
SIVUSIIRRETTÄVÄ RATASILTA JA SEN VAATIMAT RESURSSIT

Markku Honkimaa
Riku Alitupa

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Markku Honkimaa Riku Alitupa	
Työn nimi Sivusiirrettävä ratasilta ja sen vaatimat resurssit	
Päiväys	17.3.2011
Sivumäärä/Liitteet	49
Ohjaaja(t) Raimo Lehtiniemi, lehtori Matti Mikkonen, lehtori	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Ari-Pekka Olkkonen / Destia Oy	
<p>Tiivistelmä Tämä insinöörityö tehtiin Destia Oy:lle helpottamaan tarjouslaskentaa. Työn tavoitteena oli luoda Excel-työkalu sivusta siirrettävän rautatiesillan vaatimien maankaivun, maansiirto työvaiheiden keston ja tarvittavien kapasiteettien määrittämistä varten. Valmiin ohjelman tuli antaa työhön tarvittavien kaivinkoneiden sekä kuorma-autojen määrä, kun kaivettavien kuutioiden määrä sekä sillan siirtoon varatun liikennekatkon pituus tiedettiin.</p> <p>Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin lähtötietojen tarkastelulla, keskustelemalla kokeneiden vastaavanlaisiin projekteihin osallistuneiden henkilöiden kanssa sekä tutustumalla muuhun tarjolla olevaan kirjallisuuteen ja lähdemateriaaliin. Lähtötiedoiksi annettiin erään jo toteutuneen sivusta siirrettävän rautatiesillan tiedot. Näiden lähtötietojen lisäksi Excel-ohjelmaan yhdistettiin tietoja kaivinkoneiden kaivuutehoista, kaivukulmien, nostokorkeuksien sekä maalajien vaikutuksista maankaivamiseen. Tämän jälkeen aloitettiin Excel-ohjelman suunnittelu ja toteuttaminen lopulliseen muotoonsa.</p> <p>Lopputuloksena saatiin Excel-työkalun, joka antaa arvion työvaiheiden kestosta, kun ohjelmalle syötetään lähtötiedot. Tulosten oikeellisuus selviää käyttämällä ohjelmaa apuna laskennassa toteutuvien kohteiden kanssa.</p>	
Avainsanat Sivusiirrettävä, Rautatie, silta, Excel, Resurssit	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Markku Honkimaa Riku Alitupa			
Title of Thesis Movable Railroad Bridge and Resources it Requires			
Date	March 17, 2011	Pages/Appendices	49
Supervisor(s) Raimo Lehtiniemi Matti Mikkonen			
Project/Partners Ari-Pekka Olkkonen, Destia Oy			
<p>Abstract</p> <p>This project was made for Destia Oy to ease offer calculation. The aim of this study was to create an Excel based tool to define earth digging of a movable railroad bridge, the duration of earth moving stages and the resources they require. The main goal of the fully functional program was to give the number of excavators and trucks needed when the amount of cubic meters to be excavated and the duration of traffic break was known.</p> <p>The project was started by studying initial data, interviewing experienced persons who have been participating in similar projects as well as examining other literature and data that was available. Information on an already finished movable railroad bridge project was given as initial data. In addition to that an Excel program was combined with data about lugging power, working angles and lifting heights of excavators and the impacts of soil types on excavating. After this the planning and realizing the Excel program was started.</p> <p>As a final result there was an Excel program giving an estimated duration of operation when basic data is inserted. The validity of results will be confirmed by using the Excel program together with projects under construction.</p>			
Keywords movable, railroad, bridge, Excel, resources			

LYHENTEET	3
1 JOHDANTO.....	5
2 SILLAN RAKENTAMINEN LIIKENNÖIDYLLE RAITEELLE	6
2.1 Sillan rakentaminen yleisesti.....	7
2.2 Tarvittavat lähtötiedot	8
2.3 Liikennekatkot.....	8
3 SIIRTOMENETELMÄ YLEISESTI.....	9
4 SILLAN RAKENTAMINEN SILTAPAIKAN VIEREEN	11
4.1 Maatyöt.....	12
4.1.1 Täyttöjen laatuvaatimukset	13
4.1.2 Täyttöjen kelpoisuuden osoittaminen.....	13
4.1.3 Pohjan vahvistukset.....	14
4.2 Telinetyöt ja muotti.....	14
4.3 Raudoitus	15
4.4 Tuplaus.....	15
4.5 Betonointi	16
5 SILLAN ALUSRAKENNE.....	17
5.1 Työnaikaiset tuennat.....	17
5.2 Kuormitustapaukset.....	18
5.2.1 Rasitukset työnaikana.....	18
5.2.2 Tukikorkopoikkeama.....	18
5.2.3 Työtavan aiheuttamat kuormitukset	19
5.3 Paalutus	20
5.4 Pohjarakennussuunnitelma.....	22
5.5 Valvonta	23
5.5.1 Asiantuntijavalvonta.....	23
5.5.2 Työkohdevalvonta	23
6 MAANRAKENNUS	24
6.1 Maalajit	24
6.2 Kivisyys, lohkareisuus ja puisuus.....	24
6.3 Kaivuluokat.....	26
6.4 Maalajien ominaisuudet erilaisissa maakerrostumissa	28
6.4.1 Moreenimaalajit	29
6.4.2 Karkearakeiset maalajit	30
6.4.3 Hienorakeiset maalajit	30
6.4.4 Eloperäiset maalajit	31
6.5 Massakertoimet työvaiheissa	32
6.6 Kaivuluokat työvaiheissa.....	32
6.7 Automaatio	33
6.7.1 Työkoneautomaatio	34
7 TYÖMAAN TYÖTURVALLISUUS.....	36
7.1 Sähkörata.....	36
7.2 Työmaadoitus	37
8 LAADUNHALLINTA.....	38
8.1 Laadunvarmistus	38
8.2 Tekniset työsuunnitelmat	38
8.3 Aikataulu.....	40
8.4 Siirtomenetelmään liittyviä työvaiheita ja niiden kestoja	40
9 EXCEL-OHJELMAN OHJEET	43
9.1 Liikennekatkon pituus	44
9.2 Kaivutyöt.....	45

9.3	Täyttötyöt.....	45
9.4	Kapasiteetit.....	46
10	YHTEENVETO	48
	LÄHTEET	49

LYHENTEET

m3ktr	Teoreettinen kiintotilavuus laskettuna lopullisen suunnitelman mukaisten teoreettisten arvojen ja maastossa mitattujen todellisten arvojen (maan pinta, kallion pinta) perusteella
m3ktd	Todellinen kiintotilavuus massan tilavuus luonnontilassa mitattuna todellisten poikkileikkausten mukaisesti
m3itd	todellinen irtotilavuus laskettuna kuljetusvälineessä kuorman purkupaikalle
m3rtd	Todellinen rakennetilavuus massan tilavuus rakenteessa mitattuna todellisten poikkileikkausten mukaan
m3rtr	Lopullisen suunnitelman mukainen teoreettinen rakennetilavuus
Sa	Savi
Si	Siltti
HHk	Hieno hiekka
Hk	Hiekka
KHk	Karkea hiekka
Sr	Sora
HkMr	Hiekkamoreeni
SrMr	Soramoreeni
Mr	Moreeni
Msr	Murskesora
M	Murske
E	Eloperäiset maalajit
H	Hienorakeiset maalajit
K	Karkearakeiset maalajit

M Moreenimaalajit

1 JOHDANTO

Tämä insinöörityö tehdään Destia Oy:lle auttamaan sivusiirrettäviin ratasiltoihin liittyvää tarjouslaskentaa sekä työvaiheiden kestojen pituuksien arvioimiseen. Destia on suomalainen rakennusalan yritys, joka rakentaa, ylläpitää sekä suunnittelee liikenneväyliä sekä liikenne- ja teollisuusympäristöjä.

Työn tavoitteena on luoda Excel-ohjelmalla laskentatyökalu sivusiirrettävän rautatiesillan vaatimien maankaivu-, maansiirtotyövaiheiden keston ja tarvittavien kapasiteettien määrittämistä varten. Työ rajataan käsittämään ainoastaan maansiirto- ja leikkaustyövaiheet, koska ne ovat runsaasti aikaa vieviä työvaiheita. Ohjelma antaa työhön tarvittavien kaivinkoneiden sekä kuorma-autojen määrän, kun kaivettavien kuutioiden määrä sekä sillan siirtoon varatun liikennekatkon pituus tiedetään.

Ohjelman tekeminen perustuu Destia Oy:ltä saatuihin jo valmistuneen rautatiesillan tietoihin, muuhun saatavilla olevaan lähdekirjallisuuteen sekä siltojen siirroissa mukana olevien henkilöiden haastatteluihin.

2 SILLAN RAKENTAMINEN LIIKENNÖIDYLLE RAITEELLE

Sillan rakentamisessa on noudatettava seuraavia määräyksiä ja voimassa olevia ohjeita: siltakohtaista työselitystä, ”InfraRYL 2006, Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, osa 1, 2 ja 3”, ”Siltojen korjausohjeita” (SILKO) ja ”Kunnallisteknisten töiden yleistä työselitystä 02” (KT02, Suomen kuntaliiton julkaistu) sekä muita normeja ja standardeja niiltä osin kuin niihin on suunnitelma-asiakirjoissa viitattu. Siltojen suunnittelussa on käytettävä Eurokoodin sovellusohjeita: Geotekninen suunnittelu - NCCI 7, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1, Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2, jotka löytyvät osoitteesta <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/>. Lisäksi on noudatettava Liikenneviraston ohjeita: RATO Ratatekniset määräykset ja ohjeet, RMYTL Rautateiden maanrakennustöiden yleinen työselitys ja laatuvaatimukset sekä RVI:n julkaisu: Sähköratamääräykset (SRM) B16.

Päivitetty luettelo noudatettavissa ohjeista on Liikenneviraston Internet sivuilla osoitteessa <http://www.rhk.fi/tietopalvelu/julkaisut>.

Normit ja ohjeet:

- InfraRYL 2006, Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 1, 2 ja 3
- By50, Betoninormit
- Siltojen kuormat, Tielaitos, Helsinki 1999
- Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, Tiehallinto Helsinki 2007
- Betonirakenneohjeet 2006, Tiehallinto, Helsinki 2006
- Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet, Tiehallinto, 2008
- By40, Betonirakenteiden pinnat / Luokitusohjeet, Suomen betoniyhdistys ry., 2003
- Siltabetonien P-lukumenettely, Tiehallinto, Helsinki 2008
- SILKO-ohjeet
- Siltojen vedeneristysten SILKO-hyväksyntätutkimusohje, Tiehallinnon selvityksiä 33/2007
- Teräsputkipaalut, Tiehallinto, Helsinki 1999

2.1 Sillan rakentaminen yleisesti

Liikennöidylle raiteelle rakennettaessa peruslähtökohtana on, että junaliikenteelle ei missään olosuhteissa eikä työvaiheissa aiheuteta vaaraa ja junaliikenteen mahdolliset haitat minimoidaan. Siirtomenetelmässä koko silta tai sen kansirakenne tehdään valmiiksi radan viereen. Liikennekatkojen aikana valmistellaan sillan perustukset ja lopuksi kansirakenne siirretään vaakatasossa tai nostetaan paikoilleen. Kun vertaillaan eri rakentamistapoja, on syytä ottaa huomioon seuraavia asioita:

- siltarakenteen ja sillan siirtymärakenteiden lopputuloksen laatu
- junaliikenteen aiheuttamat rajoitukset sekä liikennehaitat
- perustamisolosuhteet
- ajankohta
- kokonaiskustannukset
- ympäristövaikutukset
- muut rataosalla käynnissä olevat työt.

Kustannusvertailussa huomioon otettavia asioita:

- siltarakenne
- tilapäiset rakenteen esim. työnaikaiset tuennat ja siirtoradat
- sähköistysmuutokset
- turvalaitemuutokset
- raidetyöt ja työnaikainen kunnossapito
- jännitekatkot
- turvamiehet
- liikenteenhoitokustannukset
- liikennehaitat.

Ennen rakennussuunnitteluvaihetta vertaillaan mahdollisten rakenneratkaisujen ja rakentamistapojen soveltuvuutta ja taloudellisuutta kohteeseen. Rakentamismenetelmä sekä rakenneratkaisut valitaan siten, että silta on taloudellinen ja toteuttamiskelpoinen liikennöinnin sille asettamien vaatimusten mukaisesti sekä laadultaan muita rakentamistapoja käyttäen rakennettua siltaa vähintään vastaava. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

2.2 Tarvittavat lähtötiedot

Ennen siltasuunnittelun aloittamista on liikennekatkojen lisäksi käytössä oltava ainakin seuraavat lähtötiedot (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.):

- nykyinen ja tuleva raidegeometria sekä mahdolliset lisäraiteet
- alittavan väylän geometria ja aukko vaatimukset
- sillan taustarakenteet
- alustava perustamistapalausunto
- sähköpylväiden, opastimien ym. sijainti ja perustamistapa
- olemassa olevat kaapelit, putket ja ilmajohdot.

2.3 Liikennekatkot

Liikennekatkot ja varsinkin niiden pituudet ovat tärkeimpiä lähtötietoja, kun suunnitellaan siltaa liikenteen alaisuudessa olevalle raiteelle. Liikennekatkon pituuden mukaan valitaan rakenneratkaisu sekä rakentamistapa siten, että sillanrakennustyöt on mahdollista suorittaa annettujen liikennekatkojen aikana. Tämän lisäksi on tehtävä tarkastelu, jossa selvitetään onko mahdollista poikkeavilla liikennejärjestelyillä saada aikaiseksi huomattavasti parempi lopputuloksen laatu tai selvästi halvemmat toteutuskustannukset. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

3 SIIRTOMENETELMÄ YLEISESTI

Perusajatuksena lyhytaikaisen liikennekatkon hyödyntämiseen on rautatieliikenteelle tulevien liikennehaittojen rajoittaminen mahdollisimman vähäisiksi. Tähän päästään käyttämällä paaluperustuksia, jos niiden käyttö on mahdollista, koska nämä edellyttävät vähemmän kaivutöitä. Liikennehaittoja vähennetään myös rakentamalla sillan kansirakenne ennakkoon raiteen viereen niin valmiiksi kuin on mahdollista. Liikennekatkon aikana, joka kestää 4 h-2 vrk, kansirakenne tunkataan siirtoratoja pitkin paikalleen tai pienen sillan ollessa kyseessä koko silta tai kansirakenne voidaan nostaa elementteinä paikalleen. Siirto on esitetty kuvassa 1 (Penttilän yk-silta, Oulu).



Kuva 1. Sillan siirtäminen. Kuva: Destia Oy

Tyypillisimpiä siirtomenetelmällä rakennettavia siltatyyppejä ovat pehmeikölle rakennettavat laatta- ja palkkisillat joiden pituudet ovat 16-24 m ja jotka ovat liian pitkiä yhden apusillan alla rakennettaviksi. Joissain tapauksissa sillan alustan loivat luiskat mahdollistavat alittavalla tiellä paremman näkemän kuin kehäsiltaratkaisut. Siirtomenetelmällä suurin hyöty saavutetaan pitkissä moniaukkoisissa silloissa jolloin vältytään väistöraiteen rakentamiselta.

Siirtomenetelmällä on useita etuja, kuten pienempi tilantarve, kiertotietä ei tarvita sekä työympäristö on turvallisempi. Liikennehaitta on vain noin 1 % kiertotien aiheuttamasta haitasta. Lisäksi se on hyvin asiakaslähtöinen rakentamistapa. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle.)

Sillan elementin painaessa maksimissaan noin 20–60 tonnia voidaan kansirakenne nostaa elementteinä paikalleen, jos nostokalustolle on rakennettavissa työskentelyalusta. Nostomenetelmä on käyttökelpoinen varsinkin sähköistämättömillä rataosilla, joilla on hyvin kantavat maaperäolosuhteet. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

4 SILLAN RAKENTAMINEN SILTAPAIKAN VIEREEN

Sivusiirroissa siltamuotti rakennetaan siltapaikan viereen tulevan sillan suuntaisesti. Tällä toimenpiteellä vältetään ylimääräiset katkot junaliikenteessä. Tuleva siltapaikka tarkistetaan maastokatselmuksessa ja päätetään lopullinen siltapaikka. Ratakatkon pituus on lyhyt, joten se on otettava huomioon myös rakennuspaikan valinnassa, jotta katkonaikana saadaan tehtyä tarvittavat työt.

Telineistä ja muoteista on tehtävä oma suunnitelma. Suunnitelmat tarkastavat ja hyväksyvät tilaajan edustaja. Rakennuspaikalle tehdään tarvittavat maatyöt, rakennetaan telineet muottia varten, tehdään muotti telineiden päälle, raudoitetaan, betonoidaan ja lopuksi siirretään sivusuunnassa silta paikoilleen. Viereen rakennettu silta näkyy kuvassa 2. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)



Kuva 2. Sillan rakentaminen radan viereen. Kuva: Destia Oy

4.1 Maatyöt

Liikennöitävälle raiteelle, lyhyillä liikennekatkoilla tehtävistä maatyöistä laaditaan työsuunnitelma, jossa kerrotaan työvaiheet, massojen siirrot, kaluston määrä ja niiden sijoittelu sekä tuntiaikataulu perustuen massamääriin ja työsaavutuksiin.

Jos suunnitelma-asiakirjoissa ei muuta mainita, laaditaan erilliset tekniset työsuunnitelmat ainakin seuraavista töistä (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.):

- kaivannot
- louhinta- ja räjäytystyöt
- täytöt perustusten alla
- paalutustyöt
- lopullinen kannen siirtosuunnitelma perustamistapoineen, sivusiirto- ja pystytunkkaussuunnitelmineen sekä siirtoradan rakenteiden kapasiteetilaskelmat
- paalutustyön työtelineet sekä työkoneet
- työnaikaiset pysyviksi tarkoitetut tukiseinät
- työnaikainen pohjavedenpinnan alennus.

Kaikki kaivu- ja tuentasuunnitelmat mainitaan työvaiheittain ja niiden on perustuttava laskelmiin.

Kaivumassojen läjitys on tehtävä niin kauas, ettei niistä synny haittaa siirron muille työvaiheille. Sivusiirrettävien siltojen taustapaalurakenteiden kaivu tehdään paalutuksen jälkeen. Kun paalut lyödään noin 1 m:n välein, tulee kaivukauhan olla kapea. Kaivu paalujen välistä on suoritettava hyvin varovasti, jotta paalut eivät vaurioidu. Sivusiirrettävien siltojen työnaikaiset kaivannot ovat suhteellisen matalia. Perustus- ja kaivutyöt tehdään kuivatyönä. Kuivana pito tehdään kaivannosta pumppaamalla ja ojittamalla. Räjäytys- ja louhintatöissä noudatetaan RMYTL:n osaa 6, Kalliorakennustyöt ja Louhintatöiden sallitut tärinäarvot sähköistetyllä radalla. Radan läheisyydessä suoritettaville räjäytystöille on saatava Liikenneviraston lupa. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

4.1.1 Täyttöjen laatuvaatimukset

Perustusten alla olevissa täytöissä louheen maksimiraekoko on enintään 300 mm. Louhetäytön ylimmän kerroksen kiilaaminen ja tiivistäminen suoritetaan noudattaen RMYTL:n osaa 3 (Perustamis- ja vahvistamistyöt) ja osaa 5 (Maaleikkaus- ja pengerrystyöt). Häiriintymisen välttämiseksi perustus kaivetaan 200 mm ylisyväksi ja pohjalle asennetaan suodatinkangas sekä 200 mm mursketta. Vaihtoehtona voidaan käyttää vähintään 50 mm:n alusbetonikerrosta. Maanvaraisen siirtoradan alla ylin 50 mm:n kerros tehdään kivettömästä hiekasta. Siirtoradan täytön yläpinnan sallittu epätasaisuus on +/- 10 mm. Siirtoradan yläpinta tasataan lopuksi laudalla hiertäen oikeaan tasoon. (Rautatiesiltojen yleiset laatuvaatimukset. 2006.)

Sillan peruskuopan ja sillan taustan täyttö suoritetaan radan rakennekerrosten alapuolisella osalla tai mahdollisten maanvaraisten telineperustusten kohdalla jakavan kerroksen vaatimukset täyttävästä sorasta, murskeesta tai louheesta (<#300 mm) tiivistäen kerroksittain kuten perustusten alle tehtävä routimaton täyttö. Täyttö ei saa vahingoittaa betonipintoja. Sallittu murskeen tai soran raekoko on <#64 mm. (Rautatiesiltojen yleiset laatuvaatimukset. 2006.)

Routaeristeiden käyttö kerrotaan siltakohtaisissa suunnitelmissa. Eristelevyinä käytetään polystyreeniä, jonka lämmönjohtavuus on enintään 0,045 W/km, tiheys on suurempi kuin 38 kg/m³ ja jotka ovat freonittomia. (Rautatiesiltojen yleiset laatuvaatimukset. 2006.)

4.1.2 Täyttöjen kelpoisuuden osoittaminen

Raidevarausten aikana suoritettavien täyttöjen laadunvalvonta tehdään työtapatarkkailuna, joka perustuu RMYTL:n yleisiin työohjeisiin tai ennakkokokeisiin. Muulloin noudatetaan SYL 2:n ohjeita.

Rautatiesillan päissä penkereet muotoillaan niin, että sillan siipimuurin päästä 10 m:n matkalla pengerleveys on 4,0 m reunimmaisena raiteen keskilinjasta, jonka jälkeen pengerleveys kapenee radan poikkileikkauksen mukaisesti seuraavan 5 m:n matkalla. Siirtymäkiilan mahdollinen tarve kerrotaan suunnitelmissa. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

4.1.3 Pohjan vahvistukset

Sillan perustusten ja tulopenkereiden kohdalla tehtävien vahvistustöiden yleisinä laatuvaatimuksina käytetään RMYTL:n osaa 3, Perustamis- ja vahvistamistyöt. Näitä pohjavahvistuksia ovat mm. pengerraalaus, pystyjoitus, pudotustiivistys, syvästabilointi, lujitteet sekä telat, luiskapaalaus, massanvaihto ja pengerraalukset. Työt tehdään RMYTL:n osaa 3 (Perustamis- ja vahvistamistyöt) ja osaa 5 (Maaleikkaus- ja pengerrustyöt) noudattaen.

4.2 Telineet ja muotti

Tämän jälkeen asennetaan muottikuvan mukaisesti pohjapuut sillan poikittaissuuntaisesti. Yleensä pohjapuut ovat kooltaan 150*250 mm. Seuraavaksi tehdään pystypuiden asennus. Tässä puutavarana yleensä käytetään 4 tuuman parrua eli 100*100 mm. Pystypuut sidotaan toisiinsa pitkittäis-, poikittais- ja vinopuilla. Sidontaan puutavarana käytetään yleensä 32*100 mm lautaa. Mittamies merkitsee katkaisukoron pystypuihin, johon kiinnitetään katkaisulaudat. Katkaisukohdassa on huomioitava esikohotukset sekä telineen- ja maanpainauma. Pystypuut katkaistaan katkaisulaudan yläpinnasta. Pystypuiden päälle asennetaan sillan pituussuunnassa olevat pitkittäispuut. Pitkittäispuuna käytetään yleensä 125*125 mm parrua. Koska siltatelineet tehdään yleensä talviaikaan, on telineen ympärille ja sisäpuolelle laitettava sahanpurua, välttääkseen sulamisesta tulevat maan painumat. Pitkittäispuiden päälle tehdään koolaus 50*100 mm:n lankkutavarasta.

Sillat ovat yleensä reunaohennettuja teräsbetonilaattoja. Tästä johtuen reunoille tehdään viisteet. Viisteissä käytetään puutavarana 50*100 mm lankkua. Reunaohennuksia on olemassa erimuotoisia. Muodon valinta vaikuttaa raudoitukseen, betonin määrään ja ulkonäköön. Koolauksen päälle asennetaan muottilauta. Yleensä muottilautana käytetään 20*100 mm päätypontattua lautaa. Muottilauta asennetaan sillan pituussuuntaisesti. Päätypalkeissa muottilauta asennetaan vaakasuuntaisesti. Näkyville jääviin kulmiin asennetaan 20*20 mm:n kulmarima. Reunapalkin alapintaan asennetaan 50*50 mm:n tipparima. Yleisesti ottaen on hyvä asentaa kulmarima myös reunoille, minkä alapuolelle tehdään täyttöjä, sillä täyttöjä tehdessä kaivinkoneen kauhan

osuessa reunaan se murtuu isolta alueelta, jos kulmaa ei ole viistetty. Sillan telineiden ja muotin tekemiseen tarvitaan neljä rakennusammattimiestä ja muotin tekemiseen menee yleensä aikaa noin neljä viikkoa.

4.3 Raudoitus

Raudoitukseen on InfraRYL määrittänyt vaatimuksia kohdissa InfraRYL 41112 ja InfraRYL 42020.3.3, joita on noudatettava raudoitusta tehdessä. Betoniterästen laatu- ja lujuusluokkavaatimus on A500 HW. Betoniteräkset eivät saa olla suorassa kosketuksissa ruostumattomiin tai haponkestäviin teräsosiin (panosputket, tippaputket, pintavesikaivot yms.).

Raudoittajat raudoittavat muotin. Muottiin menee noin 100 000 kiloa rautaa riippuen sillan muottityypistä sekä sillan leveydestä ja pituudesta. Raudoituksena käytetään harjaterästä. Harjateräskoot vaihtelevat välillä 12–32 mm riippuen raudoitteen tarkoituksesta. Pääteräkset ovat suurimpia ja ne ottavat suurimman osan vedosta. Sillan keskiosuudella käytetään hakasia. Hakaset asennetaan sillan poikittaissuuntaisesti ja ne sidotaan pitkittäisraudoitukseen. Hakasten koko vaihtelee välillä 12–16 mm, riippuen siltatyyppistä. Reunapalkissa käytetään 12 mm harjateräksiä hakasina. Siltaan asennetaan hakasia, pitkittäis- sekä poikittaisteräksiä. Sillasta tehdään usein esijännitetty. Raudoituksen tekeminen kestää noin viikon verran.

4.4 Tuplaus

Raudoitusten jälkeen muotti tuplataan eli tehdään muotin sisäpinnat reunapalkkiin sekä siipimuureihin. Siipimuurien osalta tehdään 50*100 pystykoolaus K300 jaolla sekä vaakakoolaus 50*100 lankusta. Sisäpuolelle asennetaan 20*100 lauta. Näkyviin osiin asennetaan 20*20 kulmarima. Reunapalkin kohdalle asennetaan joka kolmanteen pystykoolauslankkuun pukki. Pukki valmistetaan 50*100 lankusta sekä 20*100 laudasta. Pukin alareunaan asennetaan kaksi 50*100 lankkua sillan pituus suuntaisesti. Lankun yläkulmaan asennetaan 20*100 kulmarima.

Muotti sidotaan 12 mm alumiinitangoilla, jotta se ei pääse leviämään valun aikana betonin aiheuttamasta paineesta. Alumiinitangot jäävät valun sisään. Sidontaan on mahdollista käyttää myös muovi- tai eterniittiputkiin sijoitettavia

terässiteitä (InfraRYL 42020.3.3.4). Terässiteitä käytettäessä, on terässiteet poistettava ja reiät tulpattava (tulpat betonin värisiä) tai injektoitava täyteen työn päätyttyä.

4.5 Betonointi

Betonointi tehdään tauoitta. Betonointiin ei saa tulla työsaumoja, kun betonointi aloitetaan, on se suoritettava loppuun asti. Ennen betonointia on tehtävä kaikki valmistelevat työt huolella, jotta betonointi onnistuu. Betonimassa on lujuudeltaan yleisesti K40-1 P30 (Pakkasenkestävyys). Sillan betonointi-nopeus on n. 25 m³/h. Näin ollen esimerkiksi 500 m³ valu kestää 20 tuntia. Betonoinnissa betonin tiivistämiseen käytetään sauvatäryttimiä sekä tärypalkkeja. Betonoinnin lopuksi pinta tulee hiertää ja peitellä. Tällöin valun kokonaisaika on yhteensä noin 30 tuntia.

Betonivalun sisään jäävien kuumasinkittyjen teräsosien (kontaktitapit) sinkitysten tulee olla ennen betonointia vähintään kahdeksan viikkoa vanhoja tai teräsosien on oltava oksidoituja sekä pintatiivistettyjä.

Tarvittaessa betonipinnat on suojattava töherryssuojauksella. Betonipintojen suojaamisessa on noudatettava SILKO-ohjeita 1.251. Käytettävän töherrystenestoaineen tulee olla Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymä (SILKO-ohje 3.251) uhrautuva töherryssuoja-aine.

5 SILLAN ALUSRAKENNE

5.1 Työnaikaiset tuennat

Työnaikaisten tukiseinien käyttö on tarpeellista lähes aina liikennöidylle raiteelle rakennettaessa riippumatta sen rakentamismenetelmästä. Kitkamaassa kaivanto voidaan tehdä Kv-tasolta 1,8 metrin päästä liikennöidyn raiteen keskeltä. Kaltevuutta 1:1,5 jyrkemmät luiskat tehdään raidevarauksen aikana tai käytetään tukiseiniä. Hienorakeisissa maalajeissa, kuten savi tai siltti, on radan stabiiliteetti varmistettava aina tapauskohtaisesti. Jos kivien tai muiden esteiden takia lyhyiksi jääneiden teräsponttien kohdalle jää aukkoja on ne tukittava välittömästi, kun kaivutyö etenee. Tukiseinänä voidaan useimmiten käyttää setti- tai teräsponttiseiniä. Rakennettaessa tukiseiniä erittäin tiiviiseen, kiviseen tai lohkareiseen maahan tukiseinätyyppi on ensisijaisesti settiseinä. Se rakennetaan noudattaen ohjetta ”Tuettujen kaivantojen suunnittelu, rakentaminen ja rakentamisen valvonta rautatiealueiden kaivantotöissä”. Jos halutaan käyttää teräsponttiseiniä, on valittava riittävän jäykkä ponttityyppi, jonka tulee kestää lyönti kiviseen maahan. Suunnitelmien mukaisen teräspontin upotussyvyyden saavuttaminen osoitetaan ATU:n ulkopuolella tehtävällä koeponnituksella.

Sivusta siirrettävissä silloissa tukiseinä sijoitetaan usein raiteiden väliin tai pölkyn päähän. Noin kolmen metrin kaivussyvyydellä pontteja ei yleensä lyödä ponttiin tukiseinän poiston helpottamiseksi. Seinään jääneet raot tiivistetään hitsaamalla teräslevyllä raot umpeen.

Työnaikana tehtävistä tuennoista on aina laadittava suunnitelma ja se on hyväksyttävä Ratahallintokeskuksella tai tämän valtuuttamalla organisaatiolla ennen töiden alkamista. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

5.2 Kuormitustapaukset

Rakennesuunnitelmassa huomioidaan rakentamistavasta aiheutuvat lopullisesta tilanteesta poikkeavat ja siihen vaikuttavat kuormat ja kuormitustapaukset. Rakentamismenetelmästä aiheutuvat kuormitukset huomioidaan laskelmissa. Laskelmissa esitetään työnaikaiset ja rakentamismenetelmästä aiheutuvat rasitukset, jotka kohdistuvat siltarakenteeseen.

5.2.1 Rasitukset työaikana

Siirtomenetelmällä rakennettavissa silloissa tarkastetaan sillan työnaikainen rasitustila. Siirron aikaisissa tarkasteluissa otetaan huomioon sillan koko poikkileikkaus sekä lisäksi reunapalkkien rasitustila.

Sillan siirron aikainen rasitustila hallitaan joko:

- tuntemalla siirronaikaiset tukireaktiot, jolloin niiden suuruudet ja sallitut poikkeamat ilmoitetaan suunnitelmassa
- tuntemalla siirron aikainen rakenteen geometria, jolloin suunnitelmassa tulee esittää sallitut muotopoikkeamat (siirtoratojen painumat).

Työn aikana silloissa sallitaan betonille teoreettista vetojännitystä $1,7 \cdot f_{ctk}$ (betonin vetolujuuden ominaisarvo). Työnaikaisten rasitusten ylittäessä sallitut arvot reunapalkissa voidaan se katkaista. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

5.2.2 Tukikorkopoikkeama

Siltakannen ja perustusten väliset raot täytetään teräksisillä täytelevyillä tai hitsaamalla rako umpeen siltakannen tuilleen laskemisen yhteydessä. Laskettaessa siltakansi suoraan tukien varaan, on laskelmissa otettava huomioon siltakannen ja tukikorkojen yhteensopimattomuudesta aiheutuvat rasitukset. Siltakannen mitoituksessa tuen korkopoikkeaman mitoitusarvoina käytetään

- sillan pituussuunnassa peräkkäisten tukilinjojen korkopoikkeama +/- 5 mm koko tukilinjalle

- sillan poikittaissuunnassa +/- 5 mm tukipistettä kohden jos tukilinja koostuu vain kahdesta tukipisteestä.
- tukilinjan koostuessa useammasta kuin kahdesta tukipisteestä mitoitetaan siltakansi +/- 2 mm tukipainaumalle (jokainen tukipiste erikseen). Jos sillan kuormista ei aiheudu mitoitettavalla tuella 2 mm:n painumaan, voidaan siltakansi mitoittaa ilman ko. tukea. Kiinnittäessä siltakansi jäykästi alusrakenteisiin on otettava huomioon tukikorkopoikkeaman rasituksiin vaikuttaviin kuormiin ainoastaan ennen liittämistä vaikuttavat kuormat
- tukipisteen koostuessa kahdesta vierekkäisestä kumilevy-laakerista ei näiden välillä oleteta olevan tukikorkopoikkeamaa.

Tukikorkopoikkeaman tuottama sillan tukireaktioiden epätasainen jakautuminen alusrakenteille ja laakereille selvitetään tapauskohtaisesti. Tukikorkopoikkeaman aiheuttamana kuormituksena voidaan käyttää +/- 50 % siltakannen omapainon aiheuttamasta tukireaktiosta, jos ei tehdä tärkeämpiä selvityksiä.

Tukikorkopoikkeama on pysyvä, pitkäaikainen kuorma, jonka osavarmuuskertoimena murtorajatilassa käytetään kerrointa 1,2. Tukikorkopoikkeaman aiheuttamien voimasuureiden laskennassa käytetään kimmokerrointa 15000 MN/m². (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

5.2.3 Työtavan aiheuttamat kuormitukset

Laskettaessa siltakansi laakerittoman tuen (esim. teräsputkipaalu) varaan, käytetään tukireaktion epäkeskisyytenä $e_t = d/2$, missä d = tuen leveys tarkasteltavassa suunnassa. Epäkeskisyyttä ei käytetä kuormille, jotka vaikuttavat ennen siltakannen liittämistä perustuksiin (juotosvalu, täytehitsaus). Liittämisen jälkeisille kuormille käytetään arvoa $e_t = 0$.

Kiinnittäessä siltakansi jäykästi perustuksiin otetaan huomioon kiinnittämisajankohdan sekä kiinnittämisen aikaisen rasitustilan vaikutus alusrakenteiden, liitoksen sekä kansirakenteen kuormituksiin. Laskelmissa voidaan normaalisti otaksua, että siltakansi siirretään 28 vuorokauden kuluttua valusta. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

5.3 Paalutus

Paalutustyössä noudatetaan soveltuvin osin Sillanrakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia (SYL). Valittavaan paalutyyppiin vaikuttavat ensisijaisesti rakennuspaikan pohjaolosuhteet sekä rakenteiden asettamat vaatimukset. Yleisimmin käytetty paalutyyppi sivusiirtona tehtävissä silloissa on teräsputkipaalu, joka lyödään liikennekatkojen aikana tai aukean tilan ulottuman (ATU) ulkopuolelle rautatieliikenteen lomassa. Jos alle 10 metrin syvyydestä löytyy hyvälaatuista kalliota, on myös porapaalutus kilpailukykyinen vaihtoehto teräsputkipaalulle.

Tehtäessä paalutustyöt raiteen Kv:n tasolta käytetään paalujen suunta-, sijainti- ja kaltevuuspoikkeamina normaalista sillanrakentamisesta poiketen vähintäänkin taulukon 1 arvoja. Poikkeamien vaikutus on otettava huomioon rakennelaskelmissa.

Taulukko 1. Paalujen sallitut suunta-, sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

Poikkeaman kohde	Mitoitusarvo
Teräsputkipaalut	
Paaluryhmän painopiste	+/- 100 mm
Kaltevuuspoikkeama, yksittäisen paalun poikkeama pystysuorasta tai kaltevasta suunnasta	+/- 5 % (+/-50 mm/m)
Kaltevuuspoikkeamien summa	+/- 2 % (+/- 20 mm/m)
Laskettaessa siltakansi paalujen varaan	
Yksittäisen paalun poikkeama tukilinjan korosta (tukilinjan paalujen korkojen keskiarvo)	+/- 2 mm
Tukilinjan poikkeama teoreettisesta korosta	+/- 5 mm
Porapaalut	
Kaltevuuspoikkeamien summa	+/- 1 % (+/- 10 mm/m)
Paaluryhmän painopiste	+/- 25 mm

Paalujen pienimmät keskiöetäisyydet on valittava siten, etteivät paalut vaikuta vähentävästi toistensa kantokykyyn, eivätkä lyötäessä vahingoita toisiaan. Paaluryhmässä yhdensuuntaisten paalujen vaippapintojen lyhin etäisyys määritetään yleensä seuraavan kaavan mukaan:

$$e_1 = 300 + 0,7d$$

e_1 = yhdensuuntaisten paalujen vaippapintojen lyhin etäisyys

d = paalun halkaisija [mm]

Vaikeissa pohjaolosuhteissa on syytä pidentää etäisyyksiä. Jos paalut ohjautuvat toisiinsa, esimerkiksi tehtäessä putkipaaluseiniä laatikkoperustuksia varten, voidaan edellä esitettyjä minimietäisyyksiä pienentää. Tällöin paalut lyödään yleensä kärjestä avoimina.

Paalujen kansirakenteeseen liittäminen suunnitellaan tapauskohtaisesti. Siihen vaikuttavat maaperäolosuhteet, rakenteen kokonaisvakavuus sekä käytössä olevan liikennekatkon pituus. Kansirakenteen tukeutuminen perustuksiin tulisi tehdä aina jäykästi, kun siihen on mahdollisuus. Jäykkäliitos toteutetaan useimmiten jälkivaluliitoksena. Liittäminen voidaan tehdä myös käyttämällä hitsausliitosta, mutta ainoastaan poikkeustapauksissa joihin vaaditaan rakennuttajan suostumus. Jos työtavasta tai rakenteellisesta syystä johtuen ei ole mahdollista käyttää jäykkää liitosta voidaan siinä käyttää laakerointia. Laakerointina käytetään joko kumipesälaakereita tai kumilevylaakereita.

Siirtomenetelmää käytettäessä siirrettävän rakenteen painolle ei ole ylärajaa. Suurikokoisissa silloissa voidaan käyttää useampaa kuin kahta siirtorataa. Suositeltava maksimisiirtopaino yhtä siirtorataa kohden on n. 300 tonnia, joskin käytössä on kalustoa, joilla kuorma voi olla huomattavasti suurempikin. Kun käytetään kolmea tai useampaa siirtorataa, on suurten pistekuormien aiheuttamien painumien vuoksi siirtoradat yleensä paalutettava. Siltojen siirtotöihin tulisi aina varata lisäksi varatunkkauskalusto. Kuvia paaluista on esitetty kuvassa 3. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)



Kuva 3. Maanrakennustöitä. Kuva: Destia Oy

5.4 Pohjarakennussuunnitelma

Pohjarakennussuunnitelma esitetään siltakohtaisen työselityksen pohjarakennusosassa, josta viitataan siltapiirustuksiin. Sillanrakentamisen yleisiin laatuvaatimuksiin (SYL) viitataan siltä osin kuin pohjarakennussuunnitelmaan sisältyvät asiat on siinä esitetty riittävän tarkasti. Kohteen pohjarakennussuunnitelmassa on esitettävä ainakin seuraavat asiat:

- yleinen työjärjestys
- paalutyypit ja paalujen koot
- paalujen tavoitetasot
- paalujen sallittu kantavuus
- sallitut sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat
- sallitut käyryydet
- paalutusjärjestys
- paalujen jatkaminen
- kalliokärkien, pohjalevyjen, kärkivahvistusten yms. varusteiden käyttö
- alustava loppulyöntiohje ja menettelytapa sen tarkistamiseksi
- paalutuskalusto ja siltä vaadittava tehokas paaluun siirtyvä lyöntienergia

- tehtävät koekuormitukset
- ohjeet kivisen ja lohkareisen täytemaan läpäisystä
- paalutuksen aiheuttamien siirtymien tarkkailu ja niiden estämiseen tarvittavat toimenpiteet
- ohjeet paalujen mahdollisen nousun tarkkailusta sekä alustavat ohjeet tarkistus- ja jälkilyönnistä
- ohjeet paalutuspöytäkirjan pitämisestä
- mahdollinen betonointi, betonin laatu, valutapa ja betonoinnin tarvittava raudoitus sekä tarkistusputkien käyttö ja sijoitus
- vaatimukset toteutumapiirustuksesta Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset, SYL 2 (TIEL 2210004)
- mahdolliset jälkitarkkailumittaukset.

5.5 Valvonta

Paalutustöiden valvonnassa noudatetaan soveltuvin osin Sillanrakennustöiden valvontaohjetta (TIEL 2220001 ja TIEL 2210002)

5.5.1 Asiantuntijavalvonta

Teräsputkipaalutuksen geotekninen suunnittelija suorittaa asiantuntijavalvontaa. Tämän tarkoituksena on paalujen ja paaluryhmien geoteknisen kantavuuden varmistaminen ja hyväksyminen. Rakennesuunnittelija tekee paalujen osalta asiantuntijavalvontaa. Tarkoituksena on paalujen ja paaluryhmien rakenteellisen kantavuuden varmistaminen ja hyväksyminen.

5.5.2 Työkohdevalvonta

Työkohteessa on rakennuttajan nimeämä paalutustöiden valvoja. Paalutustyön valvojan tehtävä on huolehtia, että paalutustyötä tehdään pohjarakennussuunnitelman sekä paalutustyösuunnitelman mukaisesti.

6 MAANRAKENNUS

6.1 Maalajit

Geoteknisen maalajiluokituksen maalajiryhmissä olevat päämaalajit ovat:

Eloperäisissä maalajeissa:	Turve (Tv)
	Lieju (Lj)
Hienorakeisissa maalajeissa:	Savi (Sa)
	Siltti (Si)
Karkearakeisissa maalajeissa:	Hiekka (Hk)
	Sora (Sr)
Moreenimaalajeissa:	Silttimoreeni (SiMr)
	Hiekkamoreeni (HkMr)
	Soramoreeni (SrMr)

Maalajin nimenmäärityspäätteitä ovat maalajissa olevan eloperäisen aineksen suhteellinen osuus sekä kivennäisaineksen lajitepitoisuudet. Kivennäismaalajit nimetään 60 (64) mm seulan läpäisseen aineksen mukaan. Kivien ja lohkareiden määrä ei kuitenkaan vaikuta varsinaiseen maalajinimeen. Kivisyys ja lohkareisuus ilmoitetaan ainakin tarvittaessa. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne. 1999.)

6.2 Kivisyys, lohkareisuus ja puisuus

Maalajien nimeäminen tapahtuu 60 (64) mm pienempien rakeiden lajitepitoisuuden perusteella. Käytännön tarpeita, erityisesti maalajien käyttöä ja kaivutöitä varten on kuitenkin hyödyllistä tietää maalajien kivisyys ja lohkareisuus sekä kantojen määrä. Tästä syystä kivisyys ja lohkareisuus ilmoitetaan tarvittaessa käyttämällä taulukoiden 2 ja 3 mukaisia nimityksiä ja lyhenteitä. Eloperäisen maan, lähinnä turpeen, puujätteen ja kantojen määrä arvioidaan tilavuusprosentteina ja ilmoitetaan tarvittaessa taulukon 4 mukaisin nimityksin ja lyhentein

Taulukko 2. maakerrosten kivisyys (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne. 1999.)

Nimitys	Lyhennys	Kivisyys,paino- % (>60...600mm)
Kivetön	Ki 1	≤10
Kivinen	Ki 2	>10...30
Runsaskivinen	Ki 3	>30

Taulukko 3. Maakerrosten lohkareisuus (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne. 1999.)

Nimitys	Lyhennys	Lohkareisuus, paino- % (>600mm)
Lohkareeton	Lo 1	≤10
Lohkareinen	Lo 2	>10...30
Runsaslohkareinen	Lo3	>30

Taulukko 4. Turvemaalajien puisuus (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne. 1999.)

Puisuus	Lyhennys	Kantojen ja puunjätteiden määrä, tilavuus- %
Puuton	Pu 1	≤10
Puinen	Pu 2	>10...30
Runsaspuinen	Pu 3	>30

Mikäli maakerroksessa on kiviä (60...600 mm) yli 50 %, kutsutaan maakerrostumaa kivikoksi (Ki). Vastaavasti maakerrostumaa, joka sisältää lohkareita (>600 mm) yli 50 %, kutsutaan louhikoksi (Lo). Kivistä soraa, jossa kiviä on 10..50 %, sanotaan toisinaan someroksi.

Kaivutöissä, maa-ainesten otossa sekä pohjatutkimuksissa syntyy toisinaan tilanteita, joissa pitäisi kyetä tunnistamaan maalajeja lähes pelkin näköhavainnoin. Soran, hiekan ja karkearakeisten moreenien tunnistamiseen riittääkin yleensä pelkkä näköhavainto, koska näissä maalajeissa maarakeet

ovat ainakin suurimmalta osin silmin havaittavia ja näin siis maan lajitepitoisuus on arvioitavissa. Hienorakeisissa maalajeissa erilliset maarakeet ovat harvoin pelkin silmin havaittavia. Näissä tapauksissa maalaji onkin pyrittävä tunnistamaan maalajin työtilanteessa käyttäytymisen perusteella tai yksinkertaisilla tunnistamiskokeilla. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen. 1999.)

6.3 Kaivuluokat

Joitakin erityistarpeita varten tarvitaan erityismaalajiluokituksia. Maankaivuominaisuuksien arviointia varten on kehitetty ns. kaivuluokitus, joka perustuu geotekniseen maalajiryhmittelyyn. Eniten kaivuluokituksessa ovat määräämässä: eloperäisissä maalajeissa puiisuus, hienorakeisissa maalajeissa raakoostumus ja leikkauslujuus, karkearakeisissa maalajeissa ja moreeneissa kivisyys, lohkaraisuus ja tiiviys eli kuivatilavuuspaino. Nämä luokitusperusteet löytyvät taulukosta 5.

Taulukko 5. Kaivuluokitusperusteet (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne. 1999.)

Maalaji-ryhmä	Kaivuluokka	Maalaji	Puisuus %	Kivisyys %	Lohkareisuus %	Kuivatilavuuspaino kN/m ³
E	E1	Liejut, muta	-			
	E2	Turpeet	<30			
	E3	Turpeet	>30			
H	H1	Savet				
	H2	Siltit				
	H3	Kuivakuoret				
K	K1	Hiekat				
	K2	Sorat		<30		
	K3	Somero Kivikko		30...50 >50		
M	M1	Löyhät, kivettömät tai kiviset moreenit		<30	<10	<19
	M2	Keskitiiviit, kivettömät tai kiviset moreenit Tiiviit moreenit Runsaskiviset		<30	<10	19...21
	M3	Lohkareiset ja runsaslohkareiset moreenit Louhikot		>30	<10 10...50 >50	>21

Maalajien ominaisuudet on usein jaettu kahteen pääryhmään:

- luokitusominaisuudet
- geotekniset ominaisuudet.

Luokitusominaisuuksilla kuvataan maalajien ja maakerrostumien niitä yleisiä ominaisuuksia, jotka kuvaavat maakerrostuman koostumusta ja rakennetta. Luokitusominaisuudet voidaan lähemmin jakaa maalajin koostumusta ja rakennetta koskeviin ryhmiin seuraavasti:

- koostumusominaisuudet
 - o raemuoto
 - o lajitepitoisuus
 - o humuspitoisuus
 - o kiintotiheys
- rakenneominaisuudet
 - o vesipitoisuus
 - o rakennetyypit
 - o tiiviys ja tiivistyminen
 - o plastisuus.

Maaperän ja maalajien geoteknisillä ominaisuuksilla tarkoitetaan ominaisuuksia, joilla on erityisesti merkitystä maakerrosten käyttäytymisessä rakennuspohjana ja maarakenteena. Tällaisia ominaisuuksia ovat (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne. 1999.):

- hydrauliset ominaisuudet
- routivuusominaisuudet
- lujuusominaisuudet
- painumis- ja muodonmuutosominaisuudet
- lämpötekniset ominaisuudet
- dynaamiset ominaisuudet.

6.4 Maalajien ominaisuudet erilaisissa maakerrostumissa

Usein osoittautuu aiheelliseksi kertoa maalajien maanrakennusominaisuuksista, jotka on otettava huomioon maanrakennustyömenetelmien valinnassa ja jotka vaikuttavat maanrakennuskoneiden suorituskykyyn ja työkustannuksiin. Leikkaustöitä on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Leikkaustöitä. Kuva: Destia Oy

6.4.1 Moreenimaalajit

Moreenikerrostuman ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen maa- ja pohjarakennustilanteissa vaikuttavat eniten kerrostuman tiiveys ja vesipitoisuus. Luonnontilaisen sora- ja hiekkamoreenin vesipitoisuus on luokkaa 5...15 %, kun taas silttimoreenin vesipitoisuus saattaa olla jopa 15...25 %. Moreenin leikkauslujuus, joka suurimmaksi osaksi muodostuu sisäisestä kitkasta, on luonnontilaisena tavallisesti suuri tai ainakin kohtalainen ja moreenimaaperän kokoonpuristuminen on varsin vähäistä. Tästä johtuen moreeni on usein rakennuspohjana hyvin kantava. Kuivana tai vähän kosteana moreenin kaivaminen on vaikeaa, mutta irrotettuna kuivaa moreenia on helppo kuormata ja kuljettaa. Tosin kuivan moreenin pölyäminen saattaa tuottaa hankaluuksia. Luonnostaan märkänä tai märissä olosuhteissa moreenin käsittely on usein vaikeaa sen sensitiivisyyden vuoksi, sillä märkä moreenipohja menettää helposti kantavuutensa, jos moreenipohjaan kohdistuu liikaa tärinää. Moreenia on yleisesti käytetty penger- ja täyttömateriaalina, jolloin tiivistäminen tulee suorittaa kutakuinkin optimivesipitoisuudessa. Jos moreeni on merkittävästi optimivesipitoisuuttaan märempää, käy moreenin tiivistäminen mahdottomaksi.

Moreeni on myös herkkä virtaavan veden eroosiovaikutukselle, mikä näkyy moreenipintaa pitkin virranneen veden synnyttäminä eroosioaurioina varsinkin moreeniluiskissa. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne. 1999.)

6.4.2 Karkearakeiset maalajit

Karkearakeiset maalajit ovat sekä rakennuspohjana että maanrakennusmateriaalina varsin hyviä. Leikkauslujuus, joka muodostuu ainoastaan sisäisestä kitkasta, on useimmiten riittävä. Karkearakeisten maakerrostumien kokoonpuristuminen, jos sitä esiintyy lainkaan, tapahtuu nopeasti rakennustyön kesto aikana. Maalajit ovat routimattomia ja vesipitoisuuden muutokset eivät usein synny merkittäviä muutoksia maan lujuudessa tai käyttäytymisessä. Karkearakeisia maalajeja on usein helppo irrottaa, kuormata, kuljettaa ja käsitellä. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne. 1999.)

6.4.3 Hienorakeiset maalajit

Hienorakeisten maalajimuodostumien ominaisuuksista tulee maa- ja pohjarakennustoiminnassa selvimmän esiin

- maan alhainen leikkauslujuus
- määrältään suuri mutta hidas konsolidaatiokokoonpuristuminen.

Nämä huomattavat ominaisuudet ovat seurausta monista muista hienorakeisille maalajeille tyypillisistä ominaisuuksista, joista tärkeimpinä ilmoitetaan

- suomuinen raemuoto
- maan kennomainen rakenne
- maassa usein esiintyvä eloperäinen aines
- suuri vesipitoisuus
- erittäin pieni vedenläpäisevyys
- leikkauslujuuden muodostuminen miltei pelkästään koheesiosta.

Hienorakeiset maalajimuodostumat ovat pääasiallisesti voimakkaasti routivia. Näille muodostumille on myös luonteenomaista suuri sensitiivisyys, mikä ominaisuus erityisesti vaikeuttaa kaivettavuutta, tiivistettävyyttä, kuljettavuutta ja läjitettävyyttä. Tämän takia hienorakeisia maalajeja ei usein voida käyttää maarakenteissa, ei edes penger- tai täyttömateriaalina. Hienorakeinen märkä maaperä menettää sensitiivisyytensä johdosta helposti kantavuutensa esimerkiksi työkoneiden tai kuljetuskaluston työskentelyalustana.

Esiintyessään kuivakuorikerroksena hienorakeinen maaperä saa märkään ja veden kyllästämään kerrostumaan verrattuna täysin toisenlaisia ominaisuuksia. Kuivakuorikerroksella on yleensä kohtalaisen suuri lujuus ja kantavuus eikä kuivakuorikerroksessa tapahdu merkittävää kokoonpuristumista. Käytännön rakentamisessa onkin syytä vältellä kuivakuorikerroksen poistamista tai rikkomista. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen. 1999.)

6.4.4 Eloperäiset maalajit

Tyypilliset eloperäiset maalajimuodostumat, turve-, lieju- ja ruokamultakerrostumat, ovat jo aineelliselta lähtökohdaltaan kivennäismaalajeista poikkeavia. Normaali piirre eloperäisille kerrostumille on niiden poikkeuksellisen suuri vesipitoisuus, jopa 300...1500 %. Tämä asia selittää osaltaan eloperäisten maalajien suuren kokoonpuristuvuuden, joka turpeella tapahtuu nopeasti kuormituksen alkuhetkinä. Turpeen leikkauslujuus on vähäinen ja suuruusluokaltaan vain 20 kN/m². Liejulla ja ruokamullalla leikkauslujuus on tätäkin pienempi. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen. 1999.)

6.5 Massakertoimet työvaiheissa

Eri työvaiheissa käytettäviä massakertoimia on kerrottu taulukossa 6.

Taulukko 6. Massakertoimet työvaiheissa (TS-Kortisto, Rek. no. 5012. 1977.)

Rakenne	Maalajit	Leikkauksesta rakenteeseen	Leikkauksesta kuljetusvälineeseen	Varamaan ottopaikasta rakenteeseen	Kuljetusvälineen lavalta rakenteeseen
Penger	Sa	-	1,70	-	-
	Si	1,05	1,60	0,95	0,65
	HHk	0,95	1,35	0,90	0,70
	Hk	0,95	1,30	0,90	0,75
	KHk	0,95	1,40	0,85	0,70
	Sr	0,90	1,30	0,80	0,70
	HkMr	1,05	1,50	0,95	0,70
Suodatin	Hk	0,85	1,30	0,80	0,65
Jakava	Sr	0,85	1,30	0,75	0,65
	MSr	-	-	-	0,65
Kantava	Sr	0,85	1,30	0,75	0,65
	MSr	-	-	-	0,70
	M	1,25	1,90	1,20	0,65

6.6 Kaivuluokat työvaiheissa

Kaivinkoneiden työsaavutuksia eri kaivuluokissa on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Kaivinkoneiden työsaavutukset eri kaivuluokissa (TS-Kortisto, Rek. no. 6025. 1982.)

KKH (tn)	A	B	C	D
30	162	153	141	125
22	132	124	112	96
20	126	118	104	89

Materiaalitiedot:

A= HkSr, Hk, Si, märkä Sa, Lj, Mu ja Tv

Kaivuluokat E1-E3, H1, H2 ja K1

B= Lajittuneet kiviset maalajit

Kaivuluokka K2 tai A + routaa 40 cm

C= Kuiva Sa, SiMr ja HkMr

Kaivuluokat H3, M1 ja M2 tai B + routaa 40–50 cm

D= Pohjamoreeni, Lo ja lohkarainen Mr

Kaivuluokat M2 ja M3 tai C + routaa 50–60 cm

6.7 Automaatio

Sana automaatio johtaa kreikan kielen sanasta Automatos. Sanalla automaatio tarkoitetaan laitteen tai järjestelmän itsestään liikkumista. Erilaisia automaatio järjestelmiä on kehitetty yli 40 vuoden ajan. 1960- luvun puolivälissä tuli markkinoille ensimmäiset järjestelmät. Nämä olivat jäykästi toistavia geometrisiä ratoja (robottigeneraatio). Toisessa vaiheessa tulivat ohjelmoitavat järjestelmät ja kolmannessa vaiheessa aistivat robotit. Tällä hetkellä on menossa neljäs kehitysvaihe. Neljännessä kehitysvaiheessa robotteja pyritään ohjelmoimaan älykkääseen toimintaan, joustavuuteen ja ihmisten kanssa vuorovaikutukseen pystyviksi.

Informaatiotekniikassa automaatio on yksi sen osa-alue. Aluksi tämä käsitettiin suppeasti yksittäisen koneen tai laitteen liikkumista itsestään. Nykyisin automaatio merkitsee informaatiotekniikan toimintaprosessien integroimista keskenään. Se kohdistuu entistä tehokkaampaan yhteistoimintaan kokonaisvaltaisen soveltamisen avulla.

Infrarakentamiseen tarjoutuu suuria kehittymismahdollisuuksia kokonaisvaltaisen automaation avulla. Tällä kehityksellä on mahdollisuus saavuttaa suuria taloudellisia hyötyjä rakennustyön toimijoiden sekä myös koko yhteiskunnan mittakaavassa.

6.7.1 Työkoneautomaatio

Tietyömailla kaivinkoneelle kertyy eniten tunteja, koska sitä käytetään yleiskoneena. Kaivinkoneen pääasiallisina tehtävinä ovat kaivu- ja kuormaustyöt, mutta siihen on saatavana laaja valikoima lisälaitteita joita se voi käyttää työskennellessä. Tela-alustaista kaivinkonetta käytetään pohjatöissä, koska sillä on hyvä kantavuus huonoissakin olosuhteissa. Pyörä-alustainen puolestaan vaatii hyvin kantavan alustan työskenneläkseen, mutta sillä on parempi siirtymisnopeus paikasta toiseen. Kauhoista yleisin käytössä oleva on kuokkakauha. Nykyisin käytetään myös paljon pyörivää kauhaa, jonka etuna on se että pystytään työskentelemään tarkkaan kaivettavissa paikoissa siirtämättä kaivinkonetta.

Työkoneautomaatiossa hyödynnetään 3D-ohjausjärjestelmiä. Työmaalla työkoneet ovat varustettu anturijärjestelmällä, paikannuslaitteilla ja tietokoneilla, joissa on käytössä digitaalinen suunnitelmatieto. Koneenkuljettaja näkee työkoneessa olevalta näytöltä kolmiulotteisen toteutusmallin sekä työkoneen reaaliaikaisen sijainnin. Tästä johtuen maastoon ei tarvitse tehdä minkäänlaisia merkintöjä. Työkoneautomaatiossa parhaat hyödyt saavutetaan, kun kaikki työkoneet on varustettu ja kaikki työvaiheet tehdään automaatiolla.

Kaivinkoneissa käytetään opastavaa järjestelmää, joka toimii tarkennetun satelliittipaikannuksen avulla. Opastavassa järjestelmässä kuljettaja itse ohjaa työkoneita saamansa suunnitelma- ja paikkatiedon avulla. Järjestelmä kertoo työkoneen sijainnin noin tuuman tarkkuudella. Edellytyksenä on, että työmaalla on korjaussignaalia lähettävä tukiasema. Ilman tätä järjestelmää tarkkuus olisi kymmeniä metrejä. Jotta koneen ohjaus onnistuu opastavalla koneohjausjärjestelmällä, täytyy siinä olla asennettuna työkoneen sisäinen paikannus, ulkoinen paikannus ja ohjausjärjestelmä. Lisäksi ohjaava koneohjausjärjestelmä vaatii koneen osien säätöjärjestelmän.

Jotta automaatio tekniikka pystyttäisiin hyödyntämään sivusiirtokohteissa, olisi poistettavaan maa-alueeseen suoritettava mittavat pohjatutkimukset. Lisäksi materiaali pitäisi olla helposti muokattavissa, sillä sillan perusta joudutaan paaluttamaan katkonaikana ja nämä paalut pitäisi saada näkyviin 3D malliin, jotta automaatiota voitaisiin hyödyntää. Sivusiirtokohteissa on yleisesti ottaen

ahtaat tilat toimia, joten tarpeellisten laitteiden sijoittaminen työmaalle on haasteellista. Maankaivutöitä on suhteellisen vähän ja työkoneita yleensä 2-4, joten järjestelmän hankkiminen tulisi suhteellisen kalliiksi. Hyötyä olisi se, että voitaisiin saavuttaa suurempi työteho muun muassa sillä, että automaatiassa syntyy kerralla valmista jälkeä, eikä sitä tarvitse käydä uudelleen viimeistelemässä.

Yksi suomalaisista kaivukoneiden ohjausjärjestelmien kehittäjistä on Axiomatic Technologies Oy. Yritys käyttää kehitystyötään uusinta teknologiaa eli CANOpenantureita ja -väyliä. Yritys käyttää työssään myös suomalaisten valmistamia kiihdytysantureita. Yrityksen valmistama BPS-järjestelmä on kuljettajaa ohjaava ja avustava kaivusvyöryjärjestelmä. Toinen merkittävä suomalainen kaivukoneiden ohjausjärjestelmävalmistaja on Novatron Oy, joka on saavuttanut merkittävän markkina-aseman kansainvälisillä markkinoilla.

7 TYÖMAAN TYÖTURVALLISUUS

Sähköistetyllä radalla ja sen läheisyydessä työskentelevien henkilöiden tulee olla perehdytetty sähköratajärjestelmään. Rautatiealueella työskentely ilman RHK:n lupaa on kielletty.

Työtä varten on laadittava erillinen työturvallisuusasiakirja. Työntekijöiden tulee käyttää standardin SFS-EN 471 mukaista, CE-merkittyä, vähintään luokan kaksi varoitusvaatetusta. Työmaan liikennejärjestelyistä ja töiden järjestelyistä on laadittava suunnitelma InfraRYL 42001.8 mukaisesti. (RHK Turvallisuusohjeita sähköradalle. 2008.)

7.1 Sähkörata

Siltapaikalla olevien johtojen ja putkien sijainti on selvitettävä ennen töiden aloittamista ja tehtävä tarvittavat väliaikaiset siirto- ja/tai suojaustoimenpiteet. Kaikissa sähkörataan kuuluvissa johtimissa ja niitä kannattavissa kääntöorsissa on 25 000 voltin jännite, joka on hengenvaarallinen. Sähköradan jännitteisiin osiin on säilytettävä kahden metrin turvaetäisyys. Tämä etäisyys on arvioitava, sitä ei pidä ryhtyä mittaamaan. Huomioitavaa ovat sillat ja tunnelit, joiden ajolangan korkeudet ovat alle kuusi metriä, koska se aiheuttaa rajoituksia työskentelyyn ratajohdon alapuolella. Paikat, joissa ajolanka on alla kuuden metrin korkeudessa, on merkitty punavalkoisin kilvin sähköratapylväisiin.

Sähköeristetyillä radoilla on vältettävä käyttämästä pitkiä sähköä johtavia työvälineitä. Varovaisuutta on erityisesti noudatettava kiskojen, teräslankojen sekä -mittanauhojen käytössä. Jos tällaisia välineitä on kuitenkin käytettävä, on huomioitava pienin työskentelyetäisyys. Nämä työvälineet eivät saa missään työn vaiheessa tai siirrettäessä niitä ulottua kahta metriä lähemmäksi jännitteisiä osia. (RHK Turvallisuusohjeita sähköradalle. 2008.)

7.2 Työmaadoitus

Jos työtehtävän suorittaminen ei onnistu alittamatta pienintä sallittua työskentelyetäisyyttä, on työturvallisuus varmistettava jännitekatkomenettelyllä. Jännitekatkon periaatteena on se, että työskentelyalueeseen vaikuttava ajojohdin erotetaan jännitteestä. Tämä toimenpide suoritetaan usein sähköradan käyttökeskuksen toimesta. Työalue suojataan molemmin puolin sijoitelluilla pää- ja työmaadoituksilla, joilla estetään johtimien jännitteiseksi tuleminen työaikana. Työmaadoituksen saa ainoastaan suorittaa tehtävään riittävästi opastettu sähköalan ammattilainen, joka käyttää siihen virallisesti hyväksytyjä maadoitusvälineitä. Maadoitus tehdään aina RHK:n tai sen valtuuttaman organisaation hyväksymän suunnitelman mukaisesti. (RHK Turvallisuusohjeita sähköradalle. 2008.)

8 LAADUNHALLINTA

Yleensä siltaurakoissa käytetään Tiehallinnon luokittelemia siltaurakoitsijoita, jolloin urakoitsijoilta edellytetään arvioitua Tiehallinnon hyväksymää laatupolitiikkaa ja laatujärjestelmä sekä työn vaatavuutta vastaavaa suorituskykyä ja luotettavuutta sekä kokemusta rautatieympäristöstä. Myös RHK voi luokitella aliurakoitsijoita sekä siltaurakoitsijoita vaatavuusryhmiin ja tehdä muutoksia näiden luokitteluryhmien välillä. Sillan urakkaohjelmissa määritellään kyseisen siltaurakan edellyttämä vaatimustaso ja urakointimenettelytapa. Siltaurakoitsijoiden tai siltaurakan toteutusta valvovan organisaation pätevyys kuten koulutus, kokemus, siltapätevyys ja ammattitaito on osoitettava RHK:n hyväksymällä tavalla.

Urakoitsijan on laadittava jokaisesta siltatyöstä vaatimusten ja ohjeiden mukainen sillan laaturaportti. Urakan valmistuttua urakoitsijan luovuttaa sillan laaturaportin tilaajan valvojalla. Valvoja tarkastaa sen ja allekirjoitettuaan laaturaportin toimittaa sen arkistoitavaksi rakennuttajalle eli sillan omistajalle. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

8.1 Laadunvarmistus

Valmiin sillan ja rakennustyön hyvän laadun edellytyksiä ja laadunvarmistuksen keinoja ovat

- yksityiskohtaiset ja laadukkaat pysyvien rakenteiden suunnitelmat
- selkeät ja yksityiskohtaiset tuotantosunnitelmat
- jatkuva laadun ohjaus
- laaduntarkastus työvaiheittain
- laaturaportointi.

8.2 Tekniset työsuunnitelmat

Työsuunnitelmissa on oltava RKH:n hyväksyntä ennen kuin työt voidaan aloittaa. Teknisissä työsuunnitelmissa on yksityiskohtaisesti esitettävä

- tarkat aikataulut kaikista raidevarauksia vaativista työvaiheista
- varajärjestelmien suunnitelmat ja niiden käyttö
- käytettävät resurssit ja työkapasiteetit

- työtavat, -järjestys ja -vaiheet
- työaikataulu
- noudatettavat vaatimukset ja ohjeet.

Tekniseen työsuunnitelmaan liitetään lisäksi mm. terveydelle vaarallisten aineiden suomenkieliset käyttöohjeet, tuoteselosteet sekä käyttöturvallisuustiedotteet. Työsuunnitelma toimitetaan tilaajan edustajalle vähintään viikkoa ennen työn aloittamista, ellei ole annettu tarkentavia vaatimuksia. Jos työsuunnitelmassa poiketaan sillan rakennussuunnitelmasta, toimitetaan suunnitelma tilaajalle hyväksyttäväksi kaksi viikkoa ennen työn aloittamista. Suunnitelmassa on esitettävä miltä osin poiketaan suunnitelman vaatimuksista.

Liikennöitävällä raiteella lyhyillä liikennekatkoilla tehtävissä rakennustoissa laaditaan työsuunnitelma, jossa esitetään:

- työvaiheet
- tuntiaikataulu massamääriin ja työsaavutukseen perustuen, mistä käy ilmi kriittinen polku
- kaluston määrä ja sijoittelu
- massojen siirrot.

Ellei suunnitelma-asiakirjoissa mainita toisin, laaditaan erilliset työsuunnitelmat ainakin seuraavista töistä:

- kaivannot
- räjäytys- ja louhintatyöt
- täytöt perustusten alla
- työnaikaiset padot
- paalutustyöt
- lopullinen kannen siirtosuunnitelma perustamistapoineen, sivusiirto- ja pystytunkkaussuunnitelmineen sekä siirtoradan rakenteiden kapasiteetilaskelmat
- paalutustyön työtelineet ja työkoneet
- uivan kaluston käyttö
- työnaikaiset pysyviksi tarkoitetut tukiseinät
- työnaikainen pohjavedenpinnan alennus.

Kaikki kaivu- ja tuentasuunnitelmat on esitettävä työvaiheittain ja niiden tulee perustua tehtyihin laskelmiin. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

8.3 Aikataulu

Suunnittelijan tehtävänä on laatia kaikki työvaiheet ja niiden mahdolliset riippuvuussuhteet sisältävä työaikataulu, jonka mukaisesti tehtynä työn tulisi onnistua liikennekatkon aikana. Työaikataulu esitetään jana-muodossa. Tarkoituksena työaikataululla on varmistua siitä, että kaikki työvaiheet ehditään tekemään niille varatulla liikennekatkolla. Työvaiheiden ohjeellisia kestoja on esitetty kohdassa 9.4. Aikataulussa on erityisesti kiinnitettävä huomiota yhtäaikaisesti työskentelevien työkoneiden määriin, niin etteivät ne ole toistensa tiellä vaan mahtuvat työskentelemään suunnitelman mukaisesti. Myös jälkivalujen sitoutumiselle on varattava riittävästi aikaa ennen betonin sitoutumista häiritsevien työvaiheiden aloittamista. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

8.4 Siirtomenetelmään liittyviä työvaiheita ja niiden kestoja

Alla on lueteltu yleisimpiä siirtomenetelmään liittyviä työvaiheita sekä niiden ohjeellisia kestoja.

Jännitekatko ja raiteen purku

- | | |
|------------------------------|-------------|
| - jännitekatko | 15-30 min |
| - raiteen purku: | |
| o elementteinä | 1 h / raide |
| o kiskot ja pölkyt erikseen. | 2 h / raide |

Paalujen katkaisu

- | | |
|--|----------------|
| - teräsputkipaalun katkaisu polttoleikkaamalla ja leikkauspinnan hionta. | 30 min / paalu |
|--|----------------|

Katkaisuaikeisiin vaikuttavia asioita ovat paalun sisäpinnalla olevat betoniroiskeet, vaippa ei kanna kuormia tai paalu on vinossa.

Betonoitavat rakenteet

- laakeripalkkien kuorielementtien asennus
ja tukeminen 1 h 30 min / kpl
- laakeripalkkien raudoitus 30 min / kpl
- laakeripalkkien betonointi. 30 min / kpl

Betonin lujuudenkehitys riippuu lämpövuorokausista sekä betonointitöihin vaikuttaa tehdäänkö työt talviolioissa.

Hitsattavat rakenteet

- hitsausliitosten teko, käytettävänä menetelmänä puikkohitsaus:
 - o yksittäinen piensauma $a=5\text{mm}$ 4,0 jm / h
 - o läpihitsaus $t=10\text{ mm}$, juurituki n. 6 palkoa 0,75 jm / h
 - o läpihitsaus $t=15\text{ mm}$, juurituki n. 14 palkoa. 0,25 jm / h

Hitsaustehoon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. vesisade, kova tuuli, ahdas työtila, pystysauma ja lankahitsausmenetelmä

Hitsausliitoksia tehtäessä on otettava huomioon lämmöntuotto kohteeseen sekä, että kahden hitsarin välillä on välimatkaa vähintään 2,5-3 metriä.

Siirtoratojen asennus ja tuenta

- murskapeti maanvaraiselle siirtoradalle 12 min / jm
- siirtoradan paalujen katkaisu 18 min / jm
- putkipaaluihin tukeutuvien kannattimien
asennus 1 h / paalu
- elementtilaattojen ja siirtopalkkien asennus. 1 h / siirtorata

Sillan siirto ja asennus

- sillan siirto (siirtomatka n. 10 m) 1 h 30 min
- lasku tuilleen ja tukireaktioiden säätö 6 min / tuki
- jarrutapin asennus. 30 min / tuki

Kannen ja putkipaalun liitos

- jälkivaluliitos 48 min / paalu
- hitsausliitos. 1-4 h / paalu

Routasuojaustyöt

- massanvaihdon täyttö ja tiivistys 50 m³tr/h/pääty
- kevytsorabetonivalu aputöineen 10 m³ / h
- lämmöneristelevyn asennus tasaus-
kierroksineen. 80 m² / h

Siirtymälaattojen asennus

- elementtien asennus (b=1 m, m=5000 kg) 24 min / kpl
- saumaus ja vesieristys. 1 h / pääty

Täyttö ja tiivistystyöt

- penkereen täyttö ja tiivistys. 50 m³tr/h/pääty

Raiteen rakentaminen

kannen sepelöinti:

- kannen sepelöinti pölkkyjen alapintaan 50 jm / raide / h
- loppusepelöinti. 50 jm / raide / h

Raiteiden asennus:

- ratapölkkyt ja kiskot elementteinä. 50 jm / raide / h

ratapölkkyt ja kiskot asennetaan:

- erikseen 25 jm / raide / h
- raiteen tukeminen. 50 jm / raide / h

(RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

9 EXCEL-OHJELMAN OHJEET

Tätä työtä varten kehitettiin Excel-työkalu, joka on tarkoitettu sivusta siirrettävän rautatiesillan vaatimien maankaivu- ja maansiirtotyövaiheiden keston ja tarvittavien kapasiteettien määrittämistä varten. Ohjelma antaa työhön tarvittavien kaivinkoneiden sekä kuorma-autojen määrän, kun kaivettavien kuutioiden määrä sekä sillan siirtoon varatun liikennekatkon pituus tiedetään. Laskennassa käytettävät arvot ja kaavat ovat otettu TS (tien tekeminen tiensuunnittelu) korteista 5012 sekä 6025. Laskennassa käytettyjä arvoja voi tarvittaessa muuttaa. Käyttäjä syöttää kohteen arvoja vain valkoisiin laatikoihin. Muut kentät ovat lukittuja. Ohjelmassa määritetään K3 kapasiteettia. Kuvassa 5 on yleiskuva ohjelmasta.

Liikennekatko	<input type="text" value="9"/>	h	
Kaivutöiden kesto	<input type="text" value="5,14"/>	h	Konekapasiteetti on riittävä
Täyttötöiden kesto	<input type="text" value="3,30"/>	h	

Siirtokatkon aikana suoritettavat kaivut			
Kaivut	<input type="text" value="1370"/>	m ³ ktr	<input type="text" value="1918"/>
Sepeliä	<input type="text" value="150"/>	m ³ ktr	<input type="text" value="330"/>

Siirtokatkon aikana suoritettavat täytöt ja tiivistykset			
Täyttömaat	<input type="text" value="339"/>	m ³ itd	<input type="text" value="522"/>
Sepeliä	<input type="text" value="120"/>	m ³ itd	<input type="text" value="267"/>

Maalajiluokitus	<input type="text" value="KHK"/>	Kaivut	<input type="text" value="Sr"/>	Täyttö	<input type="text" value="1,5m"/>	Täyttökorkeus	<input type="text" value="1,5m"/>	
KKH	Kääntökulma	Nostokorkeus	Varmuuskerroin	Paino	Kaivuluokka	Kapasiteetti	KA matka(km)	KA määrä
1	<input type="text" value="120°"/>	<input type="text" value="6m"/>	<input type="text" value="20 %"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="C"/>	152,00 m ³ itd/h	<input type="text" value="1,00"/>	4
2	<input type="text" value="120°"/>	<input type="text" value="6m"/>	<input type="text" value="20 %"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="C"/>	109,25 m ³ itd/h	<input type="text" value="1,00"/>	3
3	<input type="text" value="120°"/>	<input type="text" value="4m"/>	<input type="text" value="20 %"/>	<input type="text" value="21"/>	<input type="text" value="C"/>	88,00 m ³ itd/h	<input type="text" value="1,00"/>	2
4	<input type="text" value="120°"/>	<input type="text" value="4m"/>	<input type="text" value="20 %"/>	<input type="text" value="21"/>	<input type="text" value="C"/>	88,00 m ³ itd/h	<input type="text" value="1,00"/>	2
5	<input type="text" value="180°"/>	<input type="text" value="2m"/>	<input type="text" value="0 %"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	m ³ itd/h	<input type="text" value="1,00"/>	
Yhteensä						437,25 m ³ itd/h		11

Kuva 5. Excel-työkalu.

9.1 Liikennekatkon pituus

Kuvassa 6 on esitetty kolme eri kohtaa, Liikennekatko, kaivutöiden kesto sekä täyttötöiden kesto. Käyttäjä syöttää liikekatkon pituuden. Pituus syötetään tunteina, jonka tilaaja on määrittänyt. Tunnit ovat kymmenjärjestelmässä. kaivutöiden keston ja täyttötöiden keston käyttäjän ei tarvitse syöttää mitään, sillä ohjelma laskee muiden lähtötietojen perusteella näihin kohtiin arvot. Ohjelma tarkastaa ehditäänkö konetyöt tekemään katkon aikana. Jos konetyöt pystytään tekemään laskennallisen ajan puitteissa, tulostuu sivustalle teksti ”Konekapasiteetti on riittävä”. Jos konetöihin kuluva aika on pidempi mitä liikennekatkon pituus, tulostuu teksti punaisella ”Konekapasiteetti ei ole riittävä”.

Liikennekatko	<input type="text" value="9"/>	h
Kaivutöiden kesto	<input type="text" value="5,14"/>	h
Täyttötöiden kesto	<input type="text" value="3,30"/>	h

Konekapasiteetti on riittävä

Kuva 6. Liikennekatkon pituus.

9.2 Kaivutyöt

Kuvassa 7 määritetään leikattavien maamassojen määrä. Käyttäjä syöttää valkoisiin laatikoihin kaivettavat massamäärät. Ylempään laatikkoon tulee maasta kaivettavat massat kuutioina (m^3ktr) ja alempaan laatikkoon laitetaan kaivettava sepeli määrä kuutioina (m^3ktr). Sepelimäärällä tarkoitetaan junaradankohdalla olevien sepeleiden leikkausta. Ohjelma laskee itse massamäärät irtokuutioina viereisiin laatikoihin (m^3itd), joita se hyödyntää kaivutöiden keston määrittämiseen.

Siirtokatkon aikana suoritettavat kaivut				
Kaivut	<input type="text" value="1370"/>	m^3ktr	<input type="text" value="1918"/>	m^3itd
Sepeliä	<input type="text" value="150"/>	m^3ktr	<input type="text" value="330"/>	m^3itd

Kuva 7. Siirtokatkon aikana suoritettavat työt.

9.3 Täyttötöyt

Kuvassa 8 määritetään täytettävien maamassojen määrä. Käyttäjä syöttää valkoisiin laatikoihin täyttömaiden massamäärät irtokuutioina. Ylempään laatikkoon tulee maahan täytetyt massat kuutioina (m^3itd) ja alempaan laatikkoon laitetaan täytettävä määrä sepeliä kuutioina (m^3itd). Ohjelma laskee itse massamäärät rakennetilavuutena viereisiin laatikoihin (m^3rtr), joita se hyödyntää kaivutöiden keston määrittämiseen.

Siirtokatkon aikana suoritettavat täytöt ja tiivistykset				
Täyttömaat	<input type="text" value="339"/>	m^3itd	<input type="text" value="522"/>	m^3rtr
Sepeliä	<input type="text" value="120"/>	m^3itd	<input type="text" value="267"/>	m^3rtr

Kuva 8. Siirtokatkon aikana suoritettavat täytöt ja tiivistykset.

9.4 Kapasiteetit

Kuvassa 9 käyttäjä määrittelee kapasiteettitiedot. Käyttäjä valitsee ensimmäisenä maalajiluokituksen. Kaivu- ja täyttötöille on omat alaseto-avali- kot. Kaivutöissä valittavana olevat maalajit ovat seuraavat Sa (Savi), Si (Siltti), HHK (Hieno hiekka), Hk (Hiekka), KHK (Karkea hiekka), Sr (Sora), HkMr (Hiekkamoreeni). Täyttötöissä maalajit ovat: Sr (Sora), MSr (Murskesora) M (Murske). Ohjelma käyttää näitä tietoja hyödyksi laskiessaan täyttö ja kaivutöiden määriä (m³itd). Samalta riviltä valitaan myös täyttökori- keus. Vaihtoehtoina ovat 1 metri, 1,5 metriä sekä 2 metriä. Täyttötöiden korkeus vaikuttaa täyttötöiden keston. Yksi metri lisää yhdentunnin aikaa täyttötöiden keston.

Maalajiluokitus	Maalajiluokitus	Maalajiluokitus	Maalajiluokitus	Maalajiluokitus	Maalajiluokitus	Maalajiluokitus	Maalajiluokitus	Maalajiluokitus	Maalajiluokitus
	KHK		MSr		1,5m				
KKH	Kääntökulma	Nostokorkeus	Varmuuskerroin	Paino	Kaivuluokka	Kapasiteetti	KA matka(km)	KA määrä	
1	120°	6m	20 %	45	C	152,00 m ³ itd/h	1,00	4	
2	120°	6m	20 %	30	C	109,25 m ³ itd/h	1,00	3	
3	120°	4m	20 %	21	C	88,00 m ³ itd/h	1,00	2	
4	120°	4m	20 %	21	C	88,00 m ³ itd/h	1,00	2	
5	180°	2m	0 %		-	m ³ itd/h			
Yhteensä						437,25 m ³ itd/h		11	

Kuva 9. Kapasiteettitiedot.

KKH sarakkeeseen on laitettu viisi eri kaivinkonetta, jotka on numeroitu 1-5. Kaivu on mahdollista tehdä maksimissa viiden kaivinkoneyhdistelmällä. Kuitenkaan kaikkia viittä kaivinkonetta ei tarvitse valita käytettäväksi. Kääntökulma sarakkeessa käyttäjä valitsee oletetun astemäärän minkä kaivinkone joutuu kääntymään siirtäessään maita kuorma-auton. Kääntökulmat ovat väliltä 60 °, 90 °, 120 °, 150 ° sekä 180 °. Kääntökulma vaikuttaa kaivinkoneen tyotehoon eli kapasiteettiin.

Nostokorkeus tarkoittaa korkeutta joka on mitattuna kaivannon pohjalta kuorma-auton lavalle. Nostokorkeudet ovat metreinä ja vaihtoehtoina ovat 2 m, 4 m tai 6 m. Nostokorkeus vaikuttaa myös kaivinkoneen kapasiteettiin.

Varmuuskerroin on lisäkerroin, jolla voidaan muuttaa kaivinkoneen kapasiteettia. Sitä voidaan käyttää, jos on esimerkiksi haastava maasto, paljon paaluja joiden ympäriltä joudutaan kaivamaan ja täyttämään tai jokin muu seikka, joka vaikuttaa kaivinkoneen kapasiteettiin. Kertoimilla pienennetään kapasiteettia. Valittavia vaihtoehtoja ovat 0 %, 5 %, 10 %, 15 % tai 20 %.

Paino- ja kaivuluokkasarakkeet. Käyttäjä syöttää kaivinkoneen painon painosarakkeeseen tonneina. Painosarakkeen avulla ohjelma laskee kyseiselle koneelle kapasiteetin. Jokaiselle painolle on oma toimintakapasiteetti. Kaivuluokkasarakkeessa on alaseto-ohjain, josta käyttäjä valitsee kaivettavan maan käyttöluokan. Kaivuluokkia ovat A, B, C ja D.

A-luokkaan sisältyvät seuraavat maalajit: hkSr, Hk, märkä Sa, Lj (lieju), Mu (muta), Tv (turve). Kaivuluokat: E1-E3 (eloperäiset maalajit), H1, H2 (hienorakeiset maalajit) ja K1 (karkearakeiset maalajit).

B-luokkaan sisältyvät lajittuneet kiviset maalajit. Kaivuluokka K2 tai A + routaa 40c m.

C-luokkaan sisältyvät seuraavat maalajit: Kuiva Sa, SiMr (silttimoreeni), HkMr (hiekkamoreeni). Kaivuluokat H3, M1 (Moreenimaalajit) ja M2 tai B + routaa 40-50 cm.

C-luokkaan sisältyvät seuraavat maalajit: Pohjamoreeni, Lo (Louhikko) ja lohkarainen Mr. Kaivuluokat M2 ja M3 tai C + routaa 50-60 cm.

Kokonaiskapasiteetti muodostuu edellä syötetyistä tiedoista. Kapasiteetin yksikkö on irtokuutiota/tunti (m³/h). Sarakkeen loppuun muodostuu kapasiteettien yhteismäärä, jonka avulla ohjelma laskee kaivu- ja täyttötöiden keston tunteina.

Kuorma-auto matkakilometrit (KA matka km) sarakkeeseen merkitään kuinka pitkälle kaivettavat maat viedään työmaalta. Syötettävä tieto on kilometreinä, jossa voi käyttää kahta desimaalia esim. 0,25 km. Tämän tiedon avulla ohjelma laskee seuraavaan sarakkeeseen kuorma-autojen määrän, niin ettei kaivinkoneen tarvitse odottaa seuraavaa autoa ollenkaan. Oletuksena on että kuorma-auton lavan tilavuus on 10 m³. Ohjelma ilmoittaa tarvittavien kuorma-autojen määrän.

10 YHTEENVETO

Työ tehtiin auttamaan sivusiirrettäviin ratasiltoihin liittyvää tarjouslaskentaa sekä työvaiheiden kestojen pituuksien arvioimiseen. Tutustuimme eri menetelmiin mitä voidaan hyödyntää sivusiirroissa. Haastattelimme useita eri henkilöitä liittyen sivustasiirrettävien siltojen valvontaan, suunnitteluun sekä toteutukseen. Kyselimme haastateltavilta yleistietoja sivusiirto projekteihin liittyen sekä mahdollisia ominaisuuksia mitä Excel-pohjaisen ohjelman tulisi sisältää.

Pidimme kuukausipalavereita, joissa kävimme läpi työn etenemistä. Palavereissa testasimme Excel-sovellusta ja kehitimme sitä. Alkuvaiheessa sovellus muutti ulkonäköä moneen otteeseen mutta loppuvaiheessa hienosäädimme vain tietoja. Lopputuloksena saimme toimivan Excel-sovelluksen, joka on tarkoitus ottaa tarjouslaskennan aputyökaluksi.

Jatkossa Excel-sovellusta voisi kehittää niin, että sitä voitaisiin käyttää muissakin siltakohteissa. Ohjelmaan voisi myös tehdä lisäsovelluksen, jossa voidaan muuttaa kuorma-auton lavakokoa.

LÄHTEET

1. InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. Rakennustieto Oy Rati.
2. Heikkilä Rauno & Jaakkola Mika. 2005. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Helsinki: Tiehallinto
3. Rantamäki Martti, Jääskeläinen Raimo & Tamminne Markku. 1999. Geotekniikka. Helsinki: Otatieto.
4. Rautatiesiltojen yleiset laatuvaatimukset. 2006. Helsinki: Ratahallintokeskus.
5. RHK Turvallisuusohjeita sähköradalle. 2008. Helsinki: Ratahallintokeskus.
6. RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999. VR Kirjapaino.
7. Siltojen korjausohjeet (SILKO).Helsinki: Tiehallinto.
8. TS-Kortisto, Rek. no. 5008-5013. 1977. TVH/Rrt.
9. TS-Kortisto, Rek. no. 6025. 1982. TVH/Rrt.