

MASSOJEN SIIRTOKUSTANNUSTEN VERTAILU KULJETUS- MUOTOJEN VÄLILLÄ

Otto Lehtinen
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2025
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Yhdyskuntatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Otto Lehtinen

Opinnäytetyön otsikko: Massojen siirtokustannusten vertailu kuljetusmuotojen välillä

Työn ohjaaja: Jarmo Erho

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2025

Sivumäärä: 30 + 3 liitettä

Suurin osa rautatiealueella tehtävistä töistä tehdään ratatyöluvalla. Ratatyön suunnittelulla on suuri merkitys työ- sekä junaturvallisuuden takaamiseksi. Rautatiealueella työskentelyyn vaaditaan ratatyöturvallisuuspätevyys. Radan nykyisen penkereen stabiliteetin parantamiseksi on olemassa useita eri pohjanvahvistusmenetelmiä.

Työn tavoitteena oli luoda laskentaohjelma, jota voidaan hyödyntää massojen siirtoon käytettävän kuljetusmenetelmän valinnassa sekä käyttöohje laskentaohjelman käyttöä varten. Lisäksi työn tavoitteena oli vertailla rautatiealueella sijaitseville pehmeikköalueille tehtävien vastapenger materiaalien siirtokustannusten vertailu kuljetusmuotojen välillä.

Opinnäytetyössä luotiin laskentaohjelma kuljetusmuotojen välisten kustannuserojen laskemista varten. Laskentaohjelman avulla vertailtiin kuljetusmuotojen välisiä kustannuseroja sekä ratatyöluvan pituuden vaikutusta kustannuksiin. Lisäksi laskentaohjelman käyttöä varten tehtiin käyttöohje.

Kustannusvertailusta havaittiin kuljetusetäisyyden vaikuttavan merkittävästi molempien kuljetusmuotojen kustannusten muodostumiseen. Kasettilyhdistelmän käytön kustannuksia nosti lisäksi työmaateiden rakentaminen. Pitkien työmaateiden rakentamisen havaittiin olevan erittäin merkittävä osa kasettilyhdistelmän käytön kustannuksista. Massojen siirtoon tarvittavien työvuorojen määrä oli huomattavasti suurempi kiskokalustoa käytettäessä, joka on huomioitava kuljetustapaa valittaessa.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Civil Engineering
Option of Municipal Engineering

Author: Otto Lehtinen

Title of thesis: Comparison of mass transfer costs between transport methods

Supervisor: Jarmo Erho

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2025

Number of pages: 30 + 3 appendices

This thesis discusses the requirements for work carried out in railway areas, such as railway work permits and railway safety qualifications, which are essential for ensuring work and train safety. There are several ground reinforcement methods available to improve the stability of the existing railway embankment. The aim of the thesis was to develop a calculation program that helps in selecting the transportation method for moving masses and comparing the transfer costs of counter embankment materials between different transportation methods.

The calculation program was created for calculating cost differences, and it was used to study the cost differences of transportation methods. A user manual was also made for the use of the program. The cost comparison revealed that transportation distance significantly affects the formation of costs. Construction of worksite roads is a significant cost in the use of cassette combination. The use of locomotive with side dump carriage requires considerably more work shifts for mass transfer, which is an important factor when choosing the transportation method.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
SANASTO	5
1 JOHDANTO	6
2 RAUTATIEALUEELLA TYÖSKENTELY	7
2.1 Ratatyön suojaulottuma.....	7
2.2 Ratatyö.....	9
2.2.1 Ratatyön suunnittelu.....	10
2.2.2 Ratatyölupa	10
2.3 Turvamiestoiminta	11
2.4 Rautatiealueella tehtävä muu työ	12
2.5 Radanpidon turvallisuuspoikkeamat.....	12
3 NYKYISEN RATAPENKEREEN POHJANVAHVISTUSMENETELMÄT	15
3.1 Massanvaihto	16
3.2 Keventeet	19
3.3 Lujitteet.....	20
3.4 Vastapenger.....	21
3.5 Pengerpaalulaatta	22
4 MASSOJEN SIIRRON KUSTANNUKSET RAUTATIEALUEELLA	25
5 POHDINTA	27
LÄHTEET	28
LIITTEET	30

SANASTO

Consolidated peat	konsolidoitunut turve
Embankment fill	pengertäyttö
Firm layer	luja kerros / kova pohja
Geotextile	geolujite
Level of future road	tulevan tien pinta
Liikennesuunnittelu	tehtävänä yhteensovittaa valtion rataverkon ratatyöt ja rautatieliikenne
Liikennöinti	junaliikennettä tai vaihtotyötä
Liikenteenohjaus	liikennöinnin ja ratatöiden suojaaminen sekä turvaaminen
Limit of safe tipping	kuorman kippauksen turvallinen raja
Original ground surface	alkuperäinen maan pinta
Peat	turve
Radanpito	rautatien ja siihen liittyvän kiinteän omaisuuden suunnittelu, hankinta, rakentaminen, hallinta ja kunnossapito
Ratatyöalue	alue, jolla on ratatyölupa
Rock fill	louhetäyttö
RSU	ratatyön suojaulottuma
RUMA	ratatyöurakoitsijan mobiilialusta
Surcharge	ylipenger

1 JOHDANTO

Massojen siirtokustannukset pehmeikköalueelle voivat olla merkittäviä, jos työalueelle olevat tieyhteydet ovat huonot ja työmaatietä joudutaan rakentamaan pitkästi tai käyttämään yksityisteitä. Kiskokaluston käytön etu on, ettei työmaaita tarvitse tehdä massojen siirtoja varten vaan massat saadaan siirrettyä kohteeseen suoraan rataa pitkin.

Tässä työssä on tarkoitus vertailla kuljetusmuotojen välisiä kustannuseroja massojen siirrossa sekä ratatyöluvan pituuden vaikutusta kiskokaluston käytön kustannuksiin. Lisäksi tarkoituksena on perehtyä rautatiealueella huomioon otaviin tärkeisiin turvallisuusohjeisiin, ratatyöluvaprosessiin sekä pohjanvahvistusmenetelmiin.

Kuljetuskustannusvertailua varten luodaan laskentaohjelma Microsoft Excel -ohjelmalla sekä käyttöohje laskentaohjelmaa varten. Kohteiden kuljetuskustannukset lasketaan luodulla laskentaohjelmalla ja tulosten perusteella tehdään kustannusvertailu. Ratatyöluvan pituuden vaikutuksen vertailu kiskokaluston käytön kustannuksiin suoritetaan laskentaohjelman avulla muuttaen kiskokaluston tehokasta työaikaa.

Työssä käytetyt vastapengerkohteet kuuluvat Kontiomäki-Pesiökylä päällysrakennearakka 2:een. Hankkeen tilaajana on Väyläviraston, jossa keskeisiä toimenpiteitä ovat radan päällysrakenteen uusiminen, ratapenkereen levennys, ratarumpujen uusiminen sekä pohjanvahvistukset. Hanke sijoittuu ratakilometrivalleille km662+166 – 683+600 ja km693+400 – 731+855. Rataosalla kulkee vain tavaraliikennettä, ja radan huonon kunnon vuoksi liikenne on ajoittain jouduttu keskeyttämään.

2 RAUTATIEALUEELLA TYÖSKENTELY

Työskentelyyn Väyläviraston rautatiealueella tarvitaan lupa, tilaus tai sopimus Väylävirastolta. Väyläviraston tavoitteena on parantaa turvallisuuskulttuuria yhdessä rautatiealalla toimijoiden kanssa, sillä turvallisuus on yksi tärkeimmistä Väyläviraston arvoista. (Väylävirasto 2023a, 20–21.)

Rautatiealueella työskentelevällä on oltava vähintään Työturvallisuuskortti tai vastaava koulutus sekä ratatyöturvallisuuspätevyys. Lisäksi Väylävirastolla on erilaisia pätevyysvaatimuksia työtehtävästä tai työn kohteesta riippuen, esimerkiksi kiskoilla liikkuvan työkoneenkuljettajan on käytävä ratatyökoneenkuljettajan pätevyyskoulutus ja radan päällysrakennetöitä tehtäessä on työstä vastaavalla oltava päällysrakennepätevyys. (Väylävirasto 2024, 11–12.)

Työskentely rautatiealueella vaatii pääsääntöisesti ratatyöluvan liikenteenohjaajalta. Rautatiealueella on myös mahdollista työskennellä ilman ratatyölupaa tai turvamiesmenettelyllä tiettyjen ehtojen täytyessä. (Väylävirasto 2023a, 21.)

2.1 Ratatyön suojalottuma

Ratatyön suojalottuman sisäpuolella tehtävä työ edellyttää ratatyöluvan tai turvamiestoiminnan käyttämisen, jos turvamiestoiminnan ehdot täyttyvät. Ratatyön suojalottuma on raiteen suuntaisesti jatkuva alue, jonka leveys määritetään valitsevien olosuhteiden mukaan. (Väylävirasto 2023a, 21.)

Yksiraiteinen rata

Yksiraiteisella radalla ratatyön suojalottuma on lähimmästä kiskosta ulospäin mitattuna 2,5 metriä, sähköratapylväslinjan radan puoleinen reuna tai jokin muu pysyvä rakenne tai kiinteä este (Väylävirasto 2023a, 21). Kuvassa 1 on havainnollistettu ratatyön suojalottuma yksi raiteisella radalla. Kuvassa ratatyön

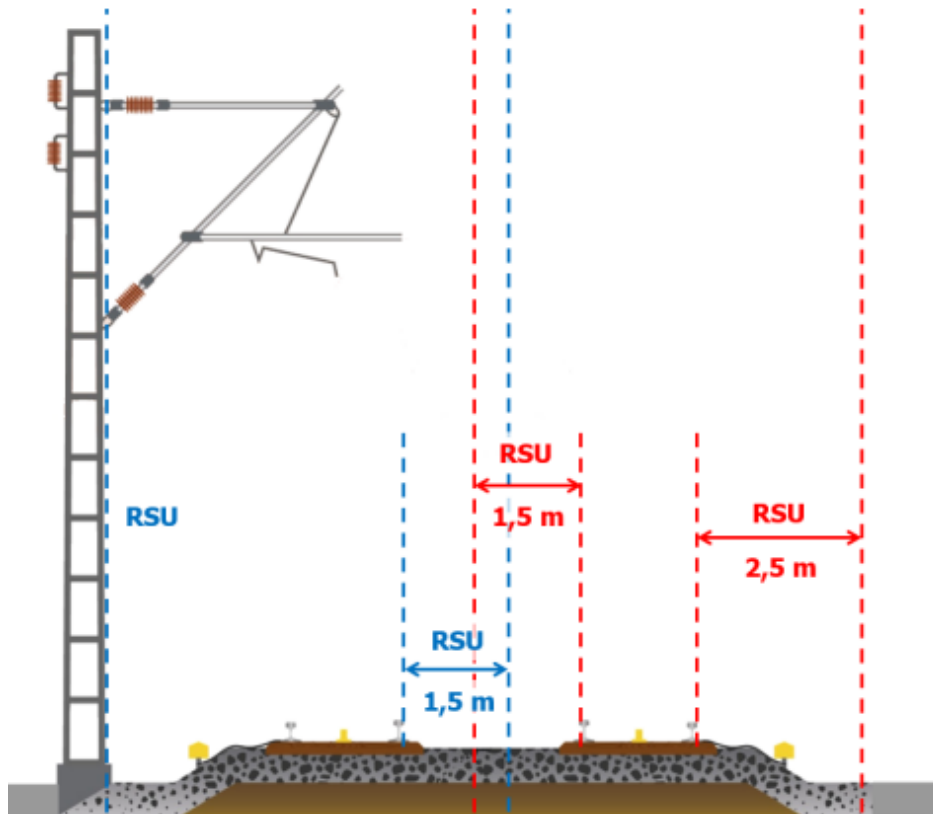
suojaulottuma on vasemmalla puolella rataa 2,5 metriä lähimmästä kiskosta ulospäin ja oikealla puolella sähköratapylväslinja.



KUVA 1. Ratatyön suojaulottuma yksi raiteisella radalla (Väylävirasto 2023a, 22)

Useampi raiteinen rata ja laiturialue

Useampi raiteisella radalla ratatyön suojaulottuma on uloimmista kiskoista 2,5 metriä ulospäin tai sähköratapylväslinja tai jokin kiinteä este tai pysyvä rakenne, mikäli ne ovat lähempänä kuin 2,5 metriä ulommasta kiskosta. Raiteiden välissä ratatyön suojaulottuma on 1,5 metriä lähimmästä kiskosta ulospäin mitattuna. Laiturialueella se on 1,5 metriä laiturin reunasta laituriin päin. (Väylävirasto 2023a, 21.) Kuvassa 2 on havainnollistettu ratatyön suojaulottuma usearaiteisella radalla.



KUVA 2. Ratatyön suojaulottuma useampi raiteisella radalla (Väylävirasto 2023a, 23)

2.2 Ratatyö

Rautatiealueella tehtävä työ, joka vaatii liikennöinnin keskeyttämisen, kutsutaan ratatyöksi. Ensimmäisen luokan liikenteenohjauksen alueella tarvitaan liikenteenohjauksen lupa ratatyöhön, jolloin ratatyöalueella liikennöinti keskeytetään. Toisen luokan alueella liikenteenohjaus ei anna lupaa ratatyöhön, sillä ratatyö vastaavan tehtävänä on vastata ratatyöstä ja sen suojaamisesta itsenäisesti. (Väylävirasto 2023a, 34–37.) Ratatyöluvan edellyttämiä töitä ovat esimerkiksi seuraavat:

- Työkone tai sen osa menee radansuojaulottuman sisäpuolelle.
- Työ vaikuttaa radan liikennöintiin.
- Työ vaikuttaa radan rakenteisiin, laitteisiin tai geometriaan.
- Työt, jotka tehdään jalkaisin ja raiteen suurin sallittu nopeus on yli 140 km/h, eikä käytössä ole RATSU-laitteistoa.

- Jalkaisin tehtävät työt käytettäessä voimakasta melua tai pölyä aiheuttavia työvälineitä.

2.2.1 Ratatyön suunnittelu

Ennalta suunnitellusta ratatyöstä on laadittava ennakkosuunnitelma hyvissä ajoin ennen varsinaisen ratatyön alkamisajankohtaa. Liikenteensuunnittelun käsittelyaika ennakkosuunnitelmille on viisi työpäivää. Ennakkosuunnitelmassa on huomioitava ratatyön vaikutukset liikennöinnin turvallisuuteen sekä itse ratatyön työturvallisuuteen. Ennakkosuunnitelmaan ilmoitetaan työn vastuhenkilö, jonka on tunnettava työn sisältö. (Väylävirasto 2023a, 37–39.)

Ennakkosuunnitelma voidaan laatia suljettuna junaliikenteeltä, liikenteen ehdoilla tai suljettuna sähköjunaliikenteeltä. Ennakkosuunnitelman ollessa suljettu junaliikenteeltä, ratatyölle varataan ratakapasiteetti eikä työlle suunnitellulle alueelle voida varata ratakapasiteettiä liikennöintiä tai muuta varten. Liikenteen ehdoilla laadittu suunnitelma tarkoittaa, että liikenteenohjaus voi antaa ratatyöluvan liikennetilanteen mukaan. Suljettu sähköjunaliikenteeltä käsittää, ettei alueelle voida liikennöidä sähköjunia, mutta muulla käyttövoimalla tapahtuvaa liikennöintiä voidaan toteuttaa. (Väylävirasto 2023a, 37–39.)

Ennakkosuunnitelma lähetetään liikenteensuunnitteluun, jossa ennakkosuunnitelma käsitellään ja sille varataan tarvittaessa ratakapasiteetti. Liikenteensuunnittelun käsiteltyä ennakkosuunnitelman, muuttuu ennakkosuunnitelma ennakoilmoitukseksi. (Väylävirasto 2023a, 37–39.)

2.2.2 Ratatyö lupa

Ennakoilmoituksen perusteella ratatyöstä laaditaan ratatyöilmoitus RUMAssa. Ratatyöilmoituksen laatijalla on oltava ratatyövastaavan pätevyys sekä laatijan tulee tutustua alueen raiteisto- / linjakaavioihin sekä alueella oleviin muihin ennakoilmoituksiin ja liikenneturvallisuuksuunnitelmiin. Ratatyöilmoituksessa määritetään tarvittavat ratatyön alueet, tehtävät työt, käytössä oleva kalusto sekä vaadittavien tarkastusten tekijät. Liikenteenohjaus sekä ratatyön muut jäsenet saavat

tarvittavat tiedot suunnitellusta ratatyöstä ratatyöilmoituksen perusteella. Lisäksi ratatyöilmoitus dokumentoidaan. (Väylävirasto 2023a, 65–67.)

Ennen ratatyölupapyyntöä ratatyövastaavan on käytävä suullisesti täydentävä keskustelu liikenteenohjauksen kanssa. Keskustelun aikana tarkastetaan ratatyöilmoitus sekä käydään läpi tulevan ratatyön keskeiset asiat. Täydentävän keskustelun jälkeen lähetetään RUMAssa sähköinen ratatyölupapyyntö ja pyydetään ratatyölupaa liikenteenohjaukselta määrämuotoisesti suullisesti. Ratatyölupa on voimassa vasta kun ratatyölupa on saatu suullisesti määrämuotoisella viestinnällä liikenteenohjaukselta ja ratatyöluvan dokumentaatio on tarkastettu. Ratatyöluvan saatua ratatyövastaavan on annettava suullinen ratatyöselostus. (Väylävirasto 2023a, 68–77.)

2.3 Turvamiestoiminta

Työ voidaan tehdä ilman ratatyölupaa turvamiestoiminnalla, jos siihen vaadittavat ehdot täyttyvät. Turvamiestoimintaa voidaan käyttää esimerkiksi, kun liikennöidyllä raiteella tehdään jalkaisin töitä tai kun työkoneella työskennellään siten, että jokin sen osa voi virhe liikkeen vuoksi ulottua liikennöidyn raiteen radansuojautumaan. Turvamiehenä toimivalla on oltava turvamiespätevyys sekä turvamiesmääräys. (Väylävirasto 2023a, 113–134.)

Turvamiestoiminta on mahdollista toteuttaa silloin, kun

- turvamiehellä on riittävä näkemä molempiin suuntiin
- henkilöstöllä on turvallinen ja esteetön väistöalue
- turvamiehellä on näkö- ja kuuloyhteys turvattaviin koneisiin ja henkilöstöön
- etäisyys turvattaviin koneisiin ja henkilöstöön on maksimissaan 100 metriä
- turvattava alue on maksimissaan 200 metriä pitkä
- turvattavia saa olla yhdellä turvamiehellä maksimissaan 10 henkilöä tai viisi henkilöä ja yksi työkone tai kaksi työkoneita.

Turvamiestoiminnan aikana turvamiehen on jatkuvasti arvioitava, onko turvaaminen mahdollista huomioiden sääolosuhteet ja keskeytettävä toiminta, jos

turvaaminen ei ole mahdollista. Turvamies ei saa osallistua muuhun työn turvaamisen aikana. (Väylävirasto 2023a, 113–134.)

Turvamiehenä toimivalla on oltava muun henkilökohtaisen suojarustuksen lisäksi oranssi 2- tai 3-luokan huomiovaatetus, jossa selässä lukee turvamies. Äänimerkinantolaite, jolla annetaan turvattavalle henkilöstölle suoja-alueelle siirtymiskäsky. (Väylävirasto 2023a, 113–134.)

2.4 Rautatiealueella tehtävä muu työ

Kun työskentely rautatiealueella tapahtuu täysin ratatyön suojaulottuman ulkopuolella siten, että työkoneen osa tai taakka ei missään työvaiheessa voi ulottua ratatyön suojaulottuman sisäpuolelle tai vaikuta rataa, esimerkiksi geometriaan tai vakavuuteen. Rautatiealueella tapahtuva muu työ ei edellytä ratatyölupaa tai turvamiesmenettelyn käyttöä. (Väylävirasto 2023a, 141–143.)

Rautatiealueella tapahtuva muu työ on esimerkiksi suunnittelu-, mittaus-, tarkastus- tai maarakennustöitä. Ennen töiden aloitusta on työ suunniteltava ja sen riskit erityisesti radan liikennöintiin sekä radan geometriaan liittyen arvioitava. (Väylävirasto 2023a, 141–143.)

2.5 Radanpidon turvallisuuspoikkeamat

Radanpidossa tapahtuneet turvallisuuspoikkeamat on ilmoitettava Väyläviraston tietojärjestelmään. Turvallisuuspoikkeamien selvittämisen ja käsittelyn tavoitteena on tunnistaa poikkeamaan johtaneet syyt sekä toteuttaa korjaavat toimenpiteet, jotta tulevaisuudessa vastaavalta poikkeamalta vältyttäisiin tai sen todennäköisyyttä voidaan pienentää. (Väylävirasto 2022, 9–13.)

Taulukossa 1 on esitetty vuoden 2020 raportoidut poikkeamien määrät sekä poikkeamataajuuudet. Suurin poikkeamaluokka on ratatyön aiheuttama vaurio, joita ilmoitettiin 315 kappaletta. Luvattomia ratatöitä on yhteensä 24 kappaletta. (Väylävirasto 2021, 25.)

TAULUKKO 1. Radanpidon poikkeamien määrät ja poikkeamataajuudet (poikkeamaa per 100 000 ratatyölupaa) luokittain vuonna 2020 (Väylävirasto 2021, 25)

Poikkeamaluokka	Poikkeamien määrä	Poikkeamataajuus
Törmäys esteeseen	0	0
Kalustoyksiköiden välinen törmäys	2	1
Suistuminen	10	6
Ylinopeus	0	0
Eläimen allejäänti	0	0
Vaihteen aukiajo	24	18
Luvaton seis-opasteen ohitus (aiheuttaen vaaraa saman tai viereisen raiteen liikenteelle)	0	0
Luvaton seis-opasteen ohitus (aiheuttamatta vaaraa saman tai viereisen raiteen liikenteelle)	0	0
Luvaton ratatyö (ilman liikenteenohjauksen lupaa)	22	16
Luvaton ratatyö (ilman ratatyövastaavan lupaa)	2	1
Ratatyön päättämismvirhe	32	23
Ratatyöalueen rajan ylittäminen	54	38
Ratatyön paikantamismvirhe (LO johtuva)	3	2

(jatkuu)

TAULUKKO 1. (jatkuu)

Ratatyön paikantamisvirhe (ratatyövastaavasta johtuva)	1	1
Ratatyön suojaamisvirhe (liikenteenohjauksesta johtuva)	36	26
Ratatyön suojaamisvirhe (ratatyövastaavasta johtuva)	9	6
Virhe louhintatyössä	2	1
Virhe tulityössä	0	0
Turvallisuusohjeiden vastainen toiminta	94	67
Työkone tai muu este ATU:n sisäpuolella	6	4
Ratatyönaiheuttama vaurio	315	224
Virhe turvamiestoiminnassa	21	15
Virhe rautatiealueella tehtävässä muussa työssä	4	3
Virheellinen viestintä	8	6
KAIKKI YHTEENSÄ	645	459

Poikkeamia liittyen luvattomiin ratatöihin liittyen tapahtuu todennäköisesti enemmän kuin tilastot osoittavat, sillä poikkeamiin liittyvissä tapauksissa ulkopuolinen taho on havainnut sen tai liikenteenohjaus on huomannut poikkeaman raiteen tai vaihteen varautumisena (Väylävirasto 2021, 28).

3 NYKYISEN RATAPENKEREEN POHJANVAHVISTUSMENETELMÄT

Radan alus- ja pohjarakenteiden suunnittelu edellyttää aina geoteknistä erikoisosaamista, sillä ne kuuluvat aina hyvin vaativaan geotekniseen luokkaan GL3 tai vaativaan geotekniseen luokkaan GL2. Esimerkiksi pehmeikölle rakennettavat penkereet sekä kaivannot kuuluvat vaativuusluokkaan GL3. Seuraamusluokkana käytetään CC2-luokkaa, ellei hankekohtaisesti sovita muuta. (Väylävirasto 2018, 11.)

Geotekninen sekä rakenteellinen mitoitus tehdään siten, että pohjarakenteiden siirtymät ja painumat ovat riittävän pienet radan turvallisen liikennöinnin takaamiseksi. Maanvaraisen perustamisen, pohjanvahvistusten sekä pohjarakenteiden mitoitus tehdään ensisijaisesti laskennallisilla menetelmillä. (Väylävirasto 2018, 11.)

Olemassa olevan ratapenkereen stabiliteettia voidaan parantaa erilaisilla pohjanvahvistusmenetelmillä. Toimenpiteet tehdään nykyisen penkereen alapuolelle, ratapenkereen viereen tai näiden yhdistelmänä. Pohjanvahvistusmenetelmän valintaan käytetään teknistaloudellisuus tarkastelua. (Liikennevirasto 2018, 33.)

Taulukossa 2 on esitetty pohjanvahvistusmenetelmät sekä niiden sijainti suhteessa ratapenkereeseen. Pohjanvahvistusmenetelmistä pääosa kohdistuu joko penkereen alapuolelle tai sen viereen.

TAULUKKO 2. Pohjanvahvistusmenetelmien sijainti suhteessa ratapenkereeseen (Liikennevirasto 2018, 33)

Menetelmän sijainti	Pohjanvahvistusmenetelmä
Nykyisen penkereen alle tehtävät toimenpiteet	Pengerpaalulaatta Massanvaihto Lujitteet Keventeet
Nykyisen penkereen viereen tehtävät toimenpiteet	Vastapenger Tukimassanvaihto Syvästabilointi
Nykyisen penkereen vieressä tehtävät ja penkereen alapuolelle ulottuvat toimenpiteet	Penkereen alle ankkuroitava tukiseinä

Ratapenkereen alapuolelle tehtävät pohjanvahvistusmenetelmät vaativat poikkeuksetta ratatyöluvan sillä ne vaikuttavat radan liikennöitävyyteen. Ratapenkereen viereen tehtävät pohjanvahvistukset voi olla mahdollista toteuttaa ilman ratatyölupaa, jos toimitaan ratatyön suojaulottuman ulkopuolella eikä toimenpiteet vaikuta radan vakavuuteen tai geometriaan. (Väylävirasto 2023a, 34.)

3.1 Massanvaihto

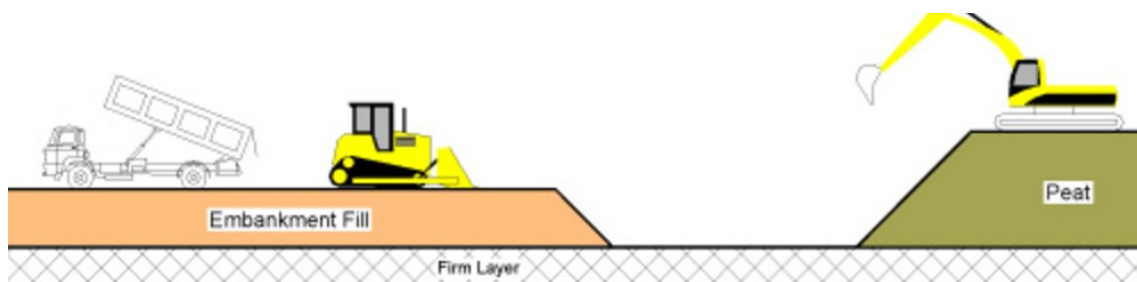
Massanvaihdossa penkereestä poistetaan heikosti kantava tai kokoonpuristuva maa-aines ja korvataan kantavalla pengermateriaalilla (Liikennevirasto 2011, 10). Radan pengermateriaaleina voidaan käyttää moreenia, karkearakeisia maa-lajeja tai kalliomursketta. Materiaalien käyttöön vaikuttavat olosuhteet, joten

massanvaihtoon käytettävien materiaalien vaatimuksia tarkennetaan suunnitelma-asiakirjoissa. (Rakennustieto Oy 12.12.2024a.)

Massanvaihto voidaan tehdä pengertämällä tai kaivamalla. Menetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat hankkeen massatalous, ympäristövaikutukset sekä työturvallisuus. (Liikennevirasto 2011, 10–11.)

Kaivamalla tehtävässä massanvaihdossa huonosti kantava maa-aines poistetaan kaivamalla kovaan pintaan asti tai suunnitelmissa määrättyyn syvyyteen asti, jolloin puhutaan osittaisesta massanvaihdosta. Kaivamalla suoritettava massanvaihto rajoittuu pääosin mataliin pehmeikköihin, joiden syvyys on pääosin 3–5 metriä. Kaivamalla on mahdollista päästä jopa 10 metrin syvyyteen asti, mutta tämä vaatii erityistä työturvallisuus suunnittelua sekä ympäristövaikutusten arviointia. Syvien kaivantojen ympäristövaikutukset voivat olla hyvin merkittäviä. (Liikennevirasto 2011, 10–11.)

Massanvaihto tehdään lyhyissä osissa ja täyttö tehdään heti kaivun perään (Liikennevirasto 2011, 10–11). Täyttö tehdään kerroksittain tiivistäen ja tiivistyksen onnistuminen on varmistettava (Rakennustieto Oy 12.12.2024b). Kuvassa 3 on havainnollistettu pituusleikkauksen avulla massanvaihto kaivamalla. Kuvassa esiintyvät termit ovat esitetty kohdassa sanasto.

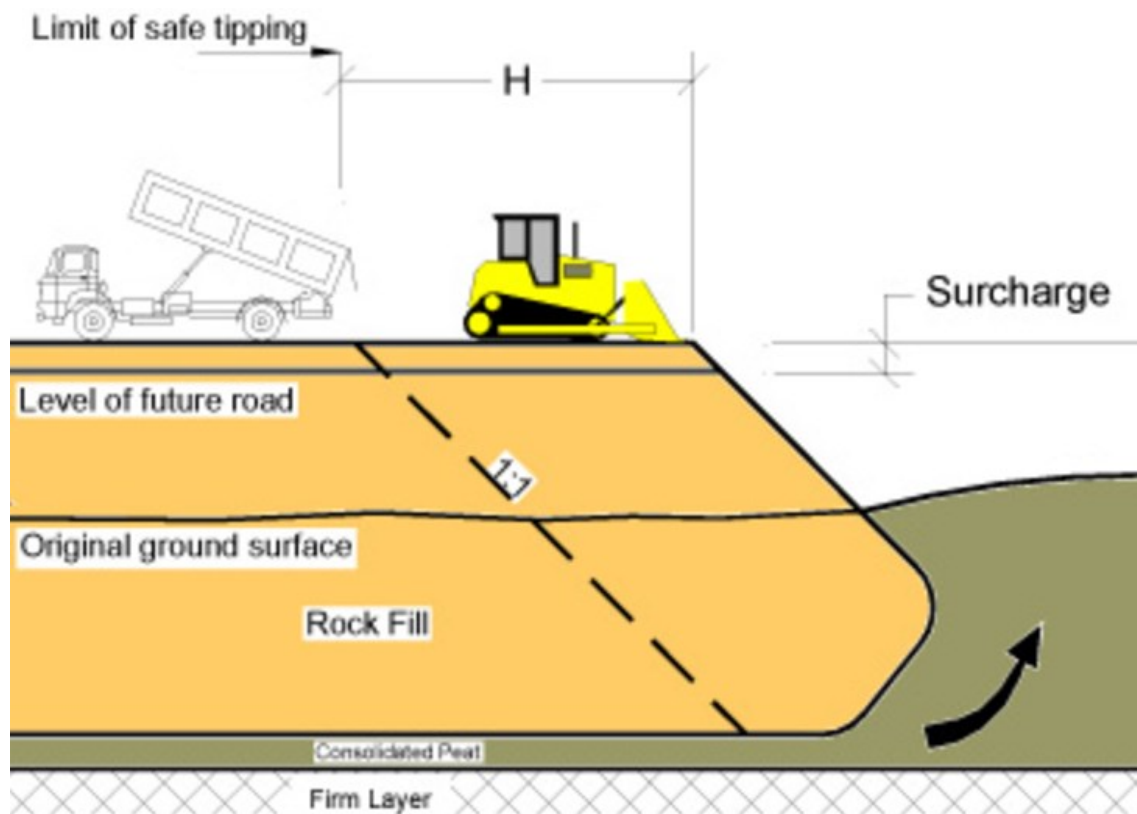


KUVA 3. Massanvaihto kaivamalla (Roadex Network)

Massanvaihto pengertämällä tehdään yleensä, kun massan vaihto kaivamalla ei ole mahdollista. Pengertämällä tehdyn massanvaihdon syvyydet ovat yleensä olleet 5–10 metriä. Menetelmässä täyttöä vaikeuttava pintakerros poistetaan, jonka jälkeen korkeana päätypenkereenä ajettava täyttö syrjäyttää huonosti kantavat

maa-ainekset penkereen sivuille ja eteen. Pengertämisestä syntyneet massat, jotka toimivat vastapainona huonosti kantavan maa-aineksen syrjäyttämiseksi poistetaan pengertämisen edetessä. Maapohjaa on kuormitettava vähintään murtotilakuormituksella pengertämällä tehtävän massanvaihdon onnistumiseksi. (Liikennevirasto 2011, 11.)

Kuvassa 4 on pituusleikkaus penkereestä, millä havainnollistetaan reunapengertämällä tehtävää massanvaihtoa. Kuvassa esiintyvien termien suomennokset ovat esitetty kohdassa sanasto.

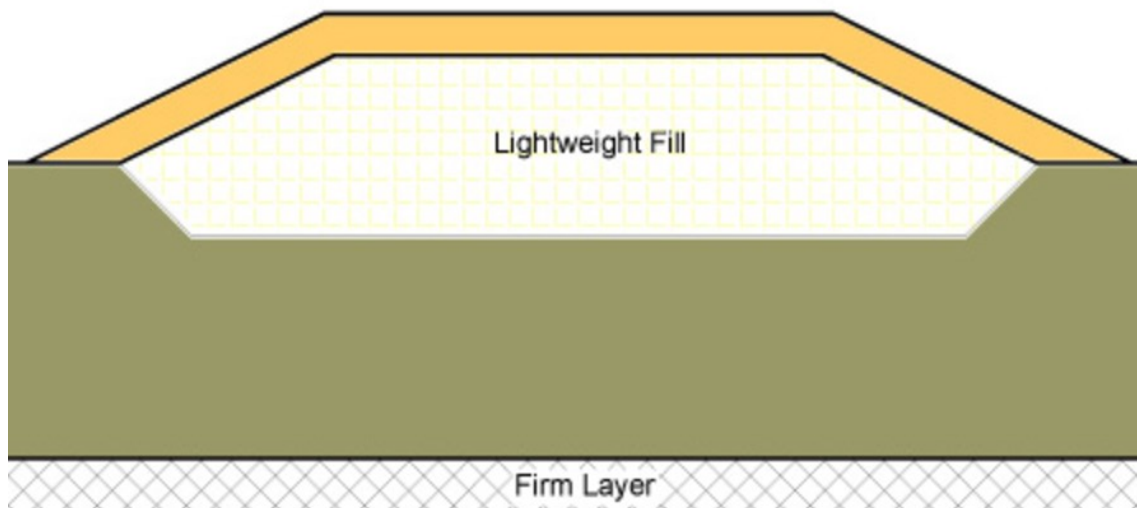


KUVA 4. Massanvaihto pengertämällä (Roadex Network)

3.2 Kevenneet

Kevennerakenteita käytetään joko penkereeseen tai penkereen alle. Kevennerakenteita voidaan käyttää nykyiseen ratapenkereeseen, jos ratapenger rakennetaan uudestaan. (Liikennevirasto 2018.)

Kevennerakenteilla pienennetään kiviaineksesta aiheutuvaa kuormaa, jolloin penkereen vakavuus paranee ja painuma pienenee (Liikennevirasto 2010, 10). Kuvassa 5 on esitetty kevennetyn penkereen poikkileikkaus, jossa raskas pengermateriaali on korvattu kevennerakenteella. Kuvassa esiintyvien termien suomennot ovat esitetty kohdassa sanasto.



KUVA 5. Poikkileikkaus kevennetystä penkereestä (Roadex Network)

Kevennerakenteiden materiaalien soveltuvuus selvitetään suunnittelussa. Kevennerakenteessa käytettäviä materiaaleja ovat esimerkiksi kevytsora ja EPS-solumuovi. (Liikennevirasto 2010, 14.)

Kevytsoran tärkeimmät ominaisuudet kevennysrakenteena ovat pieni tilavuuspaino, hyvät geotekniset ominaisuudet kuten kantavuus ja kitkakulma, suuri vedenläpäisevyys sekä haitattomuus ympäristölle. Kevytsora valmistetaan savesta polttamalla ja sen kantavuutta voidaan lisätä betonoimalla. Maarakentamisessa yleisimmin käytetty kevytsoran raekoko on 4–32 mm. (Liikennevirasto 2010, 21.)

EPS-solumuovissa muovin määrä raaka-aineena on 2–5 % ja se valmistetaan paisuttamalla polystyreenimuovia umpisoluista. EPS-keventeellä saadaan pienennettyä maarakenteiden vaakasuoraa maapainetta tai pystysuorassa vaikuttavia voimia, mikä vähentää painumia ja siirtymiä. Maarakennuksessa yleisimmin käytettävät laadut ovat EPS 120 ja EPS 200. EPS-solumuovin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat pieni tilavuuspaino, kosteudenkestävyys, pitkäaikaisen kuormituksen kesto sekä muokattavuus ja käsiteltävyys. (Liikennevirasto 2010, 26.)

3.3 Lujitteet

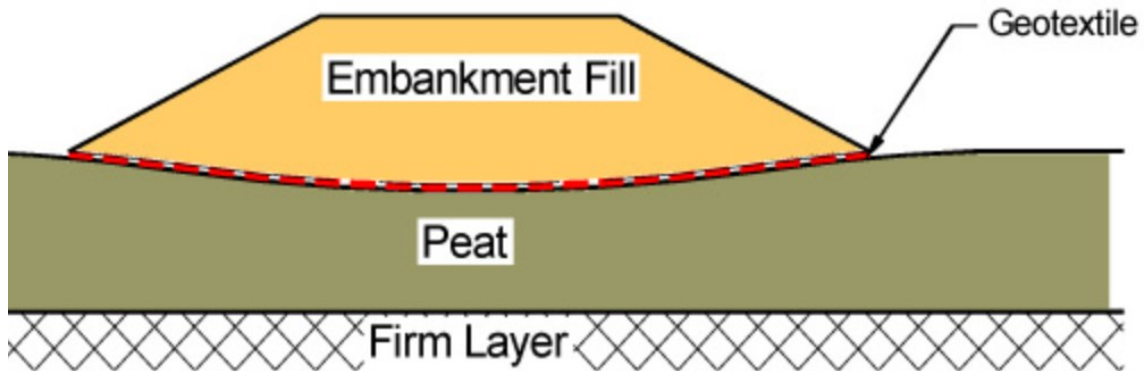
Geolujitteet ovat synteettisistä polymeereistä valmistettuja kankaita, liuskoja, verkkoja tai teräsverkkoja. Geolujitetun rakenteen pääosat ovat täyttömateriaali, joka on lujitteiden välissä, täytön lujite sekä mahdollinen pinnoitusjärjestelmä. (Liikennevirasto 2012.)

Geolujitteet vastaanottavat ja siirtävät rakenteeseen syntyviä jännitteitä ja jakaa ne laajemmalle alueelle, näin saadaan lisättyä rakenteiden vakavuutta. Lujitteet pienentävät myös rakenteen tilan tarvetta, sillä esimerkiksi luiskat voidaan rakentaa jyrkempänä. Geolujitteiden avulla pehmeikkörakentamista voidaan nopeuttaa ja helpottaa sekä ne mahdollistavat maamassojen käytön, jotka eivät muuten kelpaisi. (Liikennevirasto 2012, 19.)

Geolujitteiden toiminta perustuu siihen, että voimat voivat siirtyä lujitteesta maahan. Tämä voimien siirtyminen perustuu lujitteen ja maan väliseen tartuntavoimaan. Tartuntavoiman tehokkaaseen kehittymiseen vaaditaan lujitetta ympäröivältä maalta riittävä leikkauskestävyyskulma. (Liikennevirasto 2012, 25.)

Yleisiä käyttökohteita geolujitetuille rakenteille ovat pehmeikölle perustettavat penkereet, paalutettujen ja syvästabiloitujen penkereiden holvausrakenteet ja sortuneiden luiskien korjaus. Lisäksi geolujitettuja rakenteita käytetään penkereiden levennyksiin, jyrkkiin luiskiin sekä lujitemaatukimuureihin. (Liikennevirasto 2012, 19.)

Kuvassa 6 on havainnollistettu geotekstiilin vaikutusta pehmeikölle rakennetulla penkereellä. Punaisella katkoviivalla esitetty geotekstiili pienentää penkereen painumaa turpeeseen.

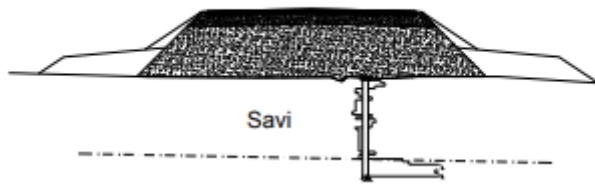


KUVA 6. Geotekstiili pehmeikölle rakennetussa penkereessä (Roadex Network)

3.4 Vastapenger

Vastapenger rakennetaan varsinaisen penkereen viereen ja on osa penkereen rakennetta. Vastapenger on usein edullinen pohjanvahvistusmenetelmä sillä vastapengermateriaaliksi kelpaavat usein myös huonolaatuiset massat. (Liikennevirasto 2014, 20.)

Vastapenkereellä parannetaan penkereen stabiiliteettia ja soveltuu käytettäväksi erityisesti, kun penkereen vakavuus on lähellä riittävää ilman vastapengertäkin. Vastapenkereen on tarkoitus estää liukupinnan syntyminen penkereeseen. Vastapenger toimii varsinaisen penkereen vastapainona. Kuvassa 7 on havainnollistettu vastapenger pääpenkereen molemmin puolin. Vastapengermateriaalin märkätilavuuspainoksi oletetaan suunnitelmissa yleensä 18 kN/m^3 . (Rakennustieto Oy 12.12.2024c; Liikennevirasto 2014, 20-21.)



KUVA 7. Vastapenger (Liikennevirasto 2014, 21)

Vastapenkereen rakennuksen aikana on työn aikaiset sortumat estettävä eikä vastapenger alueiden viereen saa tehdä suunnitelmasta poikkeavia ojituksia tai muita kaivantoja, mitkä voivat heikentää penkereiden vakavuutta. Penkereen rakennekerrosten kuivatus toteutetaan suunnitelmissa esitetyn kuivatussuunnitelman mukaan vastapenkereen läpi. Rakentamisen aikana on tärkeää seurata massamenekkiä. (Rakennustieto Oy 12.12.2024c)

3.5 Pengerpaalulaatta

Paalulaattarakenne on yhtenäinen paalujen päälle perustettu teräsbetonilaatta. Teräsbetonilaatan päällä on pysyväenä kuormana penger. Paalulaattarakennetta käytetään, jos muilla perustamis- ja pohjanvahvistusmenetelmillä ei saavuteta riittävää kantavuutta tai menetelmät ovat taloudellisesti liian kalliita. (Väylävirasto 2023b, 12.)

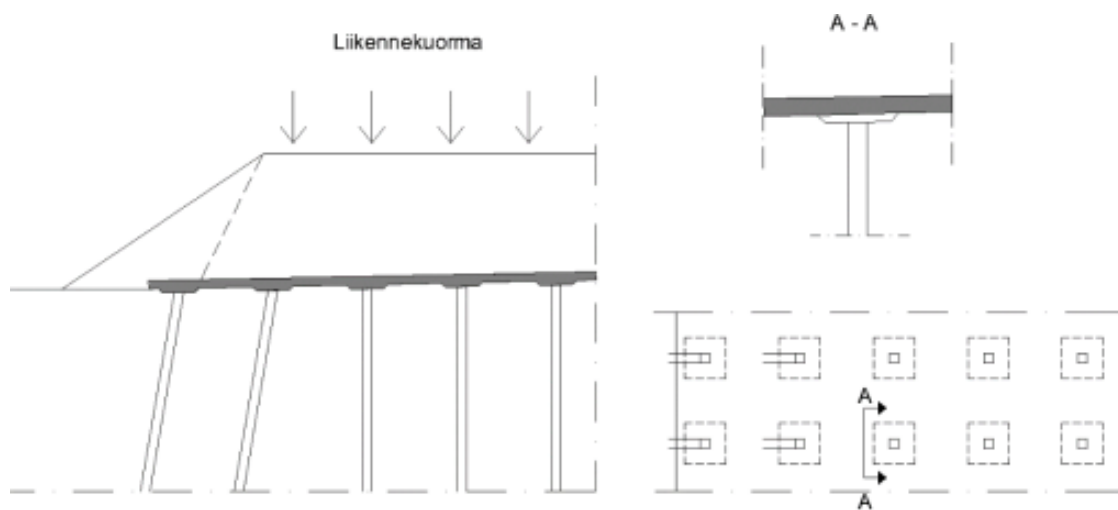
Paalulaattarakenteen tyypillisiä käyttökohteita ovat

- syvät pehmeiköt, joissa massanvaihtoa ei ole mahdollista toteuttaa siitä aiheutuvien ympäristövaikutusten vuoksi
- kohteet, joissa radan läheisyydessä on rakenteita, jotka ovat radan liikennöinnin aiheuttamalle tärylle alttiita
- korkeat penkereet, joiden stabiliteettia ja tavoitepainumaa on vaikea saavuttaa muilla toimenpiteillä ja jotka sijaitsevat pehmeiköllä.

Laattatyyppin valintaan vaikuttavat laattojen massoista aiheutuvat kustannukset, laatan muoto, muotitustarve, raudoitustyön sekä alustatyön vaikeus.

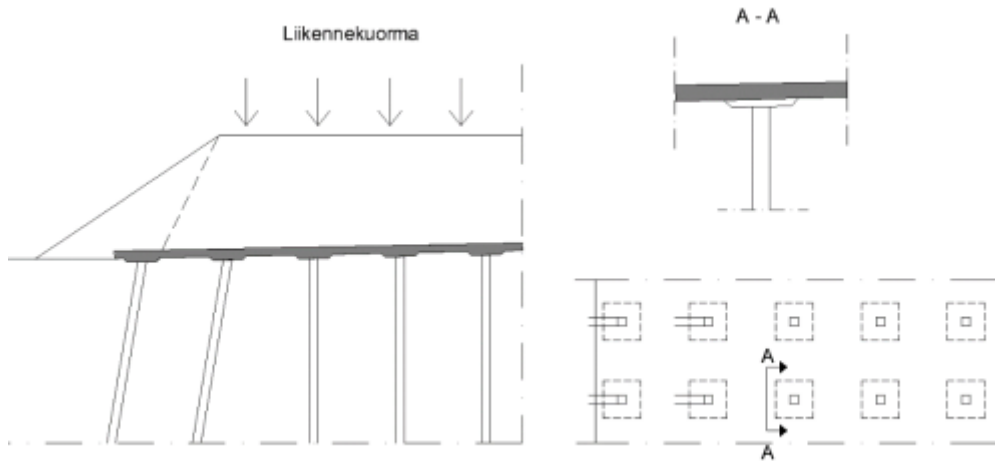
Laattatyyppejä ovat tasapaksu laatta, sienilaatta sekä palkkilaatta. (Väylävirasto 2023b, 14.)

Yksinkertaisin rakennettava paalulaattatyyppi on tasapaksu laatta ja sen etuna on rakentamisen nopeus. Tasapaksulaatta sallii suuremmat paalujen sijaintipoikkeamat verrattuna muihin laattatyyppeihin. Muihin laattatyyppeihin verrattuna tasapaksulaatta on kuitenkin massiivisempi. (Väylävirasto 2023b, 13.) Kuvassa 8 on tasapaksun laatan poikkileikkaus sekä poikkileikkaus pengerpaalulaatasta.



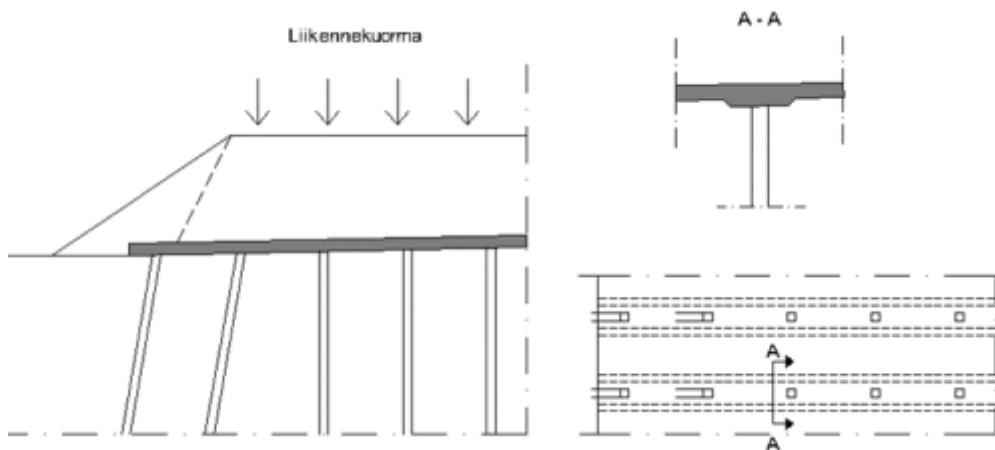
KUVA 8. Tasapaksulaatta (Väylävirasto 2023b, 13)

Sienilaattaan on tehty paalujen kohdalle paksunnokset, joiden avulla paalujen kohdalle saadaan suurempi lävistyskapasiteetti (kuva 9). Sienilaatan rakentaminen vaatii huomattavasti enemmän työtunteja verrattuna tasapaksuun- ja palkkilaattaan verrattuna. Sienilaatan muoto on kuitenkin tasapaksulaattaa edullisempi. Heikkoutena sienilaatalla on sen herkkyyks sijainti- ja mittapoikkeamille. (Väylävirasto 2023b, 13.)



KUVA 9. Sienilaatta (Väylävirasto 2023b, 13)

Palkkilaatta mahdollistaa ylityskohdissa pidemmän jännevälän käyttämisen sekä suurempien paalujen käytön. Palkkilaatan betonimenekki sienilaattaan verrattuna on suurempi ja muotituksen kustannukset ovat suuremmat kuin tasapaksulla laattalla. Lisäksi palkkilaatta on herkkä pilareiden sijaintipoikkeamille kohtisuorassa palkkikaistaan nähden. (Väylävirasto 2023b, 13–14.) Kuvassa 10 on esitetty palkkilaatan poikkileikkaus.



KUVA 10. Palkkilaatta (Väylävirasto 2023b, 14)

4 MASSOJEN SIIRRON KUSTANNUKSET RAUTATIEALUEELLA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja vertailla massojen siirron kustannuseroja kisko- ja autokaluston välillä kohteisiin, jotka sijaitsevat rautatiealueella ja pehmeiköllä. Lisäksi tavoitteena oli luoda laskentataulukko kuljetuskustannusten vertailua varten, jota voitaisi hyödyntää yrityksen sisällä työmenetelmän valinnassa. Kuljetusmuodoiksi valikoitui veturin ja sivukippivaunujen yhdistelmä sekä kasettiyhdistelmä.

Massojen siirron kustannusvertailun kohteiksi valikoitiin neljä vastapengertä, jotka kuuluvat Kontiomäki-Pesiökylä päällysrakenneurakka 2:een. Työssä vertailtiin näiden neljän kohteen massojen siirtokustannuseroja kuljetusmuotojen välillä. Taulukossa 3 on esitetty vastapenkereiden massamäärät, etäisyydet ja ajonopeudet, joiden pohjalta laskennat on tehty.

TAULUKKO 3. Laskennassa käytettyjen vastapenkereiden lähtötiedot

<i>Vastapenger ja ratasijainti</i>	<i>P13</i>	<i>P15c</i>	<i>P20</i>	<i>P29</i>
	<i>695+040</i>	<i>700+150</i>	<i>713+340</i>	<i>723+050</i>
<i>Massojen sijainti</i>	692+500	700+000	704+850	722+600
<i>Siirrettävä materiaali määrä / m³tr</i>	3500	1800	6500	9700
<i>Kuljetusmatka radalla / km</i>	5,08	0,15	16,98	0,9
<i>Nopeus radalla / km/h</i>	20	10	20	15
<i>Kuljetusmatka tiellä / km</i>	10,8	0,15	28,8	0,95
<i>Nopeus tiellä / km/h</i>	40	10	40	30
<i>Työmaatien rakentaminen / m</i>	250	150	700	100

Kustannusvertailun laskentataulukko (liite 1) tehtiin Microsoft Excel -ohjelmalla ja on tarkoitettu vain yrityksen sisäiseen käyttöön. Laskentaohjelmasta tehtiin myös käyttöohje, joka on esitetty liitteessä 2.

Kustannusvertailu kohteittain sekä ratatyöluvan pituuden vaikutuksen kustannusvertailu on myös tarkoitettu yrityksen sisäiseen käyttöön ja se on esitetty liitteessä 3.

Molempien kuljetusmuotojen kustannusten muodostumiseen vaikuttaa merkittävästi kuljetusmatka. Työmaateiden rakentaminen nostaa kasettilyhdistelmän käytön kustannuksia ja voi olla erittäin suuri osa kokonaiskustannuksesta. Kasettilyhdistelmää käytettäessä on myös huomioitava mahdollisten yksityisteiden käytöstä johtuvat kulut ja tehdä sopimus yksityisteiden käytöstä. Kasettilyhdistelmän käytön kustannukset nousevat huomattavasti, jos työkohteeseen joudutaan kiertämään harvojen tieyhteyksien vuoksi.

Kiskokalustoa käytettäessä massojen siirtoon kuluu huomattavasti useampi työvuoro kuin kasettilyhdistelmillä, mikä on huomioitava työn suunnittelussa ja arvioidessa kiskokaluston käytön sopivuutta urakan aikataulu huomioiden. Ratatyöluvan pituudella havaittiin olevan suhteellisen suuri merkitys kustannuksiin sekä massojen siirtoon kuluvaan kokonaisaikaan.

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli vertailla kuljetusmuotojen välisiä kustannuseroja massojen siirrossa pehmeikköalueelle tehtäviin vastapengerkohteisiin sekä tutkia ratatyöluvan pituuden vaikutusta kiskokaluston käytön kustannuksiin. Lisäksi työn tarkoituksena oli perehtyä ratatyöluvaprosessiin, olemassa olevan rautatiepenkereen pohjanvahvistusmenetelmiin sekä rautatiealueella työskentelyyn liittyviin turvallisuusohjeisiin.

Rautatiealueella työskentelyyn sekä ratatyöluvaprosessiin perehdyttiin pääosin Väyläviraston julkaiseman turvallisuusohjeen kautta. Pohjanvahvistusmenetelmien tietoperustan keräämiseen hyödynnettiin Väyläviraston sekä Liikenneviraston ohjeiden lisäksi infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia.

Kustannusvertailua varten luotiin laskentaohjelma sekä käyttöohje. Laskentaohjelman avulla suoritettiin kasettiyhdistelmän sekä kiskokaluston välinen kustannusvertailu neljään vastapengerkohteeseen. Lisäksi laskentaohjelmalla tutkittiin ratatyöluvan pituuden vaikutusta kiskokaluston kuljetuskustannuksiin.

Kustannusvertailusta nähtiin kuljetusetäisyyden olevan erittäin merkittävä osa kustannusten muodostumisessa, lisäksi kasettiyhdistelmää käytettäessä työmaateiden rakentaminen nostaa kustannuksia huomattavasti. Vertailusta voitiin todeta myös kiskokaluston tarvitsevan huomattavasti useamman työpäivän massojen siirtoa varten. Tämän vuoksi kiskokaluston käyttö ei välttämättä ole mahdollista aikataulullisista syistä, vaikka se olisikin edullisempi vaihtoehto.

Koen laskentaohjelman soveltuvan urakkalaskentavaiheessa tehtävään kustannusvertailuun sekä työnsuunnitteluun ja aikataulutukseen. Laskentaohjelmaa käytettäessä on käyttäjän arvioitava itse erityisesti kiskokaluston tehokastyöaika vuorokaudessa.

LÄHTEET

Liikennevirasto 2010. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 5/2010. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2011-05_kevennysrakenteiden_suunnittelu_web.pdf. Luettu: 6.3.2025.

Liikennevirasto 2011. Massanvaihdon suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 11/2011. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2011-11_massanvaihdon_suunnittelu_web.pdf. Luettu: 25.2.2025.

Liikennevirasto 2012. Geolujitetut maarakenteet. Liikenneviraston oppaita 2/2012. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lop_2012-02_geolujitetut_maarakenteet_web.pdf. Luettu 27.3.2025.

Liikennevirasto 2014. Tien perustamistavan valinta. Liikenneviraston oppaita 2/2014. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lop_2014-02_tien_perustamistavan_web.pdf. Luettu: 27.3.2025.

Liikennevirasto 2018. Penkereiden stabiliteetin laskentaohje. Liikenneviraston ohjeita 14/2018. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-14_penkereiden_stabiliteetin_web.pdf. Luettu 20.2.2025.

Rakennustieto Oy 12.12.2024a. InfraRYL 18111.1.2 Ratamaapenkereen materiaalit. Luettavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2024_2/18111.html#id18111.1.2. Vaatii lisenssin. Luettu: 25.2.2025.

Rakennustieto Oy 12.12.2024b. InfraRYL 18111.5 Maapenkereen kelpoisuuden osoittaminen. Luettavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2024_2/18111.html#id18111.5. Vaatii lisenssin. Luettu: 25.2.2025.

Rakennustieto Oy 12.12.2024c. InfraRYL 18115 Vastapenkereet. Luettavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2024_2/18115.html. Vaatii lisenssin. Luettu: 27.3.2025

Roadex Network. Kurssi 2: Turpeen päälle rakennetut tiet. Luettavissa: <https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/turpeen-paalle-rakennetut-tiet/7-rakentamismenetelmat/>. Luettu 26.3.2025.

Väylävirasto 2018. Ratateknisetohjeet (RATO) osa 3. Radan rakenne. Väyläviraston julkaisu 13/2018. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-13_rato3_web.pdf. Luettu: 16.2.2025.

Väylävirasto 2021. Rautatietoimintojen poikkeamat 2020. Väyläviraston julkaisu 56/2021. Luettavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/181882/vj_2021-56_978-952-317-899-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Luettu: 5.2.2025.

Väylävirasto 2022. Turvallisuuspoikkeamien ja -havaintojen ilmoittaminen ja käsittely. Väyläviraston ohjeita 48/2022. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-48_turvallisuuspoikkeamien_ilmoittaminen.pdf. Luettu: 5.2.2025.

Väylävirasto 2023a. Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). Väyläviraston ohjeita 111/2023. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-111_TURO_web.pdf. Luettu: 3.2.2025

Väylävirasto 2023b. Paalulaattarakennesuunnittelu. Väyläviraston ohjeita 40/2023. Luettavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-40_paalulaattojen_suunnittelu_web.pdf. Luettu: 27.3.2025..

Väylävirasto 2024. Valtion rataverkon haltijan osaamis- ja pätevyysvaatimukset. Väyläviraston ohjeita 43/2024. Luettavissa https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2024-43v2_valtion_rataverkon_haltijan_osaamis_ja_patevyysvaatimukset.pdf. Luettu: 3.2.2025.

LIITTEET

Liite 1 Laskentaohjelma kuljetuskustannusten vertailuun (yrityksen sisäisessä käytössä)

Liite 2 Laskentaohjelman käyttöohje (yrityksen sisäisessä käytössä)

Liite 3 Kuljetusmuotojen kustannusvertailu (yrityksen sisäisessä käytössä)