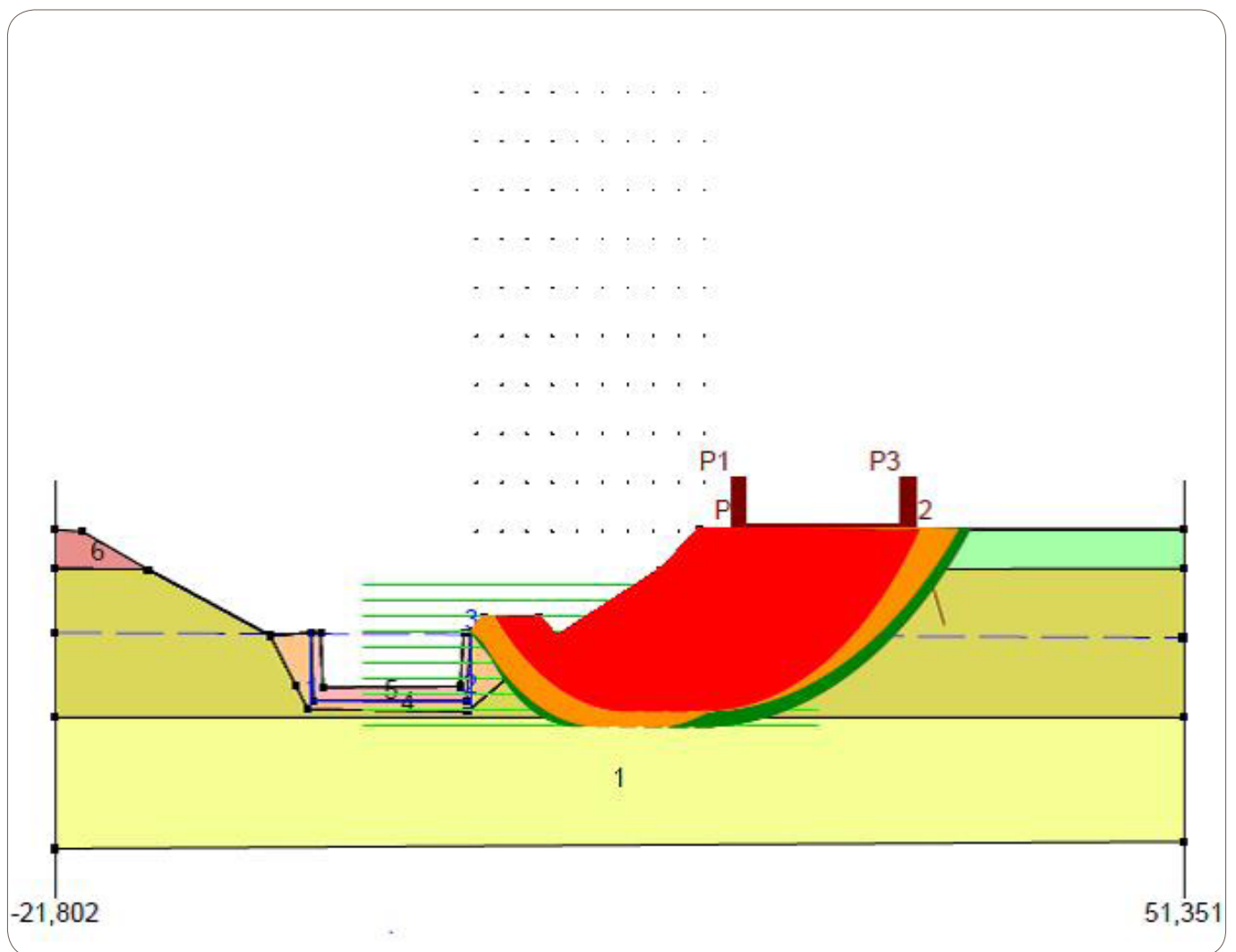


Tien geotekninen suunnittelu



Tien geotekninen suunnittelu

Liikenneviraston ohjeita 10/2012

Kannen kuva: Luiskan vakavuus

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-141-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Suunnitteluosasto

ELY-keskukset, liikenne- ja infrastruktuuri - vastuualueet
Liikennevirasto, investointi- ja kunnossapitotoimialat

Säädösperusta
Maantielaki

Korvaa/muuttaa
Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet (TIEH 2100002-01);
Tien perustamistavan valinta (TIEH 2100019-03)

Kohdistuvuus
Liikennevirasto

Voimassa
1.8.2012 - toistaiseksi

Asiasanat
pohjarakenteet, geotekninen suunnittelu, pohjarakennus, painumamitoitus, eurokoodi

Tien geotekninen suunnittelu

Ohje käsittelee teiden pohjarakenteiden ja pohjavahvistusten yleiset geotekniset suunnitteluperusteet.

Ohje on osa eurokoodijärjestelmää, joka sisältää eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet (LVM) sekä Liikenneviraston soveltamisohjeet (NCCI - sarja).

Ohjetta käytetään yleisiin teiden suunnittelussa. Muiden väylien suunnittelussa ohjetta voidaan käyttää soveltuvin osin siten kuin hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa on esittää.

Ylijohtaja


Raimo Tapio

Johtaja


Markku Nummelin

LISÄTIETOJA
Pentti Salo
Liikennevirasto
puh. 020 637 3605

Ohje saatavissa

LIIKENNEVIRASTON NETTISIVULTA OSOITTEESTA
www.liikennevirasto.fi/ohjeluettelo

Kirje tiedoksi

Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL
 Rakennusteollisuus RT
 Infra ry
 Suomen Kuntaliitto
 Tekniset yliopistot/korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut
 VTT
 G10 -kaupungit
 Tie- ja geokonsultit
 Materiaalin toimittajat
 Ohjeen laatijat ja työhön osallistuneet asiantuntijat
 Liikenneviraston investointi- ja kunnossapitotoimialan osastot, kirjasto
 Rakennuttamisosaston ja Väylätekniikkaosaston yksiköt
 Liikenneviraston ja ELY-keskusten geoasiantuntijat

Esipuhe

Ohjeen laati työryhmä, johon kuuluivat Panu Tolla ja Jenni Myllymäki Destia Oy:stä. Työtä ovat ohjanneet Pentti Salo ja Tiina Perttula Liikennevirastosta. Kirjoitustyön kuluessa järjestettiin lausuntokierros, josta saadut lausunnot ja kommentit käsiteltiin ryhmän toimesta.

Helsingissä kesäkuussa 2012

Liikennevirasto
Hankesuunnitteluosasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
1.1	Ohjeen soveltamisala.....	8
1.2	Suunnittelussa käytettävät ohjeet.....	8
2	GEOTEKNISEN SUUNNITTELUN PROSESSI	9
2.1	Yleistä	9
2.2	Suunnittelun dokumentointi.....	9
2.3	Yleissuunnitelma ja muut esisuunnitelmat	10
2.3.1	Ohjeet	10
2.3.2	Yleissuunnitelman sisältö.....	10
2.3.3	Geoteknisen suunnittelun tehtävät.....	11
2.4	Tiesuunnitelma	12
2.4.1	Ohjeet	12
2.4.2	Sisältö	12
2.4.3	Geoteknisen suunnittelun tehtävät.....	13
2.5	Tiesuunnitelman täydennys	14
2.6	Rakennussuunnitelma	15
2.6.1	Ohjeet	15
2.6.2	Sisältö	15
2.6.3	Geoteknisen suunnittelun tehtävät.....	15
3	POHJARAKENTEIDEN VERTAILUPERUSTEET	17
4	MATERIAALIOMINAISUUDET	18
4.1	Maan geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen.....	18
4.1.1	Yleistä	18
4.1.2	Määrittämenetelmät.....	18
4.1.3	Maan ominaisuuksien luokitus	18
4.2	Maanrakennusmateriaalien ominaisuuksien määrittäminen.....	18
4.3	Rakennusmateriaalien ominaisuuksien määrittäminen.....	19
5	ULKOISET KUORMAT	20
6	TIEN GEOTEKNISET SUUNNITTELUKRITEERIT	21
6.1	Yleistä	21
6.1.1	Geotekninen luokka ja seuraamusluokka	21
6.1.2	Mitoitusmenettely	21
6.1.3	Säilyvyys	21
6.1.4	Rakenteen käyttöikä	21
6.2	Vakavuusmitoitus	22
6.2.1	Alueellinen vakavuus	22
6.2.2	Tierakenteen, maaleikkauksen ja kallioleikkausten vakavuus.....	22
6.3	Painumamitoitus.....	23
6.3.1	Painuman arviointi.....	23
6.3.2	Mitoituskriteerit.....	23
6.3.3	Mitoituksen arviointi.....	25
6.4	Sivusiirtymämitoitus.....	26
6.5	Routatekninen mitoitus	26
6.6	Pohjaveden huomioiminen	27

6.6.1	Suunnittelun lähtökohdat.....	27
6.6.2	Pohjatutkimukset	27
6.6.3	Pohjaveden alennussuunnitelma	28
6.6.4	Pohjaveden suojaus	29
6.7	Tärinä ja melu	29
7	RAKENTEIDEN SUUNNITTELUPERUSTEET	30
7.1	Maanvarainen tiepenger	30
7.2	Tieleikkaus.....	32
7.3	Massanvaihto	33
7.4	Kevennysrakenteet.....	34
7.5	Syvästabilointi	34
7.6	Suihkuinjektointi	35
7.7	Pystyjoitus	36
7.8	Pudotustiivistys	36
7.9	Paalulaatat ja paaluhatturakenteet.....	37
7.10	Siirtymärakenteet.....	38
7.11	Tukimuuri- ja kaukalorakenteet.....	38
7.12	Melusteet ja meluvallit	39
7.13	Kaivannot.....	40

LIITTEET

Liite 1 Materiaalit ja parametrit

1 Johdanto

1.1 Ohjeen soveltamisala

Tässä ohjeessa esitetään maanteiden geoteknisen suunnittelun perusteet sekä täydennetään eurokoodia SFS-EN1997-1 ja sen kansallista liitettä (LVM) sekä Liikenneviraston soveltamisohjetta NCCI7 pohjarakenteiden ja pohjanvahvistusten geoteknisen suunnittelun osalta.

Ohjetta noudatetaan kaikissa Liikenneviraston tieväylien pohjanvahvistusten suunnittelussa ja rakentamisessa. Tämä ohje ei koske siltoja tai muita rakenteita, kuten tukimuureja ja paalutettuja meluseiniä, joiden yleiset suunnitteluperusteet on esitetty ohjeessa Siltojen geotekninen suunnittelu (Liikenneviraston ohjeita 11/2012).

1.2 Suunnittelussa käytettävät ohjeet

Geotekninen suunnittelu Liikenneviraston hankkeissa perustuu seuraaviin asiakirjoihin ja ohjeisiin:

1. Hankekohtaiset suunnitteluperusteet ja tuotevaatimukset
2. Eurokoodi 7 osat 1 ja 2 sekä osan 1 kansallinen liite (LVM-liite)
3. Eurokoodin soveltamisohjeet NCCI7 (soveltamisohje Eurokoodin 7 osaan 1) ja NCCI 1 (soveltamisohje Eurokoodiin 1) sekä ohje Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08, joka toimii Eurokoodi 1997:n osan 2 soveltamisohjeena
4. Tämä ohje Tien geotekninen suunnittelu (Liikenneviraston ohjeita 10/2012) sekä Sillan geotekninen suunnittelu (Liikenneviraston ohjeita 11/2012)
5. Liikenneviraston pohjanvahvistusten menetelmäohjeet:
 - Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu
 - Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje
 - Syvästabiloinnin suunnittelu
 - Massanvaihdon suunnittelu
 - Tiepenkeraan siirtymärakenteet pehmeiköllä
 - Nauhapystyjoitus
 - Kevennysrakenteiden suunnittelu
 - Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa
 - Meluesteet

Käsikirjaa Lujitetut maarakenteet (Liikenneviraston oppaita 2/2012) voidaan hyödyntää suunnittelussa.

6. Muut Liikenneviraston pohjanvahvistusohjeet, jotka koskevat tieväyliä

InfraRYL:n osa Tekniset laatuvaatimukset on urakka-asiakirja. Suunnittelussa laadittavilla hankekohtaisilla laatuvaatimuksilla ja työselostuksilla voidaan korvata ja täydentää InfraRYL:n yleisiä laatuvaatimuksia.

2 Geoteknisen suunnittelun prosessi

2.1 Yleistä

Geoteknisen suunnittelun liittyminen muuhun tien suunnitteluprosessiin on esitetty Liikenneviraston Tiesuunnittelun toimintajärjestelmäohjeissa.

Pohjanvahvistukset ja pohjarakenteet suunnitellaan tienpidon kannalta mahdollisimman edullisiksi kuitenkin siten, että asetetut vaatimukset tien palvelutasolle ja aiheutuville ympäristövaikutuksille täyttyvät koko käyttöiän.

Yleis- ja tiesuunnitteluvaiheessa suunnittelun tarkkuus on valittava sellaiseksi, että näissä suunnitteluvaiheissa laaditut arviot kustannuksista, ympäristövaikutuksista ja tiealueen tarpeesta ovat realistisia ja oleellisilta osiltaan pitävät paikkaansa myöhemmissä suunnitteluvaiheissa.

Rakennussuunnitelmassa pohjanvahvistukset ja pohjarakenteiden suunnittelun tulee olla niin yksityiskohtaista, että ne voidaan toteuttaa.

Mikäli tien rakennussuunnitelman laatiminen sisällytetään rakennusurakkaan, on tämä otettava huomioon tiesuunnitelman laatimisessa ohjeen Tiesuunnitelmavaiheen asiakirjat, Sisältö ja esitystapa TIEH 2100060-v-09 mukaisesti.

2.2 Suunnittelun dokumentointi

Tiehankeissa toteutuu yleensä vaiheittain etenevä ja tarkentuva suunnittelu, jolloin on välttämätöntä huolehtia kunkin vaiheen dokumentoinnista ja arkistoinnista. Tulosten tulee olla aina arvioitavissa ja hyödynnettävissä seuraavissa vaiheissa.

Pohjatutkimukset

Geoteknisen suunnittelun tulee perustua laadultaan hyviin ja määrältään riittäviin geoteknisiin tutkimuksiin ja mittauksiin. Ne toteutetaan ja niiden tulokset raportoidaan ohjeen Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08 mukaisesti.

Pohjatutkimusten toteutuksen yhteydessä laaditaan **Pohjatutkimusten työraportti**, joka tehdään tarvittaessa erikseen:

- kenttätutkimuksista
- laboratoriotutkimuksista

Laajoissa tai pitkäkestoisissa hankkeissa pohjatutkimusten työraportit voidaan laatia vaiheittain tai tutkimusohjelmittain. Pohjatutkimusten tulokset kootaan ja arvioidaan em. ohjeen mukaisesti **pohjatutkimusraportiksi**.

Geotekninen suunnittelu

Kaikissa suunnitteluvaiheissa sovelletaan Eurokoodi 7 osan 1 mukaisia mitoitusmenettelyjä.

Koska geoteknisessä suunnittelussa merkittävä osa suunnittelutehtävistä ratkaistaan ilman laskelmiin perustuvaa mitoitusta, tulee kaikki tehdyt mitoitukset ja tarkastelut dokumentoida suunnitteluperusteineen Eurokoodi 7:n mukaiseen **Geotekniseen suunnitteluraporttiin**. Raportin sisältövaatimukset on esitetty Eurokoodi 7 osassa 1.

Mitoituslaskelmat laaditaan ja arkistoidaan niin selkeästi, että ne ovat hankkeen ulkopuolisen asiantuntijan arvioitavissa.

Geoteknisestä suunnitteluraportista tulee mitoituksen lisäksi käydä ilmi suunnitellut pohjarakenteet ja pohjanvahvistukset sekä missä suunnitelma-asiakirjoissa ne on esitetty.

Suunnittelun lopputuloksena laaditaan **Pohjarakennussuunnitelma**. Pohjarakennussuunnitelma on joko oma asiakirjansa tai se sisällytetään osina koko tiehankkeen suunnitelmaan, kuten seuraavissa kappaleissa esitetään suunnitelmavaiheittain.

Pohjarakennussuunnitelma sisältää:

- Esityksen perustamistavasta sekä työselostuksen tai laatuvaatimukset
- Piirustusluettelo
- Piirustukset pohjarakenteista ja pohjatutkimustuloksista
- Geotekninen suunnitteluraportti
- Vaatimukset seurantamittauksille ja koekuormituksille

2.3 Yleissuunnitelma ja muut esisuunnitelmat

2.3.1 Ohjeet

Yleissuunnitelman sisältö on määritetty ohjeella:

- Yleissuunnitelma, sisältö ja esitystapa TIEH 2100043-v-07

Sisällön yksityiskohtaisia ohjeita on määritetty lisäksi ohjeissa:

- Tie- ja vesirakennushallitus, Teiden suunnittelu I - IX

Tilaaajan ja suunnittelijoiden tehtävät on kuvattu yksityiskohtaisimmin julkaisuissa Tiensuunnittelun toimintajärjestelmä:

- Yleissuunnittelu. Toimintaohjeet, Liikenneviraston ohjeita 19/2010

Toimenpide- ja tarveselvityksissä sovelletaan tätä kohtaa geoteknisen suunnittelun osalta tarpeellisessa laajuudessa.

Pohjatutkimukset

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

2.3.2 Yleissuunnitelman sisältö

Geotekniset ratkaisut yleissuunnitelmaa varten laaditaan kulloinkin tarkoituksenmukaisella tarkkuudella. Esitettävien ratkaisujen tulee olla teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia.

Ratkaisut, jotka ovat jatkosuunnittelun ja hankkeen toteutuksen kannalta sitovia, suunnitellaan niin yksityiskohtaisesti, että niiden tekninen toteuttamiskelpoisuus, kustannukset ja ympäristövaikutukset hallitaan.

2.3.3 Geoteknisen suunnittelun tehtävät

Geoteknisen suunnittelun tehtävät on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Geoteknisen suunnittelun tehtävät yleissuunnitelmaa laadittaessa

Tiensiunnittelun toimintajärjestelmä	Geoteknisen suunnittelijan tehtävät	Tulostus
<i>Lähtötietojen hankkiminen</i>	<i>Esitys maaperätietojen hankkimiseksi Olemassa olevien tutkimusten kokoaminen ja arviointi Olemassa olevien siltojen ja muiden rakenteiden perustamistietojen hankinta</i>	<i>Pohjatutkimusohjelma Suunnitteluraportti ja työkansio</i>
<i>Tavoitteiden tarkentaminen</i>	<i>Osallistuu pääsuunnittelijan ohjeiden mukaan</i>	<i>Suunnitteluraportti</i>
<i>Ympäristövaikutusten arviointimenettely</i>	<i>Osallistuu pääsuunnittelijan ohjeiden mukaan</i>	<i>Suunnitteluraportti</i>
<i>Vuorovaikutus ja osallistuminen</i>	<i>Osallistuu pääsuunnittelijan ohjeiden mukaan</i>	
<i>Vaihtoehtojen muodostaminen ja vertailu</i>	<i>Pohjatutkimusten ohjelmointi Pohjasuhteiden selvittämien Rakenteiden alustava mitoitus Ympäristövaikutusten arviointi Kustannusarvioiden laadinta vertailua varten</i>	<i>Pohjatutkimusohjelma Selvitykset liitetään osaksi suunnitelma-selostusta tai raporteina työkansioon</i>
<i>Valitun vaihtoehdon viimeistely</i>	<i>Painumien, vakavuuden ja routimisen arviointi Pohjavesisuhteiden arviointi ja hankkeen vaikutus pohjavesisuhteisiin Pohjarakenteiden ja pohjanvahvistustoimenpiteiden alustava mitoitus pehmeikköosuuksilla ja siltapaikoilla Alustavia siltatyyppejen, -ratkaisujen ja -paikkojen vertailu Pohjavesien suojaustarve, suojauskohteet - ja periaatteet Vaikutukset ympäristöön Kustannusarvioiden laadinta</i>	<i>Selvitykset liitetään osaksi suunnitelma-selostusta Pohjanvahvistustoimenpiteet esitetään suunnitelma-piirustuksissa Yksityiskohtaisemmat selvitykset liitetään raporteina Tekniseen suunnitelmaan Mitoitustarkastelut dokumentoidaan työkansioon.</i>
<i>Vaikutusten arviointi</i>	<i>Vaikutustarkastelu: pohjavesi, värinä ja pohjarakennustyön vaikutukset ympäristöön</i>	<i>Selvitykset liitetään raporteina Tekniseen suunnitelmaan</i>

2.4 Tiesuunnitelma

2.4.1 Ohjeet

Tiesuunnitelman sisältö on määritetty ohjeella:

- Tiesuunnitelma, sisältö ja esitystapa TIEH 2100060-v-09

Sisällön yksityiskohtaisia ohjeita on määritetty lisäksi ohjeissa:

- Tie- ja vesirakennushallitus, Teiden suunnittelu I - IX

Tilaaajan ja suunnittelijoiden tehtävät on kuvattu yksityiskohtaisimmin julkaisuissa Tiesuunnittelun toimintajärjestelmä:

- Tiesuunnittelu. Toimintaohjeet, Liikenneviraston ohjeita 20/2010

Pohjatutkimukset

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

2.4.2 Sisältö

Tiesuunnitelma määrittelee hankkeen yksityiskohtaisesti. Tiesuunnitelman keskeisenä vaatimuksena on, että siinä määritetään

- maankäytön rajoitukset
- tiealueen rajat
- suunnitelman vaikutukset ympäristöön, esimerkiksi vaikutukset pohjaveteen, pohjavedensuojaus, tärinä tai maastonmuotoilu
- kustannusarvio: rakennuskustannukset ja muut kustannukset

Jotta tiealue, tien rakentamisesta aiheutuvat kustannukset ja tien ympäristövaikutukset voidaan määrittää, suunnitelmaa varten on selvitettävä maankäyttö, tarvittavat tie- ja liikennejärjestelyt sekä maanpinnan muodot ja pohjaolosuhteet. Näiden perusteella suunnitellaan:

- teiden linjaukset ja tasaukset
- liikennetekniset poikkileikkaukset
- sillat
- pohjanvahvistusten ja pohjarakenteiden sekä tien rakenteiden vaatima tila, esimerkiksi kevennysleikkaukset

Suunnitelma ratkaisujen ja kustannusarvion laatiminen edellyttävät yleensä rakennesien yksityiskohtaista suunnittelua, massojen määrittämistä ja kustannusten arviointia. Kuitenkin yksityiskohdat, jotka eivät vaikuta tiealueen leveyteen, tien rakentamisesta aiheutuviin kustannuksiin tai tien ympäristövaikutusten määrittämiseen, voidaan tehdä myöhemmin rakennussuunnittelun yhteydessä.

2.4.3 Geoteknisen suunnittelun tehtävät

Geoteknisen suunnittelun tehtävät on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Geoteknisen suunnittelun tehtävät tiesuunnitelmaa laadittaessa

Tiensuunnittelun toimintajärjestelmä		Geoteknisen suunnittelijan tehtävät	Tulostus (tiesuunnitelman osa A...E)
Kustannussuunnittelu ja kustannusten arviointi		Kustannusarvion laatiminen	B, E
Lähtötietojen hankkiminen ja arviointi		Maastoinventoinnit Olemassa olevan pohjatutkimustiedon hankinta ja arviointi Pohjatutkimusten ohjelmointi Pohjatutkimusten siirto suunnittelujärjestelmään	E E E E, C
Tielinjauksen ja korkeusaseman suunnittelu		Geotekniikan periaateratkaisujen ja tiegeometrian yhteensovittaminen Alueellinen vakavuus	E E
Tierakenteen suunnittelu	Poikkileikkaus ja päällysrakenne	Päällysrakennerratkaisujen suunnittelu Pohjanvahvistusten tilanvaraukset	C, E C
	Geotekninen suunnittelu	Vakavuus, painuma- ja siirtymätarkastelut Vaihtoehtojen vertailu Pohjanvahvistustoimenpiteet ja pohjarakenteiden suunnittelu Pohjanvahvistusratkaisuvaihtoehtojen sopivuus suunnitellulle tiealueelle Määritettävä rakentamistoimenpiteiden vaatima aika	E E E E D
	Kuivatuksen suunnittelu	Uomien vakavuus Kuivatustarve: pohjaveden suotautuminen Rumpujen perustaminen	E E C, E
	Pohjaveden alentamisen ja suojausten suunnittelu	Pohjaveden alentamisen ja suojausten suunnittelu Pohjaveden alentamistarve Pumpattavan pohjavesimäärän selvittäminen Suojaustarpeen laajuuden selvittäminen Selvitykset ympäristöviranomaisen lausunnon / ympäristöluvan hankkimiseksi	C, E E E A, C, E E
Ympäristösuunnittelu		Vakavuustarkastelut Vaikutus muihin rakenteisiin	C, E A, E
Valaistuksen, liikenteenohjauksen sekä telematiikan ja varusteiden suunnittelu		Perustamisen suunnittelu	C, E
Laitteiden siirto ja suojaus suunnittelu		Pohjanvahvistustoimenpiteiden ja pohjarakenteiden suunnittelu tarvittaessa	D, E
Maa-ainesten otto- ja läjitysalueiden suunnittelu		Ottoalueiden materiaalien laadun ja määrän sekä pohjavesiolosuhteet selvitys Läjitysalueiden pohjavesiolosuhteiden ja, vakavuuden selvitys	C, E C, E
Siltojen, tunneleiden ja muiden taitorakenteiden suunnittelu laatimiseen liittyvät tehtävät		Pohjanvahvistustoimenpiteet ja pohjarakenteiden suunnittelu Sillan geotekniset suunnitteluperusteet ohjeen mukaisesti	

Geoteknisen suunnittelun sisältöön tehdään tarvittaessa tarkennuksia hankekohtaisilla päätöksillä.

2.5 Tiesuunnitelman täydennys

Jos tiehanke toteutetaan käyttäen hankintamuotoa, johon sisältyy rakennussuunnittelu, tehdään lakisääteiselle tiesuunnitelmalle täydennys, jossa selvitetään erityisesti pohjaolosuhteet yksityiskohtaisemmin kuin kappaleessa 2.4 on esitetty. Tiesuunnitelman täydennykseen perustuen tarjoajan on voitava arvioida olosuhteet sekä suunnittelu- ja rakentamiskustannukset riittävän luotettavasti.

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Pohjatutkimusten kattavuuden ja yksityiskohtaisuuden osalta on huomioitava, että:

- Pohjatutkimuksista on saatava tarvittavat lähtötiedot kaikkien tuotevaatimusten sallimien tasausvaihtoehtojen suunnitteluun
- Pohjatutkimusten perusteella on voitava alustavasti mitoittaa eri vahvistustapoja ja arvioida niiden toteuttamiskelpoisuus
- Pohjatutkimusten perusteella tulee olla mahdollista tehdä riskien arviointi rakennusurakan tarjousvaiheessa

Tiesuunnitelman täydennyksen yhteydessä tulee ottaa huomioon, että vain pohjarakennus- ja pohjanvahvistusmenetelmiin liittyviä yksityiskohtaisia tutkimuksia täydentävät lisätutkimukset, on mahdollista jättää tehtäväksi välittömästi rakentamista edeltävän suunnittelun yhteydessä.

Ylläpitotarpeen arviointia varten tarvitaan tiedot urakkaan sisältyvistä olemassa olevista rakenteista ja niiden kunnosta. Tiedot tarvitaan nykyisistä rakenteista, vaikka niissä ei ole havaittu ongelmia tai niille ei tehdä toimenpiteitä rakentamisen yhteydessä. Tietojen hankinnassa noudatetaan ohjetta:

- Maastotietojen hankinta Toimintaohjeet, Liikenneviraston ohjeita 23/2011

Tiesuunnitelman täydennyksen yhteydessä tulee lisäksi varmistaa, että tiesuunnitelmassa esitetyt geotekniset ratkaisut täyttävät tiesuunnitelmalle asetetut vaatimukset. Lisäksi tulee varmistaa, että suunnitelmaratkaisut täyttävät hankkeen tekniset tuotevaatimukset. Jos hankekohtaisia tuotevaatimuksia ei ole käytettävissä, suunnitelmaratkaisujen tulee olla Liikenneviraston geoteknisten ohjeiden mukaisia.

2.6 Rakennussuunnitelma

2.6.1 Ohjeet

Rakennussuunnitelman sisältö on määritetty ohjeella:

- Tie- ja vesirakennushallitus, Teiden suunnittelu I - IX

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

2.6.2 Sisältö

Rakennussuunnitelmassa esitetään pohjanvahvistusten sekä pohjarakenteiden ja pohjanvahvistusten suunnitelmat. Niiden tarpeellisuus on arvioitava kaikkien suunnitelmaan sisältyvien väylien ja muiden rakenteiden osalta.

Rakennussuunnitelmalla määritetään rakennettavan kohteen lopputulos. Geoteknisen suunnittelun kannalta rakennussuunnitelman keskeiset sisältövaatimukset ovat:

- rakennussuunnitelmassa osoitetaan työssä tarvittavat mitat
- rakennussuunnitelmassa selvitetään käytettävät materiaalit tai materiaalille asetut vaatimukset
- asetetaan laatuvaatimukset ja määritetään niiden todentaminen sekä seuranta-mittaukset
- laaditaan kustannusarvio

Silloista laaditaan rakennussuunnitelmat.

Geoteknisessä suunnittelussa on erityisesti huomioitava nykyiset rakenteet ja liikenteen turvallisuus.

2.6.3 Geoteknisen suunnittelun tehtävät

Geoteknisen suunnittelun tehtävät on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Geoteknisen suunnittelun tehtävät rakennussuunnitelmaa laadittaessa

Rakennussuunnittelun toimintaohjeet		Geoteknisen suunnittelijan tehtävät	Tulostus
Geometria	Linjaus ja tasaus	Osallistuu tasausratkaisujen suunnitteluun	Tulosteet ohjeen Teiden suunnittelu I-IX mukaan
Tierakenne	Alusrakenne	Penkereiden ja leikkausten vakavuus- ja painuma-analyysit Pohjamaan kuormitus- ja routakestävyysmitoituksen hankekohtaisten parametrien määrittäminen	
	Päällysrakenne ja poikkileikkaus	Päällysrakennesuunnitelman tarkistus Sitomattomien rakennekerrosten hankekohtaisten kuormituskestävyysparametrien määrittäminen	
Geotekniikka	Maaperätutkimusten ohjelmointi ja käsittely	Maastokatselmus Pohjatutkimusohjelman laadinta Pohjatutkimusraportin tarkastus ennen tulosten käyttöä	
	Geotekninen suunnittelu	Ympäristövaikutuksia koskevien rajoitusten selvittäminen Pohjavahvistusten ja pohjarakenteiden yksityiskohtainen suunnittelu Suunnitteluvaatimukset urakoitsijan suunniteltaviksi tuleville rakenteille Rakentamismenetelmille asettavat vaatimukset Ympäristövaikutusten arviointi ja hallinta Rummut, pumppaamot sekä erikoisrakenteiden suunnittelu / tarkistus perustamistapojen osalta	
Kuivatus	Kuivatuksen suunnittelu	Pohjaveden alentumiseen johtavien kuivatusratkaisujen vaikutukset ympäristöön ja rakenteisiin	
	Pohjaveden suojausten suunnittelu	Pohjaveden suojausten suunnittelu ja vaihtoehtoverailu	
Ympäristö	Istutusten ja maastomuotoilujen suunnittelu	Vakavuus- ja painuma-analyysit Tarvittaessa pohjarakenteiden yksityiskohtainen suunnittelu	
	Meluusteiden ja kadunkalusteiden suunnittelu	Vakavuus- ja painuma-analyysit Tarvittaessa pohjarakenteiden yksityiskohtainen suunnittelu	
Maa-ainesten käyttö	Massavarat ja tarpeet	Pohjamaan sekä maa- ja kalliomassojen käyttökelpoisuus, kantavuus ja routivuus luokittelu	
	Läjitysalueiden suunnittelu	Vakavuus- ja painuma-analyysit, tarvittaessa pohjanvahvistusten suunnittelu Kuivatuksen suunnittelu Ympäristövaikutusten arviointi	
Muut rakenteet, siirto ja suojaustoimenpiteet	Muiden rakenteiden suunnittelu	Pohjarakenteiden yksityiskohtainen suunnittelu	
	Siirto ja suojaustoimenpiteiden suunnittelu	Rakenteiden ja rakennusten siirto ja suojaus: pohjanvahvistukset	
Valaistus		Pohjarakenteiden yksityiskohtainen suunnittelu	
Liikenteen ohjaus	Viitoituksen ja liikenne-merkkien suunnittelu	Pohjarakenteiden yksityiskohtainen suunnittelu	
Sillansuunnittelu	Lähtötiedot siltasuunnittelijalle	Sillan geotekninen suunnittelu ohjeen mukaisesti	
	Geotekninen suunnittelu	Sillan geotekninen suunnittelu ohjeen mukaisesti	

3 Pohjarakenteiden vertailuperusteet

Pohjarakenteiden ja pohjanvahvistusten suunnittelun tulee perustua tieteknisen ja geoteknisen suunnittelun yhteensovittamiseen, jolloin ratkaisuja arvioidaan molemmista näkökulmista ja otetaan huomioon tekniset, taloudelliset, turvallisuus- ja ympäristövaikutukset.

Asetetut laatuvaatimukset täyttäviä vaihtoehtoisia pohjarakenteita tai pohjanvahvistuksia verrataan toisiinsa niiden arvioitujen rakentamiskustannusten perusteella.

Vertailua tehtäessä selvitetään eri pohjarakenteiden ja pohjanvahvistusten tekniset ja taloudelliset riskit.

Suunnittelun lähtökohtana on, että tässä ohjeessa mainittujen ja yleisesti käytössä oleviin pohjarakenteisiin ja pohjanvahvistuksiin tai muihin vastaaviin maarakenteisiin ei liity menetelmästä johtuvia riskejä, joiden suhteen niitä olisi verrattava keskenään. Paikallisiin pohjasuhteisiin tai rakenteisiin saattaa liittyä riskejä, jotka huomioidaan suunnittelussa hankkeen suunnitteluperusteissa esitetyllä tavalla.

Pohjarakenteen valintaa tehtäessä otetaan huomioon rakenteen käyttöikä ja materiaalienpitkäaikaiskestävyys. Rakenteiden käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jona rakenteen tulee täyttää sille asetetut vaatimukset käyttö- ja murtorajajätköissä. Käyttöajan aikana rakennetta ylläpidetään ja sille tehdään vain suunnittelussa määritellyt korjaustoimenpiteet asianmukaisesti huollettuna ja ylläpidettynä.

Väliaikaisiksi tarkoitettut rakenteet suunnitellaan niiden käytön ajalle, joka myös esitetään suunnitelmassa.

Pohjarakenteiden ja pohjanvahvistusten elinkaarikustannukset huomioidaan tilaajan hyväksymällä tavalla.

Pohjanvahvistusmenetelmien valintaa on opastettu Tiehallinnon julkaisussa Tien perustamistavan valinta TIEH 2100019-v-03.

4 Materiaaliominaisuudet

4.1 Maan geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen

4.1.1 Yleistä

Rakennuspaikan geotekniset maakerrokset, ja tarvittaessa kallion ominaisuudet, on aina selvitettävä suunnitteluvaiheen ja suunnittelutehtävän edellyttämällä riittävällä tarkkuudella sekä riittävän luotettavilla menetelmillä huomioiden Eurokoodi 7 osissa 1 ja 2 sekä osan 1 kansallisessa liitteessä (LVM-liite) että Liikenneviraston eurokoodin soveltamisohjeessa NCCI7 esitetyt vaatimukset.

4.1.2 Määrittämenetelmät

Maakerrosten geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen perustuu pohjatutkimuksiin, joiden toteutuksessa noudatetaan ohjetta:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Maan ja maamateriaalien routivuus määrittäminen sekä routatekninen mitoitus tehdään kappaleen 7.3 Routatekninen mitoitus mukaisesti.

Tämän ohjeen liitteessä 1 Materiaalit ja parametrit on esitetty opastusta eri menetelmien soveltamisesta käytännön suunnittelussa.

4.1.3 Maan ominaisuuksien luokitus

Maakerrosten ominaisuudet luokitellaan soveltaen geoteknistä maalajiluokitusta (GEO luokitus), jonka sisältö on esitetty VTT:n geotekniikan laboratorion tiedonannossa 14 (Korhonen et.al. 1974).

Tierakenteiden kohdalla pohjamaa luokitellaan lisäksi alusrakenneluokkiin noudatetaan ohjetta:

- Tierakenteen suunnittelu, TIEH 2100029-04

Kallioperän ominaisuudet luokitellaan soveltaen rakennusgeologista kallioluokitusta (RG luokitus), jonka sisältö on esitetty VTT:n geotekniikan laboratorion tiedonannossa 12 (Korhonen et.al. 1974).

4.2 Maanrakennusmateriaalien ominaisuuksien määrittäminen

Maanrakennusmateriaalien ominaisuuksien määrittäminen perustuu pohjatutkimuksiin, joiden toteutuksessa noudatetaan ohjetta:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Lisäksi noudatetaan InfraRYL esitettyjä laatuvaatimukset materiaaleille ja rakenteille, ellei niihin työkohtaisessa työselostuksessa esitetä poikkeamia.

4.3 Rakennusmateriaalien ominaisuuksien määrittäminen

Pohjanvahvistuksissa ja pohjarakenteissa käytettävien materiaalien ominaisuudet määritetään suunnitelmassa. Suunnitelmien laatimisessa noudatetaan rakenteen suunnittelusta annettuja Liikenneviraston suunnitteluperusteita ja erillisiä ohjeita, jotka on esitetty luvussa 1.

Lisäksi noudatetaan InfraRYL:ssä esitettyjä laatuvaatimuksia materiaaleille ja rakenteille ellei niihin työkohtaisessa työselostuksessa tai tilaajan asettamassa tuotevaatimuksessa esitetä poikkeamia.

Suunnitelmassa tulee huomioida materiaaliominaisuuksien muuttuminen käyttöajan aikana. Muuttuminen määritetään menetelmäkohtaisesti tilaajan hyväksymällä tavalla. Määrittäminen tulee tehdä muun muassa seuraavissa tapauksissa:

- puun lahoaminen
- teräksen korroosio
- polymeerien rakenteen heikkeneminen
- betonin ja kiviaineksen rapautuminen

Tierakenteissa voidaan käyttää sivutuotteita vain, jos tilaaja sen hyväksyy. Sivutuotteella tarkoitetaan aikaisemmasta käytöstä poistettua hyödyntämiskelpoista materiaalia, pois lukien luonnonmateriaalit, tai teollisuuden sivutuotteena syntyvää materiaalia. Sivutuotteiden käyttö rakenteissa vaatii ympäristöluvan. Sivutuotteiden käyttöön liittyviä kysymyksissä noudatetaan ohjetta:

- Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, Tiehallinto 2100041- 07

5 Ulkoiset kuormat

Suunnittelussa tarvittavat ulkoiset kuormat ja niiden yhdistäminen määritetään noudattaen standardeja:

- Eurokoodit 1990, 1991 ja 1997-1 sekä niiden kansalliset liitteet (LVM)
- Liikenneviraston eurokoodien soveltamisohjeita NCCI1 ja NCCI7

Kuormituksia määritettäessä on huomioitava mahdollisuuksien mukaan kaikki käytön aikana rakenteeseen kohdistuvat kuormat, joita voivat olla:

- liikenne
- rakenteen omapaino
- maan paino
- vedenpaino ja -paine
- negatiivinen vaippahankaus
- rakenteista aiheutuvat siirtymät
- rakennuspaikan maan heikosta vakavuudesta aiheutuvat maan siirtymät

Lisäksi erityisesti tiealueelle sijoitettaviin rakenteisiin ja varusteisiin vaikuttaa lumen aurauksesta ja tuulesta aiheutuvia kuormituksia

Tierakenteita suunniteltaessa pyritään huomioimaan mahdollisimman kattavasti toteutuksesta aiheutuvat ja muut työn aikana vaikuttavat kuormitukset, joita voivat olla:

- työkoneet
- työn tekemisestä aiheutuvat siirtymät
- pohjaveden alennus
- huokosylipaine

Rakennustöiden aiheuttama tärinästä muodostuva kuormitus huomioidaan julkaisun

- RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät mukaisesti.

Kuormat erotetaan pysyviksi ja muuttuviksi kuormiksi sekä poikkeuksellisissa olosuhteissa vaikuttaviksi kuormiksi (onnettomuuskuormat).

Kuormat, jotka suunnittelussa on otettu huomioon, dokumentoidaan laskelmiin ja piirustuksiin selkeästi.

6 Tien geotekniset suunnittelukriteerit

6.1 Yleistä

6.1.1 Geotekninen luokka ja seuraamusluokka

NCCI7 esitetyn mukaisesti tien rakenteet kuuluvat geotekniseen luokkaa 1, kun rakenne tehdään kantavalle pohjamaalle eikä riskiä vakavuuden, painuman tai siirtymän suhteen ole. Muissa tavanomaisissa olosuhteissa rakenne kuuluu geotekniseen luokkaan 2. Geotekniseen luokkaan 3 kuuluvat vain erittäin suuret ja epätavalliset rakenteet tai rakenteet, jotka suunnitellaan alueelle, jossa maamassat ovat lähtötilanteessa liikkeessä.

Seuraamusluokka ja luotettavuusluokka määritetään Eurokoodi 7 osien 1 ja 2 sekä osan 1 kansallisen liitteen (LVM-liite) että Liikenneviraston Eurokoodi 7 soveltamisohjeen NCCI7 mukaisesti.

6.1.2 Mitoitusmenettely

Geoteknisessä suunnittelussa käytetään mitoitusmenettelyjä, jotka on esitetty

- Liikenneviraston eurokoodin soveltamisohjeessa NCCI7

Seuraavien rakenteiden murtorajatilaa koskevat laskennalliseen mitoituksen eurokoodin soveltamisohjeet on esitetty NCCI7:ssä:

- sillan perustamistapoja: antura- ja laattaperustukset
- paaluperustukset tukipaaluja käyttäen
- ankkurointi
- maanpainerakenteita: jäykkä tukimuuri ja taipuisa tukiseinä
- hydraulinen murtuminen
- syvästabilointi
- luiskat ja maanvaraiset penkereet

Tässä ohjeessa esitetään suunnitteluperusteet penkereen varaan ja leikkaukseen rakennettavan tierakenteen käyttörajatilassa sallituille painumille. Lisäksi tässä ohjeessa määritellään perusteet, joilla pohjanvahvistukset suunnitellaan.

6.1.3 Säilyvyys

Rakenteiden käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jona rakenteen tulee täyttää sille asetetut vaatimukset käyttö- ja murtorajatilassa. Käyttöiän aikana rakennetta ylläpidetään ja sille tehdään vain suunnittelussa määritellyt asianmukaiset ylläpito- ja huolto-toimenpiteet.

Rakenteen käyttöikä ei vaikuta suunnittelun ja mitoituksen yksityiskohtaisuuteen.

6.1.4 Rakenteen käyttöikä

Tien pohjarakenteiden tekninen käyttöikä on 100 vuotta.

Tien päällysrakenteiden sekä varusteiden ja laitteiden käyttöikä on 50 vuotta.

Siltarakenteiden ja niihin vaikuttavien tulopenkereiden pohjarakenteiden tekninen käyttöikä on 100 vuotta. Kuitenkin aallotettujen teräsputkisiltoihin liittyvien pohjarakenteiden käyttöikä on 50 vuotta, ellei sillalle ole asetettu muuta tavoiteikäkkä.

Väliaikaisiksi tarkoitettut rakenteet suunnitellaan niiden käytön ajalle. Suunniteltu käyttöikä merkitään suunnitelmaan, mikäli se poikkeaa vastaavalle pysyväälle rakenteelle asetusta käyttöiästä. Suunnitelmaan tulee merkitä myös mitoitusperusteet kuormitusten osalta, mikäli ne muuttuvat käyttöajan jatkuessa; esimerkiksi routa, vednpaine tai korrosio.

Mikäli rakenteessa on käyttöiältään erilaisia rakenteita, pyritään rakennetta suunniteltaessa ottamaan huomioon niiden eriaikainen korvaaminen tai korjaustarve siten, että pitemmän käyttöiän omaavia rakenteita ei jouduta purkamaan ennenaikaisesti.

6.2 Vakavuusmitoitus

6.2.1 Alueellinen vakavuus

Tiehankkeen vaikutusalueen alueellisen vakavuuden tulee olla riittävä ja se arvioidaan aina. Alueellinen vakavuus selvitetään laskelmilla, ellei vakavuus suuruusluokkatarkastelujen perusteella ole selvästi riittävä. Alueelliselta vakavuuden riskeille herkimpiä alueita ovat yleensä ranta-alueet ja rinteet.

Murtorajatilan osalta noudatetaan:

- Eurokoodi 7 osaa 1 ja osan 1 kansallista liitettä (LVM-liite) että Liikenneviraston eurokoodin soveltamisohjetta NCCI7

Mitoitus murtorajatilassa tehdään kuten tiepenkereille ja leikkauksille (kappale 6.2.3).

Mikäli alueella on tapahtunut sortumia, maaston luonnolliset tai tierakenteista muodostuvat korkeuserot ovat suuret, tehdään vakavuustarkastelu käyttäen NCCI7 kohdan 5.5.2 esitettyjä korkeampia varmuuslukujen arvoja. Tällöin alueellisen vakavuuden heikkenemisen aiheuttamat riskit arvioidaan ja dokumentoidaan suunnitteluraporttiin. Erityisesti otetaan huomioon alueella olemassa olevat pohjarakenteet ja maanalaiset rakenteet, kuten rakenteiden perustukset, putkistot ja kaivot, jotka ovat vaarassa vaurioitua vakavuuden alentumisen seurauksena. Suunnitelmaratkaisuilla ja työlle työselostuksessa asetavilla vaatimuksilla siirtymien aiheuttamat haitat rajataan tilaajan hyväksymälle tasolle. Suunnitelmassa esitetään myös mahdolliset rakentamista tai suunniteltavia rakenteita koskevat alueellisesta vakavuusongelmasta aiheutuvat rajoitukset. Mikäli rajoitukset eivät riitä varmistamaan riittävää vakavuutta tai alueen todetaan olevan sortumatilassa, tarkistetaan suunnitteluperusteita.

6.2.2 Tierakenteen, maaleikkauksen ja kallioleikkausten vakavuus

Tierakenteen ja maaleikkauksen vakavuuden tulee olla riittävä. Tierakenteen, mukaan lukien tien vaikutusalueella olevien mahdollisten muiden rakenteiden, vakavuus tarkistetaan aina. Vakavuus selvitetään laskelmilla, ellei vakavuus suuruusluokkatarkastelujen perusteella ole selvästi riittävä.

Analyysiä varten määritetään työnaikaiset ja käyttötilan kuormitusten edustavat arvot.

Tierakenteiden ja maaleikkausten murtorajatilan osalta mitoituksessa noudatetaan:

- Eurokoodi 7 osaa 1 ja osan 1 kansallista liitettä (LVM-liite) että Liikenneviraston eurokoodin soveltamisohjetta NCCI 7

Kalliroleikkauksen vakavuus arvioida kohdekohtaisesti ja selvitetään laskelmilla, ellei vakavuus suuruusluokkatarkastelujen perusteella ole selvästi riittävä. Arviointi tehdään työn aikana, ellei yksityiskohtaista arviointia ole mahdollista tehdä ennakkoon. Kalliroleikkauksen vakavuustarkastelu on erityisesti tarpeen, jos kallio on hyvin rikko-naista tai kalliroleikkauksen alueella esiintyy leikkaukseen päin viettävää rakoilua.

6.3 Painumamitoitus

6.3.1 Painuman arviointi

Tien painumamitoituksessa määritetään laskemalla tien pinnan tai muun maarakenteen painuminen ajan funktiona. Mitoituksen tulee perustua laadultaan hyviin ja kattaviin pohjatutkimuksiin huomioiden suunnitteluvaiheen vaatimukset.

Mitoituksessa lasketaan painuman vaikutus tien pituus- ja poikkisuunnassa tien käyttöaikana. Tavanomaisissa tapauksissa tarkastelu tehdään ainakin 5 vuoden, 10 vuoden ja 50 vuoden kohdalla tien käyttöönotosta. Mikäli tiehen sijoitetaan kunnallistekniikkaa tai muita vastaavia laitteita, on rakentamisen aikaiset painumat huomiotava mitoituksessa.

Painumamitoitukseen perustuvan painuma-arvion toteutuminen todennetaan seurantamittauksilla suunnitelmassa esitettävällä tavalla. Seurantamittauksen tulokset analysoidaan soveltaen julkaisussa:

- Painuman ennustaminen painumahavaintojen perusteella, TIEH 3200695 esitettyjä menetelmiä.

6.3.2 Mitoituskriteerit

Painumamitoituksen tavoitteena on suunnitella rakenteet ja niiden toteutustapa sel-laisiksi, että käyttöaikana tapahtuva painuma ei aiheuta suunnittelemtomia korjaus- tai ylläpitotoimenpiteitä.

Tien pituus- ja poikkisuuntaisten painumien sekä painumaerojen tulee täyttää tilaa-
jan hanke- ja kohdekohtaisesti asettamat vaatimukset. Painumien suositeltavat raja-
arvot on esitetty taulukossa 4. Painumamitoituksen vaatimukset koskevat kaikkia
maanvaraisia rakenteita ja pohjanvahvistustoimenpiteitä. Taulukossa esitettyjä raja-
arvoja käytettäessä ei oteta huomioon korjaus- tai ylläpitotoimenpiteitä, joilla painu-
mia voidaan käyttöaikana tasata.

Sallittua kokonaispainumanarvoa voidaan suurentaa rakennettaessa hyvin paksulla (> 20m) pehmeiköllä, jos olosuhteet ovat hyvin homogeeniset maan painumaominaisuuksien suhteen ja arvio pohjasuhteista perustuu laadultaan hyviin ja kattaviin pohjatutkimuksiin. Vastaavasti sallittuja arvoja tulee tiukentaa, jos pehmeikön syvyydes-
sä havaitaan voimakasta vaihtelua tai painumaominaisuuksia ei ole voitu luotettavas-
ti pohjatutkimuksilla selvittää.

Kokonaispainuman raja-arvojen voidaan arvioida toteutustavan, kun konsolidaatiosta riittävän suuri osa saadaan tapahtumaan rakentamisaikana. Jotta käyttöaikana ei synny haitallisia painumia, käyttöajan ensimmäisen 10 vuoden aikana painuman tulisi jäädä laskennallisesti alle 40 %:in 50 vuoden kokonaispainumasta.

Painuma ei saa vahingoittaa tierakenteeseen sijoitettuja kuivatusrakenteita, kunnallistekniikkaa, energiaverkkoja ja vastaavia rakenteita. Rakenteen alla tai vieressä olevat laitteet tai johdot voivat edellyttää em. tiukempia arvoja sallitulle painumalle. Sellaisia painumia tai kaltevuudenmuutoksia, jotka estävät pintaveden poistumisen tien pinnalta, ei sallita.

Sallitun painuman tai painumaeron suuruutta voivat rajoittaa lisäksi kuivatuksen ja tien geometrian liikennetekniset vaatimukset sekä tien rakenteelliset seikat, jotka selvitetään osana suunnittelutehtävää. Lisäksi tien suunniteltu rakenne sekä pohjanvahvistukset ja pohjarakenteet vaikuttavat osaltaan painuman sallittuihin arvoihin (luku 7).

Taulukko 4 Pohjanvahvistustarpeen arvioinnissa ja mitoituksessa käytettävät tienpinnan sallitut painumat, sallitut painumaerot ja sivukaltevuuden muutokset käyttötilassa

Tien vaatimusluokka	Pituuskaltevuuden muutos 0...50 v ⁽²⁾ $p_{k_{sall}} / 50 \leq$ [%] yksikköä	Kokonaispainuma 50 v aikana ⁽¹⁾ $s_{sall50v} \leq$ [mm]	Sivukaltevuuden muutos 50 v aikana ⁽²⁾ $sk_{sall50v} \leq$ [%] yksikköä	Sivukaltevuuden muutos 10 v aikana ⁽²⁾ $sk_{sall10v} \leq$ [%] yksikköä
V1	0,6	300	± 1,5	-1,0 tai +1,0
V2	0,8	400	± 1,5	-1,0 tai +1,0
V3	1,1	600	± 2,0	-1,0 tai +1,0
V4	1,6	800	± 2,0	-1,0 tai +1,5
V5	2,2	800	± 2,0	-1,5 tai +1,5
R1	0,6	200	± 1,5	-1,0 tai +1,0
R2	0,8	200	± 1,5	-1,0 tai +1,5
R3	1,1	200	± 1,5	-1,5 tai +1,5
K1	2,2	800	± 1,5	-1,0 tai +1,5
K2	Kuten ajorata			

(1) Kokonaispainuman sallittua arvoa tulee arvioida tämän ohjeen mukaisesti ja sitä täsmentää tarvittaessa. Lisäksi on huomioitava, että usein mitoittavana tekijänä on kaltevuuden muutos.

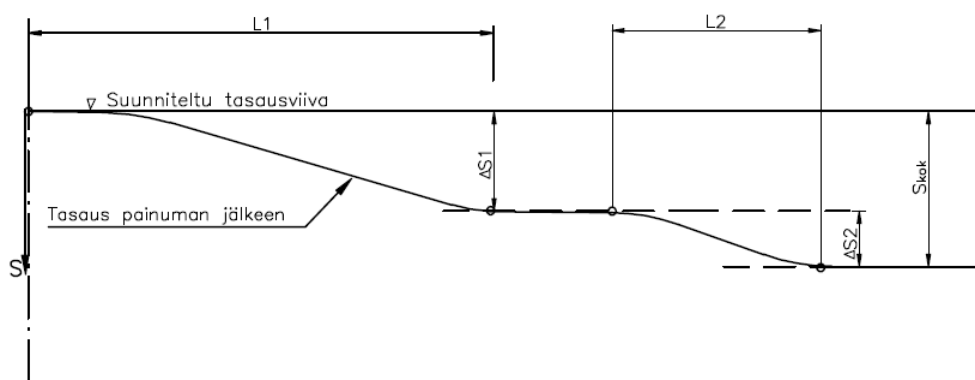
(2) Siirtymärakenteiden mitoituksessa käytetään enintään 50 % taulukon pituuskaltevuuden ja sivukaltevuuden muutoksien sallituista arvoista. (Kappale 7.10)

Taulukko 5 Tien vaatimusluokkien määrittely

Tien vaatimusluokka ja niitä kuvaavia tietoja mm. mitoitusnopeus [km/h]	
V1	Moottoriväylät (Mo, Mol) 120 km/h
V2	Päätiet (Vt, Kt) 80-100 km/h ja moottoriväylät (Mo, mol) 100 km/h
V3	Seudulliset tiet 80 – 100 km/h ja KVL >1000 ajon/vrk
V4	Seudulliset tiet 60 km/h tai KVL < 1000 ja paikalliset väylät KVL >1000
V5	Paikallisväylät KVL 400 – 1000 ajon./vrk
R1	Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, 80 km/h (1)
R2	Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, 50 - 70 km/h (1)
R3	Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, alle 50 km/h (1)
K1	Kevyenliikenteen tie, erillinen (päällystetty)
K2	Kevyenliikenteen tie, reunakivellä erotettuna ajoradasta

(1) Liikenteenjakaaja, korotettu kevyenliikenteenväylä ja kunnallisteknisiä tai muita pohjamaan painumalle herkkiä rakenteita

Taulukossa 4 esitetyillä käsitteillä pituuskaltevuuden puutoksella ($pk_{sall0/50}$) ja kokonaispainuma 50 vuoden aikana ($s_{sall50v}$) on havainnollistettu kuvassa 1. Pituuskaltevuuden muutoskriteeriä verrataan kunkin painuvan tieosan suurimpaan pituuskaltevuuden muutokseen ja kokonaispainumalla tarkoitetaan vastaavasti suurinta tienpinnan painumaa verrattuna suunniteltuun tienpinnan tasaukseen.



Kuva 1 Tien pituussuuntaisen ja kokonaispainuman määrittely.

6.3.3 Mitoituksen arviointi

Painumamitoituksen tuloksesta tehdään yhteenveto, josta tarkastellaan tulosta ja sen luotettavuutta. Tarkastelussa huomioidaan muun muassa:

- tiedot pohjaolosuhteista ja niiden vaihtelusta
- tiedot maan lujuudesta, vedenläpäisevyydestä ja kokoonpuristuvuudesta
- kuormitusta aiheuttavista täytöistä ja pohjaveden pinnanmuutoksista
- painuman vaikutuksista mitoitettavan rakenteen toimintaan
- painuman vaikutuksista mitoitettavan rakenteen ympäristöön

Tarvittaessa sovellettavia raja-arvoja tarkistetaan ja ne dokumentoidaan suunnittelu-raporttiin.

6.4 Sivusiirtymämitoitus

Sivusiirtymillä tarkoitetaan tässä leikkausmuodonmuutoksien aiheuttamia, pääosin vaakasuuntaisia, siirtymiä pohjamaassa.

Suunniteltavat tierakenteet tai niiden vaikutusalueella olevat muut rakenteet eivät saa vahingoittua suunniteltavasta rakenteesta johtuen. Mahdolliset siirtymien aiheuttamat riskit arvioidaan ja dokumentoidaan suunnitteluraporttiin. Suunnitelmaratkaisuille ja työselostuksessa asettavilla vaatimuksilla siirtymien aiheuttamat haitat rajataan tilaajan hyväksymälle tasolle.

Tyypillisiä tierakenteisiin sijoitettuja rakenteita ovat kuivatusrakenteet, kunnallistekniikka ja energiaverkot. Ohjeita, joiden mukaan laitteita sijoitetaan tiealueelle, on esitetty Liikenneviraston Tienpidon teknisissä ohjeissa.

Sivusiirtymiä voi syntyä muun muassa:

- maanvaraisen rakenteen riittämättömän vakavuuden seurauksena
- maa- ja kallioleikkauksessa riittämättömän vakavuuden tai jännitystilan muutoksen seurauksena
- maarakenteen jälkitiivistymisen seurauksena
- käytettäessä maata syrjäyttäviä pohjarakennusmenetelmiä
- rakennustyön aiheuttaman tärinän, maan tiivistymisen tai häiriintymisen seurauksena

Maanvaraisten rakenteiden muodostaman staattisen kuormituksen aiheuttamien sivusiirtymien suuruus voidaan laskennallisesti selvittää käyttämällä FEM-laskentaohjelmia. Laskelmien tuloksista ja erityisesti niissä käytettyjen lähtötietojen luotettavuudesta tehdään yhteenveto, joka liitetään laskelmiin.

Tavanomaisissa tapauksissa maarakenteisiin ja maanvaraisiin tierakenteisiin liittyvää sivusiirtymien mahdollisuutta voidaan arvioida vakavuuslaskelmilla.

Sivusiirtymistä tehdyn arvion toteutuminen todennetaan seurantamittauksilla suunnitelmassa esitettävällä tavalla.

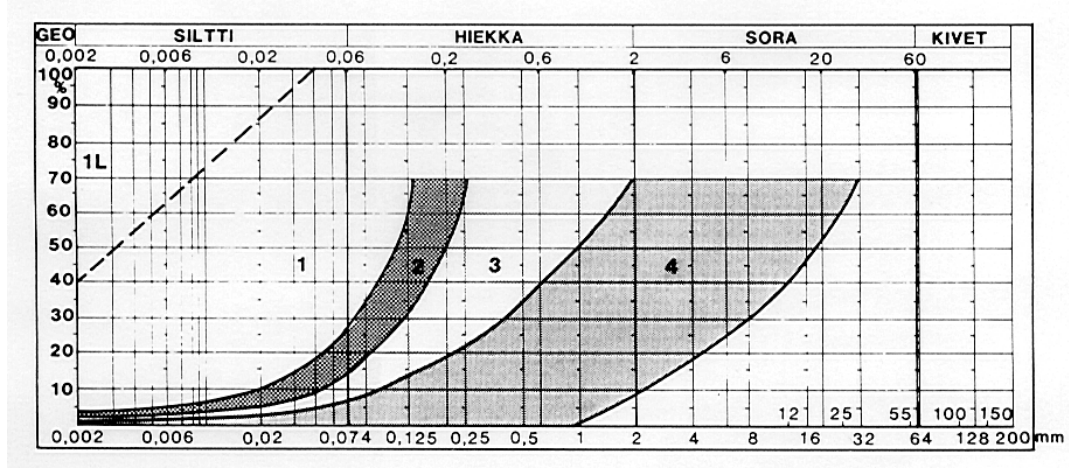
6.5 Routatekninen mitoitus

Roudan ja routimisen vaikutus huomioidaan rakenteiden suunnittelussa. Mitoittava pakkasmäärä ja routimaton perustamissyvyys esitetään kunkin rakenteen suunnitteluperusteissa (luku 7).

Teräsbetoni- ja teräsrakenteiden routimaton perustamissyvyys ja routasuojaus suunnitellaan noudattaen ohjetta:

- Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet Liikenneviraston ohjeita nro/2012

Pohjamaan routivuus määritetään materiaalin rakeisuuteen perustuvaa luokitusta käyttäen.



Kuva 2 Maalajin routivuuden arviointi rakeisuusjakauman perusteella

Maalajin rakeisuusjakautuman perusteella sen routivuus arvioidaan kuvan 2 mukaisesti. Maalaji, jonka rakeisuuskäyrä kuvassa 2 sijoittuu alueelle 1, on routiva. Rakeisuuskäyrän sijoittuessa alueelle 1L maalaji on kuitenkin lievästi routiva. Vastaavasti maalaji, jonka rakeisuuskäyrä kulkee alueilla 2, 3 tai 4 luokitellaan routimattomaksi, jos rakeisuuskäyrän alapää pysyy kyseessä olevan alueen ylemmän rajakäyrän alapuolella.

Tien päällysrakenteiden suunnittelussa noudatetaan Liikenneviraston Tienpidon teknisiä ohjeita.

6.6 Pohjaveden huomioiminen

6.6.1 Suunnittelun lähtökohdat

Pohjaveden pinnan asema ja vaihteluvälit selvitetään pohjatutkimuksilla. Pohjaveden vaikutus rakenteisiin ja rakentamiseen selvitetään osana geoteknistä suunnittelua. Suunnittelu sisältää tarvittaessa työnaikaisen ja pysyvän pohjaveden alentamisen sekä alentamisen vaikutusten selvittämisen.

Pohjarakenteiden suunnittelun peruslähtökohtana on rakenteiden suunnittelu siten, että pohjaveden pinnan tasoa ei pysyvästi muuteta, eikä pohjavettä pilata. Mikäli pohjaveden tasoa muutetaan, se edellyttää aina ympäristövaikutusten luotettavaa selvittämistä ja alentamiseen tarvitaan lupa ympäristöviranomaiselta.

Pohjaveden alentamiseen tarvitaan Vesilain mukainen ympäristölupa, jos pumpattava vesimäärä on >250 m³ vuorokaudessa tai pohjaveden alentamisella vaikutetaan toisen kiinteistön talousveden saantiin, vaikka pois pumpattava vesimäärä on <250 m³ vuorokaudessa.

6.6.2 Pohjatutkimukset

Kun on mahdollista, että tiehankkeen rakenteet vaikuttavat pohjaveteen tai ulottuvat pohjaveden tasoon, tehdään rakenteen suunnittelun ja ympäristövaikutusten selvittämisen kannalta riittävän laaja-alaiset ja pitkäaikaiset pohjavesihavainnot osana muita pohjatutkimuksia.

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan julkaisuja:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08
- Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet (Liikenneviraston ohjeita 11/2012)

Pohjavesihavaintojen perusteella on voitava päätellä suunnittelutehtävän kannalta riittävällä tarkkuudella yli-, keski- ja alivesi. Mikäli havaintojakso ei ole riittävän pitkä, voidaan havaintoja verrata vastaavissa olosuhteissa tehtyihin pitkäaikaishavaintoihin, sekä ottamalla huomioon pohjaveden vuotuiset korkeusvaihtelut ja sadanta havaintojaksojen aikana.

Jotta pohjavedenpinnan taso ja vaihtelu saadaan selvitettyä luotettavasti, on havaintojakson oltava vähintään vuosi ja havaintotiheyden keran kuukaudessa. Luotettavat havainnot hankitaan kohteissa, joissa pohjaveden alentaminen saattaa aiheuttaa rakennusten tai rakenteiden painumista tai puisten perustusrakenteiden lahoamista.

Jotta pohjavedenpintojen vaihtelut ja pohjaveden virtaussuunnat saadaan yksityiskohtaisesti ja luotettavasti selville, on pohjaveden havaintoputkia sijoitettava koko vaikutusalueelle pohjasuhteiden vaihtelusta riippuen 20–100 m välein.

Maan vedenläpäisevyyden määritykset tehdään alustavasti maanäytteiden avulla laboratorioskokeilla tai maastossa tehtävillä suorilla mittauksilla. Maan kerrosrakenteen ja erityisesti vedenläpäisevyyden suuri vaihtelu voivat tehdä alustavat arviot epäluotettaviksi. Maan vedenläpäisevyyden määrittäminen voidaan tehdä yleensä luotettavasti vain pitkäaikaisiin koepumppauksiin perustuvilla tutkimuksilla ja analyyseillä.

6.6.3 Pohjaveden alennussuunnitelma

Geotekniseen suunnitteluun kuuluu arvion laatiminen pohjaveden alentamisen vaikutuksista ja suunnitelman laatiminen tilaajaan päättämien toimenpiteiden mukaisesti. Toimenpiteiden vaihtoehtoina voivat olla pohjaveden pysyvän alenemisen estäminen tai rajaaminen tai pohjaveden alenemisen haittoja vähentäminen.

Jos pohjavedenalennus kestää kuukausia, se voi aiheuttaa puuston kuolemista, sekä maaperän painumista hienorakeisten ja eloperäisten maakerrosten alueella, jolloin on mahdollista alueella olevien maanvaraisien ja joskus myös paaluilla perustettujen rakennusten ja rakenteiden painuminen.

Kertaluonteinen, lyhytaikainen pohjaveden alennus ei yleensä aiheuta puupaalujen lahoamista. Kuitenkin puupaalut voivat olla koheesiopaa-luja tai ne on muuten lyöty niin vähäisellä lyöntienergialla, että ne painuvat ympäröivien maakerrosten painuessa.

Pohjaveden alennussuunnitelma laaditaan tilaajan hankekohtaisesti määrittämällä tarkkuudella tai vähintään suunnitteluvaiheen edellyttämällä tarkkuudella. Koska ratkaisun kustannusvaikutukset ovat huomattavat ja ratkaisu saattaa vaikuttaa merkittävästi koko suunniteltavaan kohteeseen, on pohjaveden alentamisesta ja sen vaikutuksista

tuksista koskevat selvitykset tehtävä suunnitelmavaiheeseen nähden muuta suunnittelua yksityiskohtaisempaan.

6.6.4 Pohjaveden suojaus

Pohjavesialueilla tieltä muodostuvien valumavesien imeytyminen maaperään estetään ja onnettomuustilanteissa tiealueelle joutuvien haitallisten nesteiden imeytymistä pohjamaahan hidastetaan pohjavesisuojausrakenteilla. Pohjaveden suojaustarve määritellään ja suojausrakenteet suunnitellaan ohjeen mukaisesti:

- Pohjaveden suojaus tien kohdalla TIEH 2100028-04

Käytettäviin suojausmateriaaleihin osalta noudatetaan ensisijaisesti infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa (InfraRYL) esitettyjä pohjaveden suojausta koskevia vaatimuksia.

6.7 Tärinä ja melu

Tärinää aiheuttaa maa- ja pohjarakentamisesta sekä kallion louhinasta, joissa maapohjaan tai kallioon aiheutetaan iskuja tai tärinää. Tärinä aiheuttaa lisäksi runkomehua. Tärinälle ja melulle on asetettu rajoituksia, joista melulle annetut rajoitukset vaihtelevat alueittain ja kunnittain.

Suunnittelun ohjearovot ja vaikutusten arviointi on esitetty julkaisussa:

- RIL253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät

Julkaisussa on myös esitetty laskentamenetelmät tärinälle ja sen vaikutusalueelle.

Pohjarakentamisen suunnittelussa huomioidaan, että suunniteltavat rakenteet on voitava toteuttaa niin, että asetettuja raja-arvoja ylittävää melua tai tärinää ei synny eikä rakentamisen vaikutusalueella olevia rakenteita vaurioiteta.

Työsuunnittelussa tulisi välttää tärinää ja melua aiheuttavien työvaiheiden yhtä aikaista toteutusta sekä haittojen minimoimista menetelmien valinnalla.

7 Rakenteiden suunnitteluperusteet

7.1 Maanvarainen tiepenger

Maanvarainen tiepenger suunnitellaan rakennettavaksi luonnontilaisen pohjamaan tai täytön varaan. Penkereen koko ja pengermateriaali suunnitellaan sellaiseksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Tienpenkereiden suunnittelussa noudatetaan ohjetta:

- Tiepenkereiden ja leikkausten suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 09/2010

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset, TIEH 2100057-08

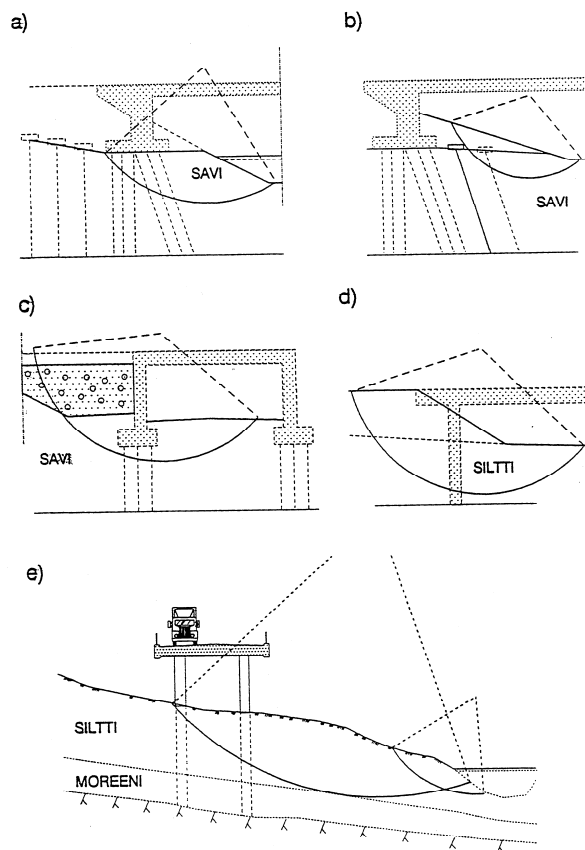
Täytön kelvollisuus penkereen alustaksi selvitetään aina pohjatutkimuksilla. Tutkimuksia suunniteltaessa huomioidaan täytön mahdollinen epähomogeenisuus.

Maanvaraisen penkereen käyttöikä on 100 vuotta.

Tiepenkereen vakavuus tarkistetaan aina. Vakavuus selvitetään laskelmilla, ellei vakavuus suuruusluokkatarkastelujen perusteella ole selvästi riittävä. Laskennallisen mitoitus tehdään luvun 6 mukaan.

Tienpenkereen liittyessä siltaan tai muuhun vastaavan rakenteeseen, jotka voivat vaurioitua pohjamaan plastisten siirtymien vuoksi, tehdään penkereen vakavuustarkastelu myös käyttäen NCCI7 kohdan 5.5.2 esitettyjä korkeampia varmuuslukujen arvoja.

Kuvassa 3 on esitetty esimerkkeinä tilanteita, joissa vakavuusmitoitus tehdään käyttäen edellä mainittuja korkeampia varmuuslukujen arvoja.



Kuva 3 Vakavuustarkastelut sillan tai muun siirtymille alttiin rakenteen alueella

- Paalutustyön aikainen vakavuus: peruslaatan tason ja /tai paalutusalustan määrittämiseksi
- Sillan etuluiskan ja keilojen vakavuus
- Tulopenkereen vakavuus silta-aukkoon ja sivusuunnassa: kevennyksen mitoitus
- Ennen sillan rakentamista tehdyn tulopenkereen vakavuuden määrittäminen
- Rinteen tai rannan alueellisen vakavuuden määrittäminen

Mikäli olosuhteet sitä edellyttävät, suunnitellaan penkereen rakentaminen työvaiheittain. Luiskien kaltevuus ja tukemistarve suunnitellaan tie- ja liikenneteknisten seikkojen lisäksi huomioiden muun muassa pohjamaan laatu, pohjavesisuhteet, huokosvedenpaine, pengermateriaali, eroosio ja ulkopuoliset kuormitukset.

Pohjamaan painuminen tiepenkereen alla tarkistetaan. Painumien suuruus selvitetään laskelmilla, elleivät ne maaperätietojen ja penkereen korkeuden perusteella ole selvästi merkityksettömän pieniä. Laskennallisen mitoitus tehdään luvun 6 mukaan. Lisäksi selvitetään sivusiirtymien suuruus, mikäli niillä on merkitystä tiepenkereen painumalle, tien päällysrakenteen kestävyteen tai tien ympäristön kannalta.

Laskelmia varten pohjamaan ja pengermateriaalien ominaisarvot määritetään ottaen huomioon:

- pohjatutkimusten kattavuus ja laatu
- pohjatutkimuksista todettavissa oleva olosuhteiden epähomogeenisuus
- pinta- ja pohjavesien korkeusvaihtelu sekä niiden vaikutus jännitystilaan

Laskelmia varten määritetään työnaikaiset ja käyttötilan kuormitusten edustavat arvot.

Laskelmissa eritellään painumalajit:

- alkupainuma
- konsolidaatiopainuma tarkasteltavina hetkinä käyttötilassa
- sekundääripainuma
ellei, jotain näistä voida todeta merkitykseltään vähäiseksi.

Tien pituus- ja poikkisuuntaisten painumien ja painumaerojen tulee täyttää kappaleessa 6.3 esitetyt vaatimukset.

Pohjaolosuhteiden lisäksi vakavuus- ja painumamitoituksessa otetaan tarvittaessa huomioon muun muassa:

- nykyiset tai suunnitellut rakenteet tiealueella kuten kunnallistekniikan rakenteet
- tien kuivatuksen asettamat vaatimukset
- työnaikaiset ja käyttötilan aikana tapahtuvat painumat ja niiden korjaus
- vastapenkereiden käyttö
- vaiheittain pengerrys

Eryistä huomiota on kiinnitettävä **tiepenkereen levitykseen** pehmeiköillä. Luotettava laskennallinen mitoitus voidaan usein tehdä vain FEM-menetelmillä, kun on käytävissä riittävän kattavat ja yksityiskohtaiset tiedot pohjasuhteista. Tarvittaessa suunnittelussa käytetään tavanomaista tiukempia raja-arvoja sallituille muodonmuutoksille.

Sivusiirtymämitoitus tehdään luvun 6 mukaisesti.

Painuma- ja sivusiirtymälaskelmien tuloksia arvioitaessa ja verratessa niitä tien tasaisuudelle asetettuja vaatimuksia kiinnitetään erityisesti huomiota tien nykyiseen rakenteeseen sekä pohjasuhteiden ja pohjamaan kokoonpuristumisominaisuuksien vaihteluun.

Routateknisessä mitoituksessa sovelletaan Liikenneviraston ohjetta Tien päällysrakenteen mitoitus.

7.2 Tieleikkaus

Tieleikkauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä tien ja siihen kuuluvien varusteiden ja laitteiden rakentamisen yhteydessä tehtäviä pysyviä maa- ja kallioleikkauksia.

Tieleikkaus suunnitellaan sellaiseksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan. Leikkaus suunnitellaan sellaiseksi, että varmuus sortumista ja hydraulista murtumista tai pohjannousua vastaan on riittävä. Mikäli olosuhteet sitä edellyttävät, suunnitellaan myös leikkauksen teko työvaiheittain.

Luisien kaltevuus ja tukemistarve suunnitellaan huomioiden muun muassa pohjamaan laatu, leikkaussyvyys, pohjavesisuhteet ja -virtaus, eroosio ja ulkopuolisen kuormitukset.

Maa- ja kallioleikkausten suunnittelussa noudatetaan ohjetta:

- Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 9/2010

Tieleikkauksen käyttöikä on 100 vuotta.

Leikkausta suunniteltaessa huomioidaan sen vaikutukset ympäristöön ja erityisesti pohjaveteen.

Maaleikkausten vakavuus sekä työnaikaisissa tilanteissa että valmiina rakenteena on tarkistettava aina. Hienorakeisten ja eloperäisten maakerrosten alueella vakavuus on selvitettävä laskelmilla. Myös karkearakeisten ja moreenimaakerrosten alueella vakavuus on selvitettävä laskelmilla, ellei se suuruusluokkatarkastelujen perusteella osoit-taudu selvästi riittäväksi.

Sivusiirtymämitoitus tehdään luvun 6 mukaisesti.

Routivassa pohjamaassa roudan vaikutus leikkauksen vakavuuteen ja eroosioitumi- seen arvioidaan ja huomioidaan suunniteluussa.

Kallioleikkausten yhteydessä leikkausluiskan vakavuustarkastelu ja tarvittavien kal- lion lujitustoimenpiteiden suunnittelu on tarpeen, jos kallio on hyvin rikkonaista tai kallioleikkauksen alueella esiintyy leikkaukseen päin viettävää rakoilua. Erityistä huomiota kallioleikkauksen seinämän vakavuustarkasteluun tulee kiinnittää silloin, kun leikkaukseen päin viettävissä raoissa esiintyy täytteisyyttä.

Maa- ja kallioleikkauksesta irrotettavan materiaalin kelpoisuus maarakennusmate- riaaliksi arvioidaan ohjeen Tiepenkereiden ja leikkausten suunnittelu, Liikenne- viraston ohjeita 9/2010 mukaan.

7.3 Massanvaihto

Massanvaihto on pohjanvahvistusmenetelmä, jossa huonosti kantava tai kokoon- puristuva pohjamaa korvataan kantavalla täyttömateriaalilla. Massanvaihto ja vaati- mukset rakentamisen työmenetelmälle ja materiaaleille suunnitellaan sellaisiksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Massavaihdon suunnittelussa huomioitava käyttöikä on 100 vuotta.

Massanvaihto suunnitellaan siten, että rakenne ei käyttötilassa painu pengertäytön jälkitiivistymisen tai pohjamaan kokoonpuristumisen vuoksi.

Massavaihdon suunnittelussa noudatetaan ohjetta:

- Massavaihdon suunnittelu Liikenneviraston ohjeita 11/2011

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Massavaihdon vakavuus- ja painumamitoitus tehdään kuten maanvaraiselle penke- reelle.

Massanvaihtoa koskevassa suunnitelmasta tulee ilmetä, mikä on massanvaihtosyvyyden ja millä perusteella se voidaan työn aikana tarkistaa.

Massanvaihtoa suunniteltaessa huomioidaan sen vaikutukset ympäristöön, erityisesti pohjaveteen.

Massanvaihtosuunnitelmaan tulee sisällyttää vaatimus **työsuunnitelmasta**, jossa huomioidaan massanvaihtokaivantojen huono vakavuus. Jos massanvaihto suunnitellaan tehtäväksi pengertämällä, tulee työsuunnitelmassa teknisen toteutuksen lisäksi kiinnittää erityistä huomiota työturvallisuuteen ja sivusiirtymiin.

Routateknisessä mitoituksessa sovelletaan Liikenneviraston ohjetta Tierakenteen suunnittelu, TIEH 2100029-04.

7.4 Kevennysrakenteet

Kevennysrakenteet ovat maarakenteita, joissa tavanomainen luonnonkiviaineksesta tehty täyttö tai rakennekerros korvataan tilavuuspainoltaan näitä kevyemmällä materiaalilla. Tarkoituksena on pienentää rakenteen maapohjalle aiheuttamaa kuormitusta. Kevennysrakenteen ja vaatimukset materiaalit sekä rakentamisen työmenetelmälle suunnitellaan sellaisiksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Kevennysrakenteiden suunnittelussa noudatetaan ohjetta:

- Kevennysrakenteiden suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 5/2011

Kevennysrakenteille suunnittelussa huomioitava käyttöikä on 100 vuotta. Kestoikävaatimus koskee sekä käytettävien kevennysmateriaalien säilyvyyttä että materiaalin kestävyyttä rakenteeseen vaikuttaville pysyville ja muuttuville kuormille.

Kevennysrakenteet, joissa käytetään kiviaineksia vastaavia rakeisia kevennysmateriaaleja, suunnitellaan ja mitoitetaan kuten tavanomaiset tierakenteet.

Suunniteltaessa kevennysmateriaaleja, joiden toiminta perustuu materiaalin oman sisäisen rakenteen kestävyydelle ja sen säilyvyydelle, otetaan mitoituksessa lisäksi huomioon rakennemateriaalista muodostuvat tapauskohtaiset mitoitus ehdot. Maantiiliikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI1 mukaisesti.

Routateknisessä mitoituksessa sovelletaan Liikenneviraston ohjetta Tierakenteen suunnittelu TIEH 2100029-04 ja Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, Liikenneviraston ohjeita nro/2012.

7.5 Syvästabilointi

Syvästabiloinnissa heikosti kantavaa maapohjaa lujitetaan sekoittamalla maahan sideainetta. Sideainemäärä suunnitellaan aina tapauskohtaisesti. Syvästabiloiturakenne ja vaatimukset rakentamisen työmenetelmälle sekä materiaaleille suunnitellaan sellaisiksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Syvästabiloinnin suunnittelussa noudatetaan ohjetta:

- Syvästabiloinnin suunnittelu Liikenneviraston ohjeita 11/2010

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Syvästabiloinnin suunnittelussa huomioitava käyttöikä on 100 vuotta.

Syvästabiloidun pilarin oletetaan toimivan pohjavahvistuksena yhteistoiminnassa maan kanssa, mikäli seuraavat ehdot toteutuvat:

- pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on korkeintaan 200 kPa
- maan leikkauslujuuden ja pilarin leikkauslujuuden suhde on korkeintaan 15.

Muussa tapauksessa käsitellään pilaria laskelmissa rakenteena NCCI7 mukaisesti.

Massasyvästabiloidut rakenteet suunnitellaan samoilla periaatteilla kuin maanvaraiset penkereet ja leikkaukset.

Routateknisessä mitoituksessa sovelletaan Liikenneviraston ohjetta Tierakenteen suunnittelu, TIEH 2100029-04.

7.6 Suihkuinjektointi

Suihkuinjektoinnissa heikosti kantavaa maapohjaa lujitetaan suihkuttamalla korkealla paineella maahan sideainetta. Sideainemäärä suunnitellaan aina tapauskohtaisesti. Suihkuinjektoitu rakenne ja vaatimukset rakentamisen työmenetelmälle sekä materiaaleille suunnitellaan sellaisiksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Suihkuinjektoinnin suunnittelusta ei ole julkaistu suomalaista suunnitteluohjetta. Suihkuinjektoidun rakenteen mitoituksessa noudatetaan hankekohtaisesti sovittavia menettelyjä, joissa voidaan tukeutua standardiin:

- SFS-EN 12716 Pohjarakennustyöt. Suihkuinjektointi

Lisäksi soveltuvin osin voidaan hyödyntää ohjetta:

- Syvästabiloinnin suunnittelu Liikenneviraston ohjeita 11/2010

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08
- sekä yllä mainitussa suunnitteluohjeessa esitettyjä täsmennyksiä.

Suihkuinjektoinnin suunnittelussa huomioitava käyttöikä on 100 vuotta.

Suihkuinjektointimenetelmällä toteutettavia rakenteita käsitellään rakenteiden mitoituksessa kuten syvästabiloituja rakenteita.

Routateknisessä mitoituksessa sovelletaan Liikenneviraston ohjetta Tierakenteen suunnittelu, TIEH 2100029-04.

7.7 Pystyjoitus

Pystyjoituksella savikerrosten konsolidaatiota nopeutetaan käyttämällä nauhamaisia ojaia tai hiekkapystyjoja, joiden avulla pengerkuormituksen aiheuttamaa maan huokosveden ylipaineen purkautumista nopeutetaan. Vesi johdetaan pystyjojen kautta maan pinnalle ja edelleen vettä johtavan ojituserroksen kautta rakenteen ulkopuolelle.

Pystyjoitus ja vaatimukset rakentamisen työmenetelmälle ja materiaaleille suunnitellaan sellaisiksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Pystyjoituksen suunnittelu- ja mitoitusperusteet on esitetty:

- Geotekniikan informaatiojulkaisu, Nauhapystyjoitus Tielaitoksen selvityksiä 42/1994

Lisäksi standardissa EN 15237 Pohjarakennustyöt, Pystyjoitus on esitetty näkökohtia pystyjoihin ja pystyjoituksen suunnitteluun.

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08 sekä yllä mainitussa suunnitteluohjeessa esitettyjä täsmennyksiä.

Pystyjoituksen suunnittelussa huomioitava koko rakenteen käyttöikä on 100 vuotta.

Pystyjoitettu rakenne suunnitellaan sellaiseksi, että konsolidaatiosta muodostuva painuma tapahtuu rakentamisen aikana. Suunnittelussa huomioidaan myös sekondäripainuma, jonka tulee pysyä tilaajan hyväksymissä rajoissa.

Routateknisessä mitoituksessa sovelletaan Liikenneviraston ohjetta Tierakenteen suunnittelu, TIEH 2100029-04.

7.8 Pudotustiivistys

Pudotustiivistys on syvätiivistysmenetelmä, jossa pudotuslaite pudottaa vapaasti yleensä 5–15 tonnin painoisen pudotuspainon 10–15 metrin korkeudesta. Pudotuspainojen massat ja pudotuskorkeudet voivat olla huomattavasti suurempiakin. Maahan iskeydyttyään pudotuspaino muuttaa kineettisen energiansa maaperässä kulkeviksi iskuaalloiksi, jotka aiheuttavat maan tiivistymisen.

Pudotustiivistetty rakenne ja vaatimukset rakentamisen työmenetelmälle ja materiaaleille suunnitellaan sellaisiksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Pudotustiivistys soveltuu ainoastaan karkearakeisten maalajien ja rakeisuudeltaan vastaavien tai niitä karkeampien moreenien sekä täyttöjen tiivistämiseen.

Pudotustiivistyksen käyttö perustuu aina kohdekohtaisesti laadittuun suunnitelmaan, joka laadinnassa tukeudutaan Liikenneviraston ohjeeseen:

- Rautatien maarakennustöiden yleinen työselitys ja laatuvaatimukset (RMYTL) osa 3 Perustamis- ja vahvistamistyöt

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Pudotustiivistyksen suunnittelussa huomioitava koko rakenteen käyttöikä on 100 vuotta.

Pudotustiivistetty rakenne suunnitellaan sellaiseksi, että tiivistetty maakerros tai täyttö ei puristu kokoon käyttötilassa.

Routateknisessä mitoituksessa sovelletaan Liikenneviraston ohjetta Tierakenteen suunnittelu, TIEH 2100029-04.

7.9 Paalulaatat ja paaluhatturakenteet

Paalulaatat ja paaluhatturakenteet ovat pohjarakenteita, joissa tiepenkereestä muodostuvat kuormat siirrettään syvemmällä oleviin maakerroksiin paalujen avulla.

Paalulaatta ja paaluhatturakenteen varaan perustettu rakenne ja vaatimukset rakentamisen työmenetelmälle ja materiaaleille suunnitellaan sellaisiksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Paalulaatta ja paaluhatturakenteiden suunnittelussa noudatetaan ohjetta:

- Liikenneviraston eurokoodin soveltamisohje NCCI7
- Paalutusohje PO-2011
- Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje, TIEH 2100007-07

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan ohjetta:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Paalulaatta ja paaluhatturakenteiden suunnittelussa huomioitava koko rakenteen käyttöikä on 100 vuotta.

Paalulaatta ja paaluhatturakenteen varaan perustettu rakenne suunnitellaan sellaiseksi, että rakenne ei painu käyttötilassa.

Routateknisessä mitoituksessa mitoittavana pakkasmääränä on kerran 50 vuodessa toteutuva pakkasmäärä. Roudan tunkeutuminen määritetään soveltaen ohjetta Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet Liikenneviraston ohjeita 11/2012. Tienpenkereen luiskan alueella voidaan kuitenkin käyttää mitoittavana pakkasmääränä 85 % kerran 50 vuodessa toteutusta pakkasmäärästä, kun tieympäristö on sellainen, että luomen suojaavan vaikutuksen voidaan olettaa pienentävän roudan tunkeutumista.

7.10 Siirtymärakenteet

Perustamisolosuhteiden muutoksista aiheutuvat sallittua jyrkemmät tien pituus- ja poikkisuuntaiset epätasaiset painumat loivennetaan siirtymärakenteilla niin, että rakenne täyttää tierakenteen painumaeroille asetetut vaatimukset.

Siirtymärakenteet mitoitetaan käyttäen sallittuina pituus- ja poikkikaltevuuden muutoksen arvoina enintään puolta taulukossa 4 esitetystä arvoista. Siirtymärakenteiden toimivuuden varmistamiseksi mitoitetaan siirtymärakenne painumattomaksi painumattoman rakenteen vieressä.

Siirtymärakenne ja vaatimukset rakentamisen työmenetelmälle ja materiaaleille suunnitellaan sellaisiksi, että vaatimukset tierakenteen vakavuudelle ja tien pinnan tasaisuudelle saavutetaan.

Siirtymärakenteiden suunnittelussa noudatetaan ohjeita:

- Liikenneviraston eurokoodin soveltamisohje NCCI7
- Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje, TIEH 2100007-07
- Syvästabiloinnin suunnittelu Liikenneviraston ohjeita 11/2010
- Massanvaihdon suunnittelu Liikenneviraston ohjeita 11/2011
- Kevennysrakenteiden suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 5/2011

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan ohjetta:

- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Siirtymärakenteiden suunnittelussa huomioitava koko rakenteen käyttöikä on 100 vuotta.

Routateknisessä mitoituksessa sovelletaan

- Liikenneviraston ohjetta Tierakenteen suunnittelu, TIEH 2100029-04

Tällöin on huomioitava riittävä varovaisuus routanousukäyttäytymiseltään toisistaan poikkeavien rakenteiden rajakohdassa.

7.11 Tukimuuri- ja kaukalorakenteet

Pysyvien tukimuuri- ja kaukalorakenteiden tehtävänä on tukea maata tai vettä.

Tukimuuri- ja kaukalorakenteiden perustaminen suunnitellaan sellaiseksi, että sen kokonaisvakavuus, kantokestävyys ja muodonmuutokset täyttävät Eurokoodi 7 osa 1 sekä sen kansallisessa liitteessä (LVM) että Liikenneviraston soveltamisohjeessa NCCI7 esitetyt vaatimukset koskien tarkasteltavia rajatiloja.

Teräs- tai teräsbetonirakenteisten tukimuurien ja kaukaloiden suunnittelussa noudatetaan ohjetta:

- Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet Liikenneviraston ohjeita 11/2012

Lujitemaaperiaatteella toimivien tukiseinien ja tukimuurien mitoituksessa noudatetaan:

- Geolujitetut maarakenteet Liikenneviraston oppaita 2/2012

Pohjatutkimusten osalta noudatetaan ohjetta:

- Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet Liikenneviraston ohjeita 11/2012

Tukimuuri- ja kaukalorakenteiden käyttöikä on 100 vuotta.

Tukimuuri- ja kaukalorakenteet suunnitellaan sellaisiksi, että rakenne ei painu käyttötilassa.

Routateknisessä mitoituksessa mitoittavana pakkasmääränä on kerran 50 vuodessa toteutuva pakkasmäärä soveltaen ohjetta Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet Liikenneviraston ohjeita nro/2012.

7.12 Meluesteet ja meluvallit

Meluesterakentamisen perustaminen suunnitellaan sellaiseksi, että sen kokonaisvakavuus, kantokestävyys ja muodonmuutokset täyttävät Eurokoodi 7 osa 1 ja sen kansallisessa liitteessä (LVM) sekä Liikenneviraston soveltamisohjeessa NCCI7 esitetyt vaatimukset.

Maanteiden meluesteet suunnitellaan noudattaen ohjetta:

- Tien melusteiden suunnittelu (30.9.2010), Liikenneviraston ohjeita 16/2010

Edellä mainitussa ohjeessa on asetettu vaatimukset pysyville ja kuormituksen aikaisille siirtymille perustamistavan mukaan sekä määritetään kuormat, jotka otetaan huomioon esteen suunnittelussa.

Mitoitus perustamistavan mukaan:

- A. Kun meluseinän pilari perustetaan yhden paalun tai pilarimaisen perustuksen varaan, mitoitus tehdään Ratahallintokeskuksen julkaisun B11 Rautateiden meluesteet mukaan. Sallittu vaakasuuntainen kokonaissiirtymä on maanteiden melusteiden pilarin yläpäässä kuitenkin L/60, kuitenkin enintään 75 mm.
- B. Kun seinän pilari perustetaan maanvaraiselle laatalle tai anturaperustukselle, mitoitus tehdään noudattaen ohjetta:
 - Meluesteperustukset TIEL 214007-94 tai
 - Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet Liikenneviraston ohjeita nro/2012
- C. Kun seinän pilari perustetaan paaluparin tai paalutetun laatan varaan, mitoitus tehdään noudattaen ohjetta:
 - Meluesteperustukset TIEL 214007-94 tai
 - Paalutusohje PO-2011 mukaan ja rajoittamalla siirtymät B11 Rautateiden meluesteet ohjeen mukaiseksi sekä mitoittamalla perustus niin, että paalulle ei tule vetoa.

Melusteiden suunnittelussa huomioitava käyttöikä on 50 vuotta.

-
- Routateknisessä mitoituksessa mitoittavana pakkasmääränä on kerran 20 vuodessa toteutuva pakkasmäärä soveltaen ohjetta Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet Liikenneviraston ohjeita 11/2012.

Meluvallit suunnitellaan kuten maanvaraiset penkereet.

Meluvallien suunnittelussa huomioitava käyttöikä on 50 vuotta.

Meluvallin korkeuden tulee pysyä koko käyttöiän ajan suunnitellussa korkeustasossa. Tämä edellyttää pohjamaan painuman ja rakenteen jälkitiivistymisen huomioimista suunnitelmassa. Meluvallin vaatimat korotukset käyttöaikana on esitettävä suunnitelmassa ja niiden on oltava tilaajan hyväksymiä.

7.13 Kaivannot

Luiskatut kaivannot ja kaivantojen tuenta suunnitellaan sellaiseksi, että sen kokonaisvakavuus, kantokestävyys ja muodonmuutokset täyttävät Eurokoodi 7 osa 1 ja sen kansallisessa liitteessä (LVM) sekä Liikenneviraston soveltamisohjeessa NCCI7 esitetyt vaatimukset.

VN asetuksen 2005/2009 edellyttää erityisiä toimenpiteitä, kun kaivetaan elope räisiä tai hienorakeisia maaleja tai kahta metriä syvempää kaivantoa tai läheisyydessä suoritetaan tärinää aiheuttavaa työtä taikka, kun kaivantoon vaikuttaa raskas ajoneuvoliikenne.

Kaikista kaivannoista laaditaan kaivantosuunnitelma rakennussuunnitelman laatimisen yhteydessä tai pohjarakennussuunnitelmassa on selkeästi esitettävä tarve kaivantosuunnitelman laatimisesta ennen rakennustyönaloitusta.

Kaivantosuunnitelmassa esitettävien luiskakaltevuuksien, pohjaveden alennuksen ja tuennan suunnittelussa noudatetaan ohjeita:

- Rakennuskaivanto-ohje RIL 181-1989
- Putkikaivanto-ohje RIL 194-1992

Tuennan suunnittelussa noudatetaan ohjeita:

- Liikenneviraston eurokoodin soveltamisohje NCCI7
- Rakennuskaivanto-ohje RIL 181-1989
- Putkikaivanto-ohje RIL 194-1992

Materiaalit ja parametrit

1	MAAKERROSTEN JA MAA-AINEKSESTA JALOSTETTUJEN RAKENNUSMATERIAALIEN GEOTEKNISET OMINAISUUDET	2
1.1	Tutkimusmenetelmä	2
1.2	Maan ja murskaustuotteiden geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen	2
1.3	Luokitusominaisuudet	2
1.4	Lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittäminen	3
1.4.1	Savi, savinen siltti ja lieju	3
1.4.2	Siltti ja hiekka	3
1.4.3	Sora, moreenit ja murskaustuotteet	4
1.4.4	Louhe	5
1.4.5	Turpeet	6
1.5	Koetulosten tulkinta	7
1.5.1	Moduuliarvojen määrittäminen	7
1.5.2	Painumakokeet	7
1.5.3	Lujuusominaisuuksien määrittäminen	8
1.5.4	Maakerroksen ominaisarvon määrittäminen	9
1.6	Maan ominaisuudet dynaamisessa ja syklisessä kuormituksessa	9
1.7	Routimisominaisuudet	10
2	RAKENNUSMATERIAALIEN OMINAISUUDET GEOTEKNISESSÄ SUUNNITTELUSSA	11
3	MAAN JA MURSKAUSTUOTTEIDEN GEOTEKNISET OMINAISUUDET	12
3.1	Maan ja murskaustuotteiden geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen	12
3.2	Luokitusominaisuudet	13
3.3	Lujuus ja muodonmuutosominaisuuksien määrittäminen	15
3.3.1	Savi, savinen siltti ja lieju	15
3.3.2	Siltti ja hiekka	17
3.3.3	Sora, moreenit ja murskaustuotteet	19
3.3.4	Louhe	21
3.3.5	Turpeet	22
3.4	Koetulosten tulkinta	23
3.4.1	Moduuliarvojen määrittäminen	23
3.4.2	Painumakokeet	25
3.4.3	Lujuusominaisuuksien määrittäminen	31
3.4.4	Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot	34
3.4.5	Maan ominaisuudet dynaamisessa ja syklisessä kuormituksessa	35
3.5	Rakennusmateriaalien ominaisarvoja	37

1 Maakerrosten ja maa-aineksesta jalostettujen rakennusmateriaalien geotekniset ominaisuudet

1.1 Tutkimusmenetelmä

Maa- ja maa-aineksesta jalostettujen rakennusmateriaalien ominaisuudet määritetään ohjeessa Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-v-08 esitetyillä menetelmillä ja siinä esitettyjen suoritustandardien tai -ohjeiden mukaan.

1.2 Maan ja murskaustuotteiden geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen

Rakennuspaikan geotekniset maakerrokset on aina selvitettävä suunnitteluvaiheen ja suunnittelutehtävän edellyttämällä riittävällä tarkkuudella ja riittävän luotettavilla menetelmillä.

Jos rakennuspaikalla on pehmeitä hienorakeisia tai eloperäisiä maalajeja on kustakin geoteknisestä maakerroksesta aina otettava vähintään häiriintynyt maanäyte maakerroksen vesipitoisuuden ja juoksurajan (hienousluvun) määrittämistä ja silmämääräisen maalajiarvion tekemistä varten.

Muiden luonnontilaisten maakerrosten, täyttöjen ja rakennettavien maarakennekerrosten geotekniset ominaisuudet voidaan määrittää myös epäsuorilla menetelmillä, mutta määrittäminen on aina vastattava suunnittelutehtävän edellyttämää tarkkuutta ja käytettävien menetelmien on oltava riittävän luotettavia.

Tämän liitteen luvussa 3 on annettu ohjeita eri määrittämenetelmien käytöstä.

1.3 Luokitusominaisuudet

Maalajeista, joista ei saada häiriintymättömiä näytteitä (karkearakeiset maalajit ja moreenit), tiiveys on arvioitava epäsuorilla menetelmillä. Tämän liitteen luvussa 3 on esitetty määrittämiseen soveltuvia menetelmiä.

1.4 Lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittymenetelmät

1.4.1 Savi, savinen siltti ja lieju

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Savi ja savinen siltti sekä monissa tapauksissa myös lieju ovat maalajeja, joista on yleensä mahdollista ottaa rakenteeltaan kohtuullisen häiriintymättömiä maanäytteitä. Tällaisten maalajien lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet voidaan määrittää luotettavimmin sekä suljetussa että avoimessa tilassa tehtävin laboratoriokokein.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Kairausmenetelmistä sitkeän tai kovan saven, savisen siltin ja ominaisuuksiltaan näitä vastaavien liejujen lujuusominaisuuksien arvioimiseen soveltuu puristinkairaus ja pressometrikoe. Näillä menetelmillä voidaan saavuttaa riittävä tarkkuus, mutta tulokset eivät yleensä ole yhtä luotettavia kuin pehmeissä koheesiomaakerroksissa laboratoriomenetelmillä tai siipikairauksella määritetyt arvot. Puristinkairauksen käyttö edellyttää yleensä kairausvastuksen ja määritettävän ominaisuuden paikallisen vuorosuhteen tarkistamista. Puristinkairalla tehtävän pysäytyskokeen avulla voidaan arvioida myös maan vedenläpäisevyyttä.

Hienorakeisten maakerrosten suljetun tilan leikkauslujuutta voidaan arvioida likimääräisesti myös maakerroksen esikonsolidaatiojännityksen ja maalajin plastisten ominaisuuksien perusteella kuten tämän liitteen luvussa 3 on esitetty.

Vaikka maakerroksen vesipitoisuus indikoi maan kokoonpuristuvuutta, ei muodonmuutosominaisuuksia voida luotettavasti määrittää vesipitoisuuden perusteella ellei näiden paikallista vuorosuhdetta ja konsolidaatiotilaa tunneta.

1.4.2 Siltti ja hiekka

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Koska rakenteeltaan häiriintymättömien maanäytteiden saaminen erityisesti syvältä karkeasta siltistä ja hiekasta on normaaleilla näytteenottotekniikoilla mahdotonta, joudutaan niille laboratorio-olosuhteissa tehtävissä lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämisessä käyttämään häiriintyneestä näyttemateriaalista sullomalla valmisteltuja näytteitä. Maakerroksen in-situ tiiviystila on tällöin määritettävä radiometrisillä menetelmillä tai arvioitava epäsuorasti esimerkiksi kairaustulosten perusteella. Laboratoriokokeisiin perustuvien määrittäysten luotettavuus riippuu erityisesti maakerroksen tiiviystilan määrittäksen tarkkuudesta.

Luotettavin laboratoriokoemenetelmä karkealle siltille ja hiekalle tehtävissä lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämisessä on konsolidoitu avoin kolmiakσιαalikoe eli CD-koe.

Suoraan siltti- tai hiekkamaakerroksesta tehtäviin muodonmuutosmoduulin määrittäykseen soveltuvia in-situ -koemenetelmiä ovat staattinen levykuormituskoee, pudotus-

painomittaus sekä pressometrikoe ja ruuvilevykoe. Moduulien määrittäminen on tehtävä ko. jännitys- ja muodonmuutostasoa vastaavasti.

Suoritusohjeita levykuormituskokeen tekemiseen on annettu Tielaitoksen julkaisussa ”Rakentamisen laadunvarmistus, Alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset, TIEL 2220003”. Ohjeita pressometrikokeen suoritukseen ja tulosten tulkintaan on annettu standardissa SFS-EN 1997-2 Eurokoodi 7 osa 2: Pohjatutkimus ja koestus ja ”ISO/DIS 22476-4 Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 4: Ménard pressuremeter test”. Ruuvilevykokeiden suoritusta on puolestaan esitelty Helsingin kaupungin geoteknisen osaston tiedonannossa numero 42 ”Korpi, J., In-situ-kuormituskoe painumien määrittämiseksi”.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Siltti- ja hiekkamaakerrosten lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien epäsuoraan arviointiin parhaiten soveltuva kairausmenetelmä on puristinkairaus.

Puristin-, paino- ja heijarikairauksen yhteydessä havaitun kairausvastuksen perusteella siltti- ja hiekkakerrosten leikkauskestävyyskulmaa ja muodonmuutosominaisuuksia voidaan arvioida tämän liitteen kappaleessa 3.3 taulukon L.3 mukaisesti. Taulukossa esitetyt tiiviin tilan leikkauskestävyyskulma-arvot eivät kuitenkaan aina edusta suurinta mahdollista kyseessä olevalla maalajilla tavattavaa leikkauskestävyyskulman huippuarvoa.

Ohjeissa ja käsikirjoissa julkaistut arvot

Siltti- ja hiekkamaakerrosten leikkauskestävyyskulmaa voidaan suuntaa-antavasti arvioida aiemmin käytössä olleessa Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y.:n julkaisussa ”RIL 121-1988, Pohjarakennusohjeet” esitetyllä tavalla taulukon L.1 mukaisesti.

Taulukko L.1 Siltin ja hiekan leikkauskestävyyskulman arviointi julkaisun RIL 121 - 1988 mukaisesti.

Maalaji	Rakeisuusjakautuman muoto	Raemuoto	Leikkauskestävyyskulman ominaisarvo (°)	
			Löyhä tila	Hyvin tiivis tila
Siltti	Lajittunut	Pyöristynyt	27	≤33
		Särmikäs	30	≤36
	Suhteistunut	Pyöristynyt	27	≤35
		Särmikäs	30	≤38
Hiekka	Lajittunut	Pyöristynyt	30	≤38
		Särmikäs	33	≤41
	Suhteistunut	Pyöristynyt	30	≤41
		Särmikäs	33	≤44

1.4.3 Sora, moreenit ja murskaustuotteet

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Sora- ja moreenimaalajien sekä murskaustuotteiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet määritetään luotettavimmin laboratoriossa kolmiakiaalikoikkeella. Kokei-

den käyttöön liittyviä rajoittavia tekijöitä on esitetty tämän liitteen kappaleessa 3.4. Laboratoriokokeisiin perustuvien määritysten luotettavuus riippuu erityisesti maakeroksen tiivystilan määrityksen tarkkuudesta.

In-situ-mittausmenetelmistä soran, moreenien ja murskaustuotteiden palautuvaa muodonmuutoskäyttämistä kuvaava moduuliarvo voidaan määrittää levykuormituskoeita tai pudotuspainomittausta käyttäen.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Puristin-, paino- ja heijarikairauksen yhteydessä havaitun kairausvastuksen perusteella sora- ja moreenimaalajien leikkauskestävyyskulmaa ja muodonmuutosominaisuuksia voidaan arvioida tämän liitteen kappaleen 3.3 taulukon L.4 mukaisesti. Taulukossa esitetyt tiiviin tilan leikkauskestävyyskulma-arvot eivät kuitenkaan aina edusta suurinta mahdollista kyseessä olevalla maalajilla tavattavaa leikkauskestävyyden huippuarvoa.

Ohjeissa ja käsikirjoissa julkaistut arvot

Myös soran leikkauskestävyyskulmaa voidaan suuntaa-antavasti arvioida rakeisuuteen perustuen tämän liitteen kappaleen 3.3 taulukon L.4 mukaisesti. Mikäli moreenimaalaji sisältää enintään 30 % hienoaainesta (alle #0,063 mm), voidaan sille käyttää vastaavan karkearakeisen maalajin leikkauskestävyyskulman arvoa tämän liitteen taulukosta L.1 tai L.2.

Taulukko L.2 Soran leikkauskestävyyskulman arviointi julkaisun RIL 121 -1988 mukaisesti.

Maalaji	Rakeisuusjakauman muoto	Raemuoto	Leikkauskestävyyskulman ominaisarvo (°)	
			Löyhä tila	Hyvin tiivis tila
Sora	Lajittunut	Pyöristynyt	32	≤41
		Särmikäs	35	≤44
	Suhteistunut	Pyöristynyt	32	≤45
		Särmikäs	35	≤48

1.4.4 Louhe

Normaalisti ainoa tapa arvioida louheen lujuus- ja muodonmuutosparametreja on tehdä se epäsuorasti materiaalin rakeisuusjakautumaan ja tiivystilaan perustuen. Likimääräisesti arviointi voidaan tehdä tämän liitteen kappaleen 3.3.4 taulukon L.5 mukaisesti.

Pengerretty tai kaivettu kuormittamaton louheluiska voidaan suunnitella tehtäväksi enintään löyhän tilan leikkauskestävyyskulmaa vastaavan kaltevuuteen eli 1:1,25.

Eri aikoina tehtyjen louhepenkereiden rajapinnalla leikkauskestävyyskulman arvo on aina otaksuttava löyhää tilaa vastaavan leikkauskestävyyskulman suuruiseksi. Jos vanhan louhepenkereen pinta lisäksi on louhetta hienorakeisemmän maa-aineksen

peittämä, on leikkauskestävyyskulma otaksuttava tälle maalajille löyhässä tilassa ominaista leikkauskestävyyskulmaa vastaavaksi. Vastaavasti, jos vanhan louhepenkereen sisällä on runsaasti louhetta hienorakeisempaa maa-ainesta, on louhepenkereen leikkauskestävyyskulma otaksuttava tätä maalajia vastaavaksi riippumatta siitä, miltä louhepenkereen pinta näyttää.

Louhetäytön leikkauskestävyyskulman ominaisarvoksi paljasta sileää kalliopintaa vasten saa tiiviilläkin louheella otaksua enintään 25 astetta.

1.4.5 Turpeet

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Turvemaalajien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia voidaan luonnehtia hyvin vaikeasti hallittaviksi, koska normaaleista kivennäismaalajeista poiketen turpeessa tapahtuu aina myös hidasta maatumista.

Laboratoriotutkimusmenetelmistä maatumisen turpeen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämiseen soveltuvat sekä riittävän suurella näytekoolla tehtävät ödometri- että kolmiakσιαalikokeet.

Turpeen sisältämän kiintoaineksen eloperäisyydestä johtuen sen lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet ovat voimakkaasti kuormitusnopeudesta riippuvaisia.

Heikosti ja keskinkertaisesti maatumisen turpeiden kuituisesta rakenteesta johtuen laboratoriossa tehtävät lujuusmääritykset antavat yleensä liian optimistisen kuvan turpeen lujuusominaisuuksista.

In-situ-mittausmenetelmistä maatumisen turpeen suljetun tilan leikkauslujuuden likimääräiseen määrittämiseen voidaan käyttää siipikairausta. Määritystulosta on tällöin redusoitava vähintään hyvin plastisille saville tehtävää redusointia vastaavalla tavalla.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Turpeen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia ei voida likimääräisestikään arvioida muiden kairaustulosten kuin siipikairauksen perusteella. Turvekerroksen paksuuden määrittämiseen ja hyvin maatumisen turpeen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien karkeaan haarukointiin voidaan käyttää puristinkairausta (CPTU), kun kairan mittaustarkkuus on riittävän hyvä.

Turpeen geoteknisiä ominaisuuksia on esitelty julkaisussa: SGI Information 6, Torv – Geotekniska egenskaper och metoder, 1988.

1.5 Koetulosten tulkinta

1.5.1 Moduuli-arvojen määrittäminen

Maamateriaalien muodonmuutosmoduulit on aina pyrittävä määrittämään koemenetelmillä, jotka mahdollisimman hyvin vastaavat kulloisessakin kuormitustilanteessa toteutuvaa muodonmuutostasoa.

Mitoituksessa käytettäviä muodonmuutosmoduuleja valittaessa on lisäksi huomioitava:

- Jännitystilän vaikutus (hydrostaattisen ja deviatorisen jännitystilakomponentin vaikutus)
- Näytteen häiriintyneisyyden vaikutus
- Koetekniikan vaikutus

Näitä seikkoja on tarkemmin käsitelty tämän liitteen kappaleessa 3.1.

Maakerroksen ominaisarvon valinnassa on otettava huomioon määrittämenetelmän luotettavuus.

1.5.2 Painumakokeet

Painumakokeiden suoritustavat

Hienorakeisten maalajien konsolidaatio-ominaisuuksien määrittämiseen käytettävä painumakoe, ödometrikoe, voidaan tehdä sekä portaattaiseen että portaattomaan kuormituslisäykseen perustuvia koemenetelmiä käyttäen. Sekundääripainuman laskennassa tarvittavat parametrit voidaan määrittää vain riittävän pitkäaikaisia kuormitusportaita sisältävillä ödometrikokeilla.

Suunnittelutehtävissä, joissa vaaditaan suurta tarkkuutta tai painuma-analyysin tuloksella on merkittävä kustannusvaikutus, tulisi tehdä portaattomaan kuormituslisäykseen perustuvien kokeiden lisäksi rinnakkaiskokeita portaattaisella kuormituksella.

Painumalaskelman suoritustavat

Tavanomaisimmat tavat maakerroksen odotettavissa olevan konsolidaatiopainuman laskemiseen ovat Janbun muodonmuutosfunktioon perustuva tangenttimoduulimenetelmä, muun muassa Ruotsissa yleisesti käytettävä kokoonpuristuvuusmoduuli-arvojen suoraan soveltamiseen perustuva laskentamenetelmä sekä kokoonpuristuvuusindeksin (C_c) käyttöön perustuva menetelmä.

Painumalaskentamenetelmiä on kuvattu lyhyesti tämän liitteen kappaleessa 3.4.2. Yksityiskohtaisemmin erilaisia konsolidaatiopainuman laskentatapoja ja niiden mahdollisia virhelähteitä on käsitelty julkaisussa ”Länsivaara, T., Painumalaskentamenetelmien käyttökelpoisuuden arviointi, TIEL 32000630”.

Erityistä huomiota tulee kiinnittää laskentaparametrien tulkintaan laboratoriokoetuloksista ja ominaisarvon valintaan.

Koetulosten nopeusriippuvuus

Hienorakeisten maalajien reologisesta luonteesta johtuen painumakokeiden kuormitusnopeudella on selvä vaikutus kokeen tuloksiin. Kuormitusnopeuden mahdollinen vaikutus on aina otettava huomioon sovellettaessa ödometrikokeen tuloksia painumalaskentaan.

Janbun muodonmuutosfunktion käyttöön perustuvassa painumalaskennassa kuormitusnopeus huomioidaan tämän liitteen luvussa 3 esitetyllä empiirisellä menettelyllä.

Suosittelvat painumakokeen koenopeudet

Jotta näytteeseen kehittyvä huokosvedenpaine ei portaattomaan kuormituslisäykseen perustuvien ödometrikokeiden yhteydessä kohoaisi kohtuuttoman suureksi, tulee koenopeus valita tutkittavan maanäytteen konsolidoitumisnopeutta vastaavaksi. Suositellavat koenopeudet on esitetty tämän liitteen kappaleessa 3.4.2.

Lievästi ylikonsolidoituneet maakerrokset

Jos painumakokeiden perusteella lievästi ylikonsolidoituneiksi arvioitujen maakerrosten esikonsolidaatiojännityksen mitoitusarvo valitaan vallitsevan tehokkaan pystyjännityksen suuruiseksi, saattaa tästä aiheutua painumalaskelmaan merkittävä virhe (tämän liitteen kappale 3.4.2).

Näytteen häiriintyneisyyden vaikutus

Näytteen häiriintyneisyys vaikuttaa aina myös painumakokeen tuloksiin, mikä on huomioitava koetulosten tulkinnessa.

Jos rakenteeltaan häiriintymättömiä maanäytteitä ei ole mahdollista ottaa, suositellaan painumakoenäytteen esikonsolidointia maakerroksen luonnontilaista jännitystasoa vastaavalla kuormituksella.

Maakerroksen ylikonsolidoituneen alueen painumalaskenta on suositeltavinta tehdä painumakokeen palautusvaiheen tai mahdollisen uudelleenkuormitusvaiheen yhteydessä havaittuun käyttäytymiseen perustuvia laskentaparametreja käyttäen. Kuormitus, josta palautus tehdään, ei tällöin kuitenkaan saa olla kohtuuttoman suuri suhteessa maakerroksen esikonsolidaatiojännitykseen.

1.5.3 Lujuusominaisuuksien määrittäminen

Kuormitussuunnalla, kuivatusolosuhteilla sekä muodonmuutostasolla ja konsolidaatiotilalla on merkittävä vaikutus maassa vallitseviin lujuusominaisuuksiin.

Lujuusominaisuuksia määritettäessä tulee nämä tekijät huomioida tämän liitteen kappaleessa 3.1 esitettyjä suuntaviivoja noudattaen.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Kun maakerroksen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia pyritään arvioimaan epäsuorasti maalajiin, indeksiominaisuuksiin tai kairaustuloksiin perustuvia riippuvuuksia käyttäen, on riippuvuuksien johtamiseen liittyneiden olosuhteiden mahdollinen poikkeavuus tarkasteltavana olevasta tilanteesta aina otettava huomioon. Jos riippu-

vuuksien johtamiseen liittyneitä olosuhteita ei kuitenkaan tunneta eikä niitä ole mahdollista selvittää, ovat olosuhteet jäljempänä käsiteltävien muuttujien osalta aina otaksuttava siten, että lujuus- ja muodonmuutosparametrien arvioinnissa päädytään varovaiselle puolelle.

Määrityksessä tulee huomioida tämän liitteen luvun 3 mukaisesti:

- jännitys- ja muodonmuutostason vaikutus
- tiiviystilan vaikutus
- kosteustilan vaikutus
- rakeisuuden vaikutus
- raemuodon vaikutus

1.5.4 Maakerroksen ominaisarvon määrittäminen

Geoteknisen maakerroksen ominaisuuden ominaisarvolla tarkoitetaan yleensä tarkasteltavan raja-tilaan nähden ominaisuuden varovaista keskiarvoa. Kyseessä olevan ominaisuuden geotekninen mitoitusarvo saadaan jakamalla ominaisarvo asianomaisella varmuusluvulla.

Ominaisarvo määritetään varovaisena keskiarvona joko suoraan in-situ- tai laboratoriomittauksien perusteella teoreettisesti johdetuista arvoista tai mittauksiin liittyvien kokemusperäisten riippuvuuksien perusteella johdetuista arvoista.

Varovaisen keskiarvon määrittämisessä erityisesti huomioon otettavia seikkoja ovat rinnakkaisten mittaushavaintojen lukumäärä, vertailukelpoinen kokemus vastaavista pohjasuhteista sekä kyseessä olevaan ominaisuuden määrittämenetelmään liittyvät virheet, tilastollinen hajonta ja mahdollinen systemaattinen virhe. Muita maakerroksen geoteknisen ominaisuuden ominaisarvon valinnassa huomioon otettavia seikkoja ovat muun muassa geoteknisen rakenteen toimintaa tarkasteltavassa tilanteessa määrävän maavyöhykkeen laajuus ja sen suhde in-situ- tai laboratoriomittauksien edustaman maavyöhykkeen laajuuteen, ajan mukana maakerrosten ominaisuuksissa mahdollisesti tapahtuvat muutokset sekä tehtävien rakennustöiden mahdolliset vaikutukset maakerrosten in-situ-ominaisuuksiin.

Jos laboratorio- tai in-situ-mittauksiin perustuvia havaintotuloksia on riittävästi, on ominaisarvon määrittäminen suositeltavaa tehdä havaintotulosten tilastollista käsittelyä käyttäen. Ominaisuuden ominaisarvona voidaan tällöin käyttää arvoa, jonka havaintotulosten keskiarvo alittaa enintään 5 % todennäköisyydellä. Esimerkki geoteknisen maaparametrin ominaisarvon määrittämisestä on esitetty muun muassa Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n julkaisussa ”RIL 207-2009, Geotekninen suunnittelu.

1.6 Maan ominaisuudet dynaamisessa ja syklisessä kuormituksessa

Mitoitustilanteen olosuhteiden huomioon ottaminen

Maan ominaisuudet myös dynaamisia ja syklisiä kuormitustilanteita varten on määritettävä mahdollisimman tarkoin mitoitustilanteen todellisia olosuhteita vastaavalla jännitys-, muodonmuutos- ja taajuustasolla laboratorio-olosuhteissa tai in-situ. Näil-

lä menetelmillä saadaan myös luotettavimmat tulokset. Helppoissa ja pienimuotoisissa kohteissa ominaisuudet voidaan kuitenkin arvioida myös epäsuorasti tavanomaisten staattisten kokeiden tulosten perusteella.

Dynaamisten ja syklisten ominaisuuksien määrittäminen

Maamateriaalin dynaamisia muodonmuutos- ja vaimennusominaisuudet voidaan laboratorioissa määrittää

- resonant column – menetelmällä
- syklistä kolmiakselikokeella

Maamateriaalin muodonmuutosominaisuuksia voidaan lisäksi määrittää

- seismisillä menetelmillä kentällä
- bender element – kokeella laboratorioissa

Koemenetelmien soveltuvuutta eri kuormitustilanteita vastaavien ominaisuuksien määrittämiseen on käsitelty tämän liitteen kappaleessa 3.1.

Dynaamisten ja syklisten ominaisuuksien epäsuora arviointi

Maamateriaalien dynaamisia ominaisuuksia voidaan arvioida epäsuorasti joko laboratorioissa tehtyjen staattisten kolmiakselikokeiden, maalajin indeksiominaisuuksien, erilaisten kairausmenetelmien yhteydessä havaitun kairausvastuksen tai kairausvastuksen perusteella arvioidun leikkauskestävyysskulman perusteella. Lisäksi dynaamisten ominaisuuksien arviointiin voidaan käyttää myös esimerkiksi pressometrikokeen tuloksiin liitettyjä kokemusperäisiä riippuvuuksia.

Syklisesti toistuvan vaakakuormituksen alaisena olevien porttaali- ja meluseinäarakenteiden perustusten mitoituksessa usein käytettävien alustalukujen arviointia on käsitelty muun muassa Tielaitoksen julkaisussa ”Teräspalkit, TIEL 2173448”.

1.7 Routimisominaisuudet

Maalajien routivuuden arviointiin soveltuvia laboratoriotutkimusmenetelmiä ovat rakeisuusjakautuman määrittäminen, kapillaarisen nousukorkeuden mittaaminen sekä varsinainen routanousukoe.

Routanousukokeeseen perustuvia tuloksia tai routanousuhavaintoihin perustuvia maan routanousuominaisuuksia voidaan käyttää vain maarakenteiden routatekniseen mitoitukseen.

Tämän liitteen kappaleessa 3.1 on esitetty routivuuden arviointimenetelmät.

2 Rakennusmateriaalien ominaisuudet geoteknisessä suunnittelussa

Geoteknisessä suunnittelussa käytetään lähtökohtaisesti InfraRYL määritettyjä rakennusmateriaaleja. Tuotteiden tulee olla CE merkittyjä.

Mikäli rakenteessa tarvittava materiaalia ei ole määritetty InfraRYL:ssä, rakennusmateriaalien ominaisuudet määritellään suunnitelmassa ja ne selvitetään tilaajan hyväksymillä kokeilla. Selvitykseen tulee tällöin sisältyä:

1. ennakkokokeet
2. työnaikaiset laaduntarkkailukokeet

Koemenetelmä tulee valita sellaiseksi, että materiaali testataan olosuhteissa, joka vastaa lopullista rakennetta eri rasiutilanteissa. Kokeiden lukumäärän tulee olla riittävä materiaaliominaisuuksien vaihtelun selvittämiseksi.

Ennakkokokeet voidaan korvata materiaalivalmistajan toimittamilla tiedoilla, mikäli ne edustavat materiaalin ominaisuuksia suunnitelluissa olosuhteissa. Materiaalien pitkäaikaiskestävyyden selvityksessä tukeudutaan yleensä materiaalivalmistajalta saatavaan aineistoon.

3 Maan ja murskaustuotteiden geotekniset ominaisuudet

3.1 Maan ja murskaustuotteiden geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Luotettavimmat tavat luonnontilaisten maakerrosten geoteknisten ominaisuuksien määrittämiseen ovat suoraan maaperässä tehtävät in-situ-mittaukset sekä häiriintymättömille näytteille tehtävät laboratoriokokeet. Myös rakennettavien maarakennekerrosten geotekniset ominaisuudet voidaan luotettavimmin määrittää joko maarakenteen rakentamisessa käytettäville materiaaleille tehtävin laboratoriokokein tai suoraan maarakenteesta tehtävin mittauksin.

Koska useimpien maakerrosten geotekniset ominaisuudet, erityisesti niiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet, riippuvat muun muassa vallitsevasta jännitys- ja muodonmuutostasosta sekä kuormituksen nopeudesta ja suunnasta, on käytettävien kenttä- ja laboratoriokokeiden mahdollisimman tarkasti jäljitettävä mitoitustarkastelun kohteena olevaa kuormitustilannetta. Julkaistuun kirjallisuuteen ja olemassa olevaan aiempaan kokemukseen perustuvat korrelaatiot saatujen mittaustulosten ja materiaalin muiden mitattavissa olevien ominaisuuksien välillä on mahdollisuuksien mukaan myös aina tarkistettava.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Luonnontilaisten ja rakennettujen maakerrosten geotekniset ominaisuudet voidaan usein suuruusluokalleen arvioida joko kairaustuloksiin, maalajin rakeisuuteen tai maalajin indeksiominaisuuksiin perustuen. Tällaisen epäsuoran arvion on mahdollisuuksien mukaan aina tukeuduttava vastaavanlaisissa olosuhteissa tehtyihin aikaisempiin laboratorio- tai in-situ-mittauksiin.

Epäsuoria arviointimenetelmiä sovellettaessa tarkasteltavaa geoteknistä ominaisuutta kuvaavan suureen arvo on aina pyrittävä arvioimaan useampaa kuin yhtä menetelmää käyttäen. Eri menetelmiin perustuvien arvioiden keskinäiseen yhteensopivuuteen on tällöin kiinnitettävä erityistä huomiota.

Ohjeissa ja käsikirjoissa julkaistut arvot

Helppoissa suunnittelukohteissa ja alustavien tarkastelujen tarpeisiin maakerrosten ja pengermateriaalien geotekniset ominaisuudet voidaan arvioida myös käsikirjoissa ja ohjeissa julkaistujen eri maalajien tyypillisten ominaisuustietojen perusteella. Näitä sovellettaessa suunnittelun pohjana käytettävät mitoitusarvot on aina valittava tarkasteltavan mitoitustilanteen kannalta varovaiselle puolelle.

3.2 Luokitusominaisuudet

Luonnontilaisissa maakerroksissa esiintyvien maalajien ja pengermateriaalien luokitusominaisuuksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä seuraavan luettelon mukaisia tai suoraan niiden perusteella johdettavissa olevia ominaisuuksia:

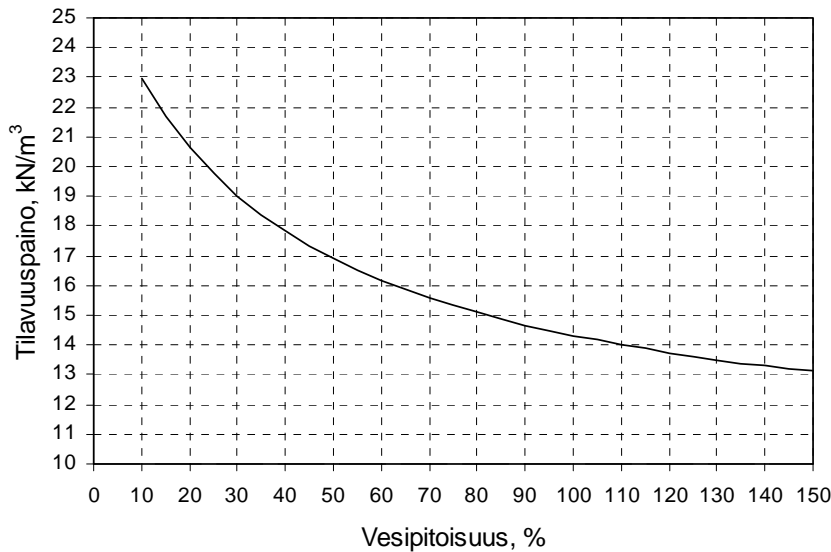
- rakeisuusjakautuma
- kiintotiheys
- irtotiheys
- tilavuuspaino
- vesipitoisuus
- humuspitoisuus
- tiiviysaste
- suhteellinen tiiviys
- konsistenssirajat

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Karkearakeisten maalajien - hiekan ja soran - sekä moreenien ja murskaustuotteiden irtotiheyden, tilavuuspainon ja tiiviystilan mittauksia lukuun ottamatta luokitusominaisuuksien määrittäykset tapahtuvat pääsääntöisesti laboratorio-olosuhteissa tehtävin mittauksin.

Karkearakeisten maalajien ja moreenikerrosten pintaosan luonnontilaisen tiiviyyden samoin kuin näistä maalajeista tai murskatuista materiaaleista rakennettujen maarakenteiden tiiviystilan suorassa mittaamisessa käytetään tavallisimmin vesivolymetria tai radiometristä tiiviyyden mittausta. Ohjeita näiden mittausten tekemiseen on annettu Tielaitoksen julkaisussa ”Rakentamisen laadunvarmistus, Alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset, TIEL 2220003”. Suoriin tiiviysmittauksiin perustuvat tiiviysvaatimukset pengerrakenteiden materiaaleille on esitetty Tielaitoksen julkaisussa ”Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset, Penger- ja kerrosrakenteet”.

Vesipitoisuuden perusteella veden kyllästävässä tilassa olevan hienorakeisen maakerroksen tilavuuspainoa voidaan arvioida kuvan L.1 mukaisesti.



Kuva L.1 Veden kyllästämien hienorakeisten maalajien tilavuuspainon arviointi vesipitoisuuden perusteella, kun maa-aineksen kiintotiheys on $\rho_s=2700 \text{ kg/m}^3$.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Karkearakeisista maalajeista ja moreenista koostuvien luonnontilaisten ja rakennettujen maakerrosten tiiviyttä voidaan arvioida maakerroksen kairausvastuksen perusteella. Paino- ja heijarikairauksen osalta tiiviystilan arviointiin tällöin sovellettavissa olevia kairausvastuksen tyypillisiä arvoja on esitetty taulukoissa L.3 ja L.4.

Eryteisesti paljon kiviä tai muita karkeita lajitteita sisältävistä kivennäismaalajeista ja murskatuista kiviaineksista rakennettujen maakerroksien tiiviystilaa voidaan arvioida epäsuorasti levykuormituskokeen ja pudotuspainomittauksen tulosten perusteella. Yksityiskohtaisempia ohjeita näiden mittausten tekemisestä on annettu Tielaitoksen julkaisussa "Rakentamisen laadunvarmistus, Alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset, TIEL 2220003". Levykuormituskokeeseen ja pudotuspainomittaukseen perustuvat tiiviysvaatimukset pengerrakenteiden materiaaleille on esitetty InfraRYL:ssä.

Hienorakeisissa maakerroksissa esiintyvien vesipitoisuusvaihteluiden selvittämiseen voidaan käyttää radiometristä luotausta ja sähköistä maavastusluotausta. Sekä luotauksen suorittajan että luotaustulosten tulkitsijan on tällöin oltava erityisen hyvin perehtynyt käytettävän menetelmän toimintaperiaatteeseen. Luotauksiin perustuvat vesipitoisuusarvot on myös aina varmistettava maakerroksesta otetuille näytteille laboratorioissa tehtävien vesipitoisuusmääritysten avulla.

3.3 Lujuus ja muodonmuutosominaisuuksien määrittymenetelmät

3.3.1 Savi, savinen siltti ja lieju

Laboratorio- ja in-situ –mittaukset

Savi ja savinen siltti sekä monissa tapauksissa myös lieju ovat maalajeja, joista on yleensä mahdollista ottaa rakenteeltaan kohtuullisen häiriintymättömiä maanäytteitä. Näiden maalajien staattista kuormitustilannetta vastaavat lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet voidaan määrittää sekä suljetussa että avoimessa tilassa tehtävin laboratoriotestein.

Suljetun tilan leikkauslujuus määritetään tavallisesti kartiokokeella.

Kartiokokeen lisäksi suljetun tilan leikkauslujuuden määrittämiseen voidaan käyttää konsolidoimatonta nopeasti leikattavaa kolmiakσιαalikoetta eli UU-koetta, jonka yhteydessä maanäytteestä voidaan määrittää myös suljetun tilan kimmomoduulin arvo

Tavallisin koemenetelmä saven, savisen siltin ja liejun avoimen tilan lujuusparametrien määrittämiseen on konsolidoitu nopeasti leikattava kolmiakσιαalikoete – CU-koete, jossa leikkausvaiheen aikana mitataan näytteen sisällä vallitsevaa huokosvedenpainetta. Useimmiten CU-kokeiden yhteydessä näytteen konsolidointi tehdään isotrooppisessa jännitystilassa, mutta toisinaan myös anisotrooppisen konsolidoinnin käyttö voi olla perusteltua.

Toinen tapa avoimen tilan lujuusparametrien määrittämiseen on tehdä konsolidoitujen näytteiden leikkaaminenkin avoimessa tilassa CD-koemenetelmää käyttäen. Hienorakeisten maalajien tapauksessa koemenetelmän käyttöä rajoittaa kuitenkin kokeen pitkä kesto aika, joka saattaa enimmillään olla jopa useita viikkoja yhtä näytettä kohti. Lujuusparametrien lisäksi CD-kokeiden tuloksena saadaan määritettyä myös maalajin avoimen tilan kimmomoduulin ja Poissonin luvun arvot näytteen kuormitustilannetta vastaavalla jännitystasolla.

Kokoonpuristuvuusominaisuudet maalajeille, joista on mahdollista ottaa rakenteeltaan häiriintymättömiä näytteitä, määritetään tavallisimmin ödometrikokeen avulla. Erityisesti humuspitoisilla maalajeilla tavanomaisten ödometrikokeiden lisäksi kestoltaan pitempiaikaisilla kuormitusportailla tehtävien hiipumakokeiden tekeminen on usein tarpeen näiden maalajien sekundääripainumaominaisuuksien selvittämiseksi.

Saville, savisille silteille ja ominaisuuksiltaan näitä vastaaville liejuille soveltuvista in-situ-mittausmenetelmistä tärkein on suljetun tilan leikkauslujuuden määrittämiseen käytettävä siipikairaus. Siipikairauksen suoritusohjeet on esitetty Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry:n julkaisussa ”Kairausopas II, Siipikairaus” sekä laadittavana olevassa standardissa prEN ISO 22476-9 Field vane test.

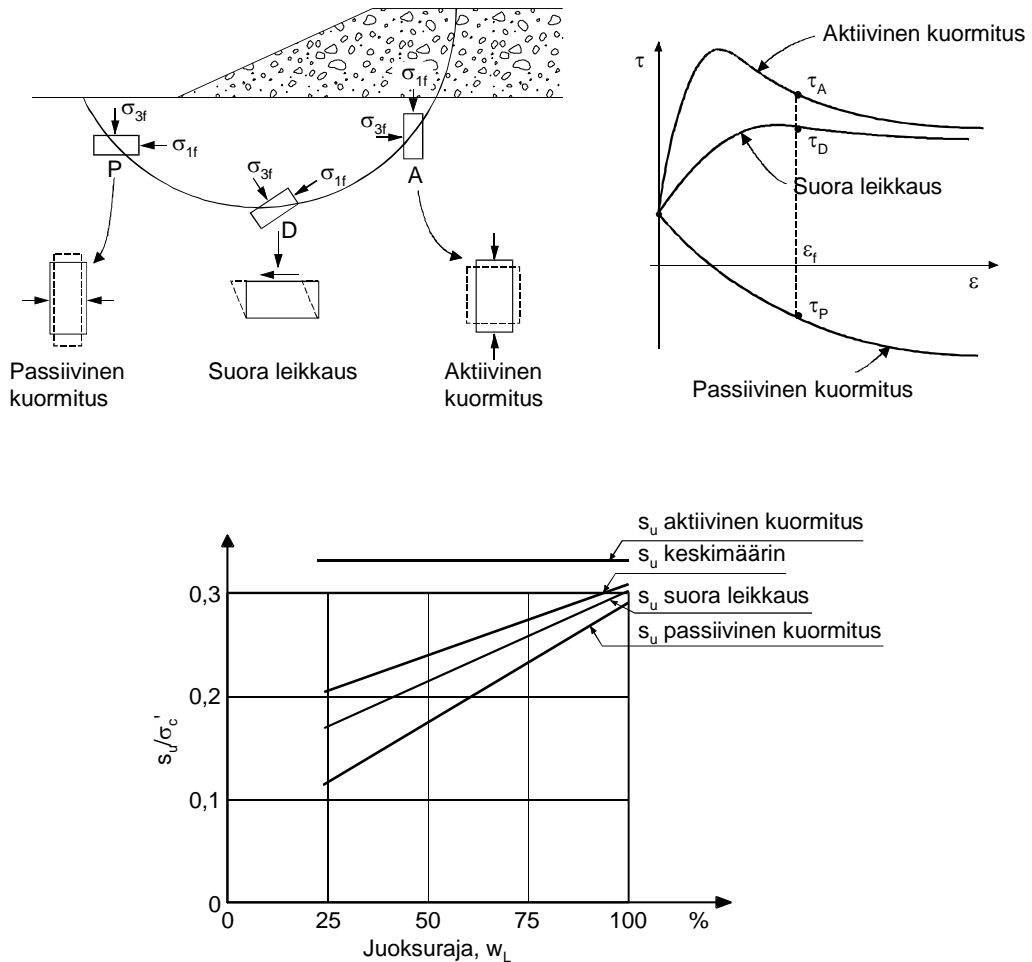
Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Kairausmenetelmistä saven, savisen siltin ja ominaisuuksiltaan näitä vastaavien liejujen lujuusominaisuuksien määrittämiseen soveltuu erityisesti puristinkairaus. Pehmeiden maalajien suuren mittaustarkkuusvaatimuksen johdosta tavanomainen kalusto soveltuu vain sitkeiden ja kovien hienorakeisten maiden ominaisuuksien määrittämiseen. Sen tulosten perusteella saadaan varsin luotettava arvio sekä maakerroksen suljetun tilan leikkauslujuudesta että leikkauslujuuden vaihteluista maakerroksen sisällä

Hienorakeisten maalajien kokoonpuristuvuusominaisuuksia voidaan konsolidoitumisnopeuden osalta arvioida likimääräisesti suoraan maakerroksesta joko puristinkairauksen yhteydessä tai erikseen tehtävän huokospainekairauksen tulosten perusteella. Tässä yhteydessä on kuitenkin erityistä huomiota kiinnitettävä siihen, että huokospaineen mittaustarkkuus ja mittauksen erottelukyky on riittävä konsolidoitumisnopeutta kuvaavien laskentaparametrien luotettavaan määrittämiseen.

Hienorakeisten maakerrosten suljetun tilan leikkauslujuutta voidaan arvioida likimääräisesti myös maakerroksen esikonsolidaatiojännityksen ja maalajin plastisten ominaisuuksien perusteella. Tähän tarkoitukseen soveltuvia suuntaa-antavia riippuvuuksia eri suuntiin vaikuttavissa kuormitustilanteissa on esitetty kuvassa L.2. Tehokkaan pystyjännitykseen perustuvaa arviointimenettelyä sovellettaessa kuvan L.2 mukaisten riippuvuuksien paikkansapitävyys tarkasteltavana olevan kohteen olosuhteissa on kuitenkin erikseen varmistettava, koska leikkauslujuuden ja tehokkaan pystyjännityksen suhteen tiedetään riippuvan muun muassa maakerroksen sedimentoitumisvaiheen aikana vallinneesta veden suolapitoisuudesta.

Hienorakeisilla maalajeilla odotettavissa olevan konsolidaatiopainuman suuruutta on usein pyritty likimääräisesti arvioimaan maakerroksen vesipitoisuuden perusteella. Näitä arviointimenettelyjä sovellettaessa on kuitenkin syytä muistaa, että vesipitoisuuden ja painumaparametrien väliseen yhteyteen vaikuttavat aina monet paikalliset tekijät kuten maakerroksen rakeisuusjakautuma ja humuspitoisuus sekä sen syntyvaiheen aikaiset sedimentoitumisolosuhteet.



Kuva L.2 Suljetun tilan leikkauslujuuden arviointi maakerroksen luonnontilaisen tehokkaan pystyjännityksen ja maalajin juoksurajan perusteella (SGI Information 3, Utvärdering av skjvnhållfasthet i kohesionsjord).

3.3.2 Siltti ja hiekka

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Laboratorio-olosuhteissa tehtävissä lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämisessä joudutaan käyttämään häiriintyneestä näytemateriaalista sullomalla valmistettuja näytteitä. Laboratoriomääritysten edustavuuden ja luotettavuuden kannalta keskeisiksi tekijöiksi muodostuvat tällöin näytteen tiiviystilan valinta sekä näytteen kyllästäminen vedellä ennen varsinaisten lujuus- ja muodonmuutosmääritysten tekemistä.

Keskeisin laboratoriokoemenetelmä karkealle siltille ja hiekalle tehtävissä lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämisessä on konsolidoitu avoin kolmiakselialikoe eli CD-koee. Kolmiakselialikoesarjan tuloksena saadaan tällöin määritettyä sekä maalajin tehokkaat lujuusparametrit että avoimen tilan kimmomoduulin arvo.

Jos määrittämisen päätavoitteena on kimmomoduulin arvon määrittäminen, CD-koeesarjassa testattavien näytteen tiiviystila on tarkoituksenmukaista valita mahdollisimman hyvin maakerroksen luonnontilaista tiiviyyttä vastaavaksi. Muussa tapauksessa näytteet kannattaa sulloa niin tiiviiksi kuin se käytössä olevan näytteen val-

mistelutekniikan ja maarakeiden lujuuden puolesta on mahdollista. Tällöin koesarjan yhteydessä mitattavan huippulujuuden ja jäännöslujuuden perusteella voidaan arvioida maalajin leikkauskestävyyskulman vaihtelua saavutetusta maksimitiiviydestä aina kriittisen tilan tiiviyteen asti.

Karkeilla ja keskikarkeilla hiekoilla kolmiakσιαalikoenäytteiden kyllästäminen ennen niiden leikkaamista on yleensä varsin ongelmatonta, mutta hienoilla hiekoilla ja runsaasti silttilajitetta sisältävillä maalajeilla laboratorio-olosuhteissa sullomalla valmistettujen näytteiden kyllästämiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tarvittaessa näytteiden kyllästyminen on tehostettava takapainetta käyttämällä.

Suoraan siltti- tai hiekkamaakerroksesta tehtäviin muodonmuutosmoduulin määrittäisiin soveltuvia koemenetelmiä ovat staattinen levykuormituskoee, pudotuspainomittaus sekä pressiometrikoe ja ruuvilevykoe, joista kahden ensinnä mainitun käyttöalue rajoittuu kuitenkin aivan maa- tai maarakennekerroksen pintaosaan. Pudotuspainomittauksen perusteella määritettyjen moduuli-arvojen osalta on myös syytä ottaa huomioon, että suuremmasta kuormitusnopeudesta johtuen varsinkin runsaasti hienorakeisia lajitteita sisältävillä maalajeilla pudotuspainomittauksen avulla saatavat moduuli-arvot ovat muilla edellä mainituilla mittaustavoilla saatavia moduuli-arvoja suurempia.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Myös siltti- ja hiekkamaakerrosten lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien epäsuoraan arviointiin parhaiten soveltuva kairausmenetelmä on puristinkairaus. Puristin-, paino- ja heijarikairauksen yhteydessä havaitun kairausvastuksen perusteella siltti- ja hiekkakerrosten lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia voidaan arvioida taulukon L.3 mukaisesti. Taulukossa esitetty tiiveys on luonteeltaan kuvaava, eikä se tarkasti vastaa eräissä maalajiluokituksissa määriteltyä maalajin tiiveysasteeseen perustuvaa luokitusta. Taulukossa esitettyjen tiiviin tilan leikkauskestävyyskulma-arvojen osalta on kuitenkin syytä todeta, että välttämättä ne eivät edusta suurinta mahdollista kyseessä olevalla maalajilla tavattavaa leikkauskestävyyskulman huippuarvoa. Taulukossa L.3 samoin kuin taulukossa L.4 jäljempänä esitettyjä raja-arvoja ei myöskään ole tarkoitettu sovellettavaksi tilanteissa, joissa maakerroksen tiivystilan mahdollinen aliarviointi johtaa tekniseltä tai taloudelliselta kannalta epävarmaan tai epätaloudelliseen lopputulokseen. Tyypillisenä esimerkkinä tällaisesta tilanteesta voidaan mainita pohjasuhdekuvausten laadinta.

Taulukko L.3 Karkean siltin ja hiekan lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien arviointi puristin-, paino- ja heijarikairausvastuksen perusteella).

Maalaji		Tilavuus-paino (kN/m ³) pohjavedenpinnan		Leikkauskestävyyskulma (°)	Janbun yhtälön muodonmuutosparametrit		Kairausvastus		
		Yläpuolella	Alapuolella		m	β	Puristinkairaus qc (MPa)	Painokairaus Pk/0,2 m	Heijarikairaus L/0,2 m
Karkea siltti	Löyhä	14 ... 16	9 ...	28	30 ... 100	0,3	< 7	< 40	< 8
	Keskitiivis			30	70 ... 150	0,3	7 ... 15	40 ... 100	8 ... 25
	Tiivis	16 ... 18	11	32	100 ... 300	0,3	> 15	> 100	> 25
Hieno hiekka d ₁₀ <0,06	Löyhä	15 ... 17	9 ...	30	50 ... 150	0,5	< 10	20 ... 50	5 ... 15
	Keskitiivis			33	100 ... 200	0,5	10 ... 20	50 ... 100	15 ... 30
	Tiivis	16 ... 18	11	36	150 ... 300	0,5	> 20	> 100	> 30
Hiekka d ₁₀ >0,06	Löyhä	16 ... 18	10 ...	32	150 ... 300	0,5	< 6	10 ... 30	5 ... 12
	Keskitiivis			35	200 ... 400	0,5	6 ... 14	30 ... 60	12 ... 25
	Tiivis	18 ... 20	12	38	300 ... 600	0,5	> 14	> 60	> 25

*Taulukon käytössä huomioitavaa:

Yksittäiset kivetkin voivat aiheuttaa kairausvastuksen, joka ei vastaa maakerroksen tiiveyttä Painokairaus vastus hiekkassa ja karkeassa siltissä voi olla myös erittäin alhainen (< 10 Pk/0,2 m tai <100 kg/0,2m), jolloin taulun arvot eivät ole voimassa.

3.3.3 Sora, moreenit ja murskaustuotteet

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Sora- ja moreenimaalajien sekä murskaustuotteiden ominaisuuksien määrittämistä laboratorio-olosuhteissa rajoittaa materiaalien karkearakeisuus. Mitään periaatteellisia esteitä tavanomaisten kolmiakσιαalikoemenetelmien käytölle näidenkään maalajien tapauksessa ei kuitenkaan ole, kunhan testattavan materiaalin maksimiraekoko ei ylitä noin 1/5 käytössä olevan laboratoriokokeen näytehalkaisijasta. Karkearakeisten maalajien suuresta jäykkyydestä johtuen muodonmuutosominaisuuksien määrittämisessä on kuitenkin kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että käytettävän kuormituslaitteiston mekaaniset joustot eivät aiheuta virhettä mittaustuloksiin.

In-situ-mittausmenetelmistä soran, moreenien ja murskaustuotteiden palautuvaa muodonmuutoskäyttäytymistä kuvaava moduularvo voidaan määrittää levykuormituskoetta tai pudotuspainomittausta käyttäen.

Sekä pudotuspainomittauksen että levykuormituskokeen osalta on syytä todeta, että lähinnä niiden antamat tulokset edustavat tutkittavan materiaalin käyttäytymistä maa- tai maarakennekerroksen pintaosassa noin 1,0–1,5 kertaa käytettävän kuormituslevyn halkaisijaa vastaavalle syvyydelle asti. Jos mittauksen kohteena olevan rakenteen kerrospaksuudet tunnetaan, pudotuspainomittauksen syvyys-ulottujaa voidaan kuitenkin jossain määrin kasvattaa mittaamalla pudotuksesta aiheutuneen taipumasuppilon muotoa ja ratkaisemalla kerrosten moduularvot tämän jälkeen niin kutsuttuja takaisinlaskentamenettelyjä käyttäen.

Runsaasti kiviä ja muita karkeita lajitteita sisältävillä materiaaleilla sekä levykuormituskokeen että pudotuspainomittauksen tulosten odotettavissa oleva hajonta on suuri, mistä johtuen määritykset on niillä toistettava riittävän monena rinnakkaiskoekena.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Sora- ja moreenimaalajien lujuus- ja muodonmuutosparametreja voidaan arvioida epäsuorasti maakerrosten kairausvastukseen perustuen. Kysymykseen tulevia kairausmenetelmiä ovat tällöin paino- ja heijarikairaus, joiden osalta arvioinnin pohjaksi soveltuvia kairausvastuksen arvoja on esitetty taulukossa L.4. Sekä tiiviin tilan leikkauskestävyyskulma-arvojen että taulukossa esitettyjen kairausvastuksen raja-arvojen osalta taulukkoa L.4 koskevat samat rajoitukset kuin mitä taulukon L.3 yhteydessä edellä on esitetty.

Taulukko L.4 Kairausvastukseen perustuva lujuus- ja muodonmuutosparametrien arviointi soralla ja moreenilla

Maalaji		Tilavuuspaino (kN/m ³) pohjavedenpinnan		Leikkauskestävyyskulma (°)	Janbun yhtälön muodonmuutosparametri		Kairausvastus		
		Yläpuolella	Alapuolella		m	β	Puristinkairaus q_c (MPa)	Painokairaus $P_k/0,2$ m	Heijari-kairaus $L/0,2$ m
Sora	Löyhä	17 ... 19	10 ...	34	300 ... 600	0,5	< 5,5	10 ... 25	5 ... 10
	Keski-tiivis			37	400 ... 800	0,5	5,5 ... 12	25 ... 50	10 ... 20
	Tiivis	18 ... 20	12	40	600 ... 1200	0,5	> 12	> 50	> 20
Moreeni	Hyvin löyhä	16 ... 19	10 ... 12	... 34	(≤ 100) * 300 ... 600	0,5	< 10	< 40	< 20
	Löyhä	17 ... 20	10 ... 12	... 36	(100...250) * 600 ...	0,5	> 10	40 ... 100	20 ... 60
	Keski-tiivis	18 ... 21	11 ... 13	... 38	800 ...	0,5	-	> 100	60 ... 140
	Tiivis	19 ... 23	11 ... 14	... 40	1200 ...	0,5	-	Lyömäl-lä	> 140

* jos moreeni ei ole ollut jäätikön puristamana

3.3.4 Louhe

Louheen karkearakeisuudesta johtuen muilla maalajeilla käyttökelpoiset laboratorio- ja in-situ-mittausmenetelmät eivät sovellu sen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämiseen. Sama pätee myös kairaustulosten käyttöön perustuviin arviointimenetelmiin. Niinpä käytännössä ainoa tapa arvioida louheen lujuus- ja muodonmuutosparametreja on tehdä se epäsuorasti materiaalin rakeisuusjakautumaan ja tiiviystilaan perustuen. Likimääräisesti arviointi voidaan tehdä taulukon L.5 mukaisesti. Kunkin ominaisuuden osalta taulukossa esitetyn vaihtelualueen alaraja-arvon voidaan tällöin otaksua edustavan rakeisuusjakautumaltaan lajittuneen louheen löyhän tilan ominaisarvoa ja yläraja-arvon vastaavasti rakeisuusjakautumaltaan suhteistuneen louheen tiiviin tilan ominaisarvoa.

Taulukko L.5 Louheen lujuus- ja muodonmuutosparametrien likimääräinen arviointi.

Louheen raekoko	Tilavuuspaino (kN/m ³)	Moduuliluku <i>m</i>	Jännityseksponentti <i>β</i>	Leikauskestävyyskulman huippuarvo (°)
Esimurskattu louhe 0...150 / 0...300 mm	17 ... 22	500 ... 2000	0,5	38 ... 50
Louhe 0...300 / 0...600 mm	17 ... 22	300 ... 1500	0,5	38 ... 50

3.3.5 Turpeet

Laboratorio- ja in-situ-mittaukset

Yleisesti ottaen turvemaalajien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia voidaan luonnehtia hyvin vaikeasti hallittaviksi, koska normaaleista kivennäismaalajeista poiketen turpeessa tapahtuu aina myös pitkäaikaisia maatumisreaktioita. Näistä ja turpeen suuresta vesipitoisuudesta johtuen muun muassa painumat turvealueilla ovat sekä suuria että erittäin pitkäaikaisia.

Normaaleille kivennäismaalajeille käyttökelpoisten laboratorio- ja in-situ-mittausmenetelmien soveltamista turpeiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämiseen rajoittaa turvemaalajeille ominainen kuituinen rakenne. Tavanomaisissa laboratoriomäärityksissä tarvittavien maanäytteiden ottaminen onkin yleensä mahdollista vain turpeista, joiden maatumisaste on korkea, ja tällöinkin näytteenottoon voidaan silti joutua käyttämään erikoiskalustoa.

Laboratoriotutkimusmenetelmistä maatuneen turpeen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämiseen soveltuvat sekä riittävän suurella näytekoolla tehtävät ödometri- että kolmiaksiaalikoheet. Turpeen suuresta vesipitoisuudesta johtuen konsolidoitumisen yhteydessä tapahtuva tilavuudenmuutos molempien koetapojen yhteydessä on kuitenkin erittäin suuri. Turpeen sisältämän kiintoaineksen eloperäisyydestä johtuen sen lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet ovat myös voimakkaasti kuormitusnopeudesta riippuvaisia ja sekundääripainuman osuus ödometrikokeen tuloksissa on hyvin merkittävä. Heikosti ja keskinkertaisesti maatuneiden turpeiden kuituisesta rakenteesta johtuen laboratoriossa tehtävät lujuusmääritykset antavat myös pääsääntöisesti liian optimistisen kuvan turpeen lujuusominaisuuksista.

Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

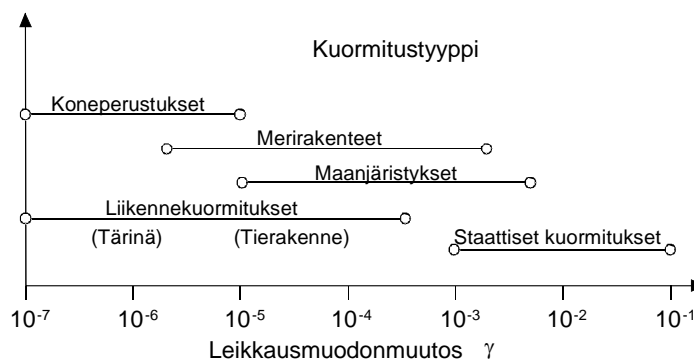
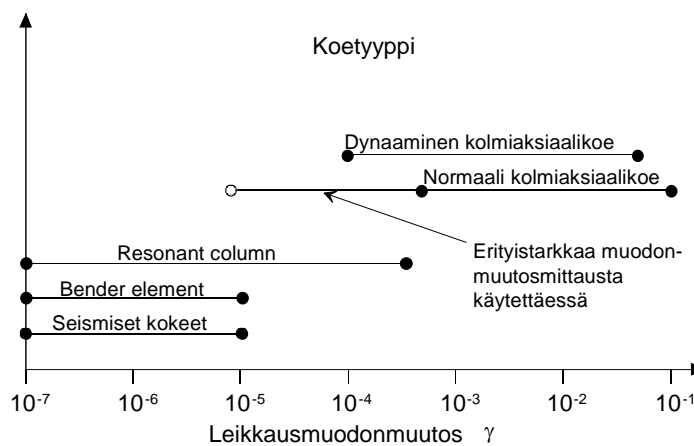
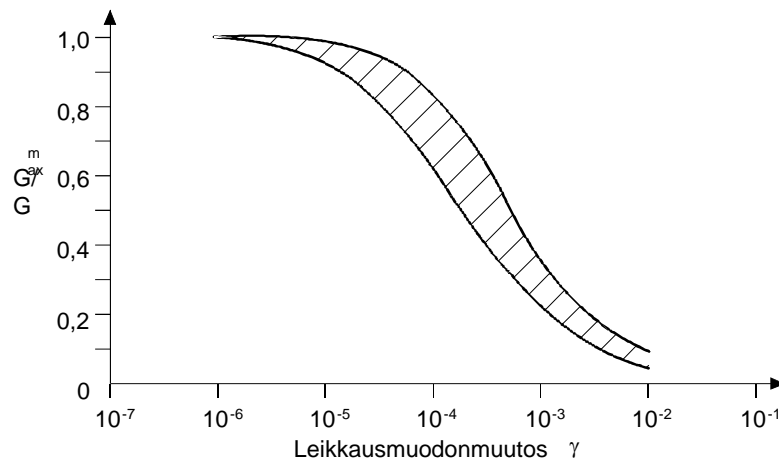
Kairausmenetelmät eivät sovellu turpeen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien arviointiin. Heikosti maatuneilla turvekerroksilla kairausvastus voi kuitenkin vaihdella huomattavasti. Runsaasti puita sisältävissä turvekerroksissa kairan tunkeutuvuus voi myös olla heikko.

3.4 Koetulosten tulkinta

3.4.1 Moduularvojen määrittäminen

Muodonmuutostason vaikutus

Kaikille maamateriaaleille on ominaista, että niiden kuormitus-muodonmuutoskäyttäytyminen voidaan arvioida lineaarisesti kimmoiseksi vain hyvin alhaisella muodonmuutostasolla. Muodonmuutostason kasvaessa materiaalin jäykkyys alenee ja samalla yhä kasvava osa muodonmuutoksesta on palautumatonta eli plastista.



Kuva L.3 Leikkausmoduulin periaatteellinen vaihtelu muodonmuutostason funktiona sekä eri kuormitustilanteisiin ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämenetelmiin liittyviä tyyppisiä muodonmuutostasvoja.

Suuntaa-antavasti moduuliarvojen riippuvuuden muodonmuutostasosta voidaan otaksua olevan kuvan L.3 mukainen. Siinä eri muodonmuutostasoja vastaavat leikkausmoduuliarvot on normalisoitu hyvin alhaista muodonmuutostasoa edustavan niin kutsutun maksimileikkausmoduulin (G_{\max}) avulla. Tämän lisäksi kuvassa L.3 on niin ikään suuntaa antavasti esitetty eri kuormitustilanteisiin ja toisaalta erilaisiin moduuliarvojen määrittymenitelmiin liittyviä tyypillisiä muodonmuutostasoja.

Jännitystilän vaikutus

Maamateriaaliin kohdistuvan hydrostaattisen jännitystilakomponentin kasvu kasvattaa myös tiettyä muodonmuutostasoa vastaavien muodonmuutosmoduulien arvoja periaatteessa kaikilla maamateriaaleilla. Käytännössä tämä tapahtuu kuitenkin vain avoimissa kuormitusolosuhteissa, eli vasta sitä mukaa kun jännitystilassa tapahtunut muutos välittyy maarakeitten väliseksi tehokkaaksi jännitykseksi.

Eryteisesti karkearakeisilla materiaaleilla jännitystason kasvun vaikutusta materiaalin moduuliarvoon voidaan arvioida kaavan 1 mukaisesti.

$$E = k_1 \theta_0 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^{k_2} \quad (1)$$

missä

E on jäykkyysmoduuli

θ on pääjännitysten summa

θ_0 on vertailujännitys 100 kPa

k_1 on materiaaliparameteri ('moduuliluku')

k_2 on materiaaliparameteri ('jännityseksponentti'), jolle karkearakeisilla maalajeilla voidaan tavallisesti otaksua arvo $k_2 = 0,5$.

Hienorakeisilla maalajeilla sovelletaan vastaavasti tangenttimoduulimenetelmää, jonka mukaisesti:

$$M = m \sigma_0 \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^{1-\beta} \quad (2)$$

missä

M on kokoonpuristuvuusmoduuli

σ on tehokas pystysuuntainen jännitys

σ_0 on vertailujännitys 100 kPa

m on moduuliluku

β on jännityseksponentti

Deviatorisen jännitystilakomponentin kasvulla on vastaavasti maamateriaalien muodonmuutosmoduuleja alentava vaikutus. Ainoan poikkeuksen tästä voivat muodostaa tiiviit karkearakeiset maalajit, joilla tietyissä kuormitusolosuhteissa voi deviatorisen jännityksen kasvaessa esiintyä dilataatiosta johtuvaa tilapäistä jäykkyyden kasvua. Hienorakeisilla maalajeilla, joilla deviatorisen jännitystilakomponentin vaikutuksen huomioon ottaminen teiden pohjarakenteiden yhteydessä voi tulla kysymykseen, vaikutus on periaatteessa kaavan 3 mukaista muotoa.

$$E = k_3 \theta_0 \left(\frac{q}{\theta_0} \right)^{k_4} \quad (3)$$

missä

E on jäykkyyssmoduuli

q on deviatorinen jännitys

θ_0 on vertailujännitys 100 kPa

k_3 on materiaaliparameteri ('moduuliluku')

k_4 on materiaaliparameteri ('jännityseksponentti')

Näytteen häiriintyneisyyden vaikutus

Varsinkin runsaasti siltilajitetta sisältävistä maakerroksista rakenteeltaan täysin häiriintymättömien maanäytteiden ottaminen on käytännössä mahdotonta. Näin ollen myöskään näytteille tehtävien moduulimääritysten tulokset eivät tällöin edusta maakerroksen todellista käyttäytymistä. Koetavasta riippumatta näytteen häiriintyneisyyden vaikutus on periaatteessa aina moduuliarvoja alentava.

Käytännössä ainut tapa, jolla näytteen häiriintyneisyydestä aiheutuvaa virhettä voidaan jossain määrin pienentää, on esikonsolidoida näyte ennen moduulimäärittelyn tekemistä mahdollisimman tarkoin maakerroksen luonnontilaista jännitystilaa vastaaviin olosuhteisiin. Mieluiten konsolidoinnin tulisi tällöin tapahtua maakerroksen todellisia olosuhteita vastaavassa anisotrooppisessa jännitystilassa.

Koetekniikan vaikutus

Aina kun laboratoriomittauksilla pyritään määrittämään maamateriaalin moduuliarvoja tavanomaisten staattisten kuormitusten tyypillistä muodonmuutostasoa (kuva L.3) alhaisemmillä muodonmuutoksilla, muodonmuutosmittausten tarkkuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Esimerkiksi kolmiakksiaalikoekiden yhteydessä tämä merkitsee käytännössä sitä, että muodonmuutosmittaus on tehtävä joko suoraan testattavan näytteen pinnalta tai laitteiston muodonmuutokset on muutoin kalibroitava erittäin huolellisesti.

3.4.2 Painumakokeet

Painumakokeiden suoritustavat

Hienorakeisten maalajien konsolidaatio-ominaisuuksien määrittämiseen käytettävä painumakoe, ödometrikoe, voidaan tehdä sekä portaittaiseen että portaattomaan kuormituslisäykseen perustuvia koemenetelmiä käyttäen.

Tavanomaisin tapa portaittaiseen kuormituslisäykseen perustuvan ödometrikokeen tekemiseen on koemenetelmä, jossa kunkin kuormitusportaan kesto on 24 tuntia. Toisinaan kokeen suoritusta on kuitenkin pyritty nopeuttamaan lisäämällä kuormitusta aina kun edellisen kuormituslisäyksen vaikutuksesta maanäytteeseen kehittynyt huokosvedenpaine on alentunut tiettyä kynnsarvoa alhaisemmaksi.

Portaattomaan kuormituslisäykseen perustuvista koetavoista Suomessa selvästi yleisimmin käytetty on vakio muodonmuutosnopeudella tehtävä CRS-koe. Muita mahdollisia portaattomien ödometrikokeiden suoritustapoja ovat muun muassa vakio kuor-

mitusnopeudella tehtävä koe sekä näytteestä mitattavan huokosvedenpaineen perusteella ohjattavaa kuormitusta käyttävä koe.

Suoritusperiaatteeltaan portaattomaan kuormituslisäykseen perustuvien ödometrikokeiden kaltainen konsolidointikoe – K_0 -koe – voidaan tehdä myös jännityspolkuohjattua kolmiakσιαalilaitetta käyttäen. Sen yhteydessä näytteen muodonmuutostila on ödometrikokeen tapaan yksiulotteinen, mutta pystysuuntaisen jännityksen lisäksi myös näytteeseen kohdistuva vaakajännitys tunnetaan. K_0 -koe on erityisen hyödyllinen esimerkiksi kriittisen tilan maamalliin perustuvien mitoitusarkastelujen lähtöparametrien määrittämisessä.

Koska 24 tunnin kuormitusportain tehtävän ödometrikokeen tulosten soveltamisesta käytännön painumalaskelmiin on kymmenien vuosien kokemus ja koska sen yhteydessä pystytään useimmilla maalajeilla määrittämään myös maakerroksen sekundaaripainuman laskennassa tarvittavat parametrit, on portaittaiseen kuormitustapaan perustuvien rinnakkaiskokeiden tekeminen suositeltavaa silloinkin kun pääosa painumakokeista tehdään portaattomaan kuormituslisäykseen perustuvia koemenetelmiä käyttäen.

Painumalaskelman suoritustavat yksiulotteisessa muodonmuutostilassa

Janbun tangenttimoduulimenetelmä

Janbun tangenttimoduulimenetelmässä maakerroksen tehokkaan pystyjännityksen ja suhteellisen kokoonpuristuman välillä otaksutaan olevan kaavan 4 osoittama yhteys. Kaavan mukaisesti maakerroksen painumiskäyttäytymistä tietyllä jännitysalueella kuvaavia materiaaliparametreja on kaksi – moduuliluku m ja jännitysekspONENTTI β . Näiden lisäksi painumakokeen tuloksista on luonnollisesti määritettävä konsolidaatiojännitys σ_c' , jolloin tietystä kuormituslisäyksestä maakerrokseen aiheutuva suhteellinen kokoonpuristuma on tarvittaessa laskettava erikseen sekä konsolidaatiojännityksen alapuolelle jäävälle että sen ylittävälle kuormituslisäyksen osalle. Yksityiskohtaisemmin tangenttimoduulimenetelmään perustuvan painumalaskelman suoritusperiaatteita on esitetty muun muassa Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n julkaisussa ”RIL 157-I, Geomekaniikka I”.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{m\beta} \left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_v} \right)^\beta + C_1 \quad , \text{ kun } \beta \neq 1 \quad (4a)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{m} \ln \left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_v} \right) + C_2 \quad , \text{ kun } \beta = 1 \quad (4b)$$

missä

ε_1 on suhteellinen kokoonpuristuma

σ_1' on tehokas pystysuuntainen jännitys

σ_v on vertailujännitys 100 kPa

m on materiaaliparametri ('moduuliluku')

β on materiaaliparametri ('jännitysekspONENTTI')

Ruotsalainen menetelmä

Kokoonpuristuvuusmoduuliarvojen suoraan soveltamiseen perustuvan laskentamenetelmän periaatetta on havainnollistettu kuvassa L.4. Tässä laskentamenetelmässä maakerroksessa tapahtuvan konsolidaatiopainuman suuruutta arvioidaan otaksamalla kokoonpuristuvuusmoduulille vakioarvot jännitysväleillä $0 \dots \sigma_c'$ ja $\sigma_c' \dots \sigma_L'$ sekä jännitystasosta riippuva moduuliarvo jännitysalueille $\sigma' > \sigma_L'$.

Kokoonpuristuvuusindeksi-menetelmä

Kokoonpuristuvuusindeksiin perustuvassa laskentamenetelmässä maakerroksen huokosluvun ja siinä vaikuttavan tehokkaan pystysuuntaisen jännityksen logaritmin välillä otaksutaan olevan lineaarinen yhteys. Maakerroksen tehokkaan pystyjännityksen ja suhteellisen kokoonpuristuman välinen yhteys saa tällöin kaavan 5 mukaisen muodon. Janbun muodonmuutosfunktioon perustuvassa laskentamenetelmässä kaavan 5 mukainen otaksuma vastaa jännityseksponentin kiinnittämistä vakioarvoksi $\beta = 0$.

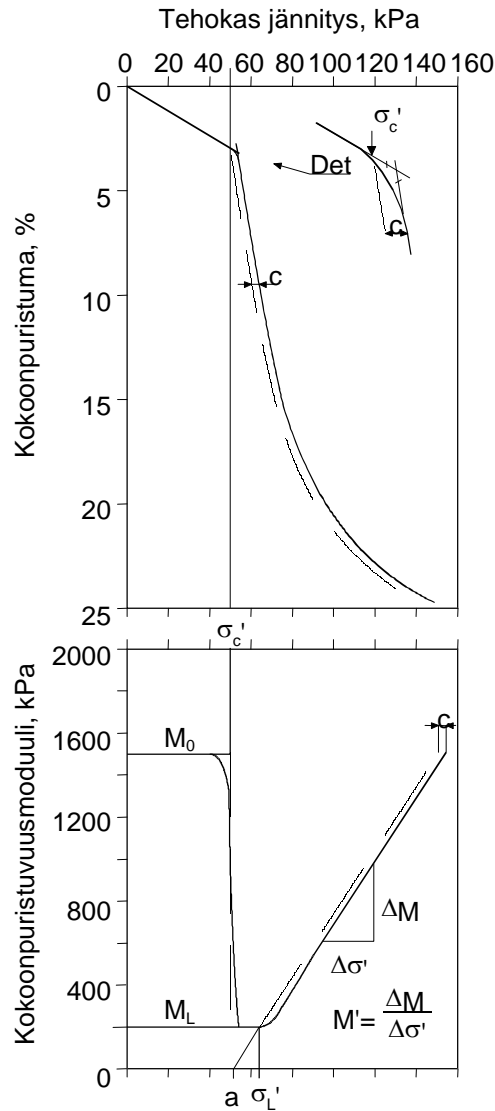
$$\varepsilon_1 = \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} \right) \quad (5)$$

missä

ε_1 on suhteellinen kokoonpuristuma

e_0 on materiaalin huokosluku kun tehokas pystysuuntainen jännitys on σ_0'

σ_1' on tehokas pystysuuntainen jännitys tarkasteltavassa tilanteessa



Kuva L.4 Kokoonpuristuvuusmoduuliarvojen suoraan soveltamiseen perustuvan painumalaskennan periaate ja konsolidaatiojännityksen redusointi tässä yhteydessä (SGI Information 13, Sättningsprognoserna för bankar på lös finkornig jord – Beräkning av sättningarnas storlek och tidsförlopp).

Koetulosten nopeusriippuvuus

Hienorakeisten maalajien reologisesta luonteesta johtuen painumakokeiden kuormitusnopeudella on selvä vaikutus näytteeseen vaikuttavan kuormituksen ja tätä vastaavan kokoonpuristuman vuorosuhteeseen. Näin ollen kuormitusnopeuden mahdollinen vaikutus on aina otettava huomioon sovellettaessa ödometrikokeen tuloksia painumalaskentaan.

Janbun muodonmuutosfunktion käyttöön perustuvassa painumalaskennassa konsolidaatiojännityksen arvo redusoidaan kaavojen 6 ja 7 mukaisella empiirisellä menetelmällä (Maanvarainen tiepenger savikolla - Suunnitteluohje, TIEL 3200276) vastaamaan kuormitusnopeutta 10^{-7} 1/s, joka vastaa suuruusluokaltaan tavanomaisen 24 tunnin kuormitusportain tehtävän ödometrikokeen kuormitusnopeutta kuormitusportaiden loppuvaiheessa.

$$k = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{koe}}{\dot{\varepsilon}_{laskenta}} \right)^B \quad (6)$$

$$\sigma_{c\ laskenta}' = \frac{\sigma_{c\ koe}'}{k} \quad (7)$$

missä

$\dot{\varepsilon}_{koe}$ on ödometrikokeen muodonmuutosnopeus konsolidaatiojännityksen kohdalla

$\dot{\varepsilon}_{laskenta}$ on muodonmuutosnopeus, jota vastaavaksi tulos halutaan redusoida (10^{-7} 1/s)

$\sigma_{c\ koe}'$ on kokeesta määritetty konsolidaatiojännitys

$\sigma_{c\ laskenta}'$ on laskennassa käytettävä konsolidaatiojännitys

B on sovituskäyrän parametri. Suositus: $B = 0,0728$.

k on korjauskerroin. Yleensä $k > 1$.

Konsolidaatiojännityksen redusoinnin ohella oleellisen tärkeää on tehdä vastaava korjaus myös moduuliluvun m arvoon kaavan 8 mukaisesti. JännitysekspONENTIN β arvoa konsolidaatiojännityksen redusoinnin yhteydessä ei muuteta (kaava 9).

$$m_{laskenta} = m_{koe} \cdot k^{-\beta_{koe}} \quad (8)$$

$$\beta_{laskenta} = \beta_{koe} \quad (9)$$

missä

m_{koe} , ja β_{koe} ovat kokeesta määritetty moduuliluku ja jännitysekspONENTTI

$m_{laskenta}$, ja $\beta_{laskenta}$ ovat laskennassa käytettävä moduuliluku ja jännitysekspONENTTI

Koska vertailunopeutena konsolidaatiojännityksen redusoinnissa käytetään nopeutta, joka vastaa suunnilleen 24 tunnin kuormitusportaisiin perustuvan ödometrikokeen kuormitustilannetta, ei redusointia tämän koetavan yhteydessä normaalisti tarvita. Poikkeuksena tästä on tilanne, jossa painumakokeet on tehty maakerroksen luonnon-tilaista lämpötilaa vastaavissa olosuhteissa. Tällöin redusointinopeutena tulee käyttää maakerroksen todellista kuormitustilannetta vastaavaa nopeutta.

Erytystä huomiota painumaparametrien redusointiin on kiinnitettävä silloin kun jännitysekspONENTIN β arvo on voimakkaasti negatiivinen. Yksityiskohtaisemmin painumaparametrien redusointia ja painumalaskelma mahdollisia virhelähteitä on käsitelty julkaisussa ”Länsivaara, T., Painumalaskentamenetelmien käyttökelpoisuuden arviointi, TIEL 32000630”.

Toinen tapa erityisesti portaattomaan kuormituslisäykseen perustuvilla koetavoilla tehtyjen ödometrikokeiden nopeusvaikutuksen huomioon ottamiseen on esitetty edellä kuvassa L.4. Menetelmä soveltuu käytettäväksi varsinkin silloin, kun painumalaskenta tehdään suoraan kokeen yhteydessä mitattuihin kokoonpuristuvuusmoduulin M arvoihin perustuen.

Suosittelvat painumakokeen koenopeudet

Tavanomaisella 15 - 20 mm näytekorkeudella vakio muodonmuutosnopeudella tehtävän CRS-kokeen kuormitusnopeuden tulisi tällöin olla taulukon L.6 mukainen.

Taulukko L.6 Vakio muodonmuutosnopeudella tehtävän CRS-kokeen suositeltavat koenopeudet.

Maalaji	CRS-kokeen nopeus (mm/min)
Lihava savi, lieju	$\leq 0,0015$
Laiha savi, silttinen savi	0,0015 ... 0,0025
Savinen siltti, siltti	0,0025 ... 0,005

Lievästi ylikonsolidoituneet maakerrokset

Painumakokeiden perusteella lievästi ylikonsolidoituneiksi arvioidut maakerrokset halutaan painumalaskennan yhteydessä monesti tulkita normaalisti konsolidoituneiksi. Myös tässä tapauksessa Janbun muodonmuutosfunktioon perustuvan painumalaskennan yhteydessä moduuliluvun arvoa on aina redusoitava. Redusointimenetely on tällöin seuraava:

$$k = \frac{\sigma'_{c\ koe}}{\sigma'_{v0}} \quad (10)$$

$$m_{laskenta} = m_{koe} \cdot k^{-\beta} \quad (11)$$

missä

$\sigma'_{c\ koe}$ on kokeesta määritetty esikonsolidaatiojännitys

σ'_{v0} on maakerroksen luonnontilainen pystyjännitys

Yksityiskohtaisemmin erilaisia konsolidaatiopainuman laskentatapoja ja niiden mahdollisia virhelähteitä on käsitelty julkaisussa "Länsivaara, T., Painumalaskentamenetelmien käyttökelpoisuuden arviointi, TIEL 32000630".

Näytteen häiriintyneisyyden vaikutus

Moduulimäärittysten tapaan näytteen häiriintyneisyys vaikuttaa aina myös painumakokeen tuloksiin. Luonteenomaista häiriintyneestä näytteestä saataville koetuloksille on, että konsolidaatiojännityksen määrittäminen on hankalaa ja määrittämisen tulos on epävarma. Pääsääntöisesti häiriintyneestä näytteestä saatujen koetulosten perusteella tehty painumalaskelma aliarvioi vastaavan häiriintymättömän näytteen perusteella saatavaa painuma-arviota. Viime kädessä laskentatuloksen virhe riippuu varsin voimakkaasti esikonsolidaatiojännityksen määrittämiseen liittyvän epätarkkuuden suuruudesta.

Jos rakenteeltaan häiriintymättömiä maanäytteitä ei ole mahdollista ottaa, suositellaan painumakoenäytteen esikonsolidointia maakerroksen luonnontilaista jännitystasoa vastaavalla kuormituksella. Tämän jälkeen varsinainen painumakoe ja painumalaskennassa käytettävien parametrien määrittäminen esikonsolidoidulle näytteelle tehdään häiriintymättömille maanäytteille tehtävän painumakokeen tapaan.

Hyvälaatuisillakin maanäytteillä muun muassa näytteenoton ja painumakokeen valmistelun yhteydessä tapahtuvat jännitystilamuutokset sekä maan luonnontilaisen rakenteen häiriintyminen vaikuttavat aina jonkin verran maanäytteen käyttäytymiseen painumakokeen yhteydessä. Erityisesti tämä näkyy koetuloksissa siten, että esikonsolidaatiojännitystä pienemmillä kuormituksilla mitattavat painumat ovat maakerroksen todellista käyttäytymistä suurempia. Tästä johtuen maakerroksen ylikonsolidoituneen alueen painumalaskenta on suositeltavinta tehdä painumakokeen palautusvaiheen tai mahdollisen uudelleenkuormitusvaiheen yhteydessä havaittuun käyttäytymiseen perustuvia laskentaparametreja käyttäen. Kuormitus, josta palautus tehdään, ei tällöin kuitenkaan saa olla kohtuuttoman suuri suhteessa maakerroksen esikonsolidaatiojännitykseen.

3.4.3 Lujuusominaisuuksien määrittäminen

Kuormitussuunnan vaikutus

Jääkauden sulamisvaiheessa muodostuneiden maakerrosten rakenne on niiden syntytavasta johtuen aina jossain määrin kerroksellinen. Muun muassa tästä johtuen myös niiden lujuusominaisuudet riippuvat materiaaliin kohdistuvan kuormituksen suunnasta. Helppoissa suunnittelukohteissa tätä ei yleensä tarvitse ottaa huomioon, mutta vaativammissa kohteissa tarvetta kuormituksen todellisen vaikutussuunnan tarkempaan jäljittelyyn on tapauskohtaisesti harkittava.

Pohjaolosuhteita selvittäessä tulisi lisäksi ottaa huomioon, että osa maakerroksista on syntynyt selvästi jääkauden jälkeen ja niiden muodostuminen jatkuu varsinkin tulvakerroksina ja veteen sedimentoituvina fluviaalisina muodostumina. Samoin ranta-muodostumia ja eloperäisiä maakerrostumia muodostuu hitaasti koko ajan.

Lujuusominaisuuksien määrittämisessä kysymykseen tulevia laboratoriokoemenetelmiä mahdollisen liukupinnan eri osilla on esitetty aiempaan kuvassa L.2. In-situ-mittausmenetelmistä vaaka- ja pystysuuntaisilla leikkauspinoilla vallitsevan suljetun tilan leikkauslujuuden mahdollista eroa voidaan vastaavasti arvioida muodoltaan erilaisilla siivillä tehtävien rinnakkaisten siipikairausten perusteella.

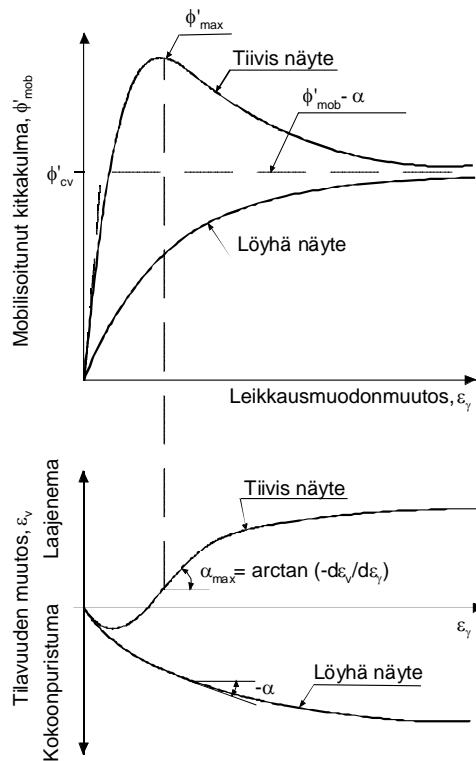
Kuivatusolosuhteiden vaikutus

Myös kuivatusolosuhteiden osalta pääsääntönä on, että lujuusominaisuudet määritetään mahdollisimman hyvin todellisen kuormitustilanteen kriittisintä tilannetta vastaavissa olosuhteissa. Näin ollen määritykset tehdään suljetussa tilassa silloin, kun maakerrokseen kohdistuva kuormitus kasvaa ja avoimessa tilassa vastaavasti silloin, kun maakerrokseen kohdistuva kuormitus pienenee. Poikkeuksen tästä muodostavat kuitenkin huonosti vettä läpäisevät hienorakeiset maalajit, joilla avointa tilaa vastaavien tehokkaiden lujuusparametrien määrittäminen on useimmiten tarkoituksenmukaisinta tehdä suljetuilla kokeilla, joiden yhteydessä näytteen sisälle kehittyvää huokosvedenpainetta mitataan näytteen kuormituksen aikana.

Tilanteissa, joissa maapohjan kuormitus samanaikaisesti toisaalta esimerkiksi tehtävien pengerrystöiden vaikutuksesta kasvaa ja toisaalta pengerrysalueen lähistöllä tehtävien maaleikkaustöiden vaikutuksesta alenee, kriittisin tilanne saattaa esiintyä teoreettisen suljetun ja avoimen kuormitustilanteen välillä. Tällöin kuormitustilanteen stabiliteetti arvioidaan tehokkaasiin lujuusparametreihin ja otaksutun tai mitatun huokosvedenpainejakautuman avulla määritettyihin tehokkaasiin jännityksiin perustuvalla analyysillä.

Muodonmuutostason ja konsolidaatiotilan vaikutus

Avoimessa tilassa kuormitettaville tiiviille, karkearakeisille maalajeille on ominaista, että melko alhaisella muodonmuutostasolla niiden leikkauslujuus saavuttaa huippuarvon, jonka ylittymisen jälkeen leikkauslujuus alenee, kunnes se saavuttaa niin kutsutun jäännöslujuuden arvon (kuva L.5). Tässä vaiheessa materiaali myös on löyhtynyt niin kutsuttua kriittistä tiivyyttä vastaavaan tiheyteen. Kun lujuusominaisuuksien määrittämisessä käytettävät näytteet tällöin suljetaan mahdollisimman tiiviiseen tilaan, voidaan saman koesarjan perusteella määrittää sekä tiivistä tilaa että kriittistä tiivyyttä vastaavat leikkauskestävyyskulman arvot.



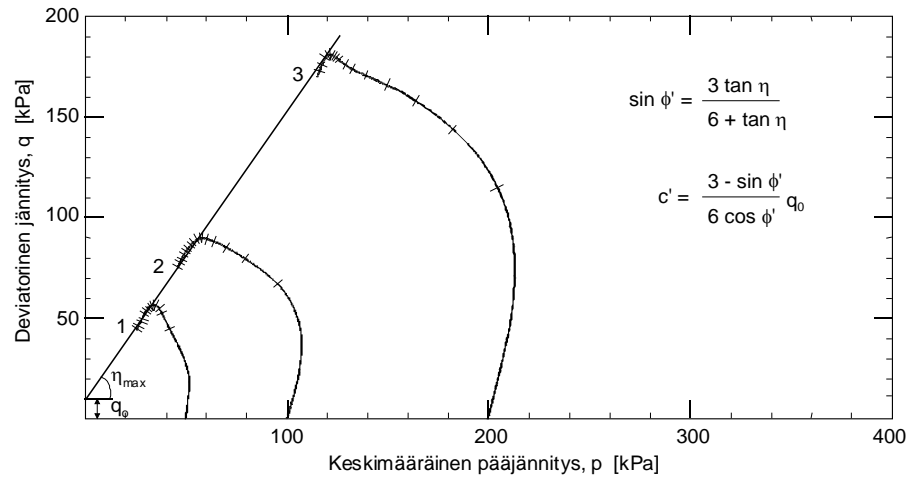
Kuva L.5 Mobilisoituneen leikkauskestävyyskulman periaatteellinen vaihtelu muodonmuutostason funktiona tiiviillä ja löyhällä kitkamaalla (SGI Information 8, Hällfasthet i friktionsjord).

Myös avoimessa tilassa kuormitettavilla ylikonsolidoituneilla hienorakeisilla maalajeilla leikkauslujuuden riippuvuus muodonmuutostasosta on periaatteessa tiiviitä kitkamaalajeja vastaava. Runsaasti savilajitetta sisältävillä maamateriaaleilla jäännöslujuutta voi murtopinnan läheisyydessä tapahtuvan löyhtymisen lisäksi kuitenkin alentaa myös savipartikkeleiden suuntautuminen murtopinnan määrämien tason mukaisesti.

Avoimessa tilassa kuormitettaville löyhille, karkearakeisille maalajeille samoin kuin normaalisti konsolidoituneille hienorakeisille maalajeillekin on vastaavasti ominaista, että niillä leikkauslujuus lähestyy muodonmuutostason kasvaessa asymptoottisesti kriittisen tilan tiivyyttä vastaavaa jäännöslujuutta (kuva L.5).

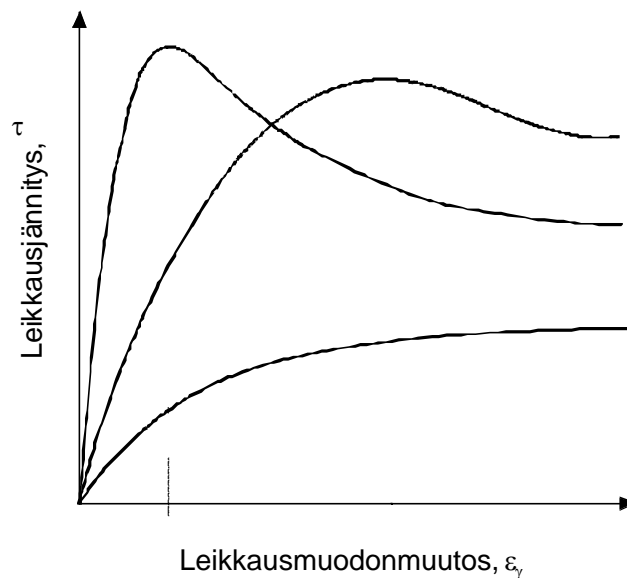
Myös suljetussa tilassa kuormitettavan maamateriaalin leikkauslujuus muuttuu muodonmuutostason kasvaessa, mutta pääasiallisena syynä tähän on huokosvedenpaineen muutoksista aiheutuvat tehokkaiden jännitysten muutokset. Normaalisti konsolidoituneilla maamateriaaleilla huokosvedenpaine vaikuttaa tällöin tehokkaita jänni-

tyksiä alentavasti ja ylikonsolidoituneilla maamateriaaleilla vastaavasti näitä kasvatavasti. Suljetussa tilassa tehtyjen laboratoriokokeiden tuloksista erilaisia muodonmuutostasoa vastaavat tehokkaiden lujuusparametrien arvot voidaan luotettavimmin määrittää jännityspolkukuvaajia käyttäen (kuva L.6).



Kuva L.6 Lujuusparametrien määrittäminen pq -koordinaatistoon piirrettyjen jännityspolkukuvaajien avulla.

Kuten kuvassa L.7 on periaatteellisella tasolla esitetty, eri maalajeilla ja erilaisessa konsolidaatitilassa olevilla maakerroksilla leikkauslujuuden huippuarvon mobilisointuminen edellyttää toisistaan poikkeavaa muodonmuutostasoa. Tästä johtuen murto-rajatilatarkasteluissa leikkauslujuuden saa otaksua huippuarvon suuruiseksi vain yhdessä geoteknisessä maakerroksessa kerrallaan. Muiden maakerrosten osalla leikkauslujuus on vastaavasti otaksuttava leikkauslujuuden jäännösarvoa tai maakerroksen todellista muodonmuutostasoa vastaavaksi. Pehmeän tai routivan pohjamaan päällä olevien tien rakennekerrosten ja pengertäytteen leikkauslujuutena on stabiliteettitarkasteluissa aina käytettävä jäännöslujuutta.



Kuva L.7 Leikkauslujuuden mobilisoinnin periaatteellinen vaihtelu erilaisissa maakerroksissa.

3.4.4 Maalajiin, indeksiominaisuuksiin ja kairaustuloksiin perustuvat arviot

Jännitys- ja muodonmuutostason vaikutus

Jännitys- ja muodonmuutostason vaikutus maamateriaalin lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin noudattaa samoja perusperiaatteita kuin edellä kappaleissa 3.4.1 ja 3.4.3 on esitetty myös siinä tapauksessa, että ominaisuudet on määritetty erilaisiin epäsuoriin arviointimenettelyihin perustuen. Näin ollen tehtyjä arvioita on tarpeen mukaan tarkistettava mainituissa kappaleissa esitettyjen suuntaviivojen mukaisesti, jos kyseessä olevan maakerroksen tai -materiaalin olosuhteet poikkeavat niistä olosuhteista, joihin epäsuorassa arvioinnissa sovelletut riippuvuudet perustuvat.

Tiivystilan vaikutus

Tiivystilan vaikutus erityisesti kaikkien karkearakeisten maalajien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin on hyvin merkittävä. Niinpä tiivystilan vaikutus on aina otettava huomioon myös epäsuoria lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien arviointimenettelyjä sovellettaessa. Suuntaviivoja tähän on esitetty edellä kappaleissa 3.2 ja 3.3.

Kosteustilan vaikutus

Kosteustilan ja siinä ajan kuluessa mahdollisesti tapahtuvien muutosten vaikutus maamateriaalien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin on merkityksellinen erityisesti silloin, kun maakerrokseen kohdistuvat kuormitukset ovat luonteeltaan dynaamisia tai syklisiä. Veden kokonaan tai lähes kokonaan kyllästämään maamateriaaliin voi tällöin kehittyä huokosveden ylipainetta, joka alentaa maarakeiden kautta välittyviä tehokkaita jännityksiä. Tämän vaikutus materiaalin lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin on käytännössä aina epäedullinen. Vaikutuksen suuruutta on pyrittävä arvioimaan kuormitustilannetta vastaavien tehokkaiden jännitysten perusteella kappaleissa 3.4.1 ja 3.4.3 esitettyjen suuntaviivojen mukaisesti.

Rakeisuuden vaikutus

Kuten kappaleista 3.2 ja 3.3 edellä kävi ilmi, on maamateriaalin rakeisuuden vaikutus sen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin myös varsin merkittävä. Pääsääntöisesti maamateriaalin lujuus ja jäykkyys ovat sitä suurempia mitä karkearakeisempaa tarkastettava materiaali on. Maamateriaalin karkearakeisuutta ei saa tällöin kuitenkaan arvioida esimerkiksi pelkän maksimiraekoon perusteella, vaan materiaalin rakeisuusjakautuman avulla on pyrittävä tunnistamaan se raekokoalue, joka on tarkasteltavan materiaalin mekaanisen käyttäytymisen kannalta hallitseva. Maamateriaalin rakeisuuskäyrältä tällainen hallitseva raekokoalue on tunnistettavissa periaatteessa siten, että sen kohdalla rakeisuuskäyrä nousee selvästi jyrkemmin kuin mikä on tiivistymisen kannalta optimaalisesti suhteistuneen maa-aineksen rakeisuuskäyrän kaltevuus samalla raekokoalueella. Esimerkkeinä tällaisista tilanteista voidaan mainita suuri hiekkalajitemäärä sorassa tai murskeessa – niin kutsuttu hiekkapatti – tai materiaalin korkea hienoainepitoisuus.

Raemuodon vaikutus

Raemuodolla on vaikutusta lähinnä karkearakeisten maalajien ja murskattujen materiaalien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin. Edullisimpia ovat tällöin kuutiomaiset ja särmikkäät rakeet, jotka edesauttavat korkean lujuuden ja jäykkyyden saavuttamista. Materiaalin leikkauskestävyyskulman osalta vaikutuksen suuruutta on suuntaa antavasti arvioitu edellä taulukoissa L.3 ja L.5. Korkeiden jännitysten tai toistuvien kuormitusyökkien alaisiksi joutuvilla maa-aineksilla rakeiden särmikkyyks voi kuitenkin toisaalta kasvattaa myös materiaalin hienontumisalttiutta.

3.4.5 Maan ominaisuudet dynaamisessa ja sykklisessä kuormituksessa

Määrittystavan vaikutus maan dynaamisiin ja sykklisiin ominaisuuksiin

Muodonmuutostason vaikutusta maan jäykkyyttä kuvaaviin moduularvoihin käsiteltiin jo edellä kappaleessa 3.4.1. Muutamien kuormitustilanteiden ja ominaisuuksien määrittämismenetelmien osalta vaikutuksen suuruutta havainnollistettiin suuntaa antavasti myös kuvassa L.3.

Jotta laboratorio- tai in-situ-mittausmenetelmillä määritetyt maamateriaalin ominaisuudet vastaisivat maan käyttäytymistä todellisessa kuormitustilanteessa, on myös kuormituksen kestoajan ainakin suuruusluokaltaan vastattava todellisen kuormitustilanteen olosuhteita. Syynä tähän on ennen muuta se, että varsinkin hienorakeisille maalajeille ominaisesta reologisesta luonteesta johtuen maamateriaalit toimivat lyhytaikaisen, impulssimaisen kuormituksen alaisena jämäkemmin kuin pitkäaikaisesti vaikuttavan kuormituksen alaisena. Samaan suuntaan vaikuttaa luonnollisesti myös se, että pitkäaikaisen kuormituksen alaisena veden kyllästävässä maamateriaalissa huokosvedenpaineen muutokset ehtivät tasaantua enemmän kuin lyhytaikaisen kuormituksen alaisena.

Dynaamisten ja syklisten ominaisuuksien määrittämismenetelmät

Hyvin alhaisella, esimerkiksi tiealueelta ympäristöön leviävää värinää vastaavalla, muodonmuutostasolla maan leikkausmoduuli ja materiaalivaimennus voidaan laboratorioolosuhteissa määrittää resonant column -menetelmällä. Tämän lisäksi leikkausmoduulin maksimi-arvo voidaan määrittää laboratoriossa myös leikkausaallon kuluaikamittaukseen perustuvalla bender element -menetelmällä. Yksityiskohtaisem-

min näiden mittausten tekemistä on esitelty muun muassa julkaisussa ”Souto, A., Tierakennusmateriaalien dynaamisten moduulien määrittäminen resonant column ja bender element -laitteistolla”

Muodonmuutos- ja taajuustasolla, joka vastaa esimerkiksi tuulen kuormittamien porttaalien tai meluseinien perustuksia ympäröivän maan kuormitusolosuhteita, maan muodonmuutosominaisuudet voidaan laboratorio-olosuhteissa määrittää luotettavimmin syklistä kolmiaksaalikoetta käyttäen. Sen suoritusperiaatetta on käsitelty muun muassa julkaisussa ”Kolisoja, P., Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet – Kirjallisuusselvitys, TIEL 3200163”. Syklisen kolmiaksaalikokeen ohella muita samalla muodonmuutos- ja taajuusalueella kysymykseen tulevia laboratoriotutkimusmenetelmiä ovat syklinen suora leikkauskoe ja syklinen vääntöleikkauskoe. Näiden tekemiseen tarvittavia laitteistoja ei tällä hetkellä kuitenkaan ole Suomessa saatavilla.

Alhaisimmilla muodonmuutostasoilla maan dynaamisten ominaisuuksien määrittämiseen soveltuvat in-situ-mittausmenetelmät ovat niin kutsuttuja seismisiä menetelmiä eli ne perustuvat bender element -mittausten tapaan maamateriaalissa etenevän aaltoliikkeen nopeuden mittaamiseen. Havainnoitava aaltoliike voi tällöin olla joko leikkaus- eli S-aaltoja, puristus- eli P-aaltoja tai maakerroksen pintaosassa eteneviä R-aaltoja. Mittausmenetelmästä ja mitoituksen kannalta merkityksellisten maakerrosten sijainnista riippuen aaltoliikkeen lähettäminen ja sen vastaanottaminen voivat vastaavasti tapahtua joko maan pinnalta tai tietyltä syvyydeltä maakerrosten sisältä. Yksityiskohtaisemmin seismisten mittausmenetelmien periaatteita on käsitelty niin ikään esimerkiksi julkaisussa ”Souto, A., Tierakennusmateriaalien dynaamisten moduulien määrittäminen resonant column ja bender element -laitteistolla”.

Dynaamisten ja syklisten ominaisuuksien arviointi staattisten kokeiden perusteella

Eri maalajeille tyypillisiä suuruusluokkaeroja toisaalta tavanomaisia dynaamisia kuormitustilanteita ja toisaalta tavanomaisia staattisia kuormitustilanteita vastaavien moduuliarvojen välillä on käsitelty esimerkiksi julkaisussa ”Handboken bygg, Geoteknik”. Syklisesti toistuvan vaakakuormituksen alaisena olevien porttaali- ja meluseinärakenteiden perustusten mitoituksessa usein käytettävien alustalukujen arviointia on vastaavasti käsitelty muun muassa Tielaitoksen julkaisussa ”Teräsputkipaalut, TIEL 2173448”.

3.5 Rakennusmateriaalien ominaisarvoja

Rakennusmateriaalin tiheyden, tilavuuspainon sekä lujuus- ja muodonmuutos ominaisuuksien ominaisarvoja:

Taulukko L.7 Rakennusmateriaalien ominaisarvoja.

materiaali	ρ [tn/m ³]	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	E_d [MN/m ²]	lujuus ¹⁾
Maapenkereet (Mr, Hk, Sr)	2,65	18...22	10...13	20...100 ²⁾³⁾	$\varphi = 32... 39^\circ$; $c=0$
Louhepenkereet	2,65	15...18	9...11	100...150 ²⁾	$\varphi = 45^\circ$; $c=0$
Kuivakuorisavesta tehdyt penkereet	2,70	18...20	8...10		$\varphi = 25...32^\circ$; $c=2...5$ kPa
Sitomattomat päällyys- rakennekerrokset	2,65	19...22	11...13	70...160 ²⁾³⁾	$\varphi = 40...42^\circ$; $c=0$
Läjitysmaat	2)	18	8	2)	2)

1) leikkauskestävyyskulman ja koheesion arvot (φ, c) edustavat vakavuusanalyyseissä käytettävää arvoa

2) riippuu käytettävästä materiaalista

3) riippuu tiiveydestä

Merkinnät taulukossa:

ρ on kiintotiheys

γ on tilavuuspainorakenteessa

γ' on tehokastilavuuspaino veden pinnan alapuolella

E_d on kokonpuristuvuus tiivistettynä rakenteessa

φ on leikkauskestävyyskulma [aste]

c koheesio [kPa].

