin perustamalla uusi projekti DynaRoad ohjelmistoon liikenneviraston suunnitelma aineiston perusteella. DynaRoad projektin pääominaisuuksiin asetettiin projektin tunniste, -kuvaus, -alkamisaika, -valmistumisaika sekä tehtiin muutokset aikataulutuskalenterissa ja suunnittelussa käytettyihin yksikköihin. Projektin alkamisajaksi asetettiin hankeosan 1B alkamisaika. Projektin valmistumisajaksi hankeosan 1A valmistumisaika. Tässä työssä tehtiin vain hankkeen karkea yleisaikataulu, jotta voitaisiin kartoittaa hankkeen kriittiset paikat työtehtävien

aikataulutuksen avulla. Tämän tyyppisessä hakkeessa on yleistä, että työt tehdään työmaalla maanantain ja torstain välisenä aikana ja työvuoron pituus on 12 tuntia, nämä perustiedot syötettiin myös projektin ominaisuudeksi. Kalliomassojen ja maamassojen tilavuudet vaihtelevat huomattavasti massojen käsittelyvaiheessa, tästä syystä tarkistettiin massansiirtojen ja -leikkauksien yksiköt. Yleisaikataulutuksen kannalta on tärkeää, että käytetyt massansiirtoyksiköt ovat syötetty oikein. Maanleikkaus yksikkönä käytettiin $m^3\text{tr}$ ja täyttöyksikkönä $m^3\text{rtr}$. Perusasetukset on syötetty ja tarkastettu, jotta ohjelma osaisi laskea oikeat työtehtäväkestot. Kun projektin perustiedot oli syötetty ohjelmistoon, lisättiin DynaRoad projektiin hankkeiden 1A ja 1B suunnitelmakartat. Suunnitelmakarttojen sijaintikoordinaatit syötettiin ohjelmistoon ja piirrettiin karttanäkymään hankkeen tuleva päätielinja ja asetettiin päätielinjan paaluväli. Vt12 lahden eteläisen kehätien koko hankkeen päätielinja alkaa paikallispaalulta 5180 ja loppuu paalulle 18 305. Hankeosa 1A paaluväli on 5180-13700 ja hankeosa 1B paaluväli on 13700-18305. Karttanäkymään piirrettiin ja lisättiin hankkeen kaikki muutkin rakennettavat tiet ja kadut oikeille paaluväleille. Päätielinjan, teiden ja katujen paaluvälit saatiin liikenneviraston Vt12 Letke suunnitelma aineistosta. Päätielinjalle liittyvien teiden ja katujen sekä eritasoliittymien alkupaalujen kasvusuunnan tarkastaminen oli tässä vaiheessa työtä tosi tärkeää, jotta seuraavassa vaiheessa lisättävät työtehtävät osuvat oikeille paaluluville tällöin työtehtävien aikataulut ovat paikkaan eli suunnitelmakarttaan sidonnaisia.

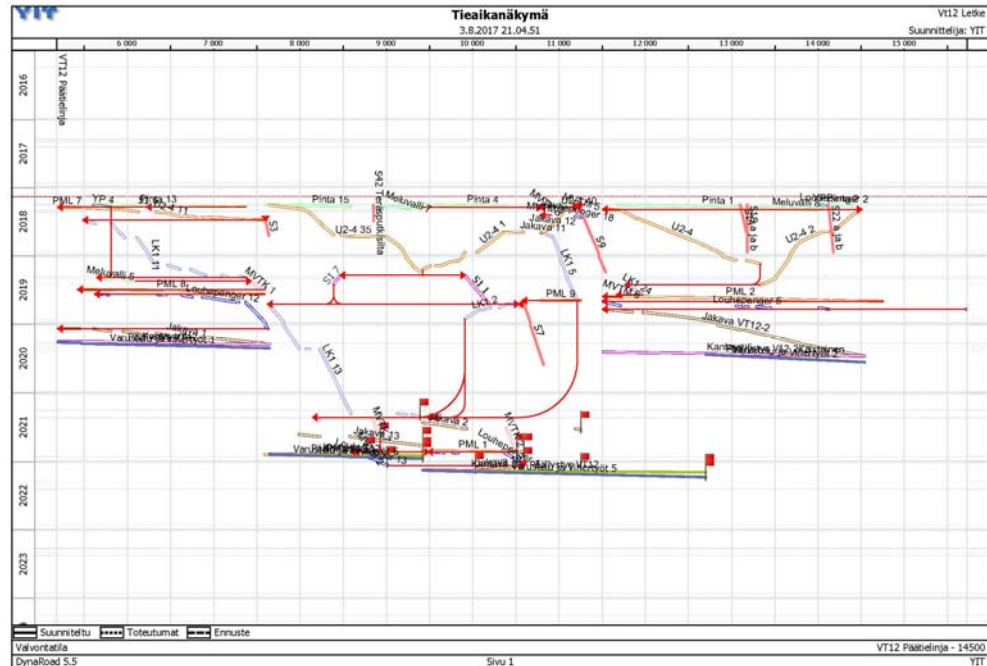
6.3 Tehtävien aikataulutus

Tehtävien aikataulutus aloitettiin lisäämällä aikatauluihin massansiirtotehtävät. Massansiirtotehtävät on syötetty liikenneviraston Vt12 Letke massataulukko aineistosta. Massataulukot sisältävät hankkeen jokaisen rakennettavan tien, kadun ja liittymän maamassat 20 metrin paaluväleihin. Massataulukot muokattiin DynaRoadiin sopiviksi ja lisättiin jokaisen tien, kadun tai rampin massataulukko kerrallaan DynaRoad projektiin. Massataulukoita lisättiin yhteensä 58 kappaletta. Massataulukoiden arvot yhdistettiin DynaRoadissa olemassa oleviin tehtävätyyppeihin, soveltamalla maaluokitukset sopiviin tehtävätyyppeihin. Massansiirtotyötehtävät lisättiin oikealle sijainnille ja tarkastettiin tehtävän työryhmän suoritteet eli työtehot. Maaleikkauksien, kalliroleikkauksien, pintamaan poiston ja muiden maankaivutöiden laskennallisena työtehona aikataulutettaessa käytettiin $50 m^3\text{tr} / \text{h}$. Massanvaihdon täytön, louhepenkereen rakentamisessa, luiskatäyttötöissä ja muissa täyttötöissä käytettiin laskennallisena työtehona $100 m^3\text{rtr} / \text{h}$.

DynaRoad ohjelma keskittyy massojenhallintaan, ohjelmassa ei ole valmista tehtävätyökäluä siltojen, meluvallien yms. taitorakenteitten aikataulutukselle. Tästä syystä silloille perustettiin oma tehtävätyyppi, jonka jälkeen lisättiin hankkeen jokainen silta oikealle paalulle ja valittiin valikosta oikea sijainti kartalla. Siltojen tehtävätyyppinä käytettiin ”Yleistä” aikataulutustyökäluätyyppiä ja työteho yksikkönä aikataulutuksessa käytettiin h / h. Siltatiedot ja siltapaikkojen sijainnit tarkastettiin Vt12 Letke aineiston suunnitelmakuvista. Koska jokainen silta on erikoisrakenne, eikä niiden aikataulutuksissa voida käyttää mitään tiettyä rakentamisaikayksikköä ilman tarkempia rakennekuvia, siltojen rakentamisaikaa arviotiin karkeasti tämän työn yleisaikataulujen tekemiseen. Pisimpien ja vaativimpien siltojen työnkestoksi arvoitiin noin 2500 työtuntia ja hankkeen pienimpien siltojen valmistumisajaksi noin 500 työtuntia. Silta- ja tunnelirakennuspaikoista muodostuivat päätielinjan katkot eli esteet reiteillä, jotka ovat kriittisiä polkuja hankkeen kokonaisuuden kannalta.

Seuraavaksi lisättiin aikataulutukseen hankkeen lopettavat viimeistelytyötehtävät, jotta kokonaisaikataulussa olisi otettu huomioon kaikki mahdolliset hankkeella suoritettavat työtehtävät. Viimeisiä tehtävätyyppiä ja tehtäviä olivat jakavan- ja kantavakerroksen rakentaminen, niiden laskennallisena työtehona käytettiin 50 m³rtr / h. Asfaltointityöt lisättiin omana tehtävänä ja määrät laskettiin suunnitelmakuvista. Asfaltointitöiden levitystekoksi laskettiin aikaisempien hankkeiden suoritteista 125 tn / h. Viimeiseksi työtehtäväksi aikataulutukseen lisättiin hankkeen vihertyöt ja varustelutyöt. Varustelu- ja vihertöistä tehtiin yhtenäinen tehtävätyyppi. Vihertyöt sisältävät kiveystyöitä ja viherkasvillisuuden istutustöitä. Varustelutöihin kuuluvat mm. valaistukset, kaiteiden asennukset, liikenne-merkkien asennukset, näitä töitä ei alettu tarkemmin eritellä tässä projektissa, koska tarkoitus oli saada vain karkea yleisaikataulu, jonka perusteella saatiin kartoitettua työmaan kriittiset työvaiheet. Vihertyöt ja varustelutyöt aikataulutettiin siten, että työt valmistuvat paalukohtaisesti noin 3 viikon kuluttua asfaltoinnin jälkeen.

Aikataulutuskäyymä näytti tässä vaiheessa sotkuiselta. Kaikki työt alkoivat projektin aloituspäivänä, joten seuraavaksi tehtäville lisättiin riippuvuudet ja tehtiin hankkeen osittelu. Hankkeen osittelua tehtiin sijainnin ja tuotannon eli massamäärien perusteella. Tehtävien riippuvuuksien ja osittelun jälkeen alkoi hankkeen karkea yleisaikataulu hahmottua sekä yleisaikataulusta pystyttiin tunnistamaan hankkeen kriittiset polut.



Kuva 18. DynaRoad tieaika näkymä.

Kuvassa 18 on aikataulutukseen tehty tehtävien riippuvuudet, jotka näkyvät kuvassa punaisina nuolina. Tieaika näkymästä selviää myös hankeen vaativimmat työtehtävät. Kuvasta näkee, että hanke on jaettu kolmeksi osioksi. Hankeosat ovat jaettu lohkoiksi sijainnin ja työmäärien perusteella. Tehtävät olivat osioitu siten, etteivät tehtävien käyrät menisi ristiin ja tehtävillä olisivat loogiset työjärjestykset. Jos aikataulutuksessa olevat tehtävät menevät ristiin toisten tehtävien kanssa, tämä tarkoittaa, että kyseisellä paaluvälillä on kaksi työvaihetta menossa yhtäaikaaisesti ja tehtävien suorittamisen mahdollisuus on tarkistettava. Hankeen kriittiset polut näkyvät tässä vaiheessa pitkäksi menevinä työvaiheina, sekä päällekkäisinä ristiriitaisina työvaiheina, joiden toteutus vaatii tarkempia toteutussuunnitelmia.

6.4 Vt12 Lahden eteläisen kehätien kriittiset polut

6.4.1 Hankeosa 1A kriittiset polut

Hankeosa 1A Soramäen eritasoliittymän kohdalla kriittisimmät tehtävät ovat päätielinjan sekä ramppien alueella tehtävät U2-4 luokkaan kuuluvat maaleikkaukset ja kallioleikkaukset. Leikkauksien määrät ovat isoja. Kallioleikkauksia paaluvälillä on yhteensä noin 275 000 m³tr ja U2-4 luokan maaleikkauksia noin 52 000 m³tr. Alueella tehdään myös maapengertä ja massanvaihdon täyttöjä noin 165 000 m³rtr. Soramäen eritasoliittymä rakennetaan nykyisen Kt54:sen ja nykyisen Vt12:n risteysalueelle, jonka rakentamisessa pitäisi ottaa huomioon Kt54:sen ja nykyisen Vt12:n liikenteen. Risteysalueen yleisliikenteestä muodostuu myös yksi kriittinen polku, joka pitää ottaa huomioon massojen siirtosuunnitteluissa ja massojen kuljetuksissa. Soramäen eritasoliittymän töiden aloitukset ovat kriittisiä myös Nostavan eritasoliittymän aloittamisen ja maaleikkauksien kannalta. Paikallispaalulta 7650 alkaa hankeen isoimmat maaleikkaukset ja isoimmat kallioleikkaukset. Paaluvälillä 7500 – 11 200 on yhteensä U2-4-luokan maaleikkauksia 319 000 m³tr, S1-luokan maaleikkauksia 188 000 m³tr ja kallioleikkauksia 352 000 m³tr, sekä maapengertä ja massanvaihdon täyttöjä 389 000 m³rtr. Isoimmat leikkaukset sijaitsevat päätielinjalla ja isoimmat massavaihdon täytöt E2R3 ja E2R4 alueella. Päätielinjalla sijaitsee myös pitkä Riihimäki – Kouvola rautatien ja Vähäjoen ylittävä noin 200 m pitkä silta S7b, jonka rakentamien kestää arvioinnin mukaan noin 2500 työtuntia. Silta S7b työt on aloitettava mahdollisimman aikaisin, jotta pysytään tilaajan määritetyissä kokonaisaikatauluissa. Soramäen eritasoliittymän alueella sijaitsevat myös maa-aineksen sijoitusalueet 1 – 5, joihin pitäisi olla kulkuyhteydet. Maa ja kallioleikkaukset pitäisi aloittaa monesta suunnasta, isojen massasiirto määrästä johtuen. Okeroisten ETL osion kriittisimmät paikat ovat 250 metriä pitkä Nostavantien ja Luhdanjoen ylittävä silta S9b sekä koko päätielinjan ja ramppien alueella tehtävät U2-4 maaleikkaukset. Maaleikkauksia on yhteensä noin 150 000 m³tr. Kriittisille alueille on suunniteltava mahdollisimman paljon reittivaihtoehtoja, joista pääsee päätielinjaleikkauksiin, eritasoliittymien massanvaihtoihin, sekä siltapaikoille ja maa-ainesten sijoitusalueille.

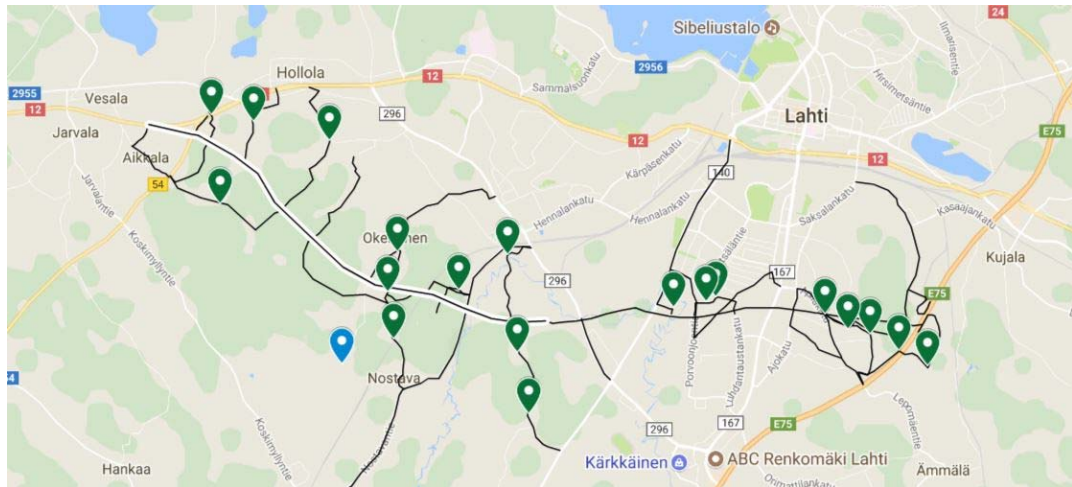
6.4.2 Hankeosa 1B

Launeen ETL aikataulujen kannalta kriittisin tehtävä on 400-500 metrin pituinen betoninen Patomäen tunneli. Patomäen tunneli sijaitsee päätielinjalla paaluvälillä 15 140 –

15 640, nykyisen Patomäen Pallokentän alueella, Porvoonjoentien ja Luhdantaustankadun välillä. Patomäen tunnelin alueen rakennustyöt on päästävä tekemään molemmista päistä. Patomäen alueella U2-4-luokan maaleikkauksia yhteensä noin 480 000 m³ctr, jotka sijaitsevat melko tasaisesti koko rakennettavan tieosuuden alueella. Patomäen tunnelin rakentamisen ajaksi on tieosuudelle suunniteltava Patomäen Pallokentän tielle kiertotiet, sekä työmaakuljetuksille, että yleiselle liikenteelle. Patomäen alueella on pientalo asuinalueita, jotka otettava huomioon reittejä suunnitellessa. Rakennettavan rampin E5R3 ja Ajokadun parantamisen alueella osoitteessa Ajokatu 167 sijaitsee Launeen koulu, joka on työmaareittien ja rakennustöiden kannalta kriittinen polku. Kujalan ETL alueen kriittisimpiä polkuja ovat Liipolan noin 1000 metriä pitkä kallio- ja betonitunneli, jonka työt vievät aikataulullisesti paljon aikaa. Tunneli sijaitsee päätielinjalla paaluvälillä 17 080 – 18 080. Liipolan tunneli sisältää kalliolouhintatöitä noin 300 000 m³ctr ja U2-4 luokan maaleikkauksia noin 50 000 m³ctr. E6 eritasoliittymä liitetään nykyiseen Vt4 Lahdenväylään, josta muodostuu Lahdenväylän vilkkaan liikenteen takia tälle alueelle kriittinen polku. Vt4 tielle suunnitellaan reitti yhteydet ja työmaaliittymät tulevalle päätielinjalle.

6.5 Vt12 Lahden eteläisenkehätien reittien suunnittelu

Reittien suunnittelussa on otettu huomioon työn aikaisemmassa vaiheessa kartoitetut hankeosien aikataulujen kannalta kriittiset työvaiheet sekä otettu huomioon reiteillä olevat esteet ja riskit. DynaRoadin aikataulutuksen avulla kartoitettiin työmaan kriittiset polut, jotka on aloitettava mahdollisimman aikaisin. Tässä osassa suunniteltiin reittejä ja yhteyksiä päästäkseen aikataulujen kannalta kriittisiin paikkoihin suorittamaan työt maastossa. Työmaareittien suunnittelussa on kartoitettu kaikki mahdolliset tieyhteydet hankkeen tielinjoille. Työssä kartoitettiin olemassa olevat yleistiet ja mahdolliset rakennettavat työmaatiet. Valittujen reittien esteet ja erityistä huomiota vaativat kohteet merkattiin reittiensuunnitelma karttaan. Reittivaihtoehtoja koko hankkeen alueelle kartoitettiin yhteensä 32 kappaletta. Reittien suunnittelussa käytettiin Googlen maps- ja Google Mymaps- sekä Eniron karttapalveluja, jonka jälkeen käytiin mahdolliset työmaareitit tarkastamassa paikallakäynnillä.



Kuva 19. Kuva Google Mymaps sovelluksesta, johon merkattu reiteillä olevat kriittiset paikat

Kartoitetut reittivaihtoehdot merkattiin suunnitelmakarttaan. Reitit numeroitiin kartalle numeroilla 1-32 ja reiteistä tehtiin erillinen raportti, jossa reittejä on kuvailtu sanallisesti sekä kerrottu mahdollisista esteistä. Kriittisistä paikoista reiteillä on raporttiin liitetty kuvia. Mahdollisia kriittisiä polkuja reiteillä ovat mm. jyrkät mutkat, heikko piennar, tie joka voi pettää, reitti on suunniteltu heikkokuntoiselle peltotielle, reitillä on koulu tai reitit kulkevat vilkasasutun alueen läpi. Kaikki mahdolliset erikoista huomiota vaativat kohteet reiteillä kartoitettiin ja kirjattiin ylös. (Kuva 19)

Jokaisesta reittivaihtoehdosta on tehty yksityiskohtainen raportti joka sisältää:

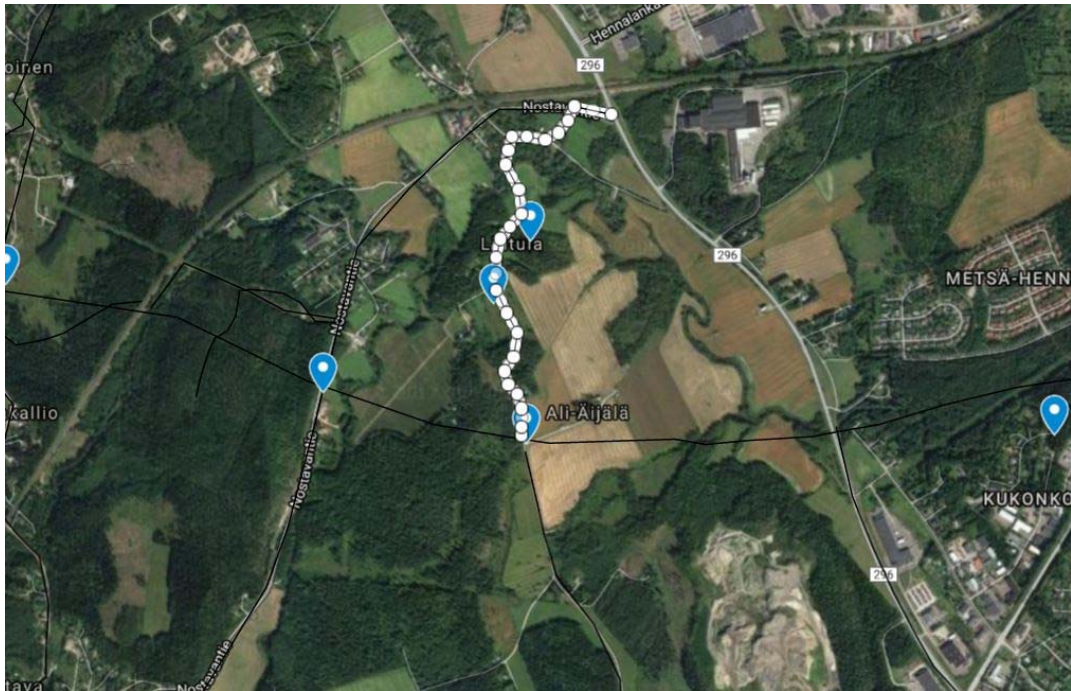
- reitin yleiskuvausta
- kriittiset paikat
- valokuvat kriittisistä paikoista
- reitin riskit
- riskien hallintakeinot

6.6 Reitti esimerkki

Yleiskuvaus:

Nostavantie – Lintulantie – Päätielinja

- Yleisliikenteinen hyvän kuntoinen soratie



Kuva 20. Suunniteltu reitti yhteys siltapaikalle S10 ja päätielinjalle

Kriittiset paikat:

Yhteys päätielinja paalulle 12100 (päätie leikkaukset, Y tie leikkaukset)

Päätielinjaa ylittävä siltarakennuspaikka S10

Lintulantieellä vanha puusilta (Lintulantie 343), jossa merkit:

- suurin sallittu korkeus 3.3m
- suurin sallittu kokonaismassa 16t
- suurin sallittu akselille kohdistuva massa 8t
- suurin tielle kohdistuva massa 10t



Kuva 21. Puusilta, este reitillä



Kuva 22. Puusilta, raskaan liikenteen este reitillä

Riskit:

- Kuorma-autojen massat (puusilta)
- Isojen ajoneuvojen koot (puusilta)

Hallintokeinot:

- Kuorma-ajoneuvoilla käytettävä toista reittiä
- Kevyt liikenne esim. siltapaikalle tai pientavaratoimitukset tämän reitin kautta

7 Tulokset

Tämän työn tuloksena saatiin kartoitettua 32 erilaista vaihtoehtoa työmaakuljetusreiteille ja kartoitettiin mahdolliset riskit suunnitelluilla reiteillä. Esteet reiteillä esitettiin havainnollisesti merkkamalla niitä suunnitelmakartalle. Jokaisesta suunnitellusta reitistä tehtiin kirjallinen raportti kuvineen. Reittien suunnittelussa on otettu huomioon myös hankkeen kriittiset työvaiheet, jossa työt on aloitettava mahdollisimman aikaisin, jotta työt hankkeella alkaisivat ja valmistuisivat aikataulujen mukaisesti. Hankkeen kriittiset polut muodostuvat aikataulullisesti vaikeista kohteista joiden valmistuminen vie paljon aikaa, joten nämä työvaiheiden aloitettava mahdollisimman aikaisemmassa toteutusvaiheessa, jotta ne voidaan toteuttaa hyvin.

8 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteen oli löytää hankkeen kriittiset työvaiheet ja suunnitella hankkeen logistiikka reitit sekä esittää ne havainnollisesti. Työssä tutustuttiin ja tehtiin väylähankkeen tuotannosuunnittelun tehtäviä.

Työmaareittien suunnittelu alkoi tutustumalla hanke aineistoon. Aineiston ja tietoteknis-ten ohjelmistojen avulla tehtiin karkea työaikataulutus, jonka avulla löytyivät kriittisemmät työvaiheet. Kriittisten työvaiheiden löydettyä on aloitettu kartoittamaan mahdollisia reittejä kriittisiin paikkoihin, sekä tarkastamaan valitut reitit paikallakäynnillä. Myös reiteillä olevat esteet ja katkot kartoitettiin. Paikallakäynnin yhteydessä huomasin, että hankkeen V12 Lahden eteläinen kehätien lähiympäristöä on rakennettu lähiaikoina ja se on monin paikoin erilainen eikä vastannut uusimpiakin internetissä olevia karttoja. Reittien suunnittelussa on tarkastettu myös väylähankkeen logistiikan kalustoa, jotta työmaan sisäinen sekä ulkoinen logistiikka olisi mahdollista valituilla reiteillä. Tavarantoimituksille pitäisi valita omat reitit sekä työmaa-ajolle omat reitit toimituskaluston mukaan. Kartoitet- tujen reittien lisäksi hankkeelle on suunniteltava ja rakennettava toteutusvaiheessa työmaateitä sekä työmaaliittymiä, jotta logistiikka olisi mahdollisimman helppo ja siirrot lyhyitä. Työmaa ajoneuvojen ajot yleisen liikenteen seassa on pienennettävä mahdollisimman paljon. Työn tuloksena saatiin kartoitettua hankkeen Vt12 Letke kriittisimmät työvaiheet. Kriittisten työvaiheiden avulla suunniteltiin mahdollisia ajoreittejä työkohteisiin ja

varastointi alueille. Valitut reitit on tarkastettu paikan päällä, sekä kirjattu mahdolliset katkot ja esteet ajoreiteillä. Reitit on suunniteltu siten, että yleisen liikenteen ja asutuksen häiritseminen olisi mahdollisimman vähäinen, mutta samalla reittejä kriittisiin työvaiheisiin olisi paljon, jotta kuljetusreittien valinta olisi laaja ja työmaakuljetukset sekä tavarantoimitukset vaivattomia.

Lähteet

- 1 Opas rakentamisen logistiikkaan / Tutu Wagelius-Lehtonen, Samuli Pahkala, Hannu Nyman, Hannu Vuolio, Kari Tanskanen
- 2 Infrahankkeen tuotantohallinta / Mika Lindholm, Juha-Matti Junnonen
- 3 Vt12 Lahden eteläinen kehätie hanketiedot ja aineisto (<http://www.liikennevirasto.fi/vt12letke/#.WO-AsSDyhtQ>)
- 4 Infra 051-710161 Talonrakennushankkeen kulku, Toteutusmuodot
- 5 Maanrakennustekniikka / Hartikainen Olli-Pekka
- 6 DynaRoad, Massatalouden hallintajärjestelmä / Juuso Mäkinen (http://www.infra2010.fi/Aineisto/Paatoseemin_2-3-06/M%E4kinen_Dynaroad.pdf)
- 7 Tierakenteen suunnittelu / Tiehallinto (<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>)
- 8 Liikennevirasto / Tiensuunnittelun kulku (http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/34253/tiensuunnittelun+kulku_esite.pdf/1341b1b2-4629-4bdf-a763-32f41c7334e4)
- 9 DynaRoad (<http://www.dynaroad.fi/pages/content/view/2/24/>)
- 10 Massanvaihdon suunnittelu / Liikenneviraston ohjeita (http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-11_massanvaihdon_suunnittelu_web.pdf)
- 11 Wikipedia / (www-sivu) (<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kuorma-auto>)

Taulukko tien pohjanmaa ja alusrakenteen kelpoisuusluokista

Taulukko on muotoiltu Tiehallinnon Tierakenteen suunnittelu ohjeesta.



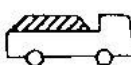


Kelpoisuus luokka	Läpäisy-% pesuseulonnassa		Routaturpoamat (%)		E - moduuli (Mpa)		Informatiivisia tietoja		
	0,063 mm seula	2 mm seula	Kuiva	Märkä	Kuiva	Märkä	Geomaalajiluokka	Routivuus	Mahdollinen käyttökohde
S1	alle 7 %	alle 70 %	0	0	100	100	Sr, srHk (SrMr,srHkMr)	routimaton	jakava kerros
S2 ¹	7-15 %	alle 70 %	0	3	70	50	SrMr, srHkMr	lievästi routiva	penger stabilointi
S3	16-30 %	alle 70 %	3	6	50	35	SrMr, srHkMr	routiva	penger kuivana
S4	31-50 %	alle 70 %	6	12	35	20	siSrMr sirsHkMr	routiva	penger kuivana
H1	alle 7%	yli 70 %	0	0	70	70	Hk, (HkMr)	routimaton	suodatin
H2 ²	7-15 %	yli 70 %	3	3	50	50	Hk, HkMr	lievästi routiva	suodatin
H3	16-30%	yli 70 %	6	12	35	20	Hk, HkMr	routiva	penger kuivana
H4	31-50%	yli 70 %	6	12	35	20	siHk, siHkMr	routiva	penger kuivana
U1	yli 50 %		12	16	20	20	Si, SiMr, kerrall. Sa/Si ³	erittäin routiva	maaston muotoilut, läjitys
U2	yli 50 %			6 ⁴		35	jäykkä Sa ⁵	routiva	
U3	yli 50 %			6 ⁴		10	pehmeä Sa ⁵	routiva	
U4				6		10	Lj	routiva	

1) Kuuluu luokkaan S1, jos läpäisyprosentti 0,02 mm kohdalla on alle 3. 2) Kelpoisuusluokan H2 hiekka, joka täyttää suodatinkerroksen laatuvaatimukset ja näytteet tutkitaan ohjeen TYLT Kerros- ja pengerrakenteet mukaisesti: $E = 70 \text{ MPa}$, $t = 0 \%$ (vaikka muuten E olisi pienempi ja t olisi suurempi). 3) Kerrallinen savi/siltti (Sa/Si) on maata, jossa saven joukossa on ainakin paikoin silttikerroksia tai sitäkin karkeampia (vettä johtavia) kerroksia. 4) Saven paikallinen routaturpoama voidaan määrittää myös takaisinlaskennalla lähistön olemassa olevan tien routanousuhavainnoista. 5) Savi (Sa) on jäykkä, kun siipikairalla määritetty leikkauslujuus on vähintään 40 kPa ja pehmeää, kun leikkauslujuus on alle 40 kPa. (7.)

Tilavuus käsitteet ja massakertoimet

Taulukot INNFR2006 Rakennusosa- ja hankenimikkeistö

Tilavuuskäsitteet ja massakertoimet

Lyhenne	Nimitys	Selitys	
m^3ktr	teoreettinen kiintotilavuus	luonnontilainen, teoreettinen poikkileikkaus (mitattu piirustuksista)	
$y_1 = \frac{m^3ktd}{m^3ktr}$	ryöstökerrain		
m^3ktd	todellinen kiintotilavuus	luonnontilainen, todellinen poikkileikkaus (mitattu luonnossa)	
$k_1 = \frac{m^3itd}{m^3ktd}$	löyhtymiskerrain		
m^3itd	todellinen irtotilavuus	todellinen tietystä käsittelyvaiheesta	
$k_2 = \frac{m^3rtd}{m^3itd}$	tiivistymiskerrain		
m^3rtd	todellinen rakennetilavuus	rakenteessa, todellinen poikkileikkaus (mitattu luonnossa)	
$y_2 = \frac{m^3rtr}{m^3rtd}$	täyttökerrain		
m^3rtr	teoreettinen rakennetilavuus	rakenteessa, teoreettinen poikkileikkaus	

Massakertoimet

Maalaji	Massakertoimien yhdistelmät ja käänteisarvot					
	Tilavuusyksikkö ennen kertomista massakertoimella					
	1) m³ktr	2) m³ktd	3) m³itd	4) m³rtd	5) m³rtr	
		$\frac{1}{y_1}$	$\frac{1}{k_1} \times \frac{1}{y_1}$	$\frac{1}{k_2} \times \frac{1}{k_1} \times \frac{1}{y_1}$	$\frac{1}{y_2} \times \frac{1}{k_2} \times \frac{1}{k_1} \times \frac{1}{y_1}$	
Savi		0,95	0,60	1,10	1,10	1) m³ktr
Siltti		0,94	0,63	0,98	0,98	
Hiekka		0,95	0,77	1,05	1,16	
Sora		0,87	0,77	1,05	1,16	
Louhe		0,91	0,52	0,57	0,52	
M-sora		0,83	0,46	0,60	0,67	
Murske		0,83	0,40	0,54	0,60	
	y_1		$\frac{1}{k_1}$	$\frac{1}{k_2} \times \frac{1}{k_1}$	$\frac{1}{y_2} \times \frac{1}{k_2} \times \frac{1}{k_1}$	2) m³ktd
Savi	1,05		0,63	1,16	1,16	
Siltti	1,06		0,66	1,04	1,04	
Hiekka	1,05		0,80	1,10	1,21	
Sora	1,15		0,87	1,20	1,33	
Louhe	1,10		0,57	0,63	0,57	
M-sora	1,20		0,56	0,72	0,80	
Murske	1,20		0,48	0,65	0,73	
	$y_1 \times k_1$	k_1		$\frac{1}{k_1}$	$\frac{1}{y_2} \times \frac{1}{k_2}$	3) m³itd
Savi	1,68	1,60		1,85	1,85	
Siltti	1,59	1,50		1,56	1,56	
Hiekka	1,30	1,25		1,37	1,52	
Sora	1,32	1,15		1,39	1,54	
Louhe	1,93	1,75		1,11	1,01	
M-sora	2,16	1,80		1,30	1,45	
Murske	2,52	2,10		1,37	1,52	
	$y_1 \times k_1 \times k_2$	$k_1 \times k_2$	k_2		$\frac{1}{y_2}$	4) m³rtd
Savi	0,91	0,86	0,54		1,00	
Siltti	1,02	0,96	0,64		1,00	
Hiekka	0,95	0,91	0,73		1,11	
Sora	0,95	0,83	0,72		1,11	
Louhe	1,74	1,58	0,90		0,91	
M-sora	1,66	1,39	0,77		1,11	
Murske	1,84	1,53	0,73		1,11	
	$y_1 \times k_1 \times k_2 \times y_2$	$k_1 \times k_2 \times y_2$	$k_2 \times y_2$	y_2		5) m³rtr
Savi	0,91	0,86	0,54	1,00		
Siltti	1,02	0,96	0,64	1,00		
Hiekka	0,86	0,82	0,66	0,90		
Sora	0,86	0,75	0,65	0,90		
Louhe	1,91	1,74	0,99	1,10		
M-sora	1,49	1,25	0,69	0,90		
Murske	1,66	1,38	0,66	0,90		

Massakertoimien yhdistelmät ja käänteisarvot on laskettu valmiiksi numeroarvoiksi.

HKR TALOUDELLISUUS- STANDARDIT MAARAKENNUSALA KUNNALLISTEKNILLISET TYÖT TILAVUUS- JA PAINOYKSI- KÖIDEN MUUNTOKERTOIMET		0000 KÄSITETIEDOT JA LAATUSTANDAR- DIT	SUOITUS KAN- SIOON	REK. NRO	TYÖN- VAIHE N, RO
		MASSAKERTOIMET	0	2254/1 (5)	2100, 3100
		y1, k1, k2, y2, @	LAATIJA	HKR/Kao	1996
MATERIAALI			LAADINTAPERUSTEET		
Sa, Si, (Hs, Ht), HHk, Hk, srHk, hkSr, Sr, HtMr, HkMr, M (= murske)			TVL-standardeja HKR:n työntutkimuksia		
TILAVUUS- JA PAINOYKSIKÖIDEN MUUNTOKERTOIMET			Taulukko 1		
Rakenne	Maalajit	Leikkauksesta kuljetusvälineeseen y1 x k1 x @ (m ³ ktr → t)	Kuljetusvälineestä raken- teeseen 1/@ x k2 x y2 (t → m ³ rtr)	Kuljetusvälineessä 1/@ (t → m ³ itd)	
Penger	Sa	2,52	0,36	0,66	
	Si (Hs, Ht)	2,54	0,40	0,62	
	HHk	1,90	0,50	0,70	
	Hk	1,82	0,47	0,71	
	srHk	1,95	0,45	0,65	
	hkSr	2,20	0,40	0,60	
	Sr	2,24	0,38	0,58	
	HtMr HkMr	2,55 2,30	0,40 0,40	0,60 0,60	
Eristys	Hk	1,83	0,47	0,71	
Jakava	Sr	2,27	0,38	0,58	
	M	3,56	0,41	0,60	
Kantava	Sr	2,27	0,38	0,58	
	M	3,56	0,41	0,60	
Massankulku		m ³ ktr → t	t → m ³ rtr	t → m ³ itd	
@ = irtotiheys = t/m ³ itd		