



Suutalanahteen massanvaihto

Paalulaatan korvaaminen massanvaihdolla

Julius Etelä

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

ETELÄ, JULIUS:
Suutalanahteen massanvaihto
Paalulaatan korvaaminen massanvaihdolla

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Toukokuu 2019

Tämä opinnäytetyö tehtiin NRC Group Finland Oy:lle ja Tampereen Raitiotieallianssille. Työn tarkoituksena oli käydä läpi massanvaihtoon liittyvät työvaiheet ja menetelmät ja kertoa millä tavoin korvaamalla paalulaatta massanvaihdolla säästettiin kustannuksissa. Opinnäytetyössä on perehdytty massanvaihtoa ja paalulaattaa koskeviin kirjallisiin ohjeisiin ja haastateltu työmaan työnjohtoa. Työtä voidaan käyttää apuna vastaavanlaisen työn toteutuksen suunnittelussa, vaikkakin kaikki massanvaihdot ovat yksilöllisiä.

Massanvaihto oli osittainen ja se rakennettiin Tampereen raitiotien ratapenkereen alle korvaamaan paalulaatan. Paalulaatta oli jo suunniteltu ratapenkereen alle, mutta vaihtamalla se massanvaihtoon saatiin tuntuvia kustannussäästöjä. Massanvaihtokaivanto kaivettiin, kaivuumassat kuljetettiin läjitykseen, kaivanto täytettiin ja sen päälle rakennettiin ratapenger louheesta esikuormituspenkereeksi. 3D-koneohjausjärjestelmää käytetään Tampereen raitiotiehankkeessa melkein joka koneessa ja massanvaihtokaivannosta oli myös tehty koneohjausmalli, jonka avulla kaivanto kaivettiin.

Työn onnistumisen kannalta on tärkeää, että sen toteutus suunnitellaan hyvin ja kalusto, jota käytetään työhön soveltuu siihen.

ABSTRACT

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

ETELÄ, JULIUS:
Soil Replacement in Suutalanahde
Using Soil Replacement Instead of Pile Slab

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 1 pages
May 2019

This thesis was made for NRC Group Finland Oy and the Tampere Tramway Alliance. The purpose of the work was to go through the steps and methods related to soil replacement and to explain how using soil replacement instead of a pile slab saved costs. The thesis is based on written instructions on soil replacement and pile slabs and interviews of the work site supervisors. The work can be used to help design a similar job, although all soil replacements are unique.

The soil replacement was partial and it was built under the tramline embankment of the Tampere tramway to replace a pile slab. The design for placing the pile slab under the embankment was already complete, but the cost savings to be gained by using soil replacement were considerable. The soil replacement excavation was done, the excavation masses were transported to the spoil deposit, the excavation was filled and a railway embankment was built on top of the soil replacement as the preloading embankment. A 3D machine control system is used in almost every machine in the tramway project in Tampere, and there was also a machine control model for the excavation.

It is important for the success of the work that its implementation is well planned and the equipment used in the work is suitable for it.

Key words: soil replacement, pile plate, tramway

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MASSANVAIHTO	6
2.1	Yleistä	6
2.2	Massanvaihto kaivamalla.....	7
2.3	Massanvaihto pengertämällä.....	8
2.4	Osittainen massanvaihto	9
2.5	Massanvaihdon täyttömateriaali	10
2.6	Täytön tiivistys	10
2.7	Massatalous.....	11
2.8	Massanvaihdon ympäristövaikutukset.....	12
3	PAALULAATTA.....	13
3.1	Paalulaattarakenne	13
3.2	Paalutus.....	14
3.3	Paalutuksen ympäristövaikutukset.....	14
4	PAALULAATAN VAIHTAMINEN MASSANVAIHTOON	15
4.1	Yleistä	15
4.2	Massatasapaino	16
4.3	Aikataulu.....	16
4.4	Pohjaolosuhteet.....	17
4.5	Kustannussäästöt massanvaihdosta.....	18
5	TYÖTURVALLISUUS.....	20
5.1	Työturvallisuus maa- ja vesirakennustöissä	20
5.2	Erytishuomioita tässä työkohteessa	20
6	TYÖVAIHEET JA MENETELMÄT	22
6.1	Kaivuu.....	22
6.2	Maanajo	23
6.3	Täyttö	25
6.4	Esikuormituspenget	28
6.5	Maisematäytöt.....	28
6.6	Kaivannon kuivatus	29
6.7	Koneohjaus	30
6.8	Työtehot.....	31
7	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	36
	Liite 1. Pituusleikkaus	36

JOHDANTO

Tampereen raitiotieallianssi on tilaajaosapuolen eli Tampereen kaupungin ja Tampereen Raitiotie Oy:n sekä palveluntuottajaosapuolien NRC Group Finland Oy:n, YIT Suomi Oy:n ja Pöyry Finland Oy:n muodostama. Raitiotieallianssi suunnittelee ja rakentaa Tampereelle 15 km raitiotietä ja varikon. Ensimmäisen osan kustannusarvio on 238,8milj. euroa ja raitiotieliikenne keskustasta Hervantaan ja Taysille on tavoitteena aloittaa vuonna 2021. (Haukka ym. 2016, 4)

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi Tampereen raitiotiehankkeeseen liittyvän Suutalan-ahteen ratapenkereen massanvaihtoon liittyvät työvaiheet ja menetelmät sekä paalulaatan korvaaminen massanvaihdolla. Suutalan-ahteen massanvaihto sijaitsee Tampereella Hervannan valtavyhlän varressa 9-tien läheisyydessä. Massanvaihdossa kaivettiin huonosti kantavat maat pois, siirrettiin massat ratapenkereen maisemanhoidollisiin täyttöihin ja täytettiin massanvaihdon kaivanto ratalinjalta louhitulla louheella. Massanvaihto oli osittainen ja massanvaihdon päälle tuli esikuormituspenker nopeuttamaan painumia.

Työtä suunniteltiin paljon toteutuksen onnistumisen ja työturvallisuuden takia. Työturvallisuuden kannalta huomiokohtia oli luiskien stabiliteetti kaivuutyön aikana, penkereen kestävyys kaivuun aikana sekä talvityön tuomat haasteet. Massanvaihto toteutettiin tammi - helmikuussa 2018 ja sen jälkeen massanvaihdon päälle tehtiin ratapenger, joka toimi samalla esikuormituspenkereenä.

Tämä opinnäytetyö keskittyy massanvaihtoon liittyviin erilaisiin työmenetelmiin ja massanvaihdon toteuttamiseen. Työn tavoitteena oli kertoa massanvaihdon toteuttamisesta ja työvaiheista. Kertoa millä tavalla säästettiin kustannuksissa verrattuna paalulaataan ja mitä voitiin tehdä erilaisilla massanvaihdon ansiosta. Samalla tuodaan esille massanvaihdon haasteita ja sen toteutuksen suunnittelussa huomioonotettavia seikkoja.

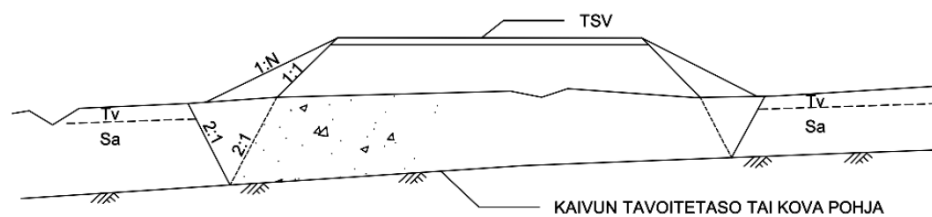
1 MASSANVAIHTO

1.1 Yleistä

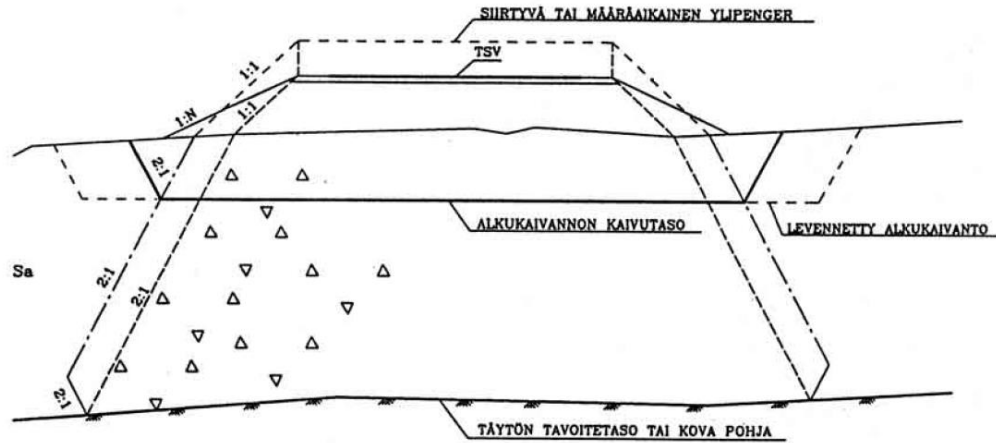
Massanvaihto on pohjanvahvistusmenetelmänä yleinen ja usein käytetty. Siinä huonosti kantava tai runsaasti kokoonpuristuva pohjamaa korvataan kantavalla täyttömateriaalilla. Massanvaihto on ollut tiepenkereen yleisimpiä pohjanvahvistustapoja jo pitkään. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 10)

Valittaessa pohjanvahvistustapaa massanvaihto voi olla muita pohjanvahvistustapoja taloudellisempi työmaan edullisen massatilanteen ansiosta. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 10)

Massanvaihdon voi tehdä kaivamalla tavoitetasoon tai kovaan pohjaan (kuva 1) tai pengertämällä eli pohjaantäyttönä (kuva 2). Menetelmän valintaan vaikuttaa esim. työmaan massatalous, työturvallisuus, aikataulu ja massanvaihdosta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Pehmeikön paksuus, penkereen leveys ja korkeus, pohjamaan ominaisuudet ja maaston topografia vaikuttavat massanvaihdon geotekniseen suunnitteluun. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 10)



Kuva 1. Massanvaihto kaivamalla (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 11)

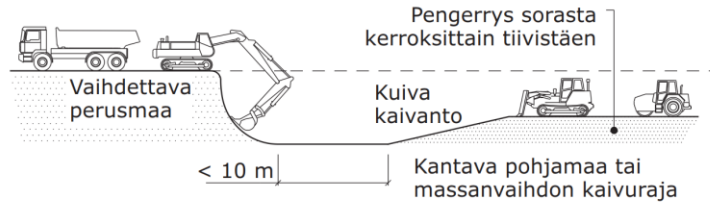


Kuva 2. Massanvaihto pengertämällä eli pohjaantäyttö (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 11)

1.2 Massanvaihto kaivamalla

Massanvaihto kaivamalla on usein täydellinen massanvaihto, jossa pehmeät ja huonosti kantavat maakerrokset poistetaan kantavaan maakerrokseen asti (kuva 3). Menetelmänä massanvaihto kaivamalla soveltuu hyvin matalille savipehmeiköille sekä matalille soille. Teknisesti luotettavin tulos sivukaltevassa maastossa sijaitsevalle massanvaihdolle saadaan tällä menetelmällä, mutta silloin se tarvitsee suunnitella erityisellä huolella. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 10)

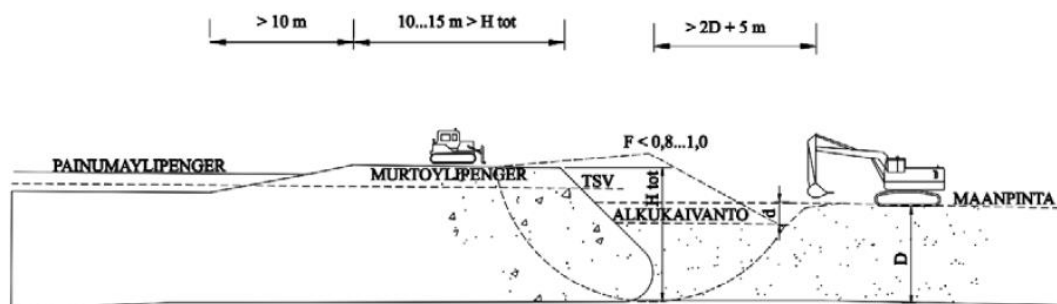
Kaivutaso kaivamalla toteutettavaan massanvaihtoon suunnitellaan yleensä kovan pohjan maakerrosrajan tai saven lujuusominaisuuksien perusteella. Lopullinen kaivutaso määräytyy työnaikaisten havaintojen perusteella, koska maakerrosten rajat vaihtelevat epä säännöllisesti. Normaalisti syvimmät kaivusvyvydet ovat kuivassa kaivannossa 4 – 5 metriä ja veden alla 3 – 4 metriä. On mahdollista päästä jopa 10 metriin asti, mutta se vaatii erikoiskalustoa ja mahdolliset riskit ja työturvallisuus täytyy arvioida kohdekohtaisesti. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 17)



Kuva 3 Massanvaihto kerroksittain tiivistäen (InfraRYL, 18360)

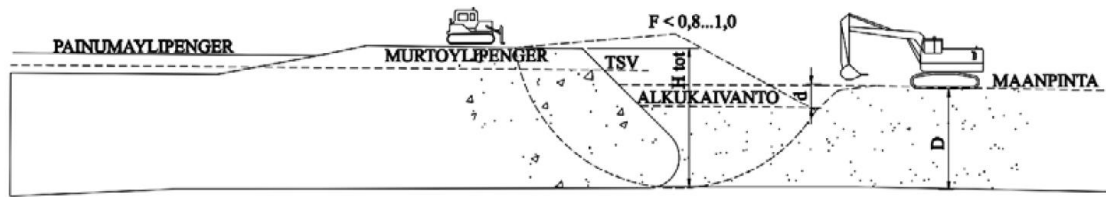
1.3 Massanvaihto pengertämällä

Massanvaihdossa pengertämällä pehmeikkö on yleensä niin syvä, ettei massanvaihto kaivamalla ole mahdollinen. Sitä kutsutaan myös pohjaantäytöksi (kuva 4). Syvyydet pohjaantäytössä ovat tavallisesti 5 – 10 metriä, mutta lähes 20 metrin syvyisiä pohjaantäyttöjä on toteutettu onnistuneesti. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 11)



Kuva 4 Massanvaihto pengertämällä eli pohjaantäyttö (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 11)

Pohjaantäytössä poistetaan ensin pintakerros alkukaivannosta, joka vaikeuttaa pohjaantäytön onnistumista. Sitten päätypengertä (kuva 5) ajetaan korkeana kaivannon päälle ja se syrjäyttää pehmeät maakerrokset kaivannon sivuille ja eteen. Penkereen sivuille ja eteen nousseita massoja kaivetaan työn aikana pois. Maapohjaa on kuormitettava vähintään murtotilakuormituksella pohjaantäytön onnistumisen edellytyksenä. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 11)



Kuva 5 Massanvaihto pengertämällä (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 22)

1.4 Osittainen massanvaihto

Osittaisessa massanvaihdossa heikosti kantava perusmaan pintakerros korvataan paremmin kantavalla täyttömateriaalilla tarpeeksi syväälle, että penkereen stabiilitetti ja penkereen lopulliset painumat alittavat sallitut arvot. Massanvaihto soveltuu menetelmänä maaperään, jossa 3-5 metriä paksuisen pehmeän turve tai savikerroksen alla on paremmin kantava, tasaisesti painuva maakerros. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 21)

Tavallisesti osittaiset massanvaihdot tehdään päätypenkereenä, mutta voidaan joissakin tapauksissa rakentaa kerroksittain, jos perusmaan lujuus ei ole riittävä. Penkereen rakentamisessa kerroksittain estetään alle jäävien maiden ylös kohoaminen päätypenkereen edessä, koska penkereen alin kerros toimii vastapenkereenä seuraavalle kerrokselle. Usein penkereen reunat painuvat tavoitetasoa syvemmälle ja penkereen keskellä jää pehmeä perusmaalinssi. Sivukaltevissa maastoissa täyttömateriaalin liukuminen ja painuminen syvemmälle tasolle kuin oli tarkoitus voi muodostua ongelmaksi eli osittainen massanvaihto pyrkii ryöstäytymään pohjaantäytöksi. Osittaisen massanvaihdon ryöstäytymistä pohjaantäytöksi voidaan estää mm. suodatinkankaalla. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 21)

Osittainen massanvaihto kannattaa toteuttaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta penger saavuttaa riittävän painuma-ajan. Painumia voidaan nopeuttaa esikuormituspenkereellä ja näin vähentää jälkipainumia. Jos painuma-ajalle ei ole aikaa työmaan aikataulussa, täytyy valita toinen perustamistapa.

1.5 Massanvaihdon täyttömateriaali

Massanvaihdon täyttömateriaali on oltava suunnitelma-asiakirjojen mukaista. Massanvaihdon täyttöjen yleiset laatuvaatimukset on esitetty InfraRyl luvussa 18360 Massanvaihtoon kuuluvat täytöt. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 15)

Kaivamalla tehtävän massanvaihdon täyttömateriaalina käytetään kitkamaalajeja kuten soraa, hiekkaa, hiekkamoreenia ja näitä karkeampia kiviä maalajeja. Louhe on eniten käytetty ja paras täyttömateriaali massanvaihtoon. Louhetta käytettäessä penkereen rakentamiseen on sen sortuminen epätodennäköistä, joten se on myös kaikkein turvallisinta. Täytön ja perusmaan sekoittumisen estämiseksi käytetään tarvittaessa suodatinkangasta. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 15)

Pengertämällä tehtävän massanvaihdon täyttömateriaalina käytetään louhetta ja karkeaa kitkamaata. Täyttömateriaalina käytetään routimattomia kiviaineksia, jos massanvaihdon täyttö on osa rakennekerroksia. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 15)

Massanvaihdon alueelle lyödään joissain tapauksissa esim. sillan tukia varten paaluja. Silloin valitaan täyttömateriaali paalujen alueella paalutyypin mukaan. Tähän soveltuvia materiaaleja ovat hiekka, murske ja pienikivinen sora. Epätasaisten painumien takia ei suositella pengertämällä tehtävää massanvaihtoa paalutettavalle alueelle. (Massanvaihdon suunnittelu 2011, 15)

Ratarakenteissa massanvaihdon täyttömateriaali vastaa pengermateriaalia ja se voi olla hiekka, hiekkamoreeni sekä näitä karkeampi maalaji tai murske tai pienlouhe, jonka maksimiraekoko on pienempi kuin 300 mm. Korkeusviivaan nähden routasyvyyden yläpuolella pengertäyttö tehdään routimattomasta kiviaineksesta. (InfraRyl, 18360 Massanvaihtoon kuuluvat täytöt 2017)

1.6 Täytön tiivistys

Massanvaihtoa ei tavallisesti tiivistetä rakennusvaiheessa, vaan päällä kulkeva liikenne ja täytön oma paino tiivistää massanvaihdon. Massanvaihdon päälle voidaan tehdä esikuor-

mituspenger nopeuttamaan tiivistymistä, mutta silloin massanvaihto täytyy tehdä riittävän aikaisessa vaiheessa ja se tarvitsee riittävän pitkän painuma-ajan tiiveyden varmistamiseksi. Jos massanvaihdon päälle rakennetaan esikuormituspenger nopeuttamaan painumia, seurataan painumia usein painumatangoilla, jotta voidaan varmistua pehmeikön painumisesta. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 16)

Massanvaihto voidaan tiivistää kerroksittain, jos se on tehty kaivamalla. Kaivannosta poistetaan vesi ja pengerrakennetaan kerroksittain tiivistäen pohjalta saakka. Pengertämällä tehtyä massanvaihtoa ei tavallisesti tiivistetä, vaan sen annetaan tiivistyä rakennusvaiheessa ja sen omasta painosta rakentamisen jälkeen. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 16)

1.7 Massatalous

Hankkeen massatalouden kannalta suuret massanvaihdot ovat keskeisiä kohteita. Massanvaihtoja suunniteltaessa on hyvä selvittää aikaisessa vaiheessa massanvaihdon täyttöön tarvittavan materiaalin saatavuus. Massanvaihdon toteutuksen ajoitukseen vaikuttaa painuma-aika, kallioleikkausten louhinnan aikataulu, pohjaolosuhteet, työn ajoitus, työmenetelmä, koneresurssit ja työmaatiet. Suunnittelun tarkoitus on optimoida massansiirtokustannukset. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 26)

Usein massanvaihtoon käytetään saman hankkeen kallioleikkauksista saatavaa louhetta, koska silloin kuljetuksen ja materiaalin kustannukset pystytään pitämään matalina. Massanvaihdosta tulevat kaivuumaat pyritään käyttämään meluvalleihin tai luiskatäyttöihin, jos kaivuumaat ovat tarpeeksi kuivia hyödynnettäväksi. Osittain tai kokonaan pehmeästä massanvaihdosta tulevat massat joudutaan ajamaan maankaatopaikalle tai läjitykseen, koska niitä ei pystytä hyödyntämään työmaalla. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 26)

Merkittävän osan massanvaihtotyön kustannuksista muodostavat massansiirrot. Kuljetusetäisyydet vaihtelevat sadoista metreistä kymmeneen kilometriin. Jos massanvaihdon kaivuu ja täyttö suoritetaan samanaikaisesti, suunnitellaan massojen siirto niin, että kaivuumassojen ja täyttömateriaalin kuljetus ei häiritse toisiaan. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 27)

1.8 Massanvaihdon ympäristövaikutukset

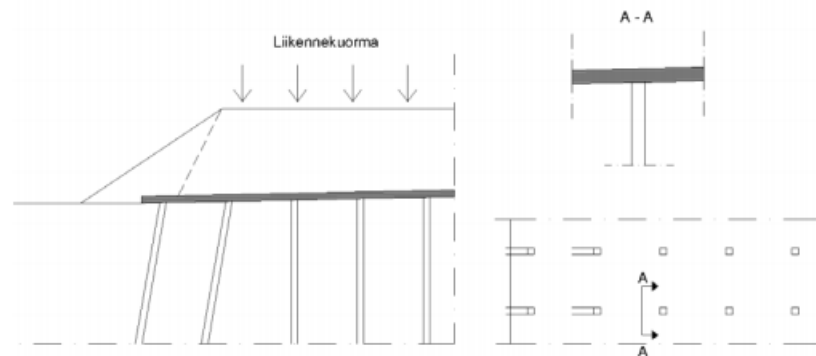
Massanvaihdon ympäristövaikutukset voivat olla pysyviä tai tilapäisiä ja massanvaihdolla muutetaan merkittävästi olemassa olevaa ympäristöä. Etenkin rakennetulla alueella toimittaessa ympäristö saattaa vaikuttaa ratkaisevasti pohjanvahvistustavan valintaan. Massanvaihdosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia työnaikaisesti ovat mm. pölyäminen, vesien sameutuminen ja massanvaihtoalueiden keskeneräisyydestä johtuvat visuaaliset haitat taajamaympäristössä. Muita ympäristövaikutuksia ovat luonnonmateriaalien ja alueen käyttö, muutokset pohjavesiolosuhteissa, maanotosta aiheutuvat vaikutukset ja ympäristön liikkeet ja vauriot rakenteille. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 39)

Talvi on vuodenaajoista edullinen ajankohta massanvaihtojen toteutukselle. Luiskien stabiiliteetin, työmaateiden kestävyiden ja kaivu- ja läjitystyön kannalta pakkasesta on hyötyä. Kesällä työmaatiet pölyävät helposti ja syksyllä syysateet tekevät haastavasta työstä vielä haastavampaa. (Liikennevirasto, Massanvaihdon suunnittelu 2011, 39)

2 PAALULAATTA

2.1 Paalulaattarakenne

Paalulaattarakenne on teräsbetoninen yhtenäinen laatta, joka on perustettu paalujen vaaraan. Sen päällä on pysyvä kuormana maapenger ja se voidaan katsoa olevan painumaton rakenne. Yleisimmin käytettyjä paikalla valettuja laattatyyppisiä ovat tasapaksu laatta kuten kuvassa 6, sienilaatta ja palkkilaatta. (Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu 2014, 12)



Kuva 6 Paalulaattarakenne (Liikennevirasto, Paalulaattojen ja paalulaattarakenteiden suunnittelu)

Paalulaatta soveltuu perustamismenetelmäksi vaikeissa pohjaolosuhteissa muiden perustamismenetelmien ollessa teknisesti riittämättömiä tai liian kalliita. Paalulaatta käytetään perustusmenetelmänä pehmeiköillä, jotka ovat syviä ja pehmeitä tai massanvaihto aiheuttaa ympäristölle liikaa haitallisia vaikutuksia. Sitä käytetään myös siltojen tulopenkereille ja keiloissa. (Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu 2014, 12)

Paalulaatan tyypin valintaan vaikuttaa laatan muoto, muotitustarve, raudoitustyön vaikeus, paalujen mahdollinen epätasainen painuminen ja laatan betonimassan kustannukset. (Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu 2014, 14)

2.2 Paalutus

Paalutus on pohjarakennustekniikka, jota käytetään, jos rakennuksen tai rakenteen perustaminen maan varaan ei painumien, siirtymien, kiertymien tai ympäristössä sijaitsevien rakennusten tai perustamistapojen vuoksi ole mahdollista. (Jääskeläinen 2009, 52)

Paalujen käyttö on lisääntynyt jatkuvasti, koska tien tai radan linjaus on usein pehmeiköjen yli ja niiden perustaminen vaatii pohjanvahvistusta. Teräsbetoniset lyöntipaalut ovat yleisimpiä, mutta lyötävien ja porattavien teräspalkkipaalujen käyttö lisääntyy. (Jääskeläinen 2009, 52)

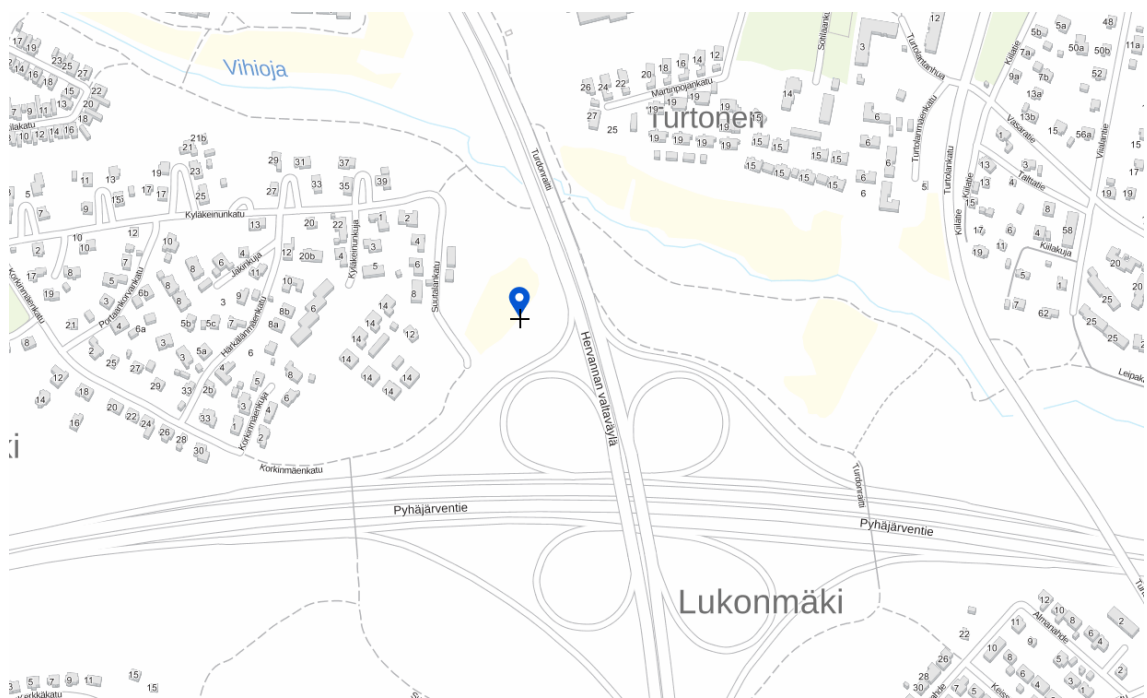
2.3 Paalutuksen ympäristövaikutukset

Paalutustyötä suunniteltaessa laaditaan riskianalyysi, jossa selvitetään työkohteen lähistöllä sijaitsevat tärinälle alttiit rakenteet, maan siirtymisestä ja tiivistymisestä, maakerrosten häiriintymisestä ja huokospaineen kasvusta aiheutuvat haitat. Paalutustyöstä johtuvat ympäristöhaitat ja häiriöt pidetään mahdollisimman vähäisinä. Työkohteen läheisyydessä sijaitsevat tärinälle ja vaurioitumiselle alttiit rakenteet ja laitteet katselmoidaan ennen paalutustyön aloittamista. Paalutustyön aiheuttamaa tärinää mitataan ja valvotaan suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. (InfraRYL, 13211.6 Teräsbetonipaalutuksen ympäristövaikutukset)

3 PAALULAATAN VAIHTAMINEN MASSANVAIHTOON

3.1 Yleistä

Paalulaatta ja sen korvaava massanvaihto sijaitsee Tampereen kaupungissa, Muotialan kaupunginosassa. Rakentamistyöt tehtiin Hervannan valtavyhlään, Suutalankatuun ja etelän puolella valtatie 9 meluvalliin rajoittuvalla, pohjoiseen viettävällä peltoalueella. Lähimmät asuinrakennukset sijaitsivat Suutalankadun varressa noin 25 metrin etäisyydellä työalueen länsireunasta ja noin 60 metrin päässä massanvaihtokaivannosta.



Kuva 7 Massanvaihdon sijainti (Karttapaikka)

Tampereen raitiotien Hallinojan ratasillan S13 eteläiseltä päätytuelta alkava korkea ratapenger sijoittuu Suutalanahteen peltoalueelle. (Kuvassa 7 sinisen paikkamerkin kohdalla). Ratapenger on noin 11,5 metriä korkea sillan eteläpäädyssä (pl 6818), jatkuen vähitellen madaltuen Vackerin ratasillalle S14 saakka. Ratapenger perustettiin käyttäen osittaista massanvaihtoa paaluvälille 6807 – 6925 liitteen 1 mukaisesti. Liitteessä 1 eli massanvaihdon pituusleikkauksessa on esitetty, kuinka syväälle massanvaihto ulottuu ja louhepenkereen sijoittuminen sen päälle.

Raitiotien kehitysvaiheessa laskettujen kustannuksien puolesta massanvaihto oli halvempi vaihtoehto kuin paalulaatta, mutta massanvaihdon toteutuksen riskit olivat suuremmat, joten ratapenger päätettiin perustaa paalulaatalle. Toteutusvaiheessa paalulaatan tilalle mietittiin kuitenkin vielä massanvaihtoa ja kustannus-, aikataulu- ja massatasapainosyistä ratapenger päätettiin perustaa osittaiselle massanvaihdolle.

3.2 Massatasapaino

Massatasapainon puolesta tällä loholla kallioleikkauksista oli jäämässä yli 60 000 m³itd louhetta, joka olisi pitänyt ajaa pois. Kun 15000 m³itd louhetta pystyttiin hyödyntämään massanvaihdossa, saatiin sillä kustannussäästöjä, koska ajomatka massanvaihtoon kallioleikkaukselta oli lyhyt ja louheet oli kuitenkin ajettava pois.

Massanvaihdosta syntyviä massoja taas pystyttiin hyödyntämään louhepenkereen maisematäyttöihin, joten niiden siirrosta ei tullut suuria kustannuksia. Massanvaihdon ympärille tehdyt maisematäytöt toimivat ratapenkereen vastapenkereenä ja paransivat penkereen stabiiliteettiä. Massanvaihdosta ajettiin 3000-4000 m³ löysempiä savimaita pois, joiden hyödyntäminen maisematäytöissä ei ollut mahdollista. Maat ajettiin Lehtivuoren maankaatopaikalle kuorma-autoilla.

Maisematäyttöihin pystyttiin ajamaan 30000 m³rtr eli noin 45000 m³itd tiivistyskelpoisia leikkausmassoja Hallilasta ja muilta hankkeen lohkoilta. Näitä leikkausmassoja ei tarvinnut ajaa maankaatopaikoille vaan ne pystyttiin hyödyntämään maisematäytöissä. Jos ratapenger olisi perustettu paalulaatalle ei maisemanhoidollisia täyttöjä olisi voitu ajaa tässä laajuudessa, koska paalulaatan paalut eivät olisi kestäneet täytöistä tulevia sivukuormia ja paalulaattaa olisi pitänyt levittää.

3.3 Aikataulu

Massanvaihto toteutettiin talvella tammi-helmikuussa 2018, koska Suutalanahteen pellon pinnan jäätyminen helpotti massanvaihtoa huomattavasti. Työ toteutettiin noin 30 päivässä ja tämän jälkeen rakennettiin esikuormituspenger massanvaihdon päälle. Aikataulun puolesta massanvaihto ja louhinnat Hallilassa ratalinjalla olivat samaan aikaan, että

louhetta saatiin massanvaihdon täyttöön. Kalliroleikkauksista ajettiin louhetta suoraan massanvaihdon täyttöön ja esikuormituspenkereeseen.

Paalulaatan paaluttamista varten olisi pitänyt tehdä useampia työtasoja porrastettuna lievään ylämäkeen, koska paalukone ei pysty lyömään paaluja kaltevalla pinnalla. Paalulaatan paalujen lyömiseen olisi kulunut aikaa noin kaksi viikkoa. Tämän jälkeen olisi pitänyt katkoa paalut, tasata paalulaatan työ- ja valualusta, raudoittaa paalulaatta ja valaa se. Valamisen jälkeen olisi odotettu, että paalulaatta on kuivunut tarpeeksi penkereen rakentamista varten.

Massanvaihtoa suunniteltaessa pitää ottaa huomioon, että se vaatii usein pitkän (6-12kk) painumisajan. Jos painumiselle ei ole aikaa, koska massanvaihtoa ei ole ollut mahdollista aloittaa tarpeeksi ajoissa tai työmaalla ei muuten ole aikaa painumiselle, on massanvaihto painumisen kannalta huono vaihtoehto.

3.4 Pohjaolosuhteet

Massanvaihdon työalueella (plv 6800 – 6960) perusmaana oli liejuinen silttikerrostuma, jonka paksuus vaihtelee noin 5 – 9,5 metrin välillä. Kerrostuman yläosassa siltti oli hiekaista ja karkeaa silttiä. Syvemmällä siltti oli pehmeämpää ja savisempaa ja osittain siellä oli laihaa savea. Savinen siltti ulottui enimmillään noin 8 metrin syvyyteen. Silttikerroksen alaosassa oli karkeampaa tai hiekaista silttiä, osittain silttistä hiekkaa. Silttikerrosten alapuolella oli ohuehko moreenikerros ennen kalliota. Työalueen pohjaveden syvyydestä ei ole luotettavia havaintoja, koska siellä ei ole pohjavesiputkia. (Raitiotieallianssi, 2018)

Massanvaihto oli osittainen ja se ulotettiin suunniteltuun kaivutasoon. Massanvaihdon alapuolelle jäi liejuista silttiä n. 0,5 – 3 metrin paksuudelta ja tämän alapuolelle n. 2 – 4,5 metriä karkeampaa silttiä. Hallinijan ratasillan tuen 6 paaluanturan kohdalla massanvaihto oli lähimpänä silttikerrosten alapintaa. (Raitiotieallianssi, 2018)

3.5 Kustannussäästöt massanvaihdosta

Kustannuksien vertailua paalulaatan ja massanvaihdon välillä ei ole tehty tarkasti vaan tässä opinnäytetyössä puhutaan vain kustannusten suuruusluokasta. Massanvaihdon lopulliset kustannukset tiedettiin aika tarkasti, mutta paalulaatan kustannukset olivat suunnitelmavaiheessa lasketut kustannukset. Massanvaihto vaikutti myös paljon lohkon leikkausmassojen kuljetuskustannuksiin, koska ne ajettiin ratapenkereen maisematäyttöihin eikä maankaatopaikalle.

Paalulaatan kustannukset syntyvät

- konetyöstä, kun tehdään työmaateitä, kaivetaan paalulaatalle kaivanto, paalukoneelle tehdään työalustaa ja paalulaatan valualusta tasataan paalutuksen jälkeen
- paalutuksesta ja paalumääristä
- raudoitustyöstä ja raudoitukseen käytettävästä harjateräksestä
- muottityöstä ja muottiin käytävästä materiaalista
- Betonista, betonin pumppauksesta ja valutyöstä

Massanvaihdon kustannukset syntyvät

- Konetyöstä, kun tehdään työmaateitä
- Massanvaihtokaivannon kaivamisesta
- Massanvaihtokaivannon täytön tekemisestä
- Massanvaihtomassojen- ja täyttömateriaalin kuljetuksesta
- Mahdollisista maan vastaanottomaksuista ja täyttömateriaalin kustannuksista
- Täytön tiivistyksestä
- Kaivannon kuivatuksesta

Paalulaatan ja massanvaihdon kustannuksia vertaillen, massanvaihto toteutettiin noin neljäsosalla paalulaatan kustannuksista. Massanvaihto toteutettiin samassa ajassa, missä paalutuskoneelle olisi tehty työalustat ja se olisi lyönyt paalut. Massanvaihdon ansiosta säästettiin, kun ei tarvinnut hankkia paaluja, rauditusmateriaaleja eikä betonia paalulaataan. Suurin osa massanvaihtokaivannosta kaivetuista massoista käytettiin maisematäyttöihin ja säästettiin kuljetuskustannuksissa. Massanvaihtokaivannon täyttämiseen käytetty louhe oli suoraan lohkon kallioleikkauksista.

Massanvaihdon kustannuksiin ei ole laskettu kuinka paljon esim. hankkeella säästettiin, kun leikkausmassoja päästiin ajamaan maisematäyttöihin ja kuinka paljon säästettiin, kun louheet sai ajaa suoraan kallioleikkauksista täyttöön ja esikuormituspenkereeseen.

Raitiotieallianssi on yrittänyt hyödyntää kaikki kierrätettäväksi kelpaavat maa-ainekset hankkeen eri lohkoilla. Esimerkiksi sorat ja murskeet on käytetty rakenteissa uudelleen, louheet on murskattu hankkeen käyttöön tai käytetty penkereiden rakentamiseen ja luis-
katäyttöihin kelpaavia maita on käytetty luiskien viimeistelyyn ja meluvallien rakentami-
seen.

4 TYÖTURVALLISUUS

4.1 Työturvallisuus maa- ja vesirakennustöissä

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (2009/205) luku 7 käsittelee työturvallisuutta maa- ja vesirakennustöissä. Luku 7 velvoittaa ennen töiden aloittamista ottamaan selvää maan ja kallioperän geoteknisistä ominaisuuksista ja yhdyskuntatekniikan aiheuttamista haitta- ja vaaratekijöistä, kuten paikalla olevien kaapeleiden, johtojen ja putkistojen sijainnista. Sortuman vaara sekä maan ja maamassojen kantavuus ja vakavuus on arvioitava luotettavasti. Kaivannon tuentaa ja muuta suojaustoimenpidettä koskeva suunnitelma on laadittava pätevän henkilön toimesta. (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta)

Kaivutyö on tehtävä turvallisesti ottaen huomioon maan geotekniset ominaisuudet, kaivannon syvyys, luiskan kaltevuus ja kuormitus sekä vedestä ja liikenteen tärinästä aiheutuvat vaaratekijät. Kaivannon seinämä on tuettava, jos sortuma saattaa aiheuttaa tapaturman. Kaivannon työturvallisuus voidaan toteuttaa luiskaamalla tai porrastamalla kaivannon seinämät, mutta se vaatii luotettavan selvityksen. (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta)

Maarakennuskoneiden työalueella on liikuttava erityisellä varovaisuudella. Peruuttavia ajoneuvoja on varottava ja käytettävä peruutushälyttimiä. Koneet ja ajoneuvot on sijoitettava turvallisen etäisyyden päähän kaivannon reunasta. (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta)

4.2 Erityishuomioita tässä työkohteessa

Tässä työkohteessa rakennustyössä tuli erityisesti kiinnittää huomiota seuraaviin työtehtäviin ja -vaiheisiin

- Massanvaihdon täyttö tehtiin nopeasti kaivun perässä
- Kaivantojen stabiliteetti turvattiin kaikissa työvaiheissa ja sääolosuhteissa
- Työmaaliikenne ja kaivuumasat riittävällä etäisyydellä kaivannosta
- Vältettiin silttikerroksen häiriintymistä suunnitellun kaivuutason alapuolella

- Vältettiin tarpeetonta tärinää kaivuuluiskien lähellä, tarkkailtiin kaivupohjaa ja -luiskia
- Kuivatettiin kaivanto siten, että massanvaihto tehtävissä kuivatyönä
- Minimoitiin häiriöt Hervannan valtatie ja lähialueen katujen liikenteelle

Tässä kohteessa kaivannosta tehty koneohjausmalli ja koneohjauksen käyttäminen kaivuutyössä paransi työturvallisuutta, koska mittamiehen ei tarvinnut tarkkailla pohjan korkeutta. Työn suorittaminen talvella myös helpotti kaivannon pitämistä kuivana.

5 TYÖVAIHEET JA MENETELMÄT

5.1 Kaivuu

Massanvaihto suoritettiin kaivamalla tela-alustaisella 25 tonnin kaivinkoneella, jossa oli kallistuva luiskakauha. 25 tonnin kaivinkone oli tällä työmaalla riittävä, koska perusmaa oli pääosin silttiä eli helppoa kaivaa ja sillä ylettyi myös hyvin kuormaamaan dumperin kyytiin. Massanvaihtoon suunniteltiin myös isomman koneen tai pitkäpuomikoneen käyttöä. Isomman koneen alle olisi pitänyt tehdä paremmat työtasot, että se olisi kestänyt koneen painon ja pitkäpuomikone olisi ollut huomattavasti hitaampi kuormauksessa pienen kauhan ja pitkän puomin takia. (Lumme 2019)

Kaivuu toteutettiin osittain kahdessa kerroksessa, koska massanvaihtokaivanto oli syvimillään yli 6 metriä syvä. Kaivuu aloitettiin leikkaamalla kaivanto ensin ensimmäiseen tasoon. Sitten kaivantoa aloitettiin kaivamaan kaivannon pohjoispäästä alkaen suunniteltuun massanvaihto syvyyteen (kuva 8). Kaivuun edetessä kaivannon täyttöä tehtiin samalla. Kaivettaessa vältettiin ylikauvia ja siltin häiriintymistä kaivutason alapuolella.



Kuva 8 Massanvaihtokaivannon kaivuu (Raitiotieallianssi, 2018)

Massanvaihto toteutettiin talvella, jolloin perusmaan jäätyminen työvuorojen välissä oli aina riskinä. Työmaalla se ratkaistiin sillä, että kaivuu lopetettiin 20-30 cm tavoitetason yläpuolelle työvuoron lopussa ja viimeiset 20-30 cm tavoitetasoon kaivettiin seuraavassa työvuorossa. Massanvaihdon kaivuun edetessä tuli vastaan isoja lohkareita (kuva 9) suunnitellussa kaivuutasossa, jotka ammuttiin pienemmiksi, että ne saatiin pois. (Kosonen 2019)



Kuva 9 Kaivannon pohjalla isoja lohkareita (Raitiotieallianssi, 2018)

5.2 Maanajo

Maat massanvaihdosta ajettiin kahdella dumperilla massanvaihdon päälle tulevan louhepenkereen maisematäyttöihin penkereen vierustoihin eli massanvaihdon viereen (kuva 10). Massojen siirto piti suunnitella hyvin, koska maisematäyttöihin ajettut maat piti läjittää massanvaihtokaivannon läheisyyteen. Massoja ei saanut läjittää liian lähelle eikä liian korkeiksi kasoiksi kaivannon stabiliteetin takia.

Osittain maita jouduttiin ajamaan kuorma-autoilla maankaatopaikalle, koska ne olivat löysää savea, jota ei pystytty hyödyntämään maisematyöissä. Pehmeät maat ajettiin maankaatopaikalle kuorma-autoilla ja samalla yhdellä dumperilla ajettiin kuivempia maita maisematyöttöihin. Työmaaliikennettä varten Hervannan valtavyylälle asennettiin väliaikaiset liikennevalot, jotta työmaaliikenne pääsi turvallisesti liikkumaan valtavyylältä Suutalanahteen pellolle ja pois sieltä. Liikennevalot lyhensivät ajomatkaa ja nopeuttivat huomattavasti louheen ajoa Hallilasta massanvaihtoon ja maanajoa massanvaihtokaivannosta maankaatopaikalle. (Lumme 2019)

Maanajossa ongelmana oli Suutalanahteen pellon pinnan kestävyys dumperien painon alla. Työmaatiet jäättyivät aina yöllä, mutta eivät silti kestäneet maanajoa dumperilla. Pellolle tehtiin työmaateitä 0/300 louheesta, jotta ne kestivät dumperien painon. (Kosonen 2019)



Kuva 10 Maanajoa ja vastaanottoa (Raitiotieallianssi, 2018)

5.3 Täyttö

Täyttö tehtiin päätypengerryksenä 1-2 metrin kerroksina kerroksittain tiivistäen. Alinta kerrosta ei tiivistetty vaan sen tiivistyminen tapahtui työkoneiden ja pengerkuorman vaikutuksesta. Penkereen tekeminen aloitettiin kaivinkoneella (kuva 11) ja jatkettiin pusku-koneella. Louhetta 0/600 mm ajettiin ratalinjan kallioleikkauksesta Hallilasta kuorma-autoilla penkereen päälle, josta pusku-kone teki päätypengertä. Alussa louhetta jouduttiin kiilaamaan enemmän 0/300 louheella, koska louhe oli suurimmaksi osin louhinnan kantta ja siinä oli vähemmän hienompaa kiveä seassa.



Kuva 11 Kaivannon kaivuu ja täyttö (Raitiotieallianssi, 2018)

Louhe ei saanut sisältää läpimitaltaan yli 2/3 tiivistettävän kerroksen paksuudesta olevia lohkareita. Täyttö (kuva 12) piti tehdä nopeasti kaivun perässä, koska kaivanto ei saanut

olla 10 metriä enempää kerralla auki pohjan tasossa. Pidempien työnkeskeytyksien ja viikonlopun ajaksi kaivannon pohja piti täyttää kauttaaltaan. Täyttöä tiivistettiin 13-tonnin täryjyrällä täytön edetessä vähintään 6 ylityskerralla.

Hallinajan ratasillan maatuon teräsputkipaaluja varten paaluvälille 6814-6828 massanvaihtokaivantoon tehtiin soratäyttö. Soratäyttö ulottui vähintään metrin paaluryhmän ulkopuolelle, ettei louhe ole paalujen edessä niitä lyötäessä.

Massanvaihdon kaivuuta ja täyttöä tahdistettiin sen mukaan, että täyttö pysyi kaivuun mukana. Kaivantoa ei saanut pitää yli 10 metriä pohjalta auki, joten välillä kaivamisessa pidettiin pari päivää taukoa, että kaivannon pohja saatiin täytettyä ensimmäiseen tasoon ennen kuin jatkettiin. Ongelmia oli täyttömateriaalin, eli louheen lastauspäässä, koska louhinta ei edennyt tarpeeksi nopeasti ja louhetta massanvaihtokaivannon täyttöön irronnut tarpeeksi nopeasti. (Lumme 2019)

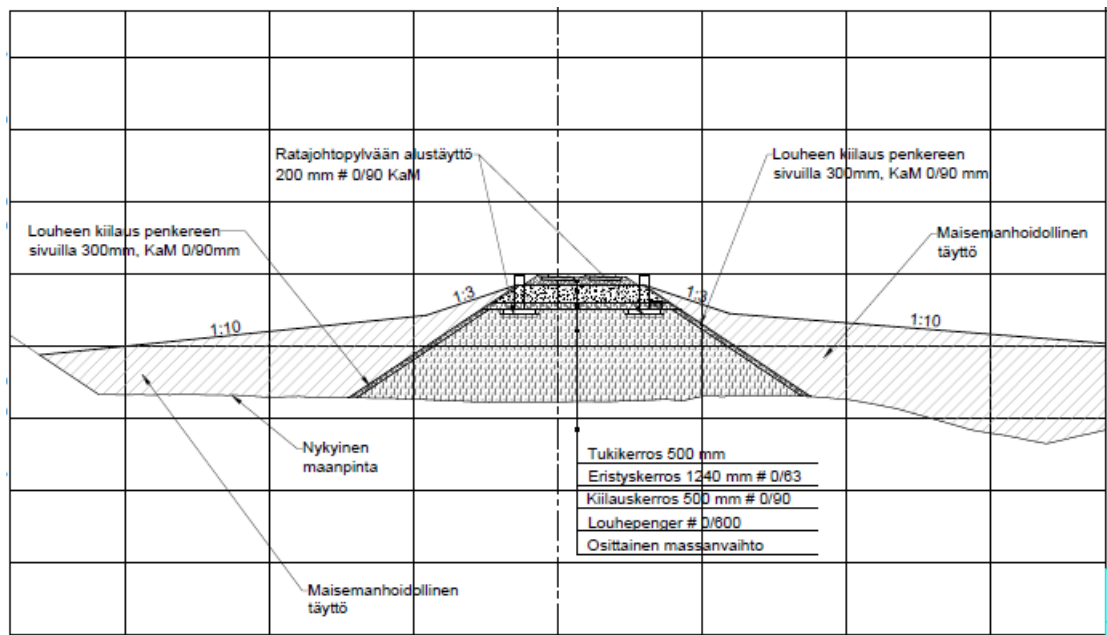


Kuva 12 Päätypenkereen puskeminen (Raitiotieallianssi, 2018)

5.4 Esikuormituspenger

Massanvaihdon päälle ajettiin louhepenger, joka toimii esikuormituspenkereenä ja jää pysyvästi siihen ratapenkereeksi. Louhepenger rakennettiin 0/600 mm louheesta, joka ajettiin ratalinjan kallioleikkauksesta. Penger tehtiin 1 metrin kerrospengerryyksenä ja kerrokset tiivistettiin 13 tonnin täryjyrällä. Penkereen luiskat kiilattiin louheella 0/300 ja sen päälle levitettiin N4 luokan suodatinkangas estämään maisemanhoidollisen täytön sekoittuminen louheeseen.

Louhepenkereen (kuva 13) päälle asennettiin painumaseurantatangot, joiden avulla penkereen painumia tullaan seuraamaan 12 kuukauden ajan. Rakennekerrosten rakentaminen penkereen päälle voidaan aloittaa, jos seurantamittausten pohjalta voidaan luotettavasti arvioida penkereen jäljellä olevan painuman alittavan sallitut arvot.



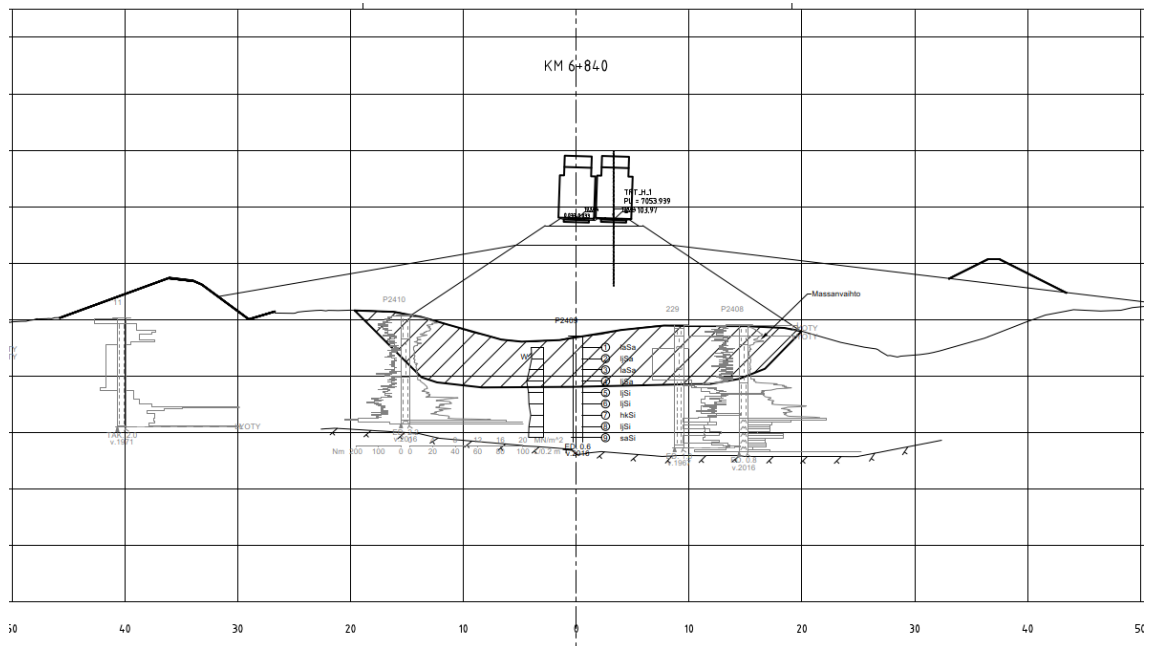
Kuva 13 Poikkileikkaus raitiotien ratapenkereestä (Raitiotieallianssi)

5.5 Maisematäytöt

Massanvaihdon kaivumassat käytettiin louhepenkereen vierustojen täyttöihin. Vierustäytöt toimivat louhepenkereen vastapenkereinä ja parantavat sen stabiiliteettiä merkittä-

västi. Kaivuumassat pyrittiin säilyttämään sulana ja tiivistämiskelpoisena talviolosuhteissa, koska kelpoisuusluokka U tai H4 silttimaiden pengerryttävyys ja tiivistettävyys on hyvin riippuvainen vesipitoisuudesta ja sääolosuhteista.

Maita ajettiin suoraan täyttöihin massanvaihdosta ja otettiin vastaan kaivinkoneella. Kaivuumassat pengerrettiin 0,5 metrin kerroksissa ja jokainen kerros tiivistettiin ajamalla 22 tonnin telakaivinkoneella 3 ylityskertaa. Geosuunnittelijat olivat laskeneet kaivannon poikkileikkauksista, kuinka korkealle ja kuinka lähelle kaivantoa maisematäyttöjä pystyttiin läjittämään kaivannon ollessa auki. Kuvassa 14 on paalulta 6840 massanvaihdosta poikkileikkaus, josta näkee alkuperäisen maanpinnan ja massanvaihdon syvyyden. Kaivannon stabiliteettiin vaikutti huomattavasti maakerrosrakenteen vaihtelu massanvaihtosuudella ja useimmissa poikkileikkauksissa kaivannon stabiliteetti oli laskettu vasemmalle ja oikealle puolelle erikseen.



Kuva 14 Massanvaihdon poikkileikkaus (Raitiotieallianssi)

5.6 Kaivannon kuivatus

Massanvaihdon ajan kaivantoa kuivatettiin uoppopumppujen avulla pumpaamalla suoraan kaivannosta. Pumput laitettiin 315 mm rumpuputken sisään (kuva 15) täytön edessä siten, että vettä pystyttiin pumpaamaan kaivannon pohjalta ja pumput pysyivät ehjinä. Kun massanvaihtokaivannon kaivaminen aloitettiin ylämäkeen päin kaivannon syvimmästä päästä, saatiin kaivantoon suotautuvat pohjavedet pumpattua sieltä pois kaivuun ajan. Kaivantoa aloitettiin myös täyttämään pl 6807 ja veden pumppaus pystyttiin

lopettamaan täytön edetessä. Myös kuiva talvikeli vähensi kaivantoon tulevan veden määrää.



Kuva 15 Uppopumppujen letkut (Raitiotieallianssi, 2018)

5.7 Koneohjaus

Massanvaihtokaivannon kaivamisessa hyödynnettiin 3D-koneohjausjärjestelmää. Tampereen raitiotiehankkeella käytetään Novatronin koneohjausjärjestelmiä, muutamia poikkeuksia lukuunottamatta. Massanvaihtokaivannosta oli tehty koneohjausmalli, jonka avulla kaivinkoneen kuljettaja näki kaivaessa suoraan koneesta mihin tasoon pitää kaivaa.

Koneohjausmallia käytettäessä ei tarvinnut laittaa kaivinkoneelle korkolappuja, vaan koneen kuljettaja näki koneohjausjärjestelmän näyttöruudulta kaivannon koneohjausmallin ja missä koneen kauha sijaitsee milloinkin. Kaivinkoneen kuljettaja otti välillä toteumapisteitä toteutuneen massanvaihtokaivannon leikkuupohjasta työn edetessä.

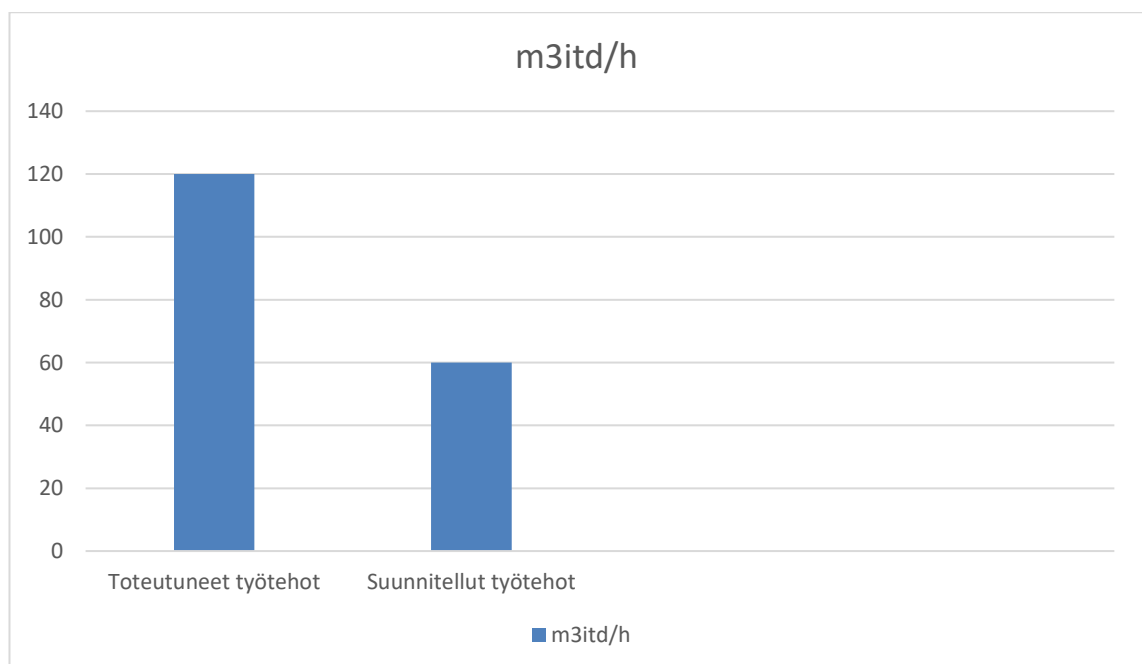
Koneohjausta hyödynnettäessä ei leikata ylisyvään, eikä tehdä ylitäyttöä. Samalla säästetään materiaali- ja kuljetuskustannuksissa, koska materiaalien turha kuljetus ja käyttö vähenee koneohjauksen tarkkuuden avulla. (Novatron.fi)

3D-koneohjausjärjestelmä perustuu satelliittipaikannukseen, jossa kaivinkoneen sijainti tunnetaan kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä saa tukiasemalta tai verkkokorjauspalvelusta korjaussignaalin ja sen avulla päästään muutama sentin tarkkuuteen. (Novatron.fi)

5.8 Työtehot

Työtehot kaivinkoneelle on laskettu jakamalla massanvaihdon massojen kokonaismäärät massanvaihdon kaivuuseen käytetyillä työpäivillä. Työpäivät oli 8-10 tuntisia ja välillä kaivinkoneella jouduttiin esim. hiekoittamaan työmaateitä liukkauden takia. Massanvaihdon kaivannosta massoja kaivettiin 22500 m³itd ja kaivuuta tehtiin 23 päivää. Massanvaihto toteutettiin talvella tammi-helmikuussa, joten talvi hidasti työn tekoa koko ajan.

Massanvaihtoa suunniteltaessa työtehoksi oli laskettu 40 m³ctr/h eli 60 m³itd/h, koska kaivanto oli syvä, paikka oli haastava kaivinkoneelle ja kuljetuskalustolle ja työ suoritettiin talvella. Suunniteltaessa työtehot haluttiin pitää alhaisina mahdollisten riskien varalta ja jos työ olisi toteutettu pitkäpuomikaivinkoneella, työtehot olisivat laskeneet. Toteutuneet työtehot olivat keskiarvoltaan 120m³itd/h (kuvio 1) eli tuplasti suunniteltuun työtehoon verrattuna.



Kuvio 1 Työtehot

6 POHDINTA

Massanvaihtoa suunniteltaessa kannattaa ottaa huomioon, mistä täyttömateriaalit saadaan kustannustehokkaan kuljetusmatkan päästä ja mihin kaivannosta tulevat kaivuumaat saadaan läjitettyä vai hyödynnetäänkö ne maisemanhoidollisissa täytöissä tai meluvallien rakentamiseen. Pehmeiden kaivumassojen läjityksessä on omat haasteensa ja ne vaativat usein paljon tilaa, jota työmaalta ei aina löydy. Suunniteltaessa massanvaihtoa täytyy ottaa huomioon myös sen vaatima pitkä painumisaika (6-12kk), mihin kaikilla työmailla ei ole aikaa liian lyhyiden aikataulujen takia.

Massanvaihdon toteutuksen ajankohta tulee huomioida, koska sen toteutus pehmeikölle on talvella helpompaa kuin kesällä vaikka siinä on omat haasteensa. Työmaatiet saadaan talvella jäädytettyä ja ne saadaan helpommin kestäämään massojen siirrot. Tietenkin työmaateiden auraus ja hiekoitus täytyy olla hoidettuna, että massat myös siirtyvät. Luiskat kestävät sortumatta helpommin ja kaivantoon ei tule niin paljon pintavesiä ja pohjavesiä kuivaan talviaikaan.

Massanvaihdon onnistumisen kannalta on työnsuunnittelu tärkeää. Massanvaihto on pääpiirteittäin yksinkertainen toteuttaa, mutta se vaikeutuu huomattavasti mitä syvemmälle massanvaihto ulotetaan ja mitä pehmeämpää pehmeikkö on. Massanvaihtoon käytettävä kaivumenetelmä, pehmeikön syvyys, kaivumassojen läjityspaikka, täyttömateriaali ja massanvaihdon sijainti vaikuttavat kaikki kaluston ja työmenetelmien valintaan.

Kaikki massanvaihdot ovat yksilöllisiä ja niiden toteutus pitää suunnitella yksilöllisesti, jotta ne voidaan toteuttaa turvallisesti ja laadukkaasti.

Yksi tärkeimmistä massanvaihdon onnistumiseen vaikuttavista asioista on kalusto ja sen sopivuus työhön. Jos kalusto ei ole työhön sopivaa koon tai muun ominaisuuden takia, se hidastaa, vaikeuttaa ja jopa aiheuttaa vaaratilanteita työmaalla. Tässä kohteessa ensimmäinen puskukone (CAT D5) oli liian pieni ja täyttöpenkerettä sillä tehdessä louhe lajittui ja sen kiilaukseen tarvittiin pienlouhetta. Täytön hidastuminen hidasti kaivuuta, koska kaivantoa ei saanut olla 10 metriä kerralla auki. Puskukoneen apuna oli kaivinkone teke-

mässä pengertä, mutta isomman puskukoneen avulla toinen kaivinkone olisi saanut keskittyä maisematäyttöjen pengertämiseen kokonaan. Toinen puskukone (CAT D6) oli isompi ja sillä penkereen tekeminen onnistui ilman ongelmia.

Yhtenä ongelmana oli kalliioleikkauksien matala ottosyvyys, jolloin louhe jäi helposti ylikarkeaksi ja se rikotettiin pienemmäksi ja ajettiin täyttöön, mutta täyttöön ajettua louhetta jouduttiin kiilaamaan paljon 0/300 louheella, koska täyttömateriaali oli karkeaa. Massanvaihdon täyttömateriaalin pitäisi olla mahdollisimman sekarakeista hyvän tiivistyvyyden kannalta, joten täyttömateriaalina kannattaa käyttää korkeasta kalliioleikkauksesta tulevaa sekarakeisempaa louhetta.

LÄHTEET

Haukka, A. & Jokinen, E. & Yrjölä, S. 2016. Tampereen raitiotien toteutussuunnitelma. Suunnitelmaselostus osalle 1: Hervanta-keskusta-Tays. Raitiotieallianssi. Luettu 18.02.2019 https://www.tampere.fi/tiedostot/t/xOxdPt2ot/Raitiotieallianssi_toteutus-suunnitelma_osa1_20160905.pdf

InfraRyl. 2017. 18360 Massanvaihtoon kuuluvat täytöt. Julkaistu 11.05.2017

InfraRYL. 2009. 13211.6 Teräsbetonipaaluituksen ympäristövaikutukset. Julkaistu 6.5.2009

Jääskeläinen, R. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. 1. painos. Tampere: AMK-kustannus Oy.

Kosonen, V. työnjohtaja. 2019. Haastattelu 18.02.2019. Haastattelija Etelä, J. Tampere

Lumme, K-P. lohkopäällikkö. 2019. Haastattelu 18.02.2019. Haastattelija Etelä, J. Tampere

Liikennevirasto. 2011. Massanvaihdon suunnittelu. [pdf] Julkaistu 13.5.2011. Luettu 4.1.2019. https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2011-11_massanvaihdon_suunnittelu_web.pdf

Liikennevirasto. 2014. Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu. (pdf) Julkaistu 31.1.2014. https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-05_paalulaattojen_paaluhatturakenteiden_web.pdf

Maanmittauslaitos. 2019. Karttapaikka. <https://www.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka>

Novatron Oy, <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>, luettu 18.2.2019

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. 2009/205 luettu 4.2.2018 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>

Raitiotieallianssi, 2018

LIITTEET

Liite 1. Pituusleikkaus

