

Verner Mikkola

# **RASKAASTI KUORMITETUN PIHAN POHJANVAHVISTUSMENETELMÄT**

Asfaltoitu teollisuusalueen piha-alue

Kandidaatintutkielma  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Mika Knuuti  
Toukokuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Verner Mikkola: Raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistusmenetelmät  
Kandidaatintutkielma  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikka  
Toukokuu 2021

---

Kandidaatin tutkielmassani tutkitaan raskaasti liikennöidyn piha-alueen pohjanvahvistusmenetelmiä. Piha-alue on tarkemmin rajattu asfaltilla päällystetyksi tehtaan pihaksi, jossa on raskasta liikennettä läpi vuorokauden. Työssäni käsitellään pihan rakennekerroksia, piha-alueen pohjanvahvistuksen tarvetta, muodonmuutoksia, erilaisia pohjanvahvistusmenetelmiä sekä niiden valintaan vaikuttavia pohjatutkimuksia.

Pihan rakennekerrokset ovat päällysrakenne, alusrakenne sekä kuivatuskerros. Päällysrakenne koostuu kiviaineksista ja päällysteestä. Alusrakenne koostuu alkuperäisestä luonnonmaasta sekä pohjanvahvistusmenetelmien avulla vahvistetusta luonnonmaasta. Kuivatuskerrokseen kuuluvat salaojat, hulevesiputket, kaivot, avo-ojat, kourut sekä viettokaltevuudet. Näiden avulla huolehditaan pintavesien ja vajovesien hallitsemisesta ja ohjaamisesta haluttuun paikkaan. Työssäni käsitellään pihan pohjanvahvistuksen tarvetta painumien, kantavuuden, routivuuden sekä kuormitusten näkökulmasta. Onnistuneen pohjanvahvistuksen avulla pystytään estämään painumien aiheuttamat ongelmat, kuten veden kertyminen lammikoihin, päällysteen halkeileminen sekä pihan alla kulkevien tekniikkajärjestelmien vahingoittuminen. Myöskin pohjanvahvistuksella pyritään lisäämään piha-alueen kuormituskestävyyttä sekä vaikuttamaan routivuuteen monin eri keinoin.

Raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistus voidaan toteuttaa monilla eri pohjanvahvistusmenetelmillä. Sopivan pohjanvahvistusmenetelmän valintaan vaikuttavat pihan geotekniset ominaisuudet, kustannukset, aika sekä ympäristötekijät. Työssä käsitellään pohjanvahvistusmenetelmistä tarkemmin syvästabilointi, esikonsolidointi, syvätiivistys, massanvaihto, injektointi sekä geolujitteet.

Lisäksi työssäni käsitellään pohjanvahvistusmenetelmien valintaan vaikuttavat pohjatutkimukset. Laajat ja kattavat pohjatutkimukset ovat hyvin tärkeitä kun valitaan piha-alueen pohjanvahvistusmenetelmiä. Pohjanvahvistuksessa tehdyt virheet ovat vaikeasti korjattavissa sekä aiheuttavat mittavia lisäkustannuksia.

Lopputuloksena selvisi, että raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistus voidaan toteuttaa erilaisissa olosuhteissa useilla eri pohjanvahvistusmenetelmillä. Pohjanvahvistusmenetelmän valinnassa on ensiarvoisen tärkeää hyödyntää laajoja pohjatutkimuksia halutunlaisen lopputuloksen takaamiseksi. Onnistuneen pohjanvahvistuksen avulla voidaan välttää tai vähentää pihan haitallista painumista, päällysteen halkeamista, tekniikan hajoamista sekä kuormituskestävyyden heikkenemistä.

Avainsanat: pohjanvahvistusmenetelmät, pihan rakennekerrokset, pohjatutkimukset, painumat, kantavuus, routivuus, kuormituskestävyys.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Työn tausta .....	1
1.2 Tutkimuksen tausta ja tutkimuskysymykset .....	2
1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn toteutus .....	2
2. PIHA-ALUEEN RAKENNEKERROKSET .....	4
2.1 Päälysrakenne .....	4
2.2 Alusrakenne .....	5
2.3 Kuivatusrakenne .....	6
2.4 Piha-alueen toiminnallisia ongelmia .....	6
3. PIHAN POHJANVAHVISTUKSEN TARVE .....	8
3.1 Kuormitukset .....	8
3.2 Painumat .....	8
3.3 Kuormituskestävyys .....	10
3.4 Routivuus .....	11
4. POHJANVAHVISTUSMENETELMÄT .....	13
4.1 Syvästabilointi .....	13
4.2 Esikonsolidointi .....	14
4.3 Syvätiivistys .....	15
4.4 Massanvaihto .....	17
4.5 Injektointi .....	19
4.6 Lujitteet .....	19
5. POHJATUTKIMUKSET .....	21
5.1 Maastokatselmukset .....	21
5.2 Koekuopat .....	23
5.3 Geofysikaaliset tutkimukset .....	23
5.4 Kairaukset .....	24
5.5 Näytteenotot .....	26
5.6 Pohjavesitutkimukset .....	26
6. PIHAN ESIMERKKITUTKIMUS .....	28
7. YHTEENVETO .....	29
LÄHTEET .....	30

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn taustaa

Kandidaatintyöni aihe on raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistusmenetelmät. Aihe on rajattu tehdasalueen pihaksi, joka on päällystetty asfaltilla ja siinä on hyvin raskasta liikennettä jatkuvasti läpi vuorokauden. Aihe on minulle ennestään tuttu, sillä olen ollut 4 kesää työharjoittelussa maanrakentamisen parissa. Haluan työtä tehdessäni laajentaa sekä syventää osaamistani kyseisestä aiheesta. Aiheesta on aikaisemmin tehty diplomityö, jossa on käsitelty katu- ja piharakenteiden painumien huomioon ottamista alue- ja rakennesuunnittelussa. Diplomityössä (Raitamäki 2014) on käsitelty pehmeikölle rakennettaessa syntyneitä erilaisia painumia sekä pohjatutkimuksia. Aiheesta löytyy tämän lisäksi runsaasti muuta hyödyllistä lähdemateriaalia. Työssäni käsitellään pohjanvahvistusmenetelmien tärkeyttä, sen epäonnistuessa aiheutuvia ongelmia sekä pihan rakennekerroksia. Lisäksi tutkielmassa käsitellään piha-alueen eri pohjanvahvistusmenetelmät, menetelmien hyvät ja huonot puolet sekä niiden valintaan tarvittavat pohjatutkimukset. Piha-alueen pohjanvahvistusmenetelmiä kannattaa tutkia, sillä nykyään ja tulevaisuudessa kaupungistumisen jatkuessa kaupunkialueet kasvavat yhä suuremmiksi, jolloin myös pohjaolosuhteet rakennettavilla alueilla vaihtelevat merkittävästi. Tällöin onkin tärkeää tuntea alueelle parhaiten sopivat pohjanvahvistusmenetelmät, niiden valintaan tarvittavat pohjatutkimukset sekä mahdollisesti aiheutuvat seuraukset pohjanvahvistuksen epäonnistuessa. Kuvassa 1 esitetty Suurpellon asuinalue on rakennettu kokonaisuudessaan pehmeikköalueen päälle.



**Kuva 1.** Espoon Suurpellon asuinalue on rakennettu kokonaisuudessaan pehmeikön päälle ja alueelle onkin tehty mittavat pohjanvahvistustyöt (TA, 2019).

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on saada selkeä kuva erilaisista raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistusmenetelmistä, pohjanvahvistusmenetelmän valintaan tarvittavista pohjatutkimuksista sekä pohjanvahvistusmenetelmien merkityksestä painumien, kuormituskestävyyden ja routasuojauksen näkökulmasta.

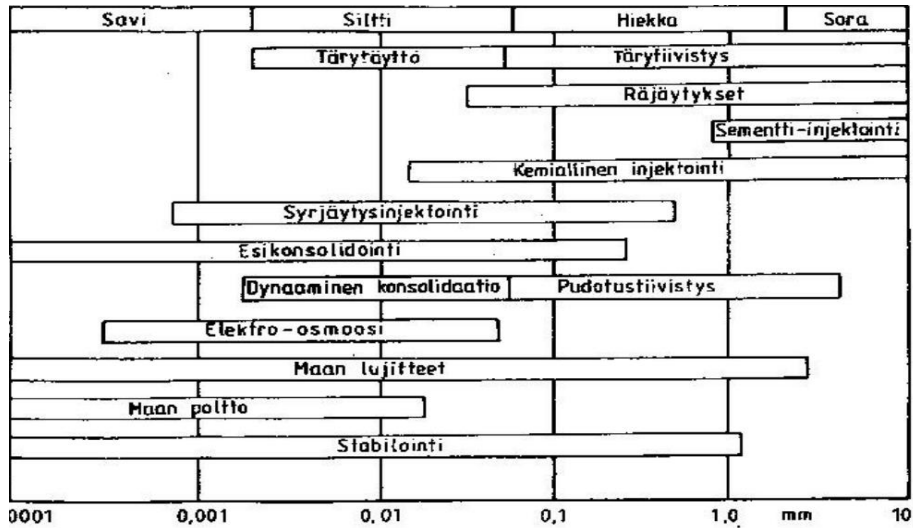
Päätutkimuskysymyksiäni on, että miten raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistus voidaan toteuttaa.

Alatutkimuskysymyksiäni ovat, että miksi pohjanvahvistus on piha-alueella tärkeää ja mitä seurauksia sen epäonnistumisesta voi aiheutua, mitä erilaisia pohjanvahvistusmenetelmiä on ja mitkä ovat niiden haasteet ja ongelmat sekä mitä erilaisia pohjatutkimuksia tarvitaan pohjanvahvistusmenetelmää valittaessa.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn toteutus

Tutkimus suoritetaan kirjallisuusselvityksenä ja havainnoidaan tapauskohdetta lyhyesti. Tutkimuskysymyksiin vastattaessa tarvitaan tietoa erilaisista pohjanvahvistusmenetelmistä sekä niiden ominaisuuksista, tietoja erilaisista pohjatutkimuksista pohjanvahvistusmenetelmää valittaessa sekä piha-alueen painumien, kantavuuden sekä routasuojauksen huomioon ottamista pohjanvahvistusta suunnitellessa ja tehdessä. Tutkielmassa käytetään lukuisia eri lähdemateriaaleja, kuten diplomityötä Raitamäki 2014, jossa käsitellään painumia ja muodonmuutoksia pehmeikölle rakennettaessa sekä väyläviraston

(väylä 2014) opasta väylien pohjanvahvistusmenetelmän valintaan. Kuvassa 2 on esitetty erilaisia vaihtoehtoja pihan pohjanvahvistuksen toteuttamiseksi. Lisäksi käytetään lähteenä pohjarakenteet kurssin materiaaleja (Länsivaara 2021) ja RT-kortistoa. Tämän lisäksi tarkastellaan erään tehdasalueen päällystetyn piha-alueen muodonmuutoksia ta-pauskohteena.



**Kuva 2.** Raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistus voidaan toteuttaa monilla eri menetelmillä. Yllä olevassa kuvassa eri menetelmien soveltuvuus maalajin mukaan (Notesco).

## 2. PIHA-ALUEEN RAKENNEKERROKSET

Piha-alueiden rakenteita ovat päällysrakenne, alusrakenne sekä kuivatusrakenne. Päällysrakenne koostuu maakerroksista sekä päällysteestä. Alusrakenne koostuu alkuperäisestä luonnonmaasta sekä pohjanvahvistusmenetelmällä vahvistetusta pohjamaasta. Kuivatusrakenne sisältää sadevesiviemärit, salaojat, avo-ojat sekä viettokaltevuudet, jotka ohjaavat sadevedet poistojärjestelmiin. Näillä kaikilla rakenteilla on keskeinen merkitys pihan toiminnallisuuden sekä halutunlaisten ominaisuuksien kannalta (Tuhola 2005, s. 589). Seuraavaksi käydään tarkemmin läpi piha-alueen eri rakenteet.

### 2.1 Päällysrakenne

Päällysrakenne koostuu päällysteestä sekä maarakenteesta. Maarakenne jataan tarkemmin alaluokkiin, joita ovat kantava kerros, jakava kerros sekä suodatinkerros. Päällystys jaetaan sidottuun kulutuskerrokseen sekä sitomattomaan kulutuskerrokseen. Päällysrakenteen valintaan vaikuttavat monet eri tekijät, joita ovat alueen käyttötarkoitus, alusrakenteen kantavuus ja routiminen, liikenteen aiheuttama kuormitus, tarvittavat kuivatusominaisuudet, päällystyksen alla olevan tekniikan sijainti, haluttu päällysteen ulkonäkö sekä päällystyksen rakennus- ja kunnossapitokustannukset. Päällyste voi koostua asfaltista kuten kuvassa 3, betonista, murskeesta, sorasta tai laatasta. Rakennekerrokset taas koostuvat usein murskeesta ja sorasta. Rakennekerrokseen voidaan käyttää myös uusiomateriaaleja, joita ovat muun muassa betonimurske, kuonat sekä masuunihiekkä. Uusiomateriaalien käyttämiseen täyttökerroksissa tarvitaan työmaakohtainen ympäristölupa. Maakerroksissa käytetään usein myöskin lujitekankaita sekä -verkkoja (Tuhola 2005, s. 590-594).



**Kuva 3.** Piha-alueen päällysteen valintaan vaikuttavat monet eri tekijät, kuten käyttötarkoitus, alusrakenteen kantavuus, haluttu kuormituskestävyys sekä kunnossapitokustannukset (asfalttikallio 2020).

## 2.2 Alusrakenne

Alusrakenne koostuu luonnon pohjamaasta tai pohjanvahvistusmenetelmällä vahvistetusta pohjamaasta sekä pengertäytyksestä. Pihan rakennekerrokset on esitetty seuraavan sivun kuvassa 5. Piha-alueen pohjanvahvistusta tehtäessä pyritään vaikuttamaan juuri alusrakennekerrokseen. Pohjanvahvistus on menetelmä, jolla huonosti kantava luontainen maaperä vahvistetaan haluttuihin kantavuus- ja laatuluokkiin riittäväksi. Piha-alueilla käytetään monia erilaisia pohjanvahvistusmenetelmiä, joita ovat muun muassa syvästabilointi, sorapaalutus, geovahvisteet ja kevennysmateriaalit. Kuvassa 4 pohjanvahvistusmenetelmänä käytetään paalutusta. Alusrakenne voi koostua kalliosta, routimattomasta kantavasta maapohjasta, kuten hiekasta ja sorasta, routivasta kantavasta maapohjasta kuten moreenista, siltistä ja savesta sekä pehmeiköstä, joka koostuu savesta (Tuhola 2005, s. 589).

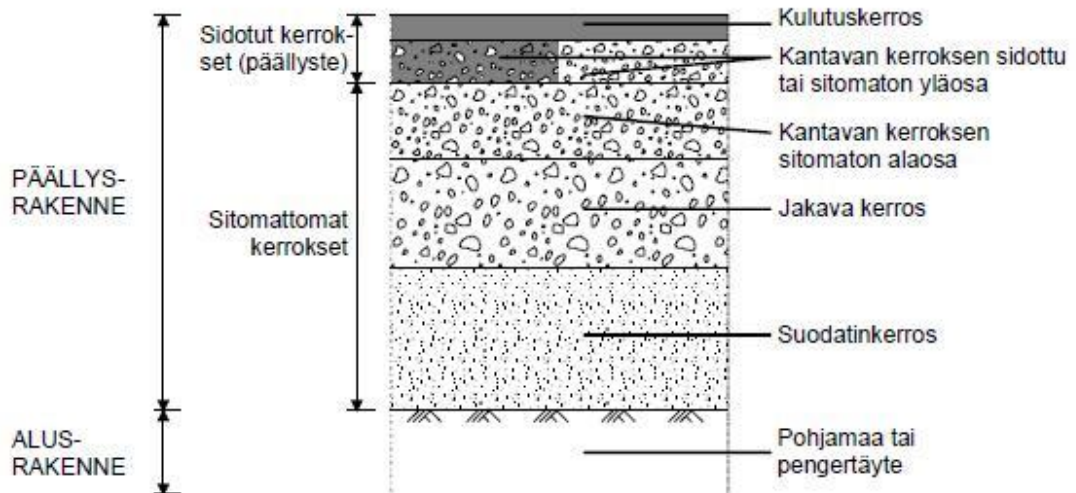




**Kuva 4.** Pohjanvahvistusmenetelmien avulla pyritään muuttamaan pohjamaan geoteknisiä ominaisuuksia (Aalto yliopisto, pohjarakentaminen ja pohjanvahvistusmenetelmät, 2016).

## 2.3 Kuivatuskerros

Kuivatuskerroksen avulla huolehditaan piha-alueella olevien pintavesien ja vajovesien keräämisestä sekä ohjaamisesta haluttuun paikkaan. Näin pystytään huolehtimaan piha-alueen halutunlaisesta toiminnasta sekä ehkäisemään haittoja. Piha-alueen kuivatusrakenteisiin kuuluvat salaojat, salaojakaivot, sadevesiviemärit, sadevesikaivot, kourut, avo-ojat sekä päällysteen ja maapohjan viettokaltevuudet. Piha-alueen pintavesien kuivatuksesta huolehditaan viemäreillä, kouruilla sekä avo-ojilla. Maakerrokseen taas imeytyvistä vajovesistä huolehditaan salaojien avulla. Salaojituksen avulla pystytään myöskin vähentämään routimisen aiheuttamia haittoja. Kuivatustarpeen kattavuuteen ja tasoon vaikuttavat oleellisesti pihan käyttötarkoitus, päällysteen rakenne sekä vaadittu laatutaso (Tuhola 2005, s. 594-595).



**Kuva 5.** Raskaasti liikennöidyn piha-alueen rakenne koostuu päällysrakenteesta, alusrakenteesta sekä kuivatusrakenteesta. (Belt 2002, s. 11)

## 2.4 Piha-alueen toiminnallisia ongelmia

Piha-alueelle voi muodostua monia erilaisia toiminnallisia ongelmia erilaisten syiden vuoksi. Yleisiä toiminnallisia ongelmia ovat muun muassa päällysrakenteiden epätasainen painuminen, liian pieni kantavuus, siirtymärakenteiden puutteellisuus rakenteiden välillä tai päällysrakenteen suunnitteleminen liian ohueksi, kun on otettu pelkkä kantavuus huomioon eikä routivuutta ollenkaan. Päällysrakenteiden epätasainen painuminen voi aiheuttaa veden kerääntymistä lammikoihin suunniteltujen kaatosuuntien muuttuessa sekä estää näin viemäreiden halutunlaisen toiminnan. Myös päällysrakenteessa kulkevan viemäriverkoston putkijohdot voivat vaurioitua epätasaisen maan painumisen vuoksi. Piha-alueen kantavuuden laskennassa on tärkeää varmistaa riittävän kantavuuden laskeminen sekä ottaa huomioon kantavuuteen vaikuttavat eri tekijät, joista osa on vuodenaikaissidonnaisia, kuten routivuus. Pihan rakenteissa käytetään useasti siirtymärakenteita, joiden tavoitteena on estää eri materiaalien epätasainen painuminen sekä routanousu. Kuvassa 6 on esitetty yleisesti piha-alueilla käytetty siirtymärakenne kevytsora. Siirtymärakenteiden avulla pystytään estämään monissa tilanteissa päällysteen rikkoutuminen. Täytyy myöskin huolehtia kaivon ympäristön täyttäminen routimattomalla maarakenteella, jolloin kaivon ei kohdistu suuria muodonmuutoksia. Päällysrakenteen paksuutta mitoitettaessa täytyy ottaa huomioon kantavuuden ohella myös routimisen aiheuttama kuormitus asfalttipäällysteelle. Hyvän routasuojauksen suunnittelemisella ja rakentamisella voidaan myös pienentää päällysteen rikkoutumisen riskiä sekä näin päällysteen paksuus voidaan suunnitella ohuemmaksi. (Tuhola 2005)



**Kuva 6.** Kevytsoraa käytetään yleisesti siirtymärakenteena piha-alueella vähentämään kuormien ja pohjaolosuhteiden vaikutuksesta syntyviä epätasaisia painumia (leca, painumien vähentäminen).

## 3. PIHAN POHJANVAHVISTUKSEN TARVE

Piha-alueen pohjanvahvistuksen avulla pyritään parantamaan maapohjan geoteknisiä ominaisuuksia. Sen onnistuminen on tärkeää piha-aluetta rakennettaessa, kun halutaan saavuttaa halutunlaiset ominaisuudet sekä taata pihan käytännöllisyys ja toimivuus haluttuun käyttötarkoitukseen. Pohjanvahvistuksen tärkeimpiä tavoitteita ovat painumien pienentäminen, kantavuuden lisääminen, routasuojauksen varmistaminen vedenläpäisevyyttä pienentämällä, dynaamisen kuormituskestävyyden lisääminen sekä dynaamisen kuormituksen aiheuttaman maan juoksettumisvaaran pienentäminen. Maapohjaa pyritään vahvistamaan eri pohjanvahvistusmenetelmillä kahdella eri tavalla, joissa pienennetään maan huokoisuutta joko pienentämällä huokostilan tilavuutta tai korvaamalla huokostilan vapaa tila vettä lujemmilla materiaaleilla. Seuraavaksi käsitellään kolmea tärkeintä osa-aluetta, joihin pohjanvahvistuksella pyritään vaikuttamaan (Länsivaara 2021).

### 3.1 Kuormitukset

Raskaalla kuormituksella tarkoitetaan raskasta ajoneuvoliikennettä tehtaan lastauspihalla, joka aiheuttaa huomattavia kuormituksia asfaltilla päällystettyyn tehtaan piha-alueeseen. Raskaasta kuormitusta piha-alueeseen aiheuttavat pääasiassa kuorma-autot ja ajoneuvoyhdistelmät. Ajoneuvot aiheuttavat pihaan staattista kuormaa sekä liikennekuormaa. Staattista kuormitusta aiheutuu, kun ajoneuvot ovat pysähdyksissä lastauslaiturin luona kuorman purkua tai lastausta varten. Staattisen kuorman suuruus on koko ajan yhtä suuri sekä sen suunta on vaihtumaton. Liikennekuorman suuruus taas vaihtuu ajoneuvon liikkuessa sekä sen aiheuttaman kuormituksen suunta ei pysy muuttumattomana. Erittäin raskaalle liikenteelle tarkoitettut ja toiminnallisesti vaativat tehtaan piha-alueet mitoitetaan tapauskohtaisesti (Tuhola 2005). Kuvassa 7 on esitetty pihan asfalttipäällysteen vaurioita, johtuen liiallisesta kuormituksesta päällysten kestävyysverratuna.



**Kuva 7.** Raskas kuormitus aiheuttaa piha-alueilla useasti päällysteen halkeamista. Tässä tapauksessa päällysteen halkeaminen aiheutui liian suuresta kuormituksesta mitoitettuun päällysteeseen sekä tehtyyn pohjanvahvistukseen nähden.

### 3.2 Painumat

Painuman aiheuttamat muodonmuutokset ovat yksi tärkeimmistä osa-alueista, joihin pohjanvahvistuksella pyritään vaikuttamaan piha-aluetta rakennettaessa. Liian suureksi kasvaneet painumat aiheuttavat monia erilaisia vaurioita pihan rakenteessa, sen alla kulkevissa järjestelmissä sekä sen toimivuudessa haluttuun käyttötarkoitukseen kuten kuvassa 8. Painuma voi aiheutua monesta eri syystä. Painuma voi aiheutua kuormitusten kasvaessa tai maaperässä tapahtuneiden muutosten vuoksi. Maaperässä tapahtuneita muutoksia, jotka vaikuttavat painumiin ovat muun muassa pohjaveden korkeuden muutokset. Klassisessa maamekaniikassa kokonaispainuma jaetaan neljään eri osa-alueeseen, joita ovat alkupainuma, konsolidaatiopainuma, leikkausjännitysten aiheuttama painuma sekä sekundääri painuma eli viruma. Laskennassa ja teoriassa oletetaan usein eri painumien tapahtuvan edellä olevassa järjestyksessä, mutta on havaittu käytännössä painumien tapahtuvan pääosin samanaikaisesti.



**Kuva 8.** Pihan painumat muuttavat suunniteltuja pihan kaatosuuntia, jolloin voi aiheutua veden kertymistä lammikoihin (Timonen 2014).

Alkupainuma muodostuu heti maan kuormitusta lisättäessä ja usein se tapahtuu jo rakennusaikana. Alkupainumassa maan tilavuus pysyy muuttumattomana, mutta maassa tapahtuu leikkausmuodonmuutoksia kuormituksen kasvaessa. Alkupainuman suuruuteen vaikuttaa jonkin verran myöskin onko maa normaalikonsolidoitunutta vai ylikonsolidoitunutta. Alkupainumalla on myöskin tyypillistä, että se palautuu vain osittain kuormituksen poistuessa, jolloin painumaa kutsutaan elastoplastiseksi painumaksi.

Konsolidaatiopainumassa maan tilavuus pienenee eli maa tiivistyy. Kuormitukset aiheuttavat näin maahan huokosveden ylipainetta ja siitä poistuu vettä. Konsolidaatiopainuma

kestää usein vuosia tai vuosikymmeniä ja on erityisen hidasta hienorakeisissa maarakenteissa. Konsolidaatiopainuman nopeuteen vaikuttavat monet eri tekijät, joita ovat muun muassa maalajin vedenläpäisevyys, vettä johtavien maakerrosten ominaisuudet, kuormituksen määrä sekä painuvan maakerroksen paksuus.

Leikkausjännitysten aiheuttamat painumat huomioidaan monesti vain tierakenteiden mitoituksessa, kun varmuuskertoimen suuruus on vähintään 1,5. Varmuuskertoimen ollessa pienempi, niin muodostuu rakennettavalle alueelle vyöhykkeitä, joissa leikkausjännitys kasvaa leikkauslujuuden edellyttämään arvoon, tällöin savi plastisoituu. Leikkausjännityksen aiheuttama painuma saattaa syntyä pengerryksaikana, odotusaikana tai käyttöaikana sekä painuman syntyminen on hyvin hidasta (Raitamäki 2014).

Sekundaaripainuma on konsolidaatiopainuman ohella merkittävä kokonaispainuman aiheuttaja. Sekundaaripainuma alkaa konsolidaatiopainuman jälkeen, huokosveden ylipaineen ollessa 0. Sekundaaripainuma on luonteeltaan hyvin hidasta. Sekundaaripainumi-

nen johtuu maalajin runkoaineksen hiipumisesta, jossa maakerroksen rakenteessa tapahtuu muutoksia. Maarakenteessa tapahtuvia muutoksia ovat muun muassa maarakeiden huokostilan hidas tiivistyminen, sekä rakeiden asennon ja sijainnin muuttuminen. Sekundaaripainuman on todettu alkavan primääripainuman aikana ja se voidaan jakaa kahteen komponenttiin, joita ovat primaarisen konsolidaation aikana kertynyt sekundaaripainuma primaarisen konsolidaatiovaiheen lopussa sekä sekundaaripainuma primaarisen konsolidaatiovaiheen jälkeen. Piha-alueilla painumat aiheuttavat monenlaisia ongelmia, joita ovat muun muassa piha-alueen pinnan epätasaisuus, pinnan rikkoutuminen sekä kuivatuksen toimimattomuutta. Nämä taas aiheuttavat ajomukavuuden ja turvallisuuden vähenemistä sekä korjaus- ja kunnossapitokustannusten kasvamista (Raitamäki 2014).

### 3.3 Kuormituskestävyys

Piha-alueen kuormituskestävyyksimitoituksen tarkoituksena on ehkäistä raskaan liikenteen aiheuttamaa päällysteen halkeilua sekä pysyviä muodonmuutoksia pihan päällysrakenteessa ja alusrakenteessa. Suomessa käytetään yleensä piha-alueen kantavuusmitoituksessa Odemarkin-menetelmää, jota voidaan käyttää myös tehokkaasti moniin eri maakerroksia sisältäviin piha rakenteisiin. Odemark-menetelmässä kuormituskestävyyksimitoituksen lähtötiedoiksi tarvitaan päällysrakenteen minimipaksuus, päällystetyyppi sekä sen paksuus, pihan päällysrakenteen ja alusrakenteen materiaalit sekä E-moduuli (Liikennevirasto 2018).

### 3.4 Routivuus

Routasuojaus on erittäin tärkeää piha-aluetta rakennettaessa, sillä yleisin päällysrakenteen vaurioitumisen syy Suomessa on maarakenteen routiminen, jolloin liian ohueksi suunniteltu päällyste vaurioituu. Merkittävimpiä routimiseen vaikuttavia tekijöitä ovat rouhtaantumisenopeus, sulan maan vedenläpäisevyys, alipaine routarajalla, vapaan veden määrä, maan jännitystila, maalajin huokosjakauma, huokosveden laatu, mineraalikoostumus sekä veden liikkeet maassa. Maarakenteen routiminen on erisuuruista eri maalajeissa. Suurimmat routanousut tapahtuvat yleensä silttimaassa sekä kerroksillisissa savissa, sillä ne ovat hyvin hienorakeisia maalajeja. Keskinkertaisesti routivia maapohjia ovat moreeni ja homogeeninen savi. Routimattomia maapohjia taas ovat hiekka, sora sekä kalliot.

Piha-alueen routasuojauksista voidaan toteuttaa monin eri keinoin. Pääperiaatteena routasuojauksessa on vaikuttaa routimisen perusedellytyksiin, joita ovat routiva maalaji,

jäätyminen mahdollistavat olosuhteet sekä veden pääsy jäätymisvyöhykkeseen. Routasuojaus voidaan toteuttaa mitoittamalla päällysrakenteen paksuus tarpeeksi suureksi, suunnittelemalla riittävän paksut routimattomat maarakennekerrokset, huolehtimalla veden saamisesta pois rakennekerroksista kuivatusjärjestelmien avulla, eristävien materiaalien käytöllä sekä korvaamalla routivat maalajit routimattomilla maalajeilla. Epätasainen routanousu aiheuttaa päällysrakenteissa runsaasti vaurioita. Epätasaista routanousua aiheuttaa maalajin vaihtelu sekä veden epätasainen virtaus maapohjassa. Epätasaista routanousua voidaan vähentää lisäämällä maakerrosten jäykkyyttä, korvaamalla pehmeän materiaalin lujemmalla materiaalilla sekä rakennekerrokseen voidaan sijoittaa teräsverkkoja ehkäisemään epätasaista routimista. Myöskin kuvassa 9 esitetyllä piha-alueen eristekerroksella voidaan estää rakenteiden routimista. Edellä mainitut keinot eivät vähennä routanousun kokonaissuuruutta, mutta vähentävät päällystettä kuormittavaa epätasaista routanousua. Lisäksi piha-alueen maapohjan kuivatuksen järjestäminen on yksi tärkeä osa toimivaa routasuojausta, sillä maarakenteessa oleva vesi on yksi routimisen pääaiheuttajista. Kuivatusrakenteisiin kuuluvat salaojat sekä veden kapillaarisen nousun estävä salaojituskerros. Piha-alueilla on myöskin hulevesiviemärit ja -kaivot sekä viettokaltevuudet, joiden avulla veden ohjaamista vedenpoistojärjestelmiin hallitaan. Rakennuksen routasuojausten suunnittelussa oletetaan, että maapohja on asianmukaisesti kuivatettu (Nisukangas 2009).



**Kuva 9.** Piha-alueiden routasuojaus voidaan toteuttaa jossain tapauksissa eristeen avulla (Rakentaja)



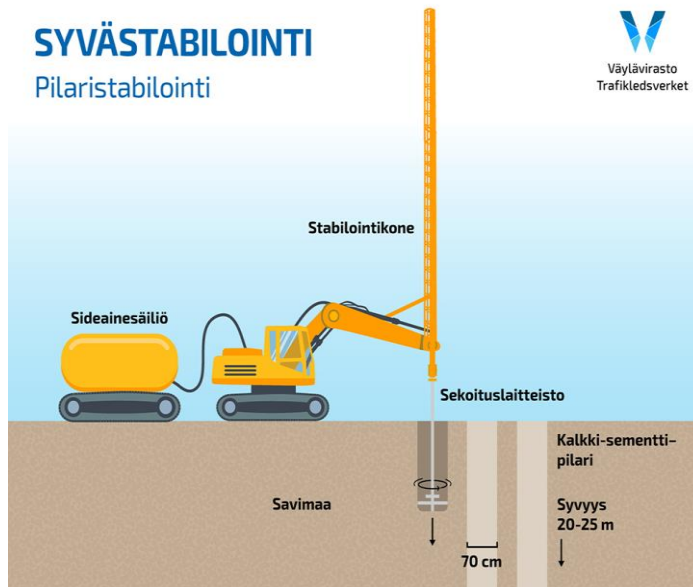
## 4. POHJANVAHVISTUSMENETELMÄT

Raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistusmenetelmien avulla pyritään parantamaan rakennettavan alueen geoteknisiä ominaisuuksia sekä sen soveltuvuutta haluttuun käyttötarkoitukseen. Pohjanvahvistusmenetelmien avulla pyritään pienentämään painumia sekä painumaeroja, lisäämään maakerrosten leikkauslujuutta eli kantavuutta, maakerrosten vedenläpäisevyyden pienentämiseen sekä routavaurioiden ehkäisyyn. Pohjanvahvistusmenetelmät voidaan jakaa kahteen eri toteutustapaan, joita ovat maan rakenteen vahvistaminen tai muuttaminen. Maapohjan vahvistamista ovat muun muassa lujitteet sekä stabilointi, kun taas maapohjan vaihtamista on massanvaihto. Näiden lisäksi kuormituksia voidaan pienentää käyttämällä kevennysmateriaaleja, joiden avulla painumat pienenevät sekä kantavuus paranee. Erilaisia raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistusmenetelmiä ovat syvätiivistys-menetelmät, esikonsolidointi-menetelmät, injektointi-menetelmät, stabilointi-menetelmät sekä erilaiset maahan asennettavat lujitemateriaalit. Pohjanvahvistusmenetelmien valintaan erilaisissa tilanteissa ja olosuhteissa vaikuttavat monet eri tekijät. Pohjanvahvistusmenetelmien valintaan piha-alueella vaikuttavat pohjanvahvistuksen syvyys maapohjassa, pohjanvahvistuksen laajuus, pohjamaan rakenne ja sen ominaisuudet, pohjanvahvistuksessa tarvittavien lisämateriaalien saatavuus, koneiden ja ammattitaitoisten henkilöiden saatavuus, ympäristötekijät, kustannukset sekä käytettävissä oleva aika pohjanvahvistustöihin (Länsivaara 2021).

### 4.1 Syvästabilointi

Syvästabilointi on pehmeiden maakerrosten pohjanvahvistusmenetelmä, jota voidaan käyttää raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistukseen. Syvästabiloinnissa maapohjaa vahvistetaan sekoittamalla maahan sideainetta, jossa pilaristabiloinnissa maahan syntyy pystysuuntaisia pilareita, kun taas massastabiloinnissa maahan syntyy laajempi stabiloitu massa. Pilaristabilointi toteutetaan upottamalla pilarointikoneen sekoitinkärki pilarin suunnitellun alapään tasoon ja aloitetaan sideaineen syöttö sekä sekoitetaan sideainetta nostamalla sekoitinta ylöspäin. Sideaineen sekoituksella on suuri merkitys pilarin lujuuteen ja tasalaatuisuuteen. Pilaristabilointi laitteisto on esitetty kuvassa 10. Massastabiloinnissa sideaine sekoitetaan koko stabiloitavaan maakerrokseen, jossa se muodostaa yhtenäisen massan. Stabilointi syvyyden rajana pidetään nykykaluston avulla 5 metriä. Massastabiloinnilla voidaan käsitellä myöskin turvetta, ruo-

pattuja massoja sekä pilaantuneita maita. Yleisimmin syvästabilointia käytetään pohjanvahvistusmenetelmänä pehmeikköalueilla sijaitseville katu- ja tiepenkereille, putkijohtolinjoilla ja rummuilla sekä piha-alueilla ja kentillä. Stabiloinnilla pyritään painumien vähentämiseen ja tasaamiseen sekä parantamaan stabiliteettia. Syvästabiloinnin huonoja puolia ovat pieni leikkauslujuus pilaria vaakasuorassa suunnassa, maakerrosvaihtelujen aiheuttama pilarin epähomogeenisuus sekä pilarin alapäähän muodostuva heikkousvyöhyke (Länsivaara 2021).



**Kuva 10.** Pilaristabiloinnissa sekoitetaan huonosti kantavaan maahan sideainetta, jolloin syntyy pilareita vahvistamaan rakennettavaa aluetta (Väylä 2021).

## 4.2 Esikonsolidointi

Esikonsolidoinnilla tarkoitetaan maapohjan kuormittamista staattisella kuormalla, jossa pienennetään rakennuksen käytönaikaisia painumia kuormittamalla maapohjaa etukäteen. Esikuormitusta käytetään yleisesti pohjanvahvistusmenetelmänä raskaasti kuormitettuihin piha-alueisiin. Kuormitus voidaan toteuttaa painopenkereillä, vakuuilla tai vedellä täytetyillä tankeilla. Painumia voidaan nopeuttaa käyttämällä apuna pystyjoja, joiden avulla veden virtausmatka pienenee huomattavasti ja näin painumisnopeus moninkertaistuu. Esikonsolidoinnissa käytetään yleensä ylikuormia eli kuormat ovat suurempia kuin rakennuksen aiheuttamat kuormitukset maapohjaan käyttöaikana. Esikuormitukset täytyy olla suurempia kuin käytönaikaiset kuormitukset, koska konsolidaationopeus hidastuu loppuvaiheessa, jolloin on tehokkaampaa ylikuormittaa lyhyemmän aikaa,

tällöin myös sekundaaripainuma on huomattavasti pienempi, jos savi on ylikonsolidoitu. Esikuormituksella pyritään vähintään 90 % konsolidaatioasteeseen. Myöskin täytyy huomioida, että jos halutaan välttää käytönaikainen painuminen, niin tarvitsee käytönaikainen kuormitus olla ylikonsolidoituneella alueella. Esikonsolidoinnin suunnittelussa täytyy huomioida, että maapohja häiriintyy pystyjen asennuksessa. Tällöin painumat kasvavat, vedenläpäisevyyskyky pienenee, konsolidaatioaika kasvaa sekä pystyjen suunniteltu toiminta häiriintyy. Esikonsolidointia käytetään laajojen alueiden pohjanvahvistusmenetelmänä pehmeikköalueilla. Tällaisia alueita ovat muun muassa pihalueet, urheilukentät, tie- ja katupenkereet sekä tehdasalueiden maanvaraiset lattiat. Maan pohjanvahvistuksen jälkeen esikonsolidoinnin toimivuutta tutkitaan seuranta-mittauksilla, joihin kuuluvat painumamittaukset, huokospainemittaukset, leikkauslujuuden kehittyminen sekä sivusiirtymämittaukset. (Länsivaara 2021)



**Kuva 11.** Esikonsolidointi toteutetaan kasaamalla tiivistyskohteen päälle esikuormituspenkka, jolloin käytönaikaiset painumat saadaan minimoitua kuormittamalla aluetta jo ennakkoon (uuttahelsinkia 2015).

### 4.3 Syvätiivistys

Syvätiivistyksellä tarkoitetaan maapohjan tiivistämistä yli yhden metrin syvyydeltä, johon pintatiivistyslaitteiston vaikutus ei pääse ulottumaan. Raskaasti kuormitetun pihan syvätiivistys voidaan toteuttaa staattisella tai dynaamisella toteutustavalla tai näiden menetelmien yhdistelmällä. Staattinen syvätiivistys on esikonsolidointia, joka käytiin edellä lävitse. Dynaamisessa syvätiivistyksessä maan pintaan pudotetaan raskas paino, jonka

avulla aiheutettu voimakas impulssi saa aikaan maan tiivistymisen pudotuskohdan alapuolella kuten kuvassa 12. Pudotukset tehdään suunnitelluissa kohdissa ja pudotuskohdat muodostavat yleensä neliö- tai kolmioverkon. Riittävän syvyysvaikutuksen saamiseksi paksuissa maakerroksissa käytetään suurienergiisiä pudotuksia. Pudotustiivistys soveltuu parhaiten maalajeille, jotka ovat vain osittain kyllästyneitä, joiden vedenläpäisevyys on hyvä sekä joissa veden poistuminen on mahdollista. Tällaisia maalajeja ovat karkearakeiset maalajit, joihin kuuluvat muun muassa luonnon hiekka ja sora, rakennusjätetäytöt, kaivos- ja teollisuusjätteet sekä hyvin maatuneet jätteet. Pudotustiivistys ei sovellu savisille eikä kyllästyneille savipitoisille maille. Tällaisia maalajeja ovat luonnon savet tai saviset täyttömaat. Savisen täyttömaan pudotustiivistystä voidaan harvita kun vesipitoisuus on laskenut huomattavasti. Vesipitoisuuden laskemiseen tarvitaan laajoja kuivatusjärjestelmiä. Vesipitoisuuden raja-arvona syvätiivistyksen toteuttamiselle pidetään yleisesti noin 15 %. Syvätiivistyksessä käytetään kahta eri menetelmää, joita ovat nopeaskuinen pudotustiivistys sekä täryhuuhtelu. Nopeaskuinen pudotustiivistys on kehitetty 1990-luvulla Isossa-Britanniassa. Menetelmässä painoltaan noin 9-16 tonnin järkäle pudotetaan kiihdytettynä noin 1 – 1,5 metrin korkeudelta maahan. Menetelmällä maapohjaa saadaan tiivistettyä aina 8 metriin asti. Pudotustiivistyksen laadunvalvontaa tehdään monin eri keinoin, joita ovat painumamittaukset, kairaukset, radiometriset mittaukset, järkäleen hidastuvuusmittaukset sekä huokosveden ylipaineen alenemisen mittaukset. Toinen keino toteuttaa syvätiivistystä on käyttää täryhuuhtelua. Täryhuuhtelussa käytetään sauvamaista tärytintä, jonka avulla maahan aiheutetaan leikkausaaltoja, mikä aiheuttaa maan juoksettumisen. Tällöin maarakenne tiivistyy painovoiman vaikutuksesta huokosvedenpaineen poistuessa sekä maarakeiden uudelleen järjestyessä. Täryhuuhtelulla voidaan tiivistää maata huomattavasti syvemmältä kuin pudotustiivistyksellä. Täryhuuhtelun käsittelysyvyys on noin 35 metriä. Täryhuuhtelu voidaan jakaa tärytiivistykseen sekä tärytäyttöön. Tärytiivistystä voidaan käyttää kitkamaille, mutta sen käyttökelpoisuus vähenee hienoainespitoisuuden kasvaessa. Tärytäyttöä käytetään sorapaalujen muodostamiseen siltti- ja savipitoisiin maihin. Pudotustiivistyksen tavoin myös täryhuuhtelun laatua seurataan monin tavoin työn aikana sekä työn toteutuksen jälkeen. Työn aikaisia laadunvarmistuskeinoja ovat tarvittavan täytön määrän ja laadun seuraaminen, käsittelysyvyyden seuraaminen sekä käsittelyn vaatiman energian seuraaminen. Työn jälkeen varmistetaan laatutaso kairauksien sekä leikkausaallon nopeusmittauksien avulla (Länsivaara 2021).

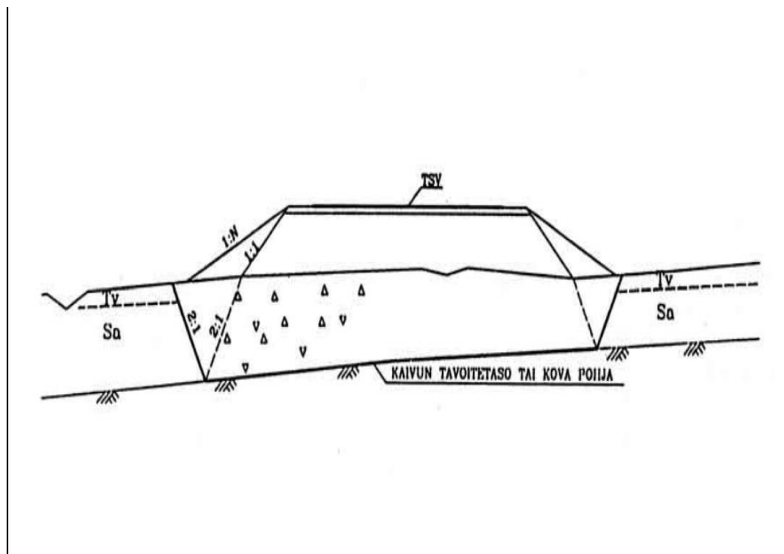


**Kuva 12.** Dynaamisessa syvätiivistyksessä maapohjaa tiivistetään aiheuttamalla raskaalla painolla impulssi maarakenteeseen (uuttahelsinkia 2015).

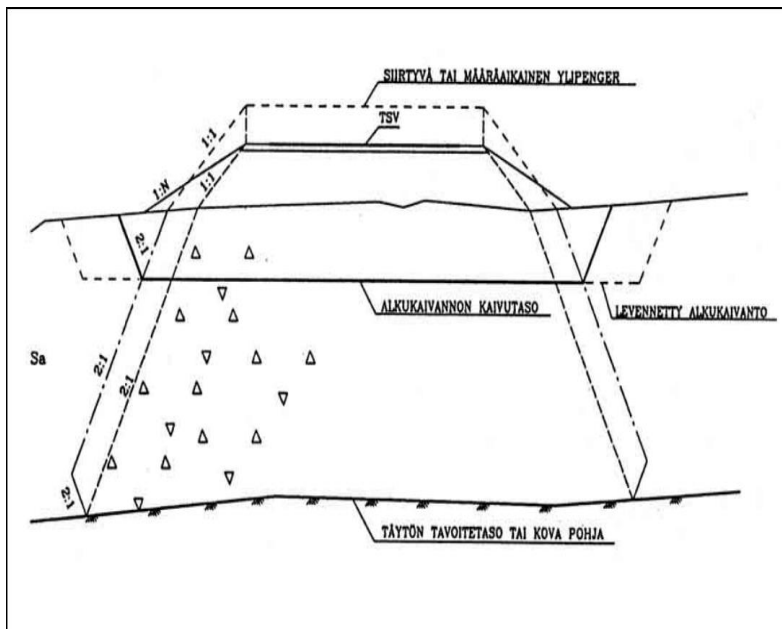
#### 4.4 Massanvaihto

Massanvaihto on ollut kauan käytetty pohjanvahvistusmenetelmä huonosti kantaville pohjamaille. Massanvaihdossa huonosti kantava tai kokoonpuristuva pohjamaa korvataan kantavammalla täyttömateriaalilla. Raskaasti kuormitetun piha-alueen massanvaihtomenetelmän valintaan vaikuttavat hankkeen kustannukset, ympäristövaikutukset, työturvallisuus, pehmeikön paksuus sekä pohjamaan ominaisuudet. Massanvaihto tehdään kaivamalla kuten kuvassa 13 tai pengertämällä kuten kuvassa 14. Kaivamalla tehtävässä massanvaihdossa pehmeät maakerrokset poistetaan kantavaan pohjaan tai määräsyyvyteen. Menetelmä soveltuu parhaiten melko mataliin pehmeikköihin, mutta myös 10 metriä syviä massanvaihtoja on toteutettu kaivamalla. Ympäristövaikutukset lisääntyvät syvyyden kasvaessa. Kaivamalla tehty massanvaihto soveltuu parhaiten matalille soille sekä matalille turvepehmeikölle, joissa kantava pohja on muutaman metrin syvyydessä. Toinen vaihtoehto on tehdä massanvaihto pengertämällä. Se soveltuu paremmin pehmeikköalueille, joissa pehmeät maalajit ulottuvat niin syvälle ettei massanvaihto kaivamalla onnistu. Tyypillisesti pengertämällä massanvaihto tehdään 5–10 metriä syville pehmeiköille, mutta myös 20 metriä syviä massanvaihtoja on toteutettu. Menetelmässä ensimmäiseksi pintakerros poistetaan, jonka jälkeen täyttömateriaali kasataan rakennettavalle alueelle. Täyttömateriaali syrjäyttää painuessaan pehmeät maalajit rakennettavan alueen reunoille. Massanvaihtoa suunniteltaessa täytyy selvittää täyttömateriaalin saatavuus läheisiltä alueilta sekä suorittaa tarkat ja laajat pohjatutkimukset. Pohjatutkimuksissa tulee selvittää muun muassa maaperän kerrosrakenne, maan kivisyys, kantavan pohjan syvyys, pohjaveden korkeus, maan rakeisuus, maan vedenläpäisevyys,

maan humuspitoisuus sekä leikkauslujuus. Yleisesti käytettyjä täyttömateriaaleja massanvaihdossa ovat louhe, sora, hiekkamoreeni, hiekka sekä muita karkearakeisia täyttömateriaaleja (Salo et.al 2011).



**Kuva 13.** Massanvaihto kaivamalla (väylä 1993).



**Kuva 14.** Massanvaihto pengertämällä (väylä 1993).

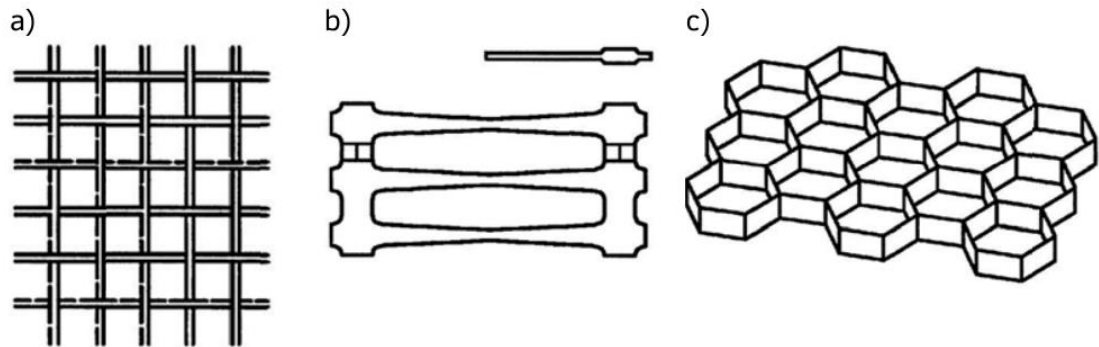
## 4.5 Injektointi

Maainjektioinnin tarkoituksena on maan lujuuden ja muodonmuutosominaisuuksien parantaminen sekä vedenläpäisevyyden parantaminen. Menetelmässä käytettävä injektointiaine injektoidaan maahan, josta se kulkeutuu maan huokostilaan. Injektioinnin jälkeen aine kovettuu pienentäen vapaata huokostilaa sekä sitoen maapartikkeleita kiinni toisiinsa. Näin maan lujuus kasvaa sekä muodonmuutosominaisuudet muuttuvat. Injektioimenetelmät voidaan jaotella käytetyn injektioaineen ja injektioapaineen mukaan. Maainjektioinnissa injektioaineella täytetään maarakenteessa olevat huokokset. Maainjektointi jaetaan kyllästysinjektointiin, halkeama- ja tartuntainjektointiin sekä massatäyttöön. Kyllästysinjektioinnin tavoitteena on täyttää vettäläpäisevissä maakerroksissa huokokset ja lisätä näin maakerroksen lujuutta. Halkeamainjektioinnilla on tarkoitus täyttää kalliossa olevat railot ja kuopat injektointimassalla. Massatäyttöä käytetään täyttäessä suuria aukkoja injektointimassalla. Suihkuinjektioinnissa injektioaine ruiskutetaan kovan paineen avulla maahan, joka aiheuttaa maan häiriintymisen ja muodosta näin jäykän yhtenäisen rakenteen. Suihkuinjektioinnissa syötetään porauskaluston kärjessä olevan suuttimen kautta sideainetta kovalla paineella maahan. Korkeapainesuihku rikkoo maan rakenteen ja muodostaa yhdessä maan runkoaineksen kanssa lujan ja kestäväen materiaalin. Menetelmää käytetään laajojen-piha-alueiden ja rakennusten perustusten vahvistamiseen. (Länsivaara 2021)

## 4.6 Geolujitteet

Geolujitteilla tarkoitetaan synteettisistä polymeereistä jatkojalostamalla valmistettuja kankaita, verkkoja, liuskoja ja näiden yhteenliittymiä sekä teräksisiä verkkoja, joita on esitetty seuraavan sivun kuvassa 15. Geolujitteita käytetään rakennettaessa pehmeikölle rakennettavia raskaasti kuormitettuja pihvoja, perustettavia penkereitä, tiepenkereiden levennyksessä, teiden ja kenttien päällysrakenteen lujittamisessa sekä putkijohtojen perustamisessa. Geolujitetulla rakenteella on monia merkittäviä ja hyödyllisiä etuja, joita ovat muun muassa rakenteiden vakavuuden lisääminen, lujitetun rakenteen pienemmät materiaalimenekit, muiden pohjanvahvistusmenetelmien korvaaminen, pehmeikköarakentamisen helpottaminen sekä mahdollisuus käyttää laadultaan huonompia maamassoja. Synteettisiä geolujitteita on käytetty Suomessa 1960-luvulta lähtien. Lujitteilla pystytään vähentämään päällysteen routavaurioita, lisätä maan kantavuutta sekä vakavuutta. Lujitteiden toimintatapa maarakenteessa on hyvin saman kaltainen kuin te-

rästen betonirakenteissa. Maa ei betonin tavoin kestä juurikaan veto- ja leikkausjännityksiä ja näin lujitteiden tarkoitus on ottaa kyseisten jännitysten aiheuttamat kuormitukset vastaan sekä pienentää jännitysten aiheuttamia muodonmuutoksia. Lujitemateriaaleja pohjanvahvistuksessa valittaessa tulee ottaa huomioon ympäristönaiheuttamat rasitukset lujitteisiin. Lujitteilla tarvitsee olla riittävä kestävyys ainakin seuraaviin ominaisuuksien kannalta, joita ovat kemiallinen kestävyys, mikro-organismien ja bakteerien vastustuskyky, terminen kestävyys sekä auringonvalon kestävyys. (Länsivaara 2021)



**Kuva 15.** Geolujitteita käytetään monipuolisesti maapohjan vahvistamiseen ja niitä on monia erilaisia. Kuvassa a) kudottu tai hitsattu synteettinen verkko, b) vedetty synteettinen verkko sekä c) synteettinen kennorakenne (väylävirasto 2012).



## 5. POHJATUTKIMUKSET

Pohjatutkimukset ovat erittäin merkityksellisiä, kun arvioidaan raskaasti kuormitettavan piha-alueen rakentamisedellytyksiä sekä myöhemmin hankkeen edetessä valitaan rakennettavalle alueelle parhaiten soveltuvia pohjanvahvistusmenetelmiä. Pohjatutkimusten avulla selvitetään maa- ja kallioperän rakennetta ja ominaisuuksia, joita ovat muun muassa maaperän kerrosten ominaisuudet, kerrosten paksuudet ja sijainnit, kallioperän sijainti sekä pohjaveden syvyys. Pohjatutkimukset koostuvat usein maastokatselmuksesta, koekuopasta, geofysikaalisista tutkimuksista, erilaisista kairauksista, näytteenotosta sekä pohjavesitutkimuksista. Geoteknisiä pohjatutkimuksia ohjaavat monet erilaiset eurooppalaiset standardit ja ohjeet sekä kairausoppaat. Pohjatutkimuksia tehdessä on tärkeää kiinnittää huomiota maa- ja kallioperän teknisiin ominaisuuksiin sekä arvioida hankkeen rakentamisen vaatimia teknisiä toteuttamisvaihtoehtoja, hankkeen kustannuksia sekä rakentamisen aiheuttamia haittoja ympäristölle. (Saari 2017)

### 5.1 Maastokatselmukset

Rakennettavan piha-alueen pohjatutkimusprojekti aloitetaan pääsääntöisesti aina maastokatselmuksella, jossa arvioidaan silmämääräisesti tarvittavien pohjatutkimusten koostumus sekä laajuus. Muun muassa pehmeikköalueet kuten suot ja turvealueet tarvitsevat hyvin laajat pohjatutkimukset pohjanvahvistustöidenkin ollessa melko vaativia. Silmämääräisen havainnoinnin lisäksi maastokatselmuksissa käytetään apuna kyseisestä alueesta laadittuja geologisia karttoja, ilmakuvakarttoja sekä aikaisempia tehtyjä pohjatutkimuksia. Maastokatselmuksen tavoitteena on saada selville rakennettavan alueen maalajeja ja niiden ominaisuuksia, maaperämuodostumia, kivisyttä ja lohkareisuutta, kuivia ja kosteita alueita sekä käsitys alueen maastomuotojen topografiasta. Maastokatselmuksessa siis saadaan selville yleiskäsitys alueesta ja sen ominaisuuksista. Näiden tietojen perusteella osataan laatia ja arvioida jokaiselle alueelle tarpeelliset pohjatutkimukset. (Saari 2017)

## 5.2 Koekuopat

Koekuoppaa käytetään pohjatutkimuksissa apuna kun halutaan saada luotettavaa tietoa lähellä maanpintaa olevista maakerroksista. Koekuopan avulla pystytään selvittämään tietoja maapohjan maakerroksista ja maalajeista, maan kivisyydestä ja lohkaraisuudesta, maan kaivuominaisuuksista, kuopan seinämien pysyvyydestä, pohjaveden sijainnista syvyysuunnassa kalliopinnan sijainnista. Koekuoppaa voidaan myöskin käyttää apuna kun maapohjasta halutaan saada pieniä näytteitä tarkempia tutkimuksia varten laboratorioon. Koekuoppaa voidaan käyttää pohjatutkimusmenetelmänä etenkin kivisissä ja lohkarisissa maissa, joissa kairaustutkimusmenetelmien toteuttaminen on kivisyyden vuoksi melko vaikeaa. (Saari 2017)

## 5.3 Geofysikaaliset tutkimukset

Geofysikaalisten tutkimusten avulla pystytään tutkimaan laajoja rakennettavia alueita, arvioimaan niiden soveltuvuutta pihan rakentamiseen sekä niiden pohjanvahvistustarvetta. Geofysikaalisilla tutkimuksilla saadaan alustavia tietoja kalliopinnan topografiasta, pohjavedenpinnan sijainnista ja kaltevuudesta sekä alueella mahdollisesti sijaitsevien pehmeikköjen paksuudesta. Geofysikaaliset tutkimukset toteutetaan erilaisten luotauksien avulla, joita ovat muun muassa kaikuluotaus, maatulkuotus, sähköinen vastusluotaus sekä seisminen luotaus. (Saari 2017) Geofysikaalinen tutkimuslaitteisto esitettyinä seuraavan sivun kuvassa 16.

Kaikuluotauksessa käytetään apuna ääni-impulssia, joka heijastuu takaisin kohdastaan esteen. Impulssin heijastuksessa kuluneen ajan perusteella voidaan laskea aineen rajapinnan sijainti luotettavasti. Kaikuluotausta käytetään etenkin tutkimusvälineenä pehmeikkötutkimuksissa ja vesistötutkimuksissa. (Saari 2017)

Maaluotaus on sähkömagneettinen tutkimuskeino ja siinä käytetään radioaaltojen takaisin heijastumista hyödyksi. Sen avulla voidaan arvioida ja todentaa maakerrosrajoja vapaan veden määrän sekä sähkönjohtavuuden perusteella. (Saari 2017)

Sähköisellä vastusluotauksella mitataan maaperän sähkönjohtavuutta. Sähkönjohtavuuden maaperässä vaikuttavat muun muassa huokosveden määrä sekä veden suolapitoisuus. Näin saadaan käsitys eri maaperän kohtien vesimäärästä, jolloin voidaan hahmottaa alustava arvio maaperän maalajeista rakennettavalla alueella. (Saari 2017)

Seismisessä luotauksessa käytetään maaperään tuotettavia paineaaltoja apuna. Paineaalot etenevät erilaisilla nopeuksilla eri maalajeissa, jolloin seismisen luotauksen tulosten perusteella seismografi pystyy laskemaan maakerrosten rajat sekä kalliopinnan syvyyden eri alueilla. Menetelmää käytetään usein alueen maapohjan yleispiirteiden kartoittamiseen, jonka pohjalta voidaan suunnitella ja toteuttaa tarkemmat pohjatutkimukset. (Saari 2017)



**Kuva 16.** Geofysikaaliset tutkimukset ovat tärkeä osa pohjatutkimusprojektia (Oulun yliopisto).

## 5.4 Kairaukset

Kairaukset ovat paljon käytettyjä ja luotettavia pohjatutkimusmenetelmiä. Kairauksissa maapohjaan tungetaan kairaustankoja sekä -putkia erilaisilla menetelmillä. Kairausmenetelmät jaetaan maahantunkeutumistavan mukaan staattisiin ja dynaamisiin menetelmiin kuten heijarikairaus kuvassa 17. Staattisissa menetelmissä kairan tunkeutuminen maahan toteutetaan painojen tai hydraulisen puristamisen avulla. Dynaamisessa menetelmässä kairat tunkeutuvat maahan iskemällä tai täryttämällä. Kairausten avulla saadaan tietoa muun muassa maapohjan maakerrosten tiiveydestä, laadusta, lujuudesta sekä kantavuudesta. Tietojen saanti maapohjasta perustuu usein kairaustankojen kärjessä olevasta kärkikappaleesta tai kairaustangon maahan tunkeutumisnopeudesta. Yleisimmin käytettyjä kairausmenetelmiä ovat painokairaus, heijarikairaus, puristin-heijarikairaus, siipikairaus, tärykairaus sekä porakonekairaus (Väylä 1998).

Painokairauksessa kairaustankoa työnnetään maahan painojen avulla, tankoa kiertäen sekä kairan päätä lyöden. Painokairauksesta laaditaan diagrammi, johon merkataan eri

syvyyksissä tarvittu kairan kuormitus sekä kairausvastus. Tulosten perusteella voidaan tunnistaa eri maalajit sekä niiden kerrosrajat maapohjassa. Painokairausta käytetään pohjatutkimusvälineenä pehmeistä aina keskitiiviisiin moreeneihin asti. Kairauksessa pitää huomioida kovakuorikerroksen aiheuttamat mahdolliset vääristymät kairaustulokseen. Painokairaus on yleisin ja pisimpään Suomessa käytössä ollut kairausmenetelmä, mutta viime vuosina puristin-heijarikairaus on syrjäyttänyt sen suosiota. (Väylä 1998).

Heijarikairauksessa kairaustangon uppoaminen maahan tapahtuu kairauskoneen tuottamien lyöntien avulla. Kairausvastus lasketaan kairan tunkeutumissyvyyden sekä tunkeutumiseen tarvittujen lyöntien perusteella. Heijarikairaus soveltuu pohjatutkimusmenetelmäksi tiiviisiin pohjamaihin. Sen avulla pystytään arvioimaan maakerrosten suhteellista tiiviyttä moreeneissa sekä muissa karkearakeisissa maalajeissa. Heijarikairaus soveltuu parhaiten tukipaalujen pituuden määrittämiseen. Se soveltuu huonosti maalajikerrosten sekä kantavuusominaisuuksien selvittämiseen (Väylä 1998).

Puristin-heijarikairauksessa puristin- ja heijarikairauksen hyviä ominaisuuksia on yhdistetty, jolloin menetelmä soveltuu hyvin monille eri maalajeille pohjatutkimusmenetelmäksi. Menetelmässä ensin käytetään painokairausta hienojakoisissa maalajeissa, jonka jälkeen siirrytään heijarikairaukseen tiiviimmissä maalajeissa. Puristin-heijarikairauksen avulla saadaan hyvä yleiskuva pehmeistä maalajeista sekä tietoa pengertalutuksen suunnittelua varten alempana olevista kantavista maakerroksista (Väylä 1998)

Siipikairausta käytetään pohjamaan leikkauslujuuden selvittämiseen hienorakeisilla sekä eloperäisillä maalajeilla. Menetelmässä aluksi pohjamaa rikotaan, jonka jälkeen kairaustanko siivekkeellä työnnetään maapohjaan ja aloitetaan tangon kiertäminen akselinsa ympäri. Tuloksista laaditaan mittauspöytäkirja, johon merkataan tutkimussyvyys, siiven kiertoon tarvittu aika, siiven kiertokulma sekä siiven kiertoon tarvittu vääntömomentti (Väylä 1998).

Tärykairauksessa maapohjaan työnnetään painokairaustankoja, joita tärytetään maahan. Menetelmässä seurataan kairatangon painumisnopeutta, jolloin saadaan tietoa maakerroksista sekä kalliopinnan sijainnista maakerrosten alapuolella. Tärykairan hyviä puolia on sen helppo kuljettaminen luonnossa sekä vähäiset kuormitukset ympäristölle (Väylä 1998).

Porakonekairausta käytetään kalliopinnan sijainnin löytämiseen maapohjasta. Sen avulla saadaan luotettavampaa tietoa kallion sijainnista ja rakenteesta kuin tärykairauksella. Sen avulla pystytään muun muassa erottamaan suuret lohkat kalliosta sekä ottamaan kalliorakenteesta näytteitä maaputken avulla. Porakonekairausta käytetään

myöskin paalupituuden maksimiarvon määrittämiseen, päällyspaksuuden määrittämiseen sekä massanvaihdon tarkempaan suunnitteluun (Väylä 1998)



**Kuva 17.** Kairausmenetelmät ovat tärkeä osa piha-alueen pohjatutkimuksia (Väylä 2014).

## 5.5 Näytteenotot

Näytteenottoa käytetään, kun halutaan saada tutkittavasta maapohjan maalajeista näytteitä tarkempiin tutkimuksiin laboratorioon. Maakerroksista otetaan näytteitä häiriintyneinä sekä häiriintymättöminä. Häiriintyneessä näytteessä maakerroksen sisäinen rakenne on murtunut, mutta sen koostumus on silti alkuperäisessä suhteessa. Häiriintyneestä näytteestä voidaan selvittää maalajin vesipitoisuus, rakeisuus sekä humuspitoisuus. Häiriintyneen näytteen ottamiseen voidaan käyttää muun muassa monia eri kairausmenetelmiä sekä koekuoppaa. Häiriintymättömissä näytteissä näytteen rakenne on täysin alkuperäisen mukainen, mutta sen jännitystilassa on tapahtunut muutoksia. Häiriintymättömien näytteiden ottamiseen käytetään apuna mäntäkairamenetelmiä sekä koekuoppia (Väylä 1998).

## 5.6 Pohjavesitutkimukset

Pohjavesi vaikuttaa merkittävästi rakennettavan alueen maapohjan rakennettavuuteen ja pohjanvahvistusmenetelmän valintaan, joten melkein aina alueen pohjatutkimuksiin sisällytetään myöskin pohjaveden sijainnin ja laadun kartoitus. Pohjavesitutkimuksissa selvitetään muun muassa pohjavedenpinnan syvyys, pohjavedenpinnan vaihtelut, huokosvedenpaine, pohjaveden laatu sekä sen virtausmäärät. Pohjavesi vaikuttaa oleellisesti maaperässä oleviin tehokkaiisiin jännityksiin, jotka aiheuttavat muodonmuutoksia sekä siirtymiä. Pohjavedenkorkeustasoa tutkitaan kairaus- ja näytteenottorei'istä sekä pohjavesitutkista. Myöskin huokosvedenpaine on tärkeää tietää erilaisten maarakenteiden vakavuutta ja sortumariskiä arvioitaessa (Väylä 1998).



**Kuva 18.** Pohjavesitutkimusten avulla saadaan paljon hyödyllistä tietoa alueen pohjanvahvistusmenetelmän valintaan(Saimaan vesi ja ympäristötutkimus oy).

## 6. PIHAN ESIMERKKITUTKIMUS

Tässä tutkielmassa tutkitaan esimerkkitutkimuksena Forssan Viksbergin tehdasalueella rakennettua painotalon asfaltilla päällystettyä piha-aluetta, jossa on raskasta liikennettä ympäri vuorokauden. Tarkasteltavan tehdasalueen piha kuvattuna kuvassa 19 punaisella. Viksbergin alue sijaitsee pehmeikköalueella, jonka päämaalajina on savi. Piha-alueelle on tehty mittavat pohjanvahvistustyöt. Alueen rakentaminen aloitettiin 1990-luvulla maastokatselmuksilla sekä kairauksilla, joiden avulla pystyttiin valitsemaan alueelle parhaiten sopivat pohjanvahvistusmenetelmät. Alueelle toteutettiin painokairauksia, heijarikairauksia sekä siipikairauksia. Tutkimusten perusteella pihanpohjanvahvistus toteutettiin esikonsolidoinnin sekä lujiteverkkojen avulla, jotka ovat yleisesti käytettyjä menetelmiä pehmeikölle piha-aluetta rakennettaessa.



**Kuva 19.** tehdasalueen sijainti ympäröitynä punaisella. (GTK, 2021)

Piha-alueelle on muodostunut vuosien saatossa halkeamia asfaltti päällysteeseen, päällysteen routanousuja sekä asfaltille painumia, joihin vesi kerääntyy eikä kulkeudu hulevesijärjestelmään tarkoituksenmukaisesti. Asfaltin halkeamia on vuosittain paikattu bitumimassalla, mutta suurempia korjaustöitä ei ole alueella vielä toteutettu. Tutkimuksissa on todettu, että pihan painumat ja halkeamat olisi todennäköisesti pystytty välttämään tai ainakin minimoimaan huolellisimmilla ja kattavammilla pohjanvahvistustöillä. Nyt korjaavat toimenpiteet maksavat suhteellisen paljon sekä ovat vaikeasti korjattavissa.





## 7. YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa käsiteltiin raskaasti liikennöidyn päällystetyn piha-alueen pohjanvahvistuksen tärkeyttä, pohjanvahvistusmenetelmiä eri olosuhteisiin sekä pohjanvahvistusmenetelmien valintaan tarvittavia pohjatutkimuksia. Pohjanvahvistus prosessista pyrittiin saamaan aikaan mahdollisimman selkeä ja johdonmukainen kuva.

Piha-alue koostuu päällysrakenteesta, kuivatusrakenteesta sekä alusrakenteesta. Pohjanvahvistusmenetelmillä pyritään vaikuttamaan pääasiassa alusrakenteen pohjamaan rakenteeseen sekä ominaisuuksiin. Tärkeimmät ominaisuudet, joihin pohjanvahvistuksella pyritään vaikuttamaan ovat painumat, kantavuus sekä routivuus. Onnistuneella pohjanvahvistuksella pystytään takaamaan piha-alueelle tarkoituksen mukaisen toiminnan sujuvuuden, pitkän käyttöiän sekä halutunlaisen ulkonäön. Pohjanvahvistuksen epäonnistuessa mahdollisia vaurioita piha-alueella voivat olla pihan epätasainen painuminen, päällysteen halkeaminen, tekniikan rikkoutuminen maakerroksissa sekä kantavuuden heikkeneminen.

Raskaasti liikennöidyllä piha-alueella rekat ja yhdistelmä ajoneuvot aiheuttavat suuria kuormituksia pihan päällysteeseen sekä maapohjaan. Kuormitukset voidaan jakaa liikennekuormaan sekä staattiseen kuormaan. Liikennekuormaa pihan rakenteisiin aiheutuu ajoneuvojen liikkuesssa, jolloin kuormituksen suuruus ja suunta on vaihtelevaa. Staattista kuormitusta taas aiheutuu, kun ajoneuvot ovat lastauslaiturilla pysähdyksissä. Staattisen kuorman suuruus ja suunta on koko ajan vakio.

Raskaasti kuormitetun piha-alueen pohjanvahvistus voidaan toteuttaa monilla eri menetelmillä. Menetelmän valintaan vaikuttavat rakennettavan alueen geotekniset ominaisuudet, kustannukset, käytettävissä oleva aika sekä menetelmän mahdollisesti aiheuttamat ympäristöhaitat. Työssä käsiteltiin pohjanvahvistusmenetelmistä tarkemmin syvästabilointi, esikonsolidointi, syvätiivistys, massanvaihto, injektointi sekä paalutukset.

Lopuksi työssäni käsiteltiin erilaisten pohjanvahvistusmenetelmien valintaan tarvittavia pohjatutkimuksia, joiden avulla tietylle alueelle saadaan valittu juuri siihen parhaiten soveltuvat menetelmät. Työssäni käsiteltiin tarkemmin pohjatutkimuksista maastokatselmuksset, koekuopat, geofysikaaliset tutkimukset, kairaukset, näytteenotot sekä pohjavesitutkimukset.

# LÄHTEET

Aalto yliopisto, pohjarakenteet ja pohjanvahvistusmenetelmät, 2016. Saatavissa: [Kursssi: Rak-50.3133 - Pohjarakentaminen ja pohjanvahvistusmenetelmät, 04.01.2016-10.02.2016 \(aalto.fi\)](#)

Asfalttikallio, 2020. Saatavissa: [ASFALTIN TUOKSUN VIEMÄ Työnjohtaja Sami Niemistö - Issuu](#)

Belt, Lämsä, Savolainen, Ehrola. (2002). Tie rakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto, Tiehallinnon selvityksiä.

GTK maankamara (2021) Saatavissa: [Maankamara \(gtk.fi\)](#)

Leca, geotekniikka, painumien vähentäminen. Saatavissa: [Painumien vähentäminen | Leca Finland](#)

Liikennevirasto, tierakenteiden suunnitteluohje, 2018. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2018-38\\_tierakenteen\\_suunnittelu\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_web.pdf)

Länsivaara. T. (2021) RAK-23511 pohjarakenteet kurssin luentokalvot ja luentotallenteet pohjanvahvistus. Saatavissa: [Luento 3 Pohjanvahvistus\[1025\].pdf](#)

Nisukangas. M. (2009). Routasuojauksen mitoitus asuinrakennusten lämmöneristävyyttä parantaessa, opinnäytetyö. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9562/Nisukangas.Matti.pdf?sequence=2>

Notesco, pohjanvahvistusmenetelmät. Saatavissa: [Microsoft Word - Pohjarakentaminen-pohjanvahvistus-opetusmoniste.doc \(notesco.net\)](#)

Oulun ammattikorkeakoulu, Pohjarakenteiden mitoitus. Saatavissa: <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEwjhnP2C-N7uAhWnllsKHTZ1AI-YQFjACegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.oamk.fi%2F~jyr-kir%2FI%2525uenn0t0809%2525%2Fpohjarakennus%2FKANTAVUUS08V%258ELI-VERSIO.doc&usg=AOvVaw1qWJg0Bm7DvPexnrDENHW>

Oulun yliopisto, geofysikaaliset tutkimusvälineet. Saatavissa: [Geofysikaaliset tutkimusvälineet | Kaivannaisalan yksikkö \(oulu.fi\)](#)

Raitamäki. K. (2014). Katu- ja piharakenteiden painumien ottaminen huomioon alue- ja rakennesuunnittelussa, diplomityö. Saatavissa: [Katu- ja piharakenteiden painumien ottaminen huomioon alue- ja rakennusuunnittelussa\[990\].pdf](#)

Rakennustieto, Pihojen pohja- ja päällysrakenteet, elokuu 2010. Saatavissa: [https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/RT%2089-11002?external\\_system=Juha&page=1](https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/RT%2089-11002?external_system=Juha&page=1)

RIL 193 - 1992, Routavauriot ja routasuojaus.

Saari. M. (2017). Pohjatutkimusmenetelmät ja niiden potentiaali Suomessa, kandidaattityö. Saatavissa: [Opinnäytetyön malli \(oulu.fi\)](#)

TA, Suurpelto on kansainvälinen asuinalue Espoon keskuspuiston kyljessä, 2019. Saatavissa: [Suurpelto on kansainvälinen asuinalue Espoon keskuspuiston kyljessä \(ta.fi\)](#)

Tekniikan alan opinnäytteiden kirjoitusohje, 10.1.2020. Saatavissa: [tau tekniikan alan opinnäytetyöohje 2019 versio3.pdf \(tuni.fi\)](#)

Timonen. E. (2014). Oulun piha- ja katualueiden vauriotutkimus, opinnäytetyö. Saatavissa: [Opinnäytetyömalli \(theseus.fi\)](#)

Tuhola. M. Piha-alueiden rakenteet – suunnittelu ja rakentaminen, rakennustieto. Saatavissa: [Piha-alueiden rakenteet – suunnittelu ja rakentaminen \(rakennustieto.fi\)](#)

Uuttahelsinkia, 2015. Saatavissa: [Jätkäsaareen rakennetaan luja perusta | Uutta Helsinkiä \(uuttahelsinkia.fi\)](#)

Väylävirasto, Massanvaihdon suunnittelu, marraskuu 2011, suunnitteluohje. Saatavissa: [Microsoft Word - LO 11-2011 Massanvaihdon suunnittelu 17.5.2011.doc \(vayla.fi\)](#)

Väylävirasto, Geolujitteet maarakenteissa, helmikuu 2012. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lop\\_2012-02\\_geolujitetut\\_marakenteet\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lop_2012-02_geolujitetut_marakenteet_web.pdf)

Väylä, 2014, Tien perustamistavan valinta. Saatavissa: [Microsoft Word - LOP 02-2014 Tien perustamistavan valinta 10.2.2014 \(vayla.fi\)](#)

Väylä, E18 Turun kehätie: Stabilointi ja pontitustyöt kuuluvat Hämeentien uusien alikulkujen rakentamiseen, 2021. Saatavissa: [E18 Turun kehätie: Stabilointi ja pontitustyöt kuuluvat Hämeentien uusien alikulkujen rakentamiseen - Väylä \(vayla.fi\)](#)

Väylä, 1993, Massanvaihto. Saatavissa: [massanvaihto.pdf \(vayla.fi\)](#)

Väylä, 1998, Teiden pehmeikkötutkimukset. Saatavissa: [Microsoft Word - Pehmtutk3200520.doc \(vayla.fi\)](#)













