



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SANTERI SAINIO
RATAPENKEREEN PAINUMIEN HALLINTA

Kandidaatintyö

TIIVISTELMÄ

SANTERI SAINIO: Ratapenkereen painumien hallinta
Tampereen teknillinen yliopisto
Kandidaatintyö, 28 sivua
Joulukuu 2018
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Yhdyskuntatekniikka

Avainsanat: pohjanvahvistus, painumat, rautatie, perustamistavat

Työn tavoitteena oli listata erilaisia perustamistapoja, joilla voidaan hallita tai vähentää painumia radanrakentamisen näkökulmasta. Työn aluksi esitellään lyhyesti painumateoria ja ratarakenne.

Seuraavaksi työssä esitellään lyhyesti yleisesti käytetyt perustamistavat: paalulaatta ja paaluhattu, esikuormitus, pystyöjitus, massanvaihto, syvästabilointi, pengerkevennys ja lujitteet. Lisäksi arvioidaan näiden sopivuutta ja kustannuksia radanrakentamisen näkökulmasta.

Toinen luku käsittelee esimerkkikohdetta, Suurisuon rataoikaisua, noin kolme kilometriä pitkää pehmeälle maapohjalle rakennettua rataosuutta. Esimerkkikohteen pohjaolosuhteet ja käytetyt perustamistavat esitellään. Radan kunnossapitäjien haastattelujen mukaan rataoikaisun perustukset onnistuivat hyvin, sillä liikennöintiä haittaavia painumia on ilmaantunut vain yhteen paikkaan rataoikaisulla.

ABSTRACT

SANTERI SAINIO: Settlement management of railway embankments

Tampere University of Technology

Bachelor of Science Thesis, 28 pages

December 2018

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Community development

Keywords: subgrade reinforcement, settlements, railway, foundation methods

The aim of this thesis was to list common foundation methods used to manage or reduce the settlements of railroads. In the first chapter the settlement theory and the railroad structure are presented briefly.

Next the thesis introduces the common foundation methods: pileslab and pilehat, preloading, vertical drainage, mass exchange, deep stabilization, embankment lightening and reinforcements. The basics of the methods are presented and their suitability and costs in railroad construction estimated.

The third chapter consists of an example a railroad built on soft ground. The Suurisuo rail shortcut was built in Iitti between 2008 and 2010. Various foundation methods were used in the construction of the railroad. Soil conditions and foundation methods used are presented in the thesis. According to the railway's manager, the foundations have worked as planned and almost no harmful settlements have occurred since the construction of the railway.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	PAINUMAT JA RATARAKENNEVIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.	
2.1	Painumat.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
2.2	Ratarakenne	4
2.3	Perustamistavat.....	6
2.3.1	Paalulaatta ja paaluhattu.....	6
2.3.2	Esikuormitus	7
2.3.3	Pystyjoitus	9
2.3.4	Massanvaihto.....	11
2.3.5	Syvästabilointi.....	11
2.3.6	Pengerkevennys.....	13
2.3.7	Lujitteet	13
3.	SUURISUON RATAOIKKAISU	15
3.1	Pohjaolosuhteet	15
3.2	Kunnossapito.....	20
4.	YHTEENVETO	22
	LÄHTEET.....	23

1. JOHDANTO

Kaupungistumisen myötä joukkoliikenteen osuus ihmisten liikkumismuotona lisääntyy tulevaisuudessa. Myös ilmastonmuutoksen hillitseminen aiheuttaa painetta suosia entistä enemmän ilmastoystävällisiä liikennemuotoja. Rautatieliikenne pystyy vastaamaan näihin tarpeisiin sekä henkilö- että tavaraliikenteessä.

Radan rakentaminen on hyvin kallista johtuen ratarakenteen tiukoista laatuvaatimuksista. Suomen oloissa haastavat keli- ja pohjaolosuhteet vaikeuttavat osaltaan rakentamista. Radan pohjarakenteen routamitoitus edellyttää paksuja rakenteita.

Tässä työssä esitellään aluksi rautatierakenteen vaatimukset. Maanvaraisesti perustetun ratarakenteen painumista voidaan ehkäistä erilaisilla rakennevahvistuksilla, jotka esitellään tässä työssä. Perustamistapojen esittelyssä käytetty tutkimustapa on kirjallisuusselvitys. Kirjallisuustutkimuksen perusteella esitellään yleisimmät tavat vahvistaa pohjamaata.

Esikuormituksella voidaan nopeuttaa pohjamaan painumista jo ennen varsinaista radan rakentamista. Esikuormitus on muihin perustamistapoihin verrattuna edullinen ratkaisu, jota on kuitenkin käytetty Suomessa viimeisten vuosikymmenien aikana vähän. Tässä työssä tarkastellaan Suurisuon rataoikaisua Iitissä, missä haastavien pohjaolosuhteiden takia käytettiin useita perustamistapoja.

Suurisuon rataoikaisu rakennettiin vuosina 2008-2010 huonosti kantavalle pohjamaalle. Tämän työn viimeisessä luvussa esitellään rataoikaisun pohjaolosuhteet, ja rataoikaisussa käytetyt perustamistavat. Käytettyjen menetelmien onnistumista arvioidaan radan kunnossapitäjien haastattelujen perusteella.

2. PAINUMAT JA RATARAKENNE

Maanvaraisen rakenteen, kuten ratapenkereen, perustamisen perusvaatimukset ovat:

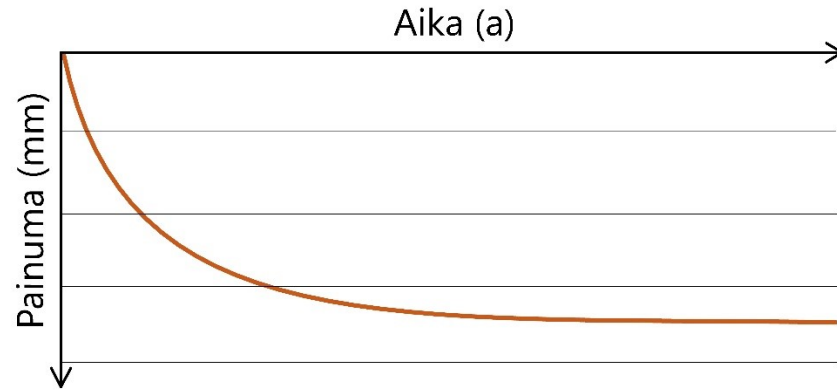
- riittävä varmuus penkereen sortumaa ja heikosta vakavuudesta aiheutuvia siirtymiä vastaan
- yhteensopivuus muiden rakenteiden, kuten siltojen kanssa
- painumien säilyminen hyväksyttävissä rajoissa

2.1 Painumat

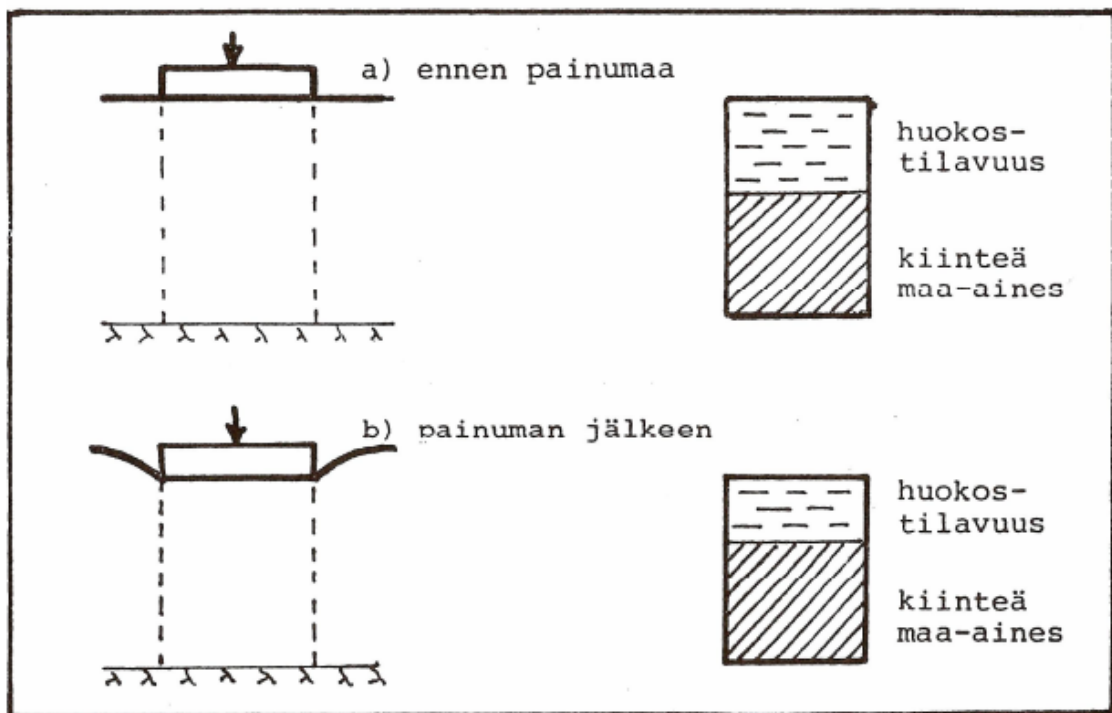
Painumalla tarkoitetaan maan tilavuuden pienenemistä. Painuma aiheutuu rakenteen maahan kohdistamasta kuormituksesta tai muutoksista pohjamaassa. Maanvaraisen rakenteen painuman katsotaan aiheutuvan neljästä painumalajista, jotka ovat alkupainuma, konsolidaatiopainuma, sivusiirtymien aiheuttama painuma ja sekundääri- eli jälkipainuma. Näistä painumalajeista alkupainuma ja konsolidaatiopainuma ovat yleensä merkittävimmät.

Alkupainuma aiheutuu maapohjan kuormituksen aiheuttamasta leikkausmuodonmuutoksesta. Maa-alkion kokonaistilavuus ei muutu alkupainuman aikana. Alkupainumaa kutsutaankin kimmoiseksi painumaksi, koska se palautuu osittain tai kokonaan, kun kuormitus poistetaan. Alkupainuma tapahtuu nopeasti jo rakentamisen aikana, eikä sillä ole rakentamisessa usein suurta merkitystä, sillä rakenteet ehtivät mukautua rakennustöiden aikana tapahtuvaan alkupainumaan. (Rantamäki et al. 1979, s. 207)

Konsolidaatiopainumalla tarkoitetaan hienorakeisen pohjamaan tiivistymistä. Konsolidaatiopainuma johtuu siis maapohjan tilavuuden pienenemisestä. (Rantamäki et al. 1979, s. 209) Tiivistymisen seurauksena maan huokostilavuus ja vesipitoisuus pienenevät kuvassa 2 esitetyn mukaisesti. Hienorakeinen maaperä on usein veden kyllästämää. Jotta konsolidaatiopainuma pääsee syntymään, pitää maan huokosissa olevan veden päästä purkautumaan. Hienojakoinen maa on huonosti vettä johtavaa, minkä vuoksi veden purkautuminen on hyvin hidasta. Täten konsolidaatiopainuminenkin tapahtuu hitaasti, jopa vuosien kuluessa. Konsolidaatiopainuman painumisnopeus on suurin painuman alkaessa, ja se pienenee ajan kuluessa kuvan 1 mukaisesti. Toisaalta konsolidaatiopainuminen saattaa olla varsin runsasta, kun maakerroksen vesipitoisuus on suuri. (Rantamäki et al. 1979, s. 209–210)



Kuva 1. Esimerkki painuman aikariippuvuudesta



Kuva 2. Konsolidaatiopainuman muodostuminen (Rantamäki et al. 1979, s. 210)

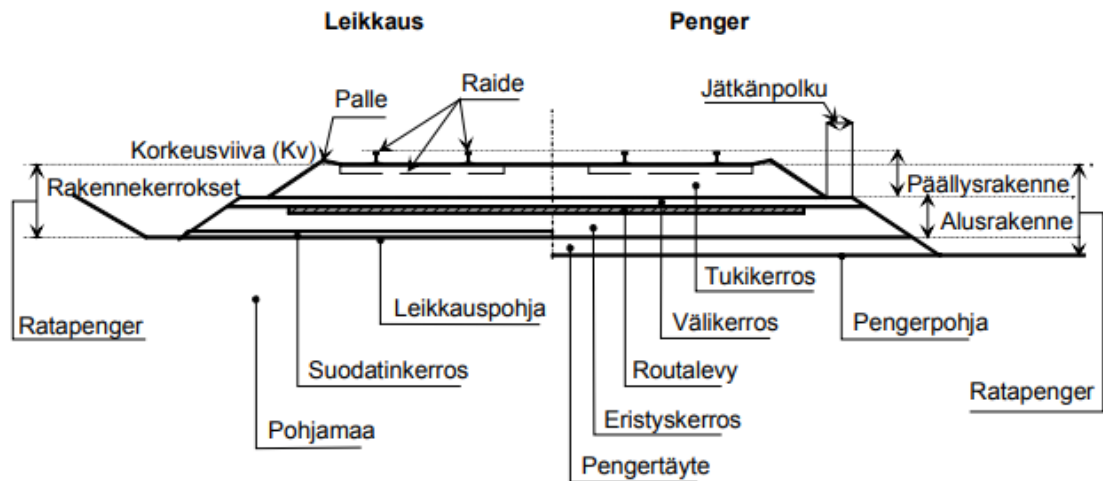
Painuman suuruuteen vaikuttavista tekijöistä keskeisimpiä ovat rakenteen alla olevien kokoonpuristuvien maakerrosten kokonaispaksuuden ja osakerrosten paksuuksien sekä niiden kokoonpuristuvuusominaisuuksien vaihtelut (Rantamäki et al. 1979, s. 230). Tällainen maaperän ominaisuuksien ja siten painumien suuruuksien vaihtelu aiheuttaa epätasaista painumaa. Epätasainen painuma on erityisen haitallista rakentamisen näkökulmasta, sillä se aiheuttaa kuormituksia rakenteisiin. Etenkin radanrakentamisessa rakenteen tiukoista laatuvaatimuksista ja rakenteen pitkän käyttöiän vuoksi epätasainen painuma on haitallista, ja siitä pyritään pääsemään eroon erilaisilla perustamistavoilla.

Pohjamaan painuma- ja muut ominaisuudet selvitetään pohjatutkimuksilla ennen rakentamista. Junarataa suunniteltaessa pohjamaan mahdollinen painuminen tarkistetaan aina

(Tiehallinto 2001a, s. 40). Käytettävät pohjatutkimusmenetelmät ja pohjatutkimusten määrä valitaan kohdekohtaisesti niin, että tutkimusten kustannukset ja tutkimuksista saatava hyöty optimoidaan. Pohjatutkimustietojen perusteella tehdään painumalaskelmat, joilla lasketaan odotettavissa olevien painumien suuruus sekä vaihtelu ja painumiin kuuluva aika. Riittävän laaja ja luotettava pohjatutkimustieto on tärkein apuväline, kun perustamistapaa valitaan. Painumalaskelmien tulosten käytössä on kuitenkin huomioitava tuloksien epätarkkuus.

2.2 Ratarakenne

Junaradan rakenne koostuu raiteesta, jolla junat kulkevat, ja raiteen alle rakennettavista alus- ja päällysrakenteesta. Raide on tuettu alapäin ratapölkkyillä. Ratapölkkyjä pitää paikallaan päällyys- ja alusrakenteesta koostuva ratapenger, joka ottaa vastaan junan aiheuttamat kuormat ja välittää ne pohjamaahan. Alusrakenteen tehtävä on myös estää tai pienentää alla olevien maakerrosten routimisesta aiheutuvat muodonmuutokset. Radan rakenneosat on esitetty kuvassa 3. Penkereen perustamistavan valinnassa perusvaatimukset ovat riittävä varmuus penkereen sortumaa vastaan, painumien pysyminen hyväksyttävissä rajoissa ja yhteensopivuus muiden rakenteiden, kuten siltojen, kanssa. (RATO 3, s. 10)



Kuva 3. Radan rakenneosat (RATO 3, s. 8)

Kaikki rataan liittyvät alus- ja pohjarakenteet luokitellaan joko hyvin vaativiksi tai vaativiksi pohjarakennuskohteiksi. Pehmeiköille perustettavat ratapenkereet ja -kaivannot luetaan aina hyvin vaativiksi kohteiksi. Radan alusrakenteiden suunnittelu edellyttääkin aina geoteknistä erityisosaamista. Uuden radan alusrakenteen ja mahdollisten pohjanvahvistus- ja pohjarakenteiden käyttöikävaatimus on 100 vuotta. (RATO 3, s. 10)

Maanvaraisesti perustettava rata on aina mitoitettava niin, että rakenteiden painumat ja siirtymät ovat käyttöikävaatimus huomioon ottaen radan turvallisen liikennöinnin kannalta riittävän pienet. Radan alusrakenneluokat on jaettu viiteen luokkaan radan sallitun liikennöinti nopeuden mukaan niin, että suurimman nopeuden radoilla alusrakenteen vaatimukset ovat tiukimmat. Alusrakenneluokkien jako on esitetty taulukossa 1. Sallitut pysyvät tasaisen kokonaispainuman arvot sadan vuoden ajalla ovat radan alusrakenneluokan ja painuma-ajan mukaan 100...800 mm. Pituuskaltevuuden muutoksen enimmäisarvot ovat välillä 0,1...0,4 % ja sivuttaiskaltevuuden muutoksen enimmäisarvot 0,2...0,8 % (taulukko 2). (RATO 3, s. 15)

Taulukko 1. Ratarakenteen alusrakenneluokat (RATO 3, s. 15)

Alusrakenne- luokka	Henkilöliikenteen suurin sallitu nopeus (km/h)	Tavaraliikenteen suurin sallittu no- peus 225 kN akseli- painolla (km/h)	Tavaraliikenteen suurin sallittu no- peus 250 kN akseli- painolla (km/h)
0	≤ 50	≤ 40	≤ 40
1	≤ 120	≤ 100	≤ 60
2	≤ 200	≤ 100	≤ 80
3	≤ 250	≤ 120	≤ 100
4	> 250	> 120	> 100

Taulukko 2. Tasaisen kokonaispainuman sekä pituus- ja sivuttaiskaltevuuden muutoksen enimmäisarvot (RATO 3, s. 15)

Radan alus- rakenne- luokka	Painuma-aika 100 vuotta	0–2 vuoden aikana tapahtuva painuma		2–9 vuoden aikana tapahtuva painuma	
		Pituus- kaltevuuden muutos (%)	Sivuttais- kaltevuuden muutos (%)	Pituus- kaltevuuden muutos (%)	Sivuttais- kaltevuuden muutos (%)
0	800	0,4	0,8	0,4	0,8
1	800	0,3	0,6	0,3	0,6
2	500	0,2	0,4	0,2	0,4
3	300	0,15	0,3	0,15	0,3
4	100	0,1	0,2	0,1	0,2

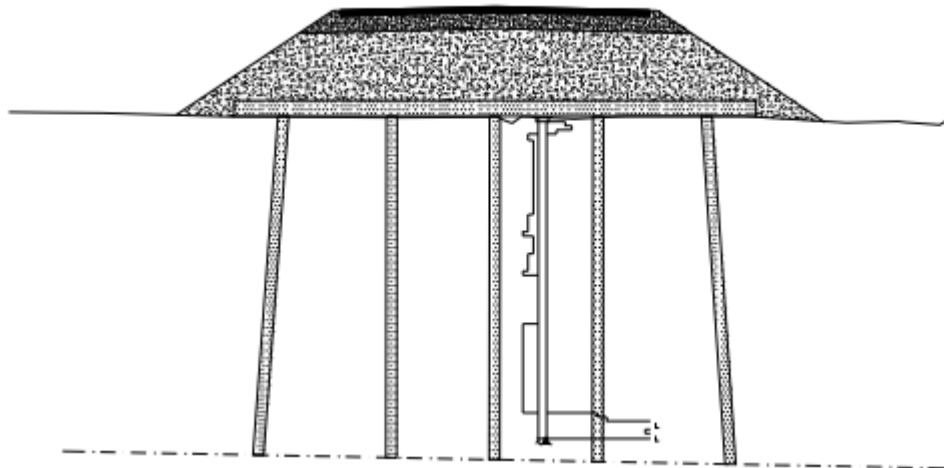
2.3 Perustamistavat

Pohjamaan ominaisuuksien niin salliessa voidaan rakenteet perustaa maanvaraisena ilman erikoistoimenpiteitä. Pehmeillä pohjamailla penkereen stabiliteetti voi kuitenkin olla liian pieni tai käytönaikaiset painumat liian suuria, jolloin pohjamaan ominaisuuksia tulee parantaa. Maanvaraisesti rakennettavan radan tai muun liikenneväylän pohjamaan lujuusominaisuuksia voidaan parantaa eri tavoilla. Tässä luvussa esitellään erilaisia perustamistapoja, joilla pohjamaan haitallista painumista voidaan ehkäistä.

2.3.1 Paalulaatta ja paaluhattu

Paalulaattaperustus on paaluihin perustuva rakenne, jossa ratapenkereen kuorma siirretään yhtenäisen teräsbetonilaatan välityksellä paaluille ja paaluilla kantaville maakerroksille tai kalliolle (Infra RYL 2010, s. 71). Laatan päälle rakennetaan maa-aineksesta pengerrakenne. Paalulaattarakenteen poikkileikkaus on kuvassa 1.

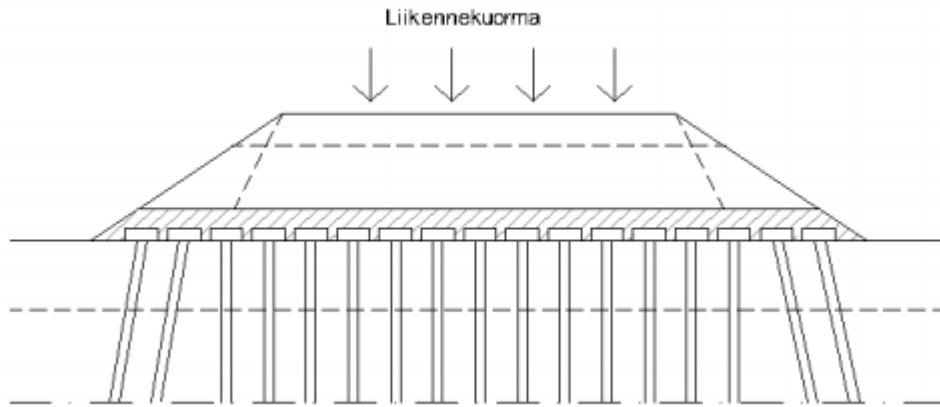
Paalulaatta- ja paaluhatturakenteiden tyypillisiä käyttökohteita ovat sellaiset paikat, joissa pehmeiden maakerrosten paksuus on liian suuri massanvaihdolle. Paalujen oletetaan useimmiten tunkeutuvan heijarikairauksen päätymissyvyyteen asti. Paalulaattarakenteita käytetään usein siirtymärakenteina paaluilla perustettavien siltojen yhteydessä. (Liikennevirasto 2014a, s. 32) Paaluilla perustettu ratapenger suunnitellaan ja rakennetaan siten, että sen painumat ja siirtymät ovat rakenteen kannalta merkityksettömän pienet.



Kuva 1. Paalulaattarakenne (Liikennevirasto 2014a, s. 32)

Paaluhatturakenne koostuu erillisistä paaluilla perustetuista paaluhatuista. Paaluhattujen päälle rakennetaan kuormaa jakava kerros, ja tämän kerroksen päälle muut penkereen rakennekerrokset. Kuvassa 2 on paaluhatturakenteen poikkileikkaus. Paaluhatturakennetta voidaan käyttää kiinteillä pehmeiköillä, joissa pehmeän maakerroksen leikkauslujuus on tarpeeksi suuri estämään pengermateriaalin valumisen paaluhattujen välistä, sekä

tukemaan paaluja ja paaluhattuja rakentamisen ja rakenteen käyttöaikana. Ratarakenteessa paaluhattuja käytetään vain nykyisten paaluhatturakenteiden korjaamiseen tai laajentamiseen. (Tiehallinto 2014b, s. 15)

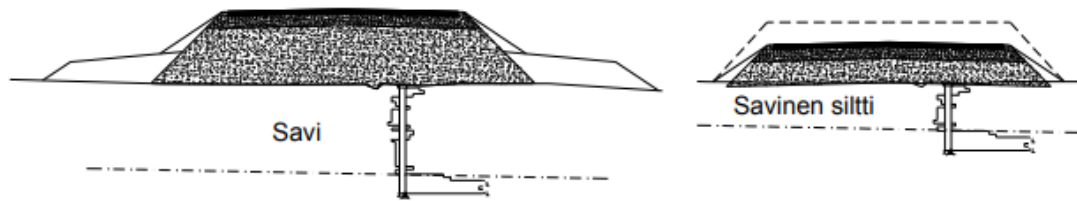


Kuva 2. Paaluhatturakenne (Tiehallinto 2014b, s. 15)

Paalulaatta- ja paaluhatturakenteet ovat rakennuskustannuksiltaan kalliita menetelmiä. Paalulaattarakenteessa laatan osuus kustannuksista on yleensä suurempi kuin paalujen. Paalulaatan kokonaiskustannuksiksi voidaan ratarakentamisessa karkeasti arvioida 5000 € / raidemetri (Oldén 2010, s. 67). Paalulaatta on perustamistavoista kallein, mutta painumien ehkäisyyn kannalta paras, sillä se poistaa käytönaikaiset painumat kokonaan.

2.3.2 Esikuormitus

Esikuormituksessa tulevan rakenteen paikalle rakennetaan pengeri, jonka tarkoituksena on aiheuttaa pohjamaan painumat jo ennen varsinaisen ratapenkereen rakentamista, tai pienentää rakenteen käytönaikaisia painumia. Esikuormitusta käytettäessä kiinnitetään erityistä huomiota pohjamaan painumaominaisuuksien selvittämiseen pohjatutkimusten avulla, jotta esikuormituksen tehokkuus voidaan arvioida. Varsinkin ylipengertä käytettäessä tarvitaan tarkat lujuustiedot, jotta ylipenger voidaan mitoittaa optimaalisesti. Maakerrosten painumaominaisuudet selvitetään ödometrikokeilla, jolloin pystytään arvioimaan tulevan painuman suuruutta ja painumanopeutta. Erityisesti huomiota on kiinnitettävä pohjamaan painumaominaisuuksien vaihteluun, mikä saattaa aiheuttaa epätasaista painumaa. (Liikennevirasto 2014a, s. 21) Epätasainen painuma aiheuttaa kuormituksia rakenteisiin, mikä voi johtaa rakenteen vaurioitumiseen.



Kuva 3. Vasta- ja ylipenger (Liikennevirasto 2014a, s.21)

Erilaisia esikuormitusmenetelmiä ovat (Liikennevirasto 2014a, s. 21):

- penkereen rakentaminen lopulliseen korkeuteensa hyvissä ajoin ennen rakenteen ottamista liikenteelle
- penkereen korottaminen em. tasoon vaiheittain vakavuuden pitämiseksi riittävänä (vain siltti- ja siltti-alueilla)
- penkereen kuormittaminen lopullista pengerkorkeutta suuremmalla kuormalla eli ylipenkereellä ennen rakenteen ottamista liikenteelle (kuva 3)

Esikuormituspenkeri rakennetaan yleensä materiaalista, jota voidaan käyttää ylipenkereen poiston jälkeen ratarakenteen rakennekerroksissa. Rakenteen osaksi jäävä esikuormituspenkereen osa tehdään lopullisen rakenneosan vaatimusten mukaisesti. Esikuormituspenkereen saa purkaa tai rakentaa lopulliseen muotoon, kun penkereen painuma ja painumisnopeus ovat suunnitellulla alueella. (Infra RYL 2010, s. 267) Pohjamaan painumisen seuraamiseksi esikuormituspenkereeseen voidaan asentaa painumahavaintotankoja, joiden avulla painuman kehittymistä voidaan tarkkailla.

Esikuormitukselle on laadittava riittävän väljä aikataulu, jotta esim. työnaikaiset yllättävät viivytykset eivät aiheuta ongelmia. Esikuormituspenkerettä suunniteltaessa on otettava huomioon kondolisaatiopainuman tapahtumiseen kuluva aika. Esikuormitusta ei myöskään tule lopettaa heti, kun se laskelmien mukaan olisi mahdollista, koska painuminen voi jatkua vielä ylipenkereen poiston jälkeen. On tapauksia, joissa painuma ei ole pysähtynyt ylipenkereen poiston tai pengervevennyksen jälkeen, ja rakenteet ovat epäonnistuneet, vaikka laskelmat on tehty luotettavien lähtötietojen pohjalta. (Liikennevirasto 2014a, s. 23)

Esikuormituspenkeri on siis rakennettava jo paljon ennen radan rakentamista, mikä pitää huomioida rakentamisen aikataulua suunniteltaessa. Esikuormituksen heikkoutena onkin sen vaatima pitkä aika. Esikuormituspenkereen hinnaksi voidaan arvioida saatavilla olevista materiaaleista riippuen 50 €/raidemetri, joten kyseessä on rakennusmateriaaleiltaan halpa menetelmä (Oldén 2010, s. 67).

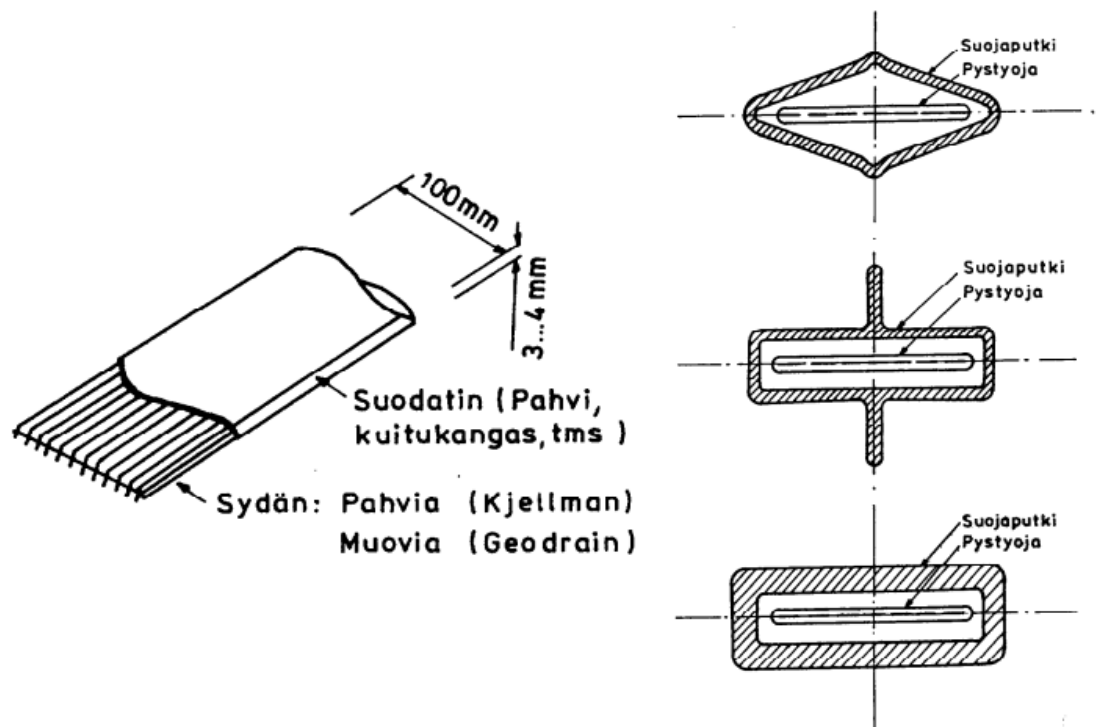
Esikuormituksen yhteydessä saatetaan joutua rakentamaan vastapenkereitä, mikäli ylipenkereen vakavuus eli stabiliteetti ei ole riittävällä tasolla. Vastapenkereitä voidaan tarvita myös valmiin ratapenkereen stabiliteetin parantamiseen. Vastapenger rakennetaan

varsinaisen penkereen sivuille kuvan 3 mukaisesti. Vastapenger parantaa penkereen vakavuutta toimimalla vastapainona penkereen painolle. Vastapengerin rakentaminen on halpaa, sillä sen rakentamiseen käyvät huonolaatuisetkin maamassat. Vastapengerin vaikutus painumiin on yleensä hyvin pieni. (Liikennevirasto 2014a, s. 20)

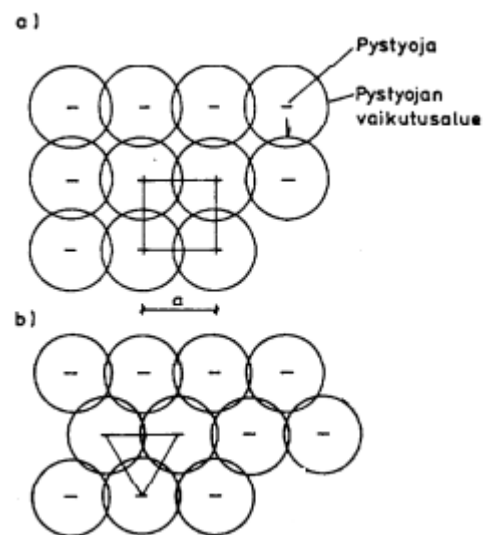
2.3.3 Pystyöjitus

Esikuormituksen yhteydessä konsolidaatiopainumaan tarvittavaa aikaa voidaan lyhentää käyttämällä pystyöjitusta. Painuman nopeuttaminen tulee kyseeseen erityisesti hitaasti konsolidoituvilla maalajeilla. (Infra RYL 2010, s. 89) Pystyöjituksessa rakennetaan nauhamaisia ojia (kuva 4), joiden avulla maahuokosista purkautuva vesi johdetaan maan pinnalle hyvin vettä johtavaan ojituskerrokseen (kuva 6). Pystyöjituksen avulla huokosvesi pääsee purkautumaan maakerroksista nopeammin kuin luonnollista reittiä pitkin. Pystyöjat rakennetaan kuvan 5 mukaisesti neliö- tai kolmioverkkoon. Pystyöjituksen avulla konsolidaatiopainumaa voidaan nopeuttaa 1-3 vuodessa tapahtuvaksi (Liikennevirasto 2014b, s. 22).

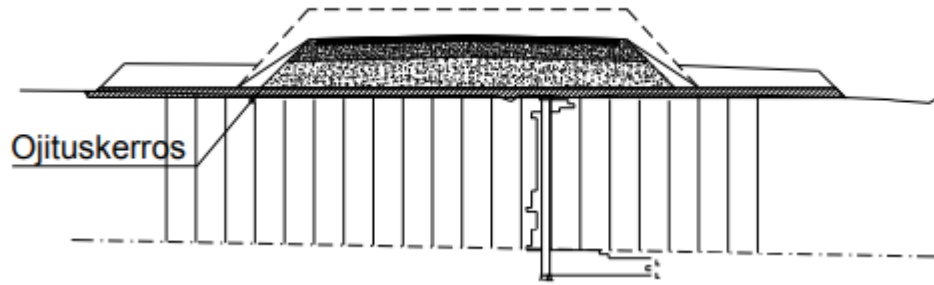
Pystyöjitusta voidaan käyttää esirakentamismenetelmänä, mikäli rakentamisaikaa on riittävästi käytettävissä, ja penkereen vakavuus saadaan riittäväksi (Liikennevirasto 2014a, s. 22). Esikuormituspenkereen riittävän vakavuuden varmistamiseksi on usein rakennettava vastapengerit. Pystyöjituksen hinnaksi voidaan arvioida 4 € / raidemetri, joten se on kustannuksiltaan edullinen menetelmä (Oldén 2010, s. 67).



Kuva 4. Nauhapystyoja ja suojaputkien tyypillisiä poikkileikkauksia (mukaillen Tielaitos 1994, s. 10 ja s. 16)



Kuva 5. Pystyojankenttiä. a) neliöverkko, b) kolmioverkko (mukaillen Tielaitos 1994, s. 30)

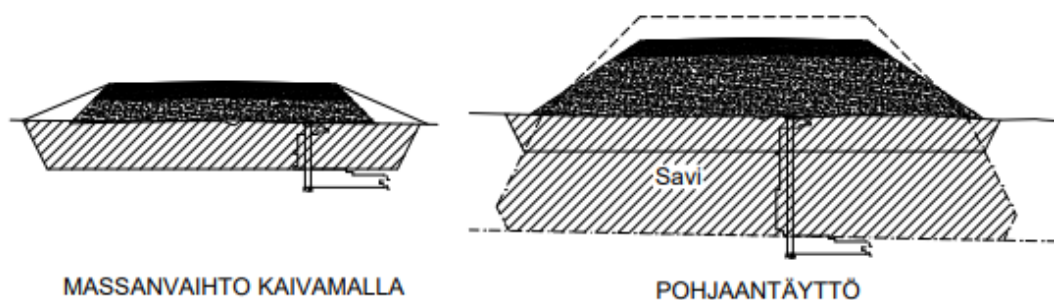


Kuva 6. Pystyjoitus. Kuvassa näkyvissä myös vastapenkereet ja ylipenkereen ääri-
viivat (Liikennevirasto 2014a, s. 22)

Pystyjoituksen käyttö saattaa lisätä painumia ylikonsolidoituneessa maassa, sillä pystyjojen asennus häiritsee häiriintymisherkkää maata. Pystyjoitus saattaa myös lisätä sekundääri- eli jälkipainumaa. Erityisen ongelmallinen tilanne seuraa, jos sekundääripainuma tapahtuu nopeutetusti pystyjoituksen takia. Jos pystyjoitusta käytetään ylikonsolidoituneessa maassa, tulee varautua odotettua suurempiin painumiin. Myös esikuormitusajan on tästä johtuen oltava pidempi. Pystyjoitetun rakenteen liittymistä suoraan paullaattarakenteeseen tai muuhun painumattomaan rakenteeseen on vältettävä, koska rakenteiden painumaerot aiheuttavat lisääntyneitä kunnossapittoa vaativan kohdan radalla. (Oldén 2010, s. 98)

2.3.4 Massanvaihto

Massanvaihdossa kokoonpuristuvat huonosti kantavat maakerrokset kaivetaan pois ko-
vaan pohjaan tai määräsyyvyyteen saakka ja korvataan karkearakeisemmilla painumatto-
milla täyttömassoilla (Liikennevirasto 2014a, s. 27). Massanvaihto voidaan tehdä myös
pohjaantäyttönä syrjäyttämällä hienorakeinen pohjamaa alkukaivantoon ajettavalla kar-
kearakeisemmalla täyttömateriaalilla, mutta radanrakentamisessa massanvaihto tehdään
aina täydellisenä massanvaihtona kaivamalla pehmeät maakerrokset pois. Massanvaiht-
don eri tyypit on esitetty kuvassa 7.



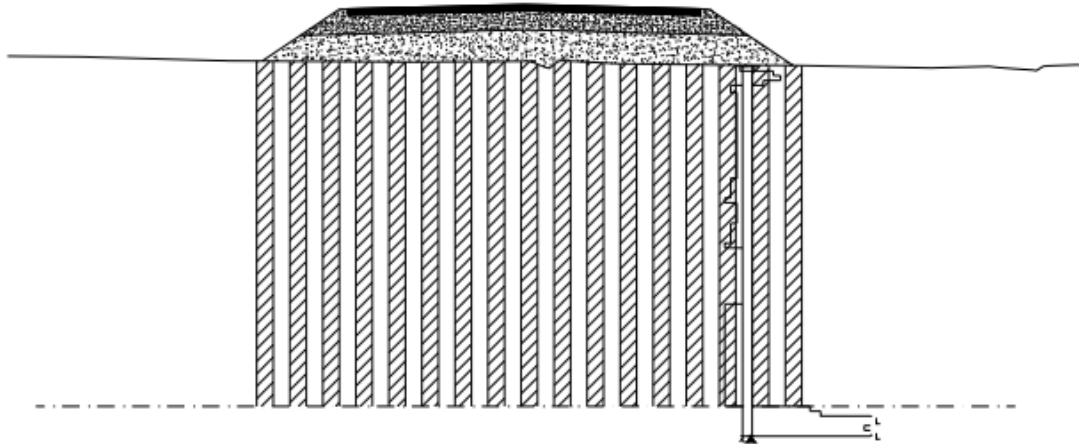
Kuva 7. Massanvaihtomenetelmät (Liikennevirasto 2014a, s. 27)

Massanvaihto on suositeltava menetelmä, kun pehmeän maakerroksen paksuus on pieni, radanrakentamisessa alle 5 metriä (Oldén 2010, s. 64). Menetelmän kustannukset pienenevät, mikäli lähialueelta on saatavissa täyttöön sopivaa materiaalia. Vastaavasti menetelmän kustannuksia lisäävät ylijäämämaiden läjittäminen tai kuljetus pois rakennuspaikalta.

2.3.5 Syvästabilointi

Syvästabiloinnissa heikosti kantavan maan lujuutta lisätään sekoittamalla maahan sideainetta. Syvästabilointi voidaan tehdä pilari- tai massastabilointina. Tavallisimpia nykyisin käytettyjä sideaineita ovat kalkin ja sementin seokset sekä kalkin, sementin ja teollisuuden sivutuotteiden seokset. (Liikennevirasto 2014, s. 29)

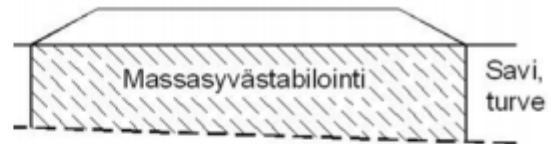
Yleisin käytetty stabilointimenetelmä on kuvassa 8 esitetty pilaristabilointi. Pilaristabiloinnissa stabilointikone porautuu maahan, ja sekoittaa sideaineen pilarimaisesti pohjamaahan. Pilarien halkaisija on tavallisesti 600–800 mm. Nykyisellä kalustolla pystytään tekemään 18–20 m pituisia pilareita. Lähellä pilarien maksimipituutta kustannukset kuitenkin nousevat jopa paalulaattarakenteen suuruusluokkaan. (Liikennevirasto 2014, s. 29)



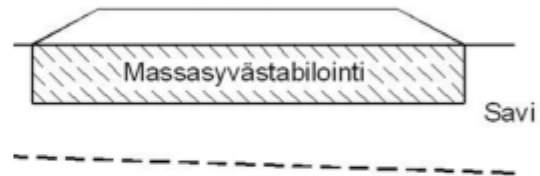
Kuva 8. Syvästabilointi pilareilla (Liikennevirasto 2014, s. 30)

Massasyvästabiloinnissa sideaine sekoitetaan maahan moneen suuntaan liikkuvalla sekoittimella, jolloin pyritään muodostamaan yhtenäinen stabiloitu vyöhyke. Massasyvästabilointia on käytetty savi- ja turvepehmeiköillä. Massasyvästabiloinnin maksimisyvyys nykyisillä koneilla on noin viisi metriä. (Liikennevirasto 2014, s. 29) Syvästabilointi voidaan tehdä myös pilaristabiloinnin ja massasyvästabiloinnin yhdistelmänä, kuten kuvassa 9.

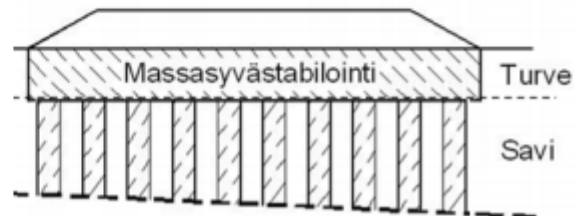
a) Massasyvästabilointi pehmeän kerroksen pohjaan saakka



b) Massasyvästabilointi määräsyyvyyteen



c) Massasyvästabiloinnin ja pilaroinnin yhdistelmä

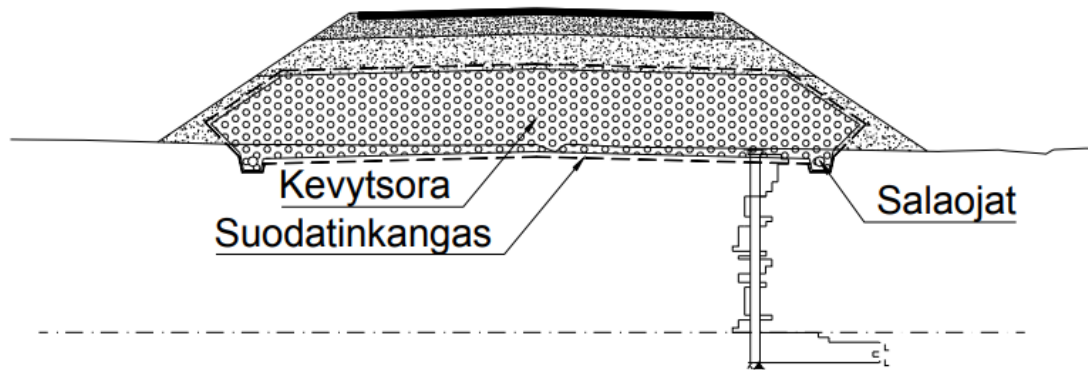


Kuva 9. Massasyvästabiloituja rakenteita (Liikennevirasto 2018, s. 25)

Syvästabilointi pienentää painumia tai useimmissa tapauksissa poistaa käyttövaiheen painumat kokonaan. Stabiloinnin lopputulos ei ole tasalaatuinen. Pohjamaan ominaisuuksien ja stabiloinnin työmäärän vaihtelu vaikuttavat lopputulokseen. Syvästabilointia ei ole juurikaan käytetty ratarakenteissa lopputuloksen laatuvariaation vuoksi (Oldén 2010, s. 65).

2.4 Pengerkevennys

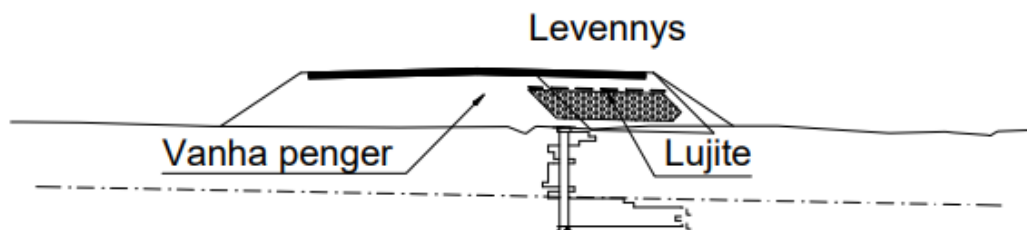
Pengerkevennyksessä penkereen rakennemateriaaleina käytetään tavallista kevyempiä materiaaleja. Kevyempi pengerrakenne pienentää pohjamaahan kohdistuvaa kuormitusta, mikä puolestaan pienentää painumia. Yleisimmin käytetty kevyt pengermateriaali on kevytsora, mutta vaahtolasimurskeen käyttö on lisääntynyt viime vuosina tienrakentamisessa. (Liikennevirasto 2014, s. 24) Muita käytössä olevia kevennysmateriaaleja ovat EPS-muovi ja rengasleike. Kuvassa 10 on esitetty kevytsoralla toteutetun pengerkevennyksen poikkileikkaus.



Kuva 10. Pengerkevennys (Liikennevirasto 2014a, s. 24)

2.5 Lujitteet

Penkereen vakavuutta voidaan parantaa käyttämällä lujiteverkkoja, teräsvoimulevyjä, puuteloja tai lujitekankaita, jotka jäykistävät pengerrakennetta. Tarpeeksi järeillä lujitteilla voidaan hieman tasoittaa painumia. Lujitteita voidaan käyttää, kun penkereen vakavuus on jo valmiiksi lähellä riittävää, ja painumia voidaan sallia. Paaluhatturakenteessa lujiteverkkoja voidaan käyttää estämään pengertäytteen valumista hattujen väleihin. (Liikennevirasto 2014a, s. 26) Kuvassa 11 on esitetty penger, jossa lujitetta on käytetty parantamaan uuden pengerlevennyksen vakavuutta.



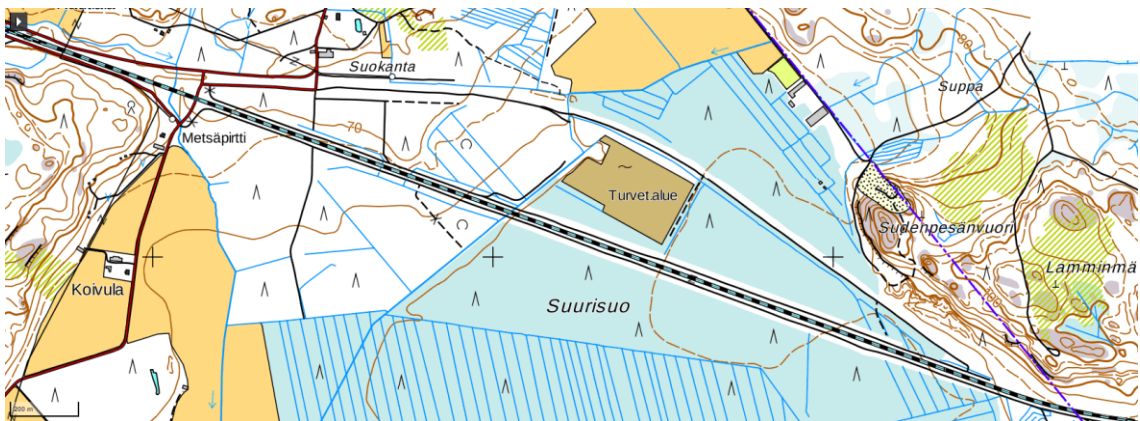
Kuva 11. Lujite pengerkevennyksen yhteydessä (Liikennevirasto 2014, s.26)

3. SUURISUON RATAOIKAISU

Suurisuon rataoikaisu sijaitsee Lahden ja Kouvolan välisellä rataosalla Iitin kunnassa. Rataoikaisun pituus on noin kolme kilometriä. Rataoikaisu rakennettiin korvaamaan geometrialtaan ja stabiliteetiltään heikko vanha rataosuus. Kuvassa 12 on kartta rataoikaisun alueelta. Vanha ratalinja on kaareva tie uuden rataosuuden pohjoispuolella.

Rataoikaisun rakentaminen tapahtui vuosina 2008-2010. Rakentamisen tavoitteena oli parantaa radan palvelutasoa Lahti–Luumäki -välillä nostamalla henkilöliikenteen suurin sallittu nopeus 200 km/h:iin, ja tavaraliikenteen sallittu nopeus 100 km/h:iin. Samalla tavaraliikenteen sallittu akselipaino nostettiin 225 kN:sta 250 kN:iin. (A-Insinöörit 2008) Liikennöinti nopeuksia vastaava radan alusrakenneluokka on 2 (taulukko 1).

Perustamistapoina käytettiin paalulaattaa, esikuormitusta, pystyjoitusta ja massanvaihtoa sekä näiden yhdistelmiä. Paalulaattaosuuden työalustana toimineen esikuormituspenkereen rakenteessa käytettiin myös lujiteverkkoa stabiliteetin parantamiseksi (Lonka 2013, s. 12). Vastapenkereitä käytettiin esikuormitus- ja lopullisen ratapenkereen vakavuuden parantamiseksi.



Kuva 12. Suurisuo rataoikaisu (Maanmittauslaitos 2018)

3.1 Pohjaolosuhteet

Rataoikaisu lävistää Suurisuo pehmeikköalueen. Alueella on maan pinnassa 0–4 metriä paksu kuivakuorikerros, joka on osittain ohuen turvekerroksen peittämä. Kuivakuorikerros puuttuu pieneltä alueelta. Kuivakuori- tai turvekerroksen alla on 1–25 metriä paksu pehmeä maakerros savea tai savista silttiä. Tämän kerroksen paksuus vaihtelee suuresti paikasta riippuen. Pehmeän maakerroksen alla on paksuudeltaan vaihteleva kantava moreenikerros. Kairaukset ovat päättyneet kiveen, lohkareseen tai kallioon keskimäärin 15–20 metrin syvyydessä. (Oldén 2010, s. 69)

Suurisuon rataoikaisussa käytettiin seuraavia perustamistapoja (A-insinöörit 2008):

- Osuus 1: kmv 175+140...175+780 Esikuormitus ylipenkereellä ja vastapenkereet
- Osuus 2: kmv 175+780...175+900 Massanvaihto kaivamalla
- Osuus 3: kmv 175+900...176+056 Esikuormitus ylipenkereellä, pystyjoitus ja vastapenkereet
- Osuus 4: kmv 176+046...177+424 Paalulaatta
- Osuus 5: kmv 177+416...177+545 Massanvaihto kaivamalla
- Osuus 6: kmv 177+545...177+700 Osittainen massanvaihto, esikuormitus ylipenkereellä, pystyjoitus ja vastapenkereet
- Osuus 7: kmv 177+700...177+800 Esikuormitus ylipenkereellä

Osuudella 1 maanpinnassa on pääosin 1,5–4,0 m paksu saven kuivakuorikerros, jonka alapuolella 1,9–9,6 m paksu kerros savea tai silttiä. Tämän maakerroksen alla on 2,3–6,3 m paksu kerros silttiä, hiekkaa tai moreenia. Kairaukset ovat päättyneet syvimmillään 20,6 m syvyyteen maanpinnasta. (A-Insinöörit 2008)

Osuudelle valittu perustamistapa oli esikuormitus. Ratapenkereen painumisen nopeuttamiseksi maapohja kuormitettiin ylipenkereellä. Ylipenkereen korkeus oli 1,5 metriä suunniteltua raiteen korkeutta ylempänä. Esikuormitusaikaa varattiin 6 kuukautta. Ylipenkereen työnaikaisen stabiliteetin varmistamiseksi ratapenkereen molemmin puolin rakennettiin vastapenkereet. (A-Insinöörit 2008)

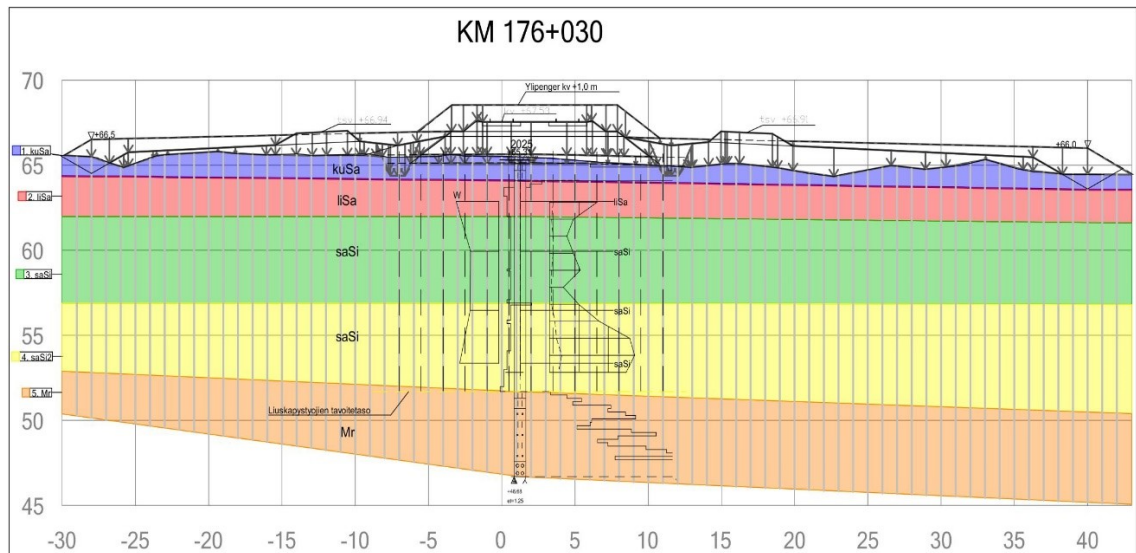
Osuudella 2 tehtiin massanvaihto 0–5 metrin syvyyteen pehmeän maakerroksen pohjaan asti. Osuuden alussa kmv:llä 175+780...175+810 massanvaihto esikuormitettiin ylipenkereellä, jonka yläpinta oli 1,5 m suunniteltua raiteen tasoa korkeammalla, ja lopussa kmv:llä 175+880...175+900 ylipenkereellä jonka yläpinta oli 1,0 m suunniteltua raiteen tasoa korkeammalla. Esikuormitusaikaa varattiin 6 kuukautta kummallekin ylipenkereelle. (A-Insinöörit 2008)

Osuudella 3 maanpinnassa on ohuen turvekerroksen alla 0,6–2,2 metriä paksu kuivakuorimainen maakerros. Kuivakuorikerroksen alla on 1,0–12,0 m paksu lujuus- ja rakeisuusominaisuuksiltaan vaihteleva savi- ja silttikerros. Tämän maakerroksen alla on 0–4,8 m paksu moreenikerros. Kairaukset ovat päättyneet syvimmillään 18,6 m syvyyteen maanpinnasta. (A-Insinöörit 2008) Kuvassa 13 on painumalaskennassa käytetty poikkileikkaus osuudelta 3.

Osuuden perustamistavaksi valittiin esikuormitus ylipenkereellä, pystyjoitus ja vastapenkereet. Ratapenkereen painuman nopeuttamiseksi maapohjaan asennettiin liuskapystyjojat ja maapohjaa kuormitettiin ylipenkereellä. Liuskapystyjoitus tehtiin pääosin 1,5 m * 1,5

m ruutuun. Osuuden viimeiselle 20 metrille, missä paalulaatan paalutus aloitettiin, pystyjoitus tehtiin tihennettynä 1 m * 1 m ruutuun. Ojituskerroksen pinnalle asennettiin painumahavaintotangot painuman seuraamiseksi. (A-Insinöörit 2008)

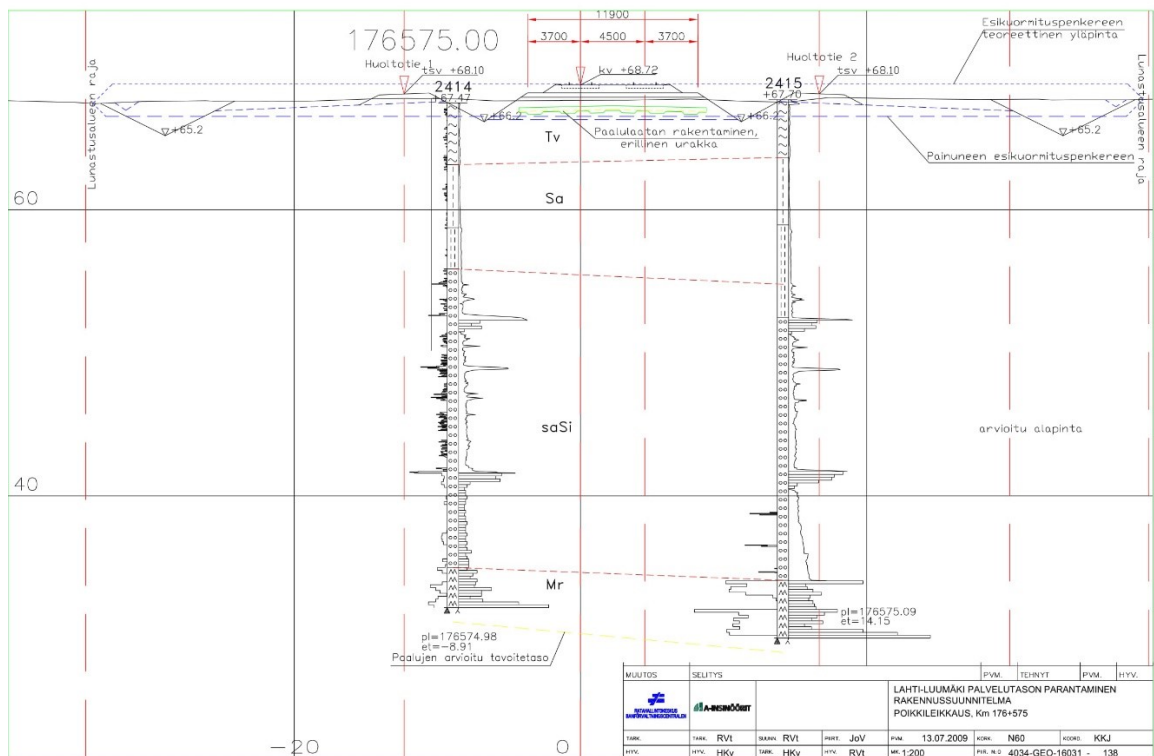
Pystyjoituksen rakentamisen jälkeen osuudelle rakennettiin ylipenger. Ylipenkereen työnaikaisen vakavuuden varmistamiseksi ratapenkereen molemmin puolin rakennettiin vastapenkereet. Ylipenger rakennettiin 1,0 m suunniteltua raiteen korkeutta korkeammaksi. Esikuormitusaikaa varattiin yksi vuosi. (A-Insinöörit 2008)



Kuva 13. Painumalaskennassa käytetty poikkileikkaus osuudelta 3, km 176+030 (Oldén 2010)

Osuudella 4 maanpinnassa on 0–6,3 metriä paksu turvekerros. Turvekerroksen alla on 1,0–2,0 m paksu saven kuivakuorikerros lukuun ottamatta kohosuolla sijaitsevaa rataosaa kmv:illä 176+200–177+100, missä kuivakuorta ei ole. Kuivakuori- tai turvekerroksen alla on 0–24,2 m paksu lujuudeltaan pääosin hyvin pehmeä savi- ja silttikerros. Tämän maakerroksen alla on 0–14,6 m paksu pääosin löyhä moreenikerros. Kairaukset ovat päättyneet syvimmillään 40,3 metrin syvyyteen maanpinnasta. (A-Insinöörit 2008) Kuvassa 14 on suunnitteluaineiston poikkileikkaus osuudelta 4.

Radan perustamistavaksi osuudella valittiin paalulaatta teräsbetonisin lyöntipaaluin. Paalulaatan paaluttamisen työalustaksi kmv:lle 176+046...176+200 tehtiin turvekerroksen korvaava massanvaihto, ja kmv:lle 176+200...177+416 rakennettiin esikuormituspenkere, joka painettiin osittain turvekerrokseen. (A-Insinöörit 2008) Esikuormituspenkereen leveys oli noin 70 metriä. Esikuormituspenkereen rakenteessa käytettiin lujiteverkkoja, jotka paransivat esikuormituspenkereen stabiiliteettia, lisäsivät penkereen jäykkyyttä ja mahdollistivat raskaiden koneiden käytön pehmeiköllä. (Lonka 2013, s. 11–12)



Kuva 14. Poikkileikkaus osuudelta 4 km 176+575 (A-insinöörit 2010)

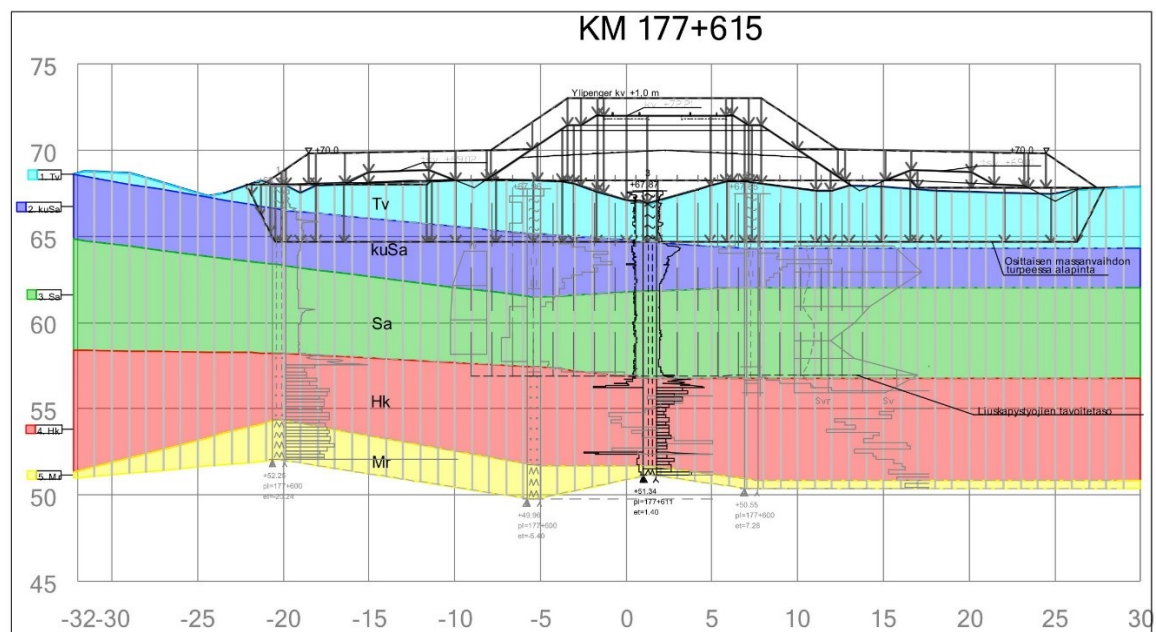
Osuudella 5 maanpinnassa on 0,3–2,8 metriä paksu turvekerros. Turvekerroksen alapuolella on 0,5–4,0 m paksu kerros löyhää silttiä tai savea. Tämän maakerroksen alla on 0,4–5,0 m paksu kerros löyhästä keskitiiviiseen vaihtelevaa moreenia. Kairaukset ovat päättyneet syvimmillään 9,7 m syvyyteen maanpinnasta. (A-Insinöörit 2008)

Tällä osuudella rata päätettiin perustaa massanvaihdon varaan. Massanvaihto tehtiin täydellisenä poistaen kaikki pehmeät maakerrokset niiden alapintaan asti. Massanvaihdon syvyys oli 2–5,2 metriä. Massanvaihdon täyttö tehtiin pienlouheella. Massanvaihdon jälkeen massanvaihdon tiiviys varmistettiin ylipenkereellä, jonka yläpinta oli 1,0 m suunniteltua raiteen korkeutta ylempänä. Esikuormitusaikaa varattiin 6 kuukautta. (A-Insinöörit 2008)

Osuudella 6 maanpinnassa on 0,8–3,0 metriä paksu turvekerros. Turvekerroksen alla on 0-3,0 m paksu luja saven kuivakuorikerros. Kuivakuorikerroksen alla on 0,5–6,5 m paksu lujuus- ja rakeisuusominaisuuksiltaan vaihteleva savikerros. Savikerroksen alla on 0–2,0 m paksu silttikerros, ja siltin alla 0,3–7,4 m paksu moreenikerros. Kairaukset ovat päättyneet syvimmillään 19,0 metrin syvyyteen maanpinnasta. Tälle osuudelle valitut perustustavat olivat osittainen massanvaihto, esikuormitus ylipenkereellä, pystyjoitus ja vastapenkereet. (A-Insinöörit 2008)

Ennen esikuormituspenkereen rakentamista koko osuudella 6 tehtiin osittainen massanvaihto kaivamalla kaikki turve savikerroksen yläpintaan asti. Kaivannon täyttö tehtiin kivettömällä hiekalla tai soralla tasoon maanpinta + 0,5 metriä. Massanvaihdon yhteydessä ratapenkereen molemmin puolin rakennettiin pysyvät vastapenkeret. Massanvaihdon materiaali valittiin niin, että se pystyttiin läpäisemään liuskapystyjoituskalustolla. Liuskapystyjojat asennettiin neliöverkkoon niin, että pystyjojen keskinäisetäisyys oli 1,20 metriä. (A-Insinöörit 2008)

Turpeen massanvaihdon yläpinnalle asennettiin lujitekangas ja painumahavaintotangot. Tämän jälkeen rakennettiin ylipenger tasolle suunniteltu raiteen korkeus + 1,0 m. Esi-kuormitusaikaa varattiin yksi vuosi. (A-Insinöörit 2008) Kuvassa 15 on painumalaskennassa käytetty poikkileikkaus osuudelta 6.



Kuva 15. Painumalaskennassa käytetty poikkileikkaus osuudelta 6, km 177+615 (Oldén 2010)

Osuudella 7 maanpinnassa on 2,0–4,0 metriä paksu lujuudeltaan kova saven kuivakuorikerros. Kuivakuoren alla on 1,0–7,0 metriä paksu lujuudeltaan sitkeä savikerros, jonka alla on pääosin löyhä moreenikerros. Kairaukset ovat päättyneet syvimmillään 17,2 m syvyyteen maanpinnasta. (A-Insinöörit 2008)

Valittu perustamistapa tällä osuudella oli esikuormitus. Pintamaa poistettiin osuudelta, minkä jälkeen kuoritun maan päälle asennettiin painumatangot. Esi-kuormitusaikaa varattiin yksi vuosi. (A-Insinöörit 2008)

3.2 Kunnossapito

Radan rakentamisen jälkeen radan turvallisen liikennöinnin varmistamiseksi rataa on huollettava erilaisin kunnossapitotoimin. Kunnossapito muodostaa rakentamisen jälkeen toiseksi merkittävimmän kustannuksen ratarakenteelle. Kunnossapitotoimia pystytään tekemään vain, kun raiteella ei ole liikennettä. Tästä johtuen kunnossapitotoimia joudutaan usein tekemään yöteinä, mikä omalta osaltaan lisää kunnossapidon kustannuksia. Tyypillisiä kunnossapitomenetelmiä ovat raiteen tarkastus, raiteen tukeminen, raiteen sepelöinti, tukikerroksen muotoilu ja ajolangan säätäminen. Painuma-alueilla kunnossapitotoimena käytetään radan tuentaa. Tukeminen tehdään kuvassa 16 esitetyllä tukemiskoneella. Raitteen tukemisen kustannuksiksi voidaan arvioida 8,3 €/raidemetri. (Oldén 2010, s. 67)



Kuva 16. Raiteentukemiskone (VR Track 2018)

Suurisuon rataoikaisun kunnossapidosta vastasi radan käyttöönotosta vuonna 2010 vuoteen 2016 Vr Track Oy, minkä jälkeen kunnossapitovastuu siirtyi Destia Oy:lle. Radan kunnossapitäjien tietojen avulla voidaan selvittää, kuinka rakenne on toiminut ja onko painumia esiintynyt radalla rakentamisen jälkeen.

”Ensimmäisenä vuotena käyttöönoton jälkeen vähän normaalia enemmän tuentaa. Painumia paalulaatan päissä, erityisesti länsipäässä. Sen jälkeen ei normaalista poikkeavaa kunnossapitotarvetta. Pohjamaa painunut ensimmäisenä vuotena paalulaatan alla niin, että laatan pohja ilmassa.” (Jyri Rämä, haastattelu 26.10.2018)

”Destia Rail aloitti kunnossapidon 1.11.2016 ja sen jälkeen ko. alueella ei ole tehty kuin normaalia kävelytarkastusta kaksi kertaa vuodessa. Ei ole ollut tukemistarvetta.” (Arto Asikainen, haastattelu 2.11.2018)

Rämän haastattelun perusteella suurin radan tuennan tarve on ollut paalulaattaosuuden länsipäässä. Luvussa 2.3.3 kerrotaan, kuinka pystyojitetun alueen liittämistä suoraan painumattomaan rakenteeseen tulisi välttää mahdollisen odottamattoman painuman takia. Haastattelujen perusteella rataoikaisun perustukset ovat muilta osin toimineet suunnitellulla tavalla, eikä liikennöintiä haittaavia painumia ole esiintynyt.

4. YHTEENVETO

Maanvaraisen rakenteen paino aiheuttaa pohjamaahan kuormituksen, mikä voi kokoonpuristuvilla maalajeilla johtaa maa-aineksen tilavuuden pienenemiseen eli painumaan. Painumien muodostuminen pystytään selvittämään pohjatutkimusten avulla kohtuullisella tarkkuudella ennen rakentamista.

Rataliikenteessä liikennöintinopeudet ovat suuria, ja siksi turvallisen liikennöinnin kannalta ratarakenteen tulee olla tasainen. Ratapenkereen painumista voidaan ehkäistä erilaisilla perustamistavoilla. Erilaisilla perustamistavoilla voidaan vaikuttaa pohjamaan tai ratapenkereen ominaisuuksiin, tai estää painumat rakenteellisilla ratkaisuilla.

Suurisuon rataoikaisu rakennettiin haastaviin pohjaolosuhteisiin, ja painumien ehkäisemiseksi käytettiin monenlaisia perustamistapoja. Radan kunnossapitäjiltä saatujen tietojen mukaan rataoikaisun perustus onnistui hyvin, eikä haitallisia painumia ole ilmennyt.

LÄHTEET

A-Insinöörit (2008). Lahti-Luumäki palvelutason parantaminen, Suurisuon rataoikaisu, rakentamissuunnitelma. Työkohtainen työselostus. Ratahallintokeskus. Helsinki.

Asikainen, A. (2018). Sähköpostihaastattelu 2.11.2018. Liikenneviraston valtuuttaman rataisännöitsijän edustaja. Ramboll Oy. Helsinki.

Infra RYL (2010). Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1, Väylät ja alueet. Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki.

Liikennevirasto (2018). Syvästabiloinnin suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 17/2018. Helsinki.

Liikennevirasto (2014a). Tien perustamistavan valinta. Tiegeotekniikan käsikirja. Liikenneviraston oppaita 2/2014. Helsinki.

Liikennevirasto (2014b). Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 5/2014. Helsinki.

Lonka, V. (2013). Suurisuon oikaisun esikuormitus penkereen painumien seuranta, diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Maanmittauslaitos (2018). Maastokartta. Paikkatietoikkuna.

Oldén, T. (2010). Radan painumien mallintaminen ja jälkiseuranta, diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. (1979). Geotekniikka Vol. 22. Ota-tieto. Helsinki.

RATO osa 3 (2014). Ratatekniset ohjeet osa 3, Radan rakenne. Liikenneviraston ohjeita 17/2014. Helsinki.

Rämä, J (2018). Puhelinhaastattelu 26.10.2018. Kunnossapitäjän edustaja, VR Track Oy. Kouvola.

Tiehallinto (2001a). Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet.

Tielaitos (1994). Nauhapystyjoitus. Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Tielaitoksen selvityksiä 42/1994. Geokeskus. Painatuskeskus Oy. Helsinki.

VR Track (2018). Palvelut Kalustopalvelut Raiteentukeminen saatavissa:
<https://www.vrtrack.fi/palvelut/kalustopalvelut/raiteentukeminen/> (Luettu 5.12.2018)