

**Paalulaattojen ja  
paaluhatturakenteiden  
suunnitteluohje**

**Paalulaattojen ja  
paaluhatturakenteiden  
suunnitteluohje**

Suunnitteluvaiheen ohjaus

ISBN ISBN 978-952-221-083-8  
TIEH TIEH 2100007-08

Verkkojulkaisu pdf (<http://www.tiehallinto.fi/thohje>)  
ISBN ISBN 978-952-221-084-5  
TIEH TIEH 2100007-v-08

Edita Prima Oy  
Helsinki 2008

Julkaisua myy/saatavana  
Edita ([asiakaspalvelu.prima@edita.fi](mailto:asiakaspalvelu.prima@edita.fi))  
Faksi 020 450 2470  
Puhelin 020 450 011

**TIEHALLINTO**  
Keskushallinto  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelin 0204 22 11



Vastaanottaja  
Tiepiirit  
Suuret investoinnit  
Säädösperusta  
Maantielaki 109 \$

Korvaa  
Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje,  
TIEH 2100007-01

Kohdistuvuus  
Tiehallinto

Voimassa  
1.11.2008 - toistaiseksi

Asiasanat: POHJARAKENNUS, PAALUHATUT JA – LAATAT, PAALUTUS

---

**Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje,  
TIEH 2100007-08 ja TIEH 2100007-v-08**

Ohje käsittelee paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelun ja mitoituksen. Ohje korvaa vuonna 2001 julkaistun ohjeen TIEH 2100007-01, johon on tehty mm seuraavia muutoksia ja korjauksia:

- Luvussa 5 Kuormat on tehty muutoksia, jotka kohdistuvat kuormavaikutusten jakaantumiseen laatalla, sysäyslisän käyttöön sekä työnaikaisten kuormien ja vaakasuorien kuormien/kuormavaikutusten huomioonottamiseen mitoituksessa
- Kappaleessa 6.5.4 Halkeilu on viitattu Tiehallinnon uudistuneisiin ohjeisiin.
- Kappale 6.5.5 Säilyvyys on lisätty.
- Luku 4 Materiaalit on lisätty
- Viitteet on tarkistettu ja päivitetty
- Luvun 7 sisältöä on selkeytetty ja kuvia parannettu

Varsinainen ohjeteksti on esitetty normaalilla palstaleveydellä. Kapeapalstaisessa kursiivilla painetussa tekstissä annetaan taustatietoja ja lisäinformaatiota asiasta.

Ohjetta on painettu rajoitettu määrä ja sitä myy Edita Oyj (yhteystiedot etukannen takana). Se on myös kopioitavissa internetistä osoitteesta:  
<http://www.tiehallinto.fi/thohje/>.

Yksikön päällikkö  
Asiantuntijapalvelut

  
Matti Piispanen

Tieinsinööri

  
Pentti Salo

**LISÄTIETOJA**

Pentti Salo (geotekniikka), Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut  
Olli Niskanen (rakennetekniikka), Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut  
Puh. 0204 22 11



TIEDOKSI

Ympäristöministeriö  
Ratahallintokeskus  
Merenkululaitos  
Finavia  
Suomen Kuntaliitto  
Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL  
Rakennusteollisuus RT  
Infra ry  
Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry  
Tekniset yliopistot/korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut  
VTT  
Helsingin kaupungin geotekninen osasto  
Tie- ja geo- ja siltakonsultit  
Tiehallinto/pääkonttori, ATS, ATP, ATT, Kirjasto  
Ohjeen ja taustaselvitysten tekijät  
Tiehallinnon silta- ja geosinöörit

## **ESIPUHE**

Ohjeen laatimista varten perustettiin työryhmä, johon ovat kuuluneet ohjeen kirjoittaja Olli Arkima YS-Konsultit Oy:stä, Matti Manelius Tieliikelaitoksesta sekä Matti Piispanen, Esko Palmu ja Pentti Salo Tiehallinnosta.

Ohjeluonnoksen lausuntokierros tuotti runsaasti palautetta ja se vaikutti merkittävästi ohjeen sisältöön. Ohje viimeisteltiin työryhmän, siltayksikön ja tie- ja liikennetekniikkayksikön yhteistyönä.

Helsinki, joulukuu 2001

## **ESIPUHE JULKAISUUN TIEH 2100007-08**

Korjaukset on tehty Asiantuntijapalveluiden tietekniikka- ja siltatiimeissä. Ohjeen on käynyt läpi työryhmä, johon ovat kuuluneet Kyösti Juvonen, Olli Niskanen, Tiina Perttula, Petter Sandin ja Pentti Salo Tiehallinnosta. Kuormat - luvun tarkistamista varten tehdyt laskelmat laati Harry Gustafsson Arcus Oy:stä.

Helsinki, syyskuu 2008

Tiehallinto  
Tietekniikka ja siltatekniikka

**Sisältö**

<b>1</b>	<b>SOVELTAMISALUE JA OHJEEN LIITTYMINEN MUIHIN OHJEISIIN</b>	<b>9</b>
1.1	Ohjeen käyttöalue	9
1.2	Suunnitteluohjeet ja laatuvaatimukset	9
1.3	Muut ohjeet	10
<b>2</b>	<b>POHJATUTKIMUKSET</b>	<b>11</b>
2.1	Yleisvaatimukset	11
2.2	Tutkimukset maaperän kantavuuden ja painumaominaisuuksien selvittämiseksi	11
2.3	Tutkimukset paalujen maaperän- ja maaperäolosuhteiden syövyttävyydestä ja korroosiosta	12
<b>3</b>	<b>PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEET JA NIIDEN KÄYTTÖALUEET</b>	<b>13</b>
3.1	Yleistä	13
3.2	Paalulaattarakenne	13
3.3	Paalulaatan käyttöalue	15
3.4	Paaluhatturakenne	15
3.5	Paaluhatturakenteen käyttöalue	16
<b>4</b>	<b>PAALUJEN, LAATAN, HATTUJEN JA VARUSTEIDEN LAATUVAATIMUKSET</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>KUORMAT</b>	<b>18</b>
5.1	Yleistä	18
5.2	Laatan ja hattujen kautta paaluille siirrettävät kuormat	18
5.2.1	Penkereen ja rakenteiden oma paino	18
5.2.2	Liikennekuorma	18
5.2.3	Vaakasuorat kuormat ja kuormavaikutukset	20
5.3	Paaluihin suoraan vaikuttavat kuormat	22
<b>6</b>	<b>PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITTELU</b>	<b>25</b>
6.1	Suunnittelun vaatimat lähtötiedot	25
6.2	Alueellinen ja paikallinen stabiliteetti	25
6.3	Paalutetun rakenteen suunnittelun perusteet	26
6.3.1	Rakenteen mitoitus kuormille ja kuormavaikutuksille	26
6.3.2	Rakenteen laajuuden, korkeustason, kaltevuuden ja pengerkorkeuden suunnittelu	26
6.3.3	Penkereen osat	28
6.3.4	Luiskan suunnittelu ja vierustäytöt	29
6.3.5	Lujitteiden käyttö	30
6.3.6	Routasuojaus	30
6.3.7	Paalutetun penkereen leventäminen ja purku	30

---

6.4	Paaluhatun koon ja rakovälin mitoitus paaluhatturakenteessa	31
6.4.1	Rakovälin mitoitus	31
6.4.2	Paaluvälin mitoitus ja paaluhatun koon valinta	32
6.4.3	Rakovälin mitoitus, kun käytetään yhteen valettuja paaluhattuja	33
6.5	Paalulaatan rakenteellinen mitoitus	33
6.5.1	Yleistä	33
6.5.2	Läpileikkautuminen	34
6.5.3	Taivutus	34
6.5.4	Halkeilu	35
6.5.5	Säilyvyys	35
6.6	Työalusta ja valualusta	35
6.7	Paaluperustuksen suunnittelu	36
6.7.1	Paalutyypin valinta	36
6.7.2	Paalukoon valinta ja paalun materiaalivaatimukset	37
6.7.3	Paalujen sijainnin ja kaltevuuden suunnittelu	37
6.7.4	Paalutusluokan määrittäminen ja paalun kantavuus	39
6.7.5	Paalujen sallitut sijaintipoikkeamat	41
6.7.6	Rakennustöiden ympäristövaikutukset	41
7	PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEIDEN LIITTÄMINEN MUIHIN RAKENTAISIIN	42
7.1	Liittäminen siltarakenteisiin	42
7.2	Liittäminen pohjanvahvistuksiin	42
8	PAALUTUSALUEELLE TEHTÄVÄT MUUT RAKENTEET	46
8.1	Kuivatusrakenteet	46
8.2	Paalutusalueella sijaitsevat vanhat viemärit yms. rakenteet	47
8.3	Paalutusalueen pylvääät ja portaalit	47
9	PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITELMAN SISÄLTÖ	48
9.1	Piirustukset	48
9.2	Laatuvaatimukset ja työselitykset	49

# 1 SOVELTAMISALUE JA OHJEEN LIITTYMINEN MUIHIN OHJEISIIN

## 1.1 Ohjeen käyttöalue

Tämä ohje on laadittu noudatettavaksi suunniteltaessa ja tehtäessä paaluhattu- tai paalulaattarakenteita. Tämä on suunnitteluohje, joka käsittää sekä rakenteellisen että geoteknisen suunnittelun. Ohjetta sovelletaan, kun penkerkorkeus on vähintään 1,5 m.

## 1.2 Suunnitteluohjeet ja laatuvaatimukset

Betonirakenneohjeet 2006, TIEH 2100037-v-06, Tiehallinto, Helsinki 2006

Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet, TIEH 2100003-01, Helsinki 2002 (uudistaminen on käynnissä)

Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, TIEH 2100053-07. Tiehallinto, Helsinki 2007

InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2006 Osa 1: Väylät ja alueet sekä siihen liittyen

- InfraRYL laatuvaatimusten soveltaminen Tiehallinnon töissä (TIEH:n kirje 19.1.2007)
- TIEH:n ohje Perustamis- ja vahvistustyöt, InfraRYL:n täydennys, TIEH 2200002-07

InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2006 Osa 3: Sillat (otetaan käyttöön Tiehallinnon hankkeissa 1.11.2008 lukien)

Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Maa- ja pohjarakenteet - SYL 2. TIEH 2210004-2001, Tielaitos. Helsinki 2001 (InfraRYL osa 3 korvaa nämä laatuvaatimukset Tiehallinnon hankkeissa 1.11.2008 lukien)

Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet - SYL 3, TIEL 2210005-96. Tielaitos, Helsinki 1992, joka jää pois käytöstä 31.10.2008 (InfraRYL osa 3 korvaa nämä laatuvaatimukset Tiehallinnon hankkeissa 1.11.2008 lukien)

Siltojen kuormat, TIEL 2172072-99. Tielaitos, Helsinki 1999

Geotekniset laskelmat, TIEH 2100018-03. Tiehallinto, Helsinki 2003.

Geotekniset tutkimukset ja mittaukset, TIEH 2100057-08, Helsinki 2008



### 1.3 Muut ohjeet

Seuraavat ohjeet täydentävät ja selittävät kohdassa 1.2 mainittuja ohjeita:

Lyöntipaalutusohje LPO-2005 Teräsbetoni- ja puupaalut. RIL 223-2005, Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. Helsinki 2005.

Suurpaalutusohje 2001 SPO-2001, RIL 212-2001. Suomen rakennusinsinöörien liitto r.y. , Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y., Helsinki 2001.

Pienpaalutusohje PPO-2007 Teräksiset lyönti-, pora- ja puristuspaalut. RIL 223-2005, Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. Helsinki 2007.

Porapaalutusohje, TIEH 2000002-01, Tiehallinto, Helsinki 2001.

Synteettiset geovahvisteet, Suunnittelu ja rakentaminen. Rakennustieto, Helsinki 1998

Nordic guidelines for reinforced soils and fills. Nordic Geosynthetic Group. May 2003 ([www.sgy.fi](http://www.sgy.fi)) tai Armerad jord och fyllning. Nordisk vägledning. Rapport 2:2004 Svenska geotekniska föreningen

## 2 POHJATUTKIMUKSET

### 2.1 Yleisvaatimukset

Rakennushankkeeseen ryhdyttäessä on tehtävä riittävän seikkaperäiset pohjatutkimukset eri suunnitteluvaiheita vastaavasti ensin perustamistavan valintaa ja sitten perusrakenteiden sekä muiden pohjarakennustöiden suunnittelua ja rakentamista varten.

Ohjeessa Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, TIEH 2100053-07, esitetään vaatimukset paalulaatta- ja paaluhatturakennekohteiden pohjatutkimuksille.

*Pohjatutkimuksien määrän ja menetelmien valinnan hyvää käytäntöä sekä paalutyypikohtaisia erityispiirteitä on esitetty julkaisuissa Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, TIEH 2100053-07 ja Geotekniset tutkimukset ja mittaukset, TIEH 2100057-08, Helsinki 2008 sekä Tiehallinnon ja Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry:n / Suomen geoteknillinen yhdistys r.y:n julkaisemissa paalutusohjeissa.*

Ohjeen Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, TIEH 2100053-07 kohdassa 2.3.2 on määritelty siltojen pohjatutkimusluokat. Paalulaatta- ja paaluhatturakennekohteiden vaativuusluokka on aina vähintään 2. Suunnittelutyön kuussa kohde nostetaan luokkaan 3, mikäli kohteen vaativuus sitä edellyttää.

Maakerrosten väliset rajat ja tiiviys on aina selvitettävä sekä paaluilla läpäistävien että paaluja kantavien maakerrosten osalta ja tarvittaessa myös kantavien maakerrosten alapuolisilta osilta.

Paaluja kantavan maakerroksen ja lyötävien paalujen tavoitetason määrittämiseksi on tarpeen mukaan tehtävä dynaamisia koekuormituksia ensimmäisinä asennettavista perustuspaaluista.

Läpäistävien pehmeiden kerrosten osalta on määritettävä maakerrosten lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet mm nurjahdustarkasteluja varten.

Pehmeiden maakerrosten kokoonpuristuvuusominaisuudet on selvitettävä paalutukseen liittyvien siirtymärakenteiden osalta.

Pohjavedenpinnan tasoa ja vaihteluväliä on selvitettävä siinä määrin kuin se rakenteen suunnittelun ja työn suorituksen sekä ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta on tarpeellista.

### 2.2 Tutkimukset maaperän kantavuuden ja painumaominaisuuksien selvittämiseksi

#### Tukipaalut

Tukipaaluja käytettäessä kairauksilla on selvitettävä kallionpinnan tai tiiviin pohjakerroksen sijainti.

Kallionpinnan sijainti ja muodot on selvitettävä tavanomaista tarkemmin, kun koheesiomaakerrokset ulottuvat kallionpintaan tai kallionpinta on viettävä ja sen päällä oleva kitkamaakerros on löyhä tai ohut.

Käytettäessä kallioon ulottuvia, kalliokärjellä varustettuja teräsbetonisia tai teräksisiä lyöntipaaluja on kallionpinnan asema aina selvitettävä porakonekairauksilla.

Kallionperän laatu on selvitettävä, mikäli käytetään porapaaluja. Kallion laadun selvittäminen voi olla tarpeen muitakin paalutyyppejä käytettäessä.

*Kallion pintaosien laatu voidaan normaalitapauksessa todeta suorittamalla kallioporausta vähintään 3 m terveeseen kallioon. Kallioporauksen tunkeutumismisnopeus antaa viitteitä laadusta. Tarkeimmin kallion laatu voidaan määrittellä kallionäytteiden avulla.*

Paino- tai puristinkairausten lisäksi on tehtävä myös heijarikairauksia paalutusalueen eri osissa.

*Kiinteään maakerrokseen tukeutuvan teräsbetonisen lyöntipaalun tunkeutumissyvyys voidaan parhaiten arvioida heijarikairausvastuksen perusteella. Useimmiten heijarikairan tunkeutumissyvyys edustaa maksimisyvyyttä, mihin teräsbetonipaalu tunkeutuu.*

*Paino- tai heijarikairaukset voivat antaa viitteitä pohjakerroksen lohkaraisuudesta. Täydentävinä tutkimuksina tarvitaan lohkarisessa maaperässä porakonekairauksia.*

Pehmeiden maakerrosten osalta on suoritettava riittävä määrä siipikairauksia. Suljettu leikkauslujuus määritetään redusoidumalla siipikairauslujuus.

### **Kitkapaalut**

Pohjatutkimukset tulee yleensä ulottaa kantavaan pohjaan tai kallioon asti paalun tavoitetasoa alempana mahdollisesti olevien heikompien maakerrosten selvittämiseksi sekä vertailevaa teknistaloudellista selvitystä varten.

Maakerroksista, joihin paalut tukeutuvat, on otettava maanäytteitä rakeisuuden määrittämistä varten.

Pohjavedenpinnan taso sekä mahdollinen paineellinen pohjavesi paalua kantavassa kerroksessa on määritettävä.

Kitkapaalujen geotekninen kantavuus ja loppulyöntikriteerit on selvitettävä kerroksittain tai syvyystasoinnain koepaalutuksilla ja tarvittaessa koekuormituksilla.

## **2.3 Tutkimukset paalujen maaperän- ja maaperäolosuhteiden syövyttävyydestä ja korroosiosta**

Pohjamaan korroosiota käytettävissä materiaaleissa edistävät ominaisuudet selvitetään ohjeen Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, TIEH 2100053-07 mukaisesti. Tutkimusten sisältö on määritetty em ohjeen luvussa 2 ja sen liitteessä 3.



### 3 PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEET JA NIIDEN KÄYTTÖALUEET

#### 3.1 Yleistä

Perustamistavan valinta tehdään teknistaloudellisten vaihtoehtoverailujen perusteella ottaen huomioon paikalliset olosuhteet ja ympäristötekijät sekä tialueen käytettävissä oleva leveys erityisesti taajama-alueilla.

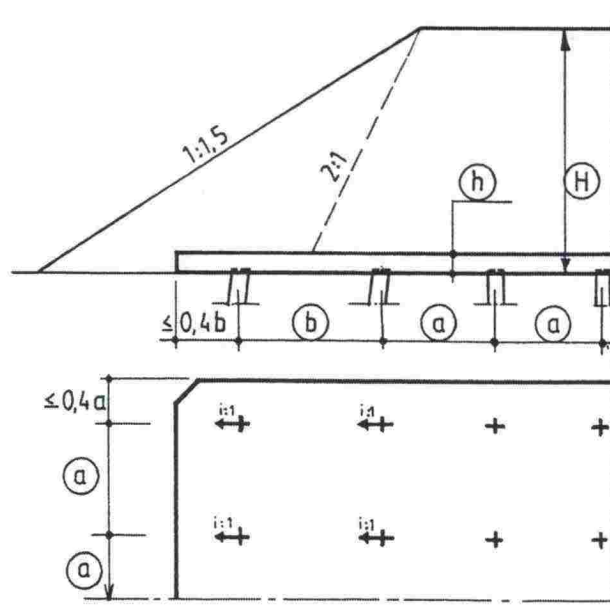
Paalulaatta- tai paaluhatturakennetta käytetään tyypillisesti pehmeillä, normaali- tai lievästi ylikonsolidoituneilla savikoilla ja muilla pehmeiköillä.

#### 3.2 Paalulaattarakenne

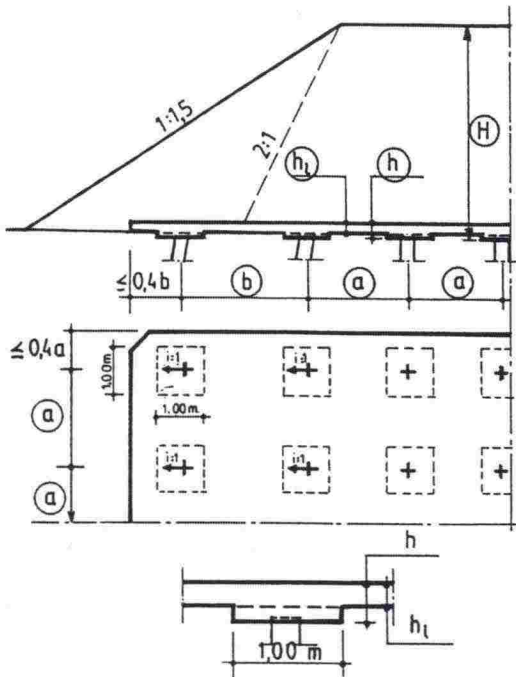
*Paalulaattarakenne on yhtenäinen paaluilla perustettu teräsbetoninen laatta, jonka päällä on kuormana maapenger. Se on painumaton rakenne maarakenteiden perustamiseen pehmeillä ja kokoonpuristuvilla maapohjilla.*

*Paalulaattarakenne muodostuu laatasta ja paaluista sekä laatan päälle tulevasta suojakerroksesta.*

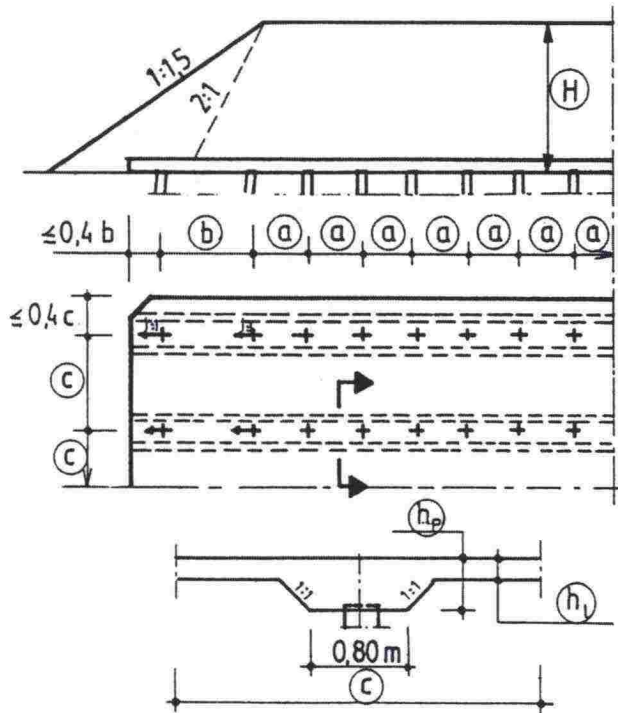
*Tavallisimmin käytettyjä laattatyyppjä ovat tasapaksu laatta, sienilaatta ja palkkilaatta. Tasapaksu laatta voi olla leikkausraudoitettu tai leikkausraudoittamaton. Sienilaatassa välilaatta voi olla raudoitettu joko yhteen tai kahteen tasoon. Kuvissa 1, 2 ja 3 on esitetty periaatekuvat eri laattatyypeistä.*



Kuva 1: Tasapaksu laatta



Kuva 2: Sienilaatta



Kuva 3: Palkkilaatta

### 3.3 Paalulaatan käyttöalue

Paalulaattaa käytetään kohteissa, joissa paaluperustuksen käyttö on tarpeellista mutta paaluhatturakenteen käyttö ei ole teknisesti mahdollista tai taloudellisesti perusteltua.

Vaikeasti paalutettavissa pohjasuhteissa käytetään paalulaattaa.

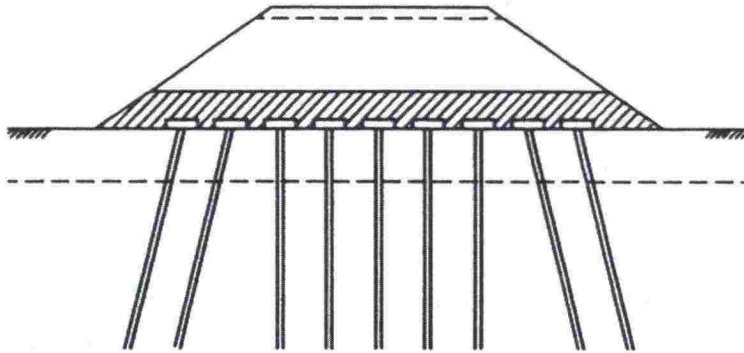
*Laattatyypin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat laatan massoihin liittyvien kustannusten lisäksi laatan muoto, alustatyön vaikeus, laatan muotitustarve, raudoitustyön vaikeus sekä mahdollinen varautuminen paalujen epätasaisiin painumiin.*

*Tyypillisiä kohteita, joihin paalulaatta soveltuu, ovat:*

- *pehmeä maaperä, ohut kuivakuori. Paaluhatturakenteen stabiliteetti voi näissä olosuhteissa olla huono (kts kriteerit paaluhatturakenteen käytölle kohdassa 3.5)*
- *siltojen tulopenkereet ja keilat. Laatta mukautuu paremmin epäsäännölliseen paaluväliin ja korkeustason vaihteluuteen.*
- *syvät pehmeiköt. Laattaratkaisu on yleensä taloudellisempi.*
- *matalat penkereet. Laattaratkaisu mahdollistaa pidemmän paaluvälin ja on siten yleensä taloudellisempi.*
- *loivat luiskat, vierustäytöt. Laattarakenne voidaan perustaa yleensä pystypaaluille, jolloin pengerialueen maanvarainen osa voidaan jättää korkeammaksi kuin paaluhatturakenteessa.*
- *varautuminen myöhempään tien leventämiseen ja tuleviin kuormitustilanteen muutoksiin. Varautuminen edellyttää yleensä pystypaalujen käyttöä laatan reunariveissä, jolloin leventämisen vaatima olemassa olevan penkereen purku on helpompi toteuttaa.*

### 3.4 Paaluhatturakenne

Paaluhatturakenne (kuva 4) on erillisten paaluilla perustettujen paaluhattujen muodostama rakenne. Paaluhatturakenne muodostuu paaluhatuista ja paaluista sekä hattujen päälle ja väliin rakennettavasta kuormaa jakavasta kerroksesta, jonka alaosa toimii paaluhattujen suojakerroksena. Kuormaa jakavan kerroksen rakenne on tarkemmin kuvattu kohdassa 6.3.3.



Kuva 4: Paaluhatturakenne

### 3.5 Paaluhatturakenteen käyttöalue

*Tyypillisiä paaluhattukohteita ovat kiinteät savikot, joissa pehmeän kerroksen leikkauslujuus on riittävä estämään hattujen välissä olevan materiaalin valumista sekä tukemaan paaluja ja paaluhattuja rakentamisvaiheessa ja sen jälkeen.*

Paaluhatturakennetta voidaan normaalipenkereen osalta käyttää, kun saven leikkauslujuus on vähintään 15 kPa ja kun leikkaustason alle jää kuivakuorta vähintään 1 m. Kuivakuoren puuttuessa saven leikkauslujuuden on oltava vähintään 20 kPa.

Sillan taustapenkereellä ja keiloissa paaluhatturakennetta voidaan käyttää, kun saven leikkauslujuus kuivakuoren alla on vähintään 20 kPa. Sillan taustapenkereeksi katsotaan kaksinkertaisen pengerkorkeuden pituinen osuus maatuen takana, kuitenkin vähintään 10 m.

Paaluhatturakennetta ei saa käyttää turvepehmeiköllä.

Paaluhattujen alla oleva maapohja ei saa hattujen asentamisen jälkeen painua yli 100 mm.

*Paaluhatturakenteen käytön edellytys on yleensä symmetrinen tien poikkileikkaus ja yleispiirteiltään tasainen ja vaakasuora maapintaa.*

*Paaluhatturakenne soveltuu erittäin huonosti kohteisiin, joissa varaudutaan penkereen myöhempään leventämiseen.*



## 4 PAALUJEN, LAATAN, HATTUJEN JA VARUSTEIDEN LAATUVAATIMUKSET

Paalujen laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL 2006:n osassa 1. Teräsbetonipaalujen osalta viitataan kohtaan 13211 ja teräspaalujen osalta kohtaan 13212. RT:n julkaiseman tuotelehden "Teräsbetoninen lyöntipaalu" (Rakennusteollisuus 2005) mukaiset paaluelementit täyttävät InfraRYL 2006:n kappaleen 13211.1 laatuvaatimukset.

Tiehallinnon siltarakenteissa ja paalulaatoissa käytettäväksi hyväksymät (internet osoite: [www.tiehallinto.fi/sillat/](http://www.tiehallinto.fi/sillat/)) teräsbetonipaalujen ja teräspaalujen paalukärjet ja jatkokset samoin kuin Betonikäsikirjassa /by / RTT esitetyt teräsbetonipaalujen tyyppihyväksytyt kärjet täyttävät InfraRYL 2006:n vaatimukset. Betonikäsikirja ilmestyy vuosittain.

Paalulaatan ja paaluhattujen laatuvaatimukset on esitetty Tiehallinnon ohjeessa Perustamis- ja vahvistustyöt, InfraRYL:n täydennys, TIEH 2200002-07. Rakenteiden yleiset laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL 2006:n osassa 3. Tiehallinnon betonirakenteita ja materiaaleja koskevat ohjeet on esitetty julkaisussa Betonirakenneohjeet 2006, TIEH 2100037-v-06, Tiehallinto, Helsinki 2006 ja Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet, TIEH 2100003-01, Helsinki 2002, jonka uudistaminen on käynnissä.

*Paaluhattujen rakenne- ja raudoitus kuvat on esitetty ohjeessa TIEH 2200002-07*

Puupaalun ja sen varusteiden laatuvaatimukset on esitetty Tiehallinnon ohjeessa Perustamis- ja vahvistustyöt, InfraRYL:n täydennys, TIEH 2200002-07.

## 5 KUORMAT

### 5.1 Yleistä

Sekä paaluhattu- ja paalulaattarakenteen rakenteellisessa että geoteknisessä mitoituksessa tulee ottaa huomioon kaikki rakenteeseen vaikuttavat kuormat ja kuormien yhdistetyt kuormitusohjeiden ja tässä luvussa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

### 5.2 Laatan ja hattujen kautta paaluille siirrettävät kuormat

#### 5.2.1 Penkereen ja rakenteiden oma paino

Penkereen ja rakenteiden oman painon oletetaan siirtyvän paaluille. Maassa olevan paalun painoa ei tarvitse ottaa huomioon. Paaluhatturakenteen hatun ja paalulaatan tilavuuspainona käytetään  $25 \text{ kN/m}^3$ .

Pengerkuorma  $p$  lasketaan penkereen muotoisena jakautuneena pystykuormana penkereen keskimääräisen tilavuuspainon  $\gamma$  ja pengerkorkeuden  $H$  avulla. Pengerkorkeus  $H$  määritetään hattujen tai paalulaatan yläpinnasta penkereen yläpintaan.

$$p = \gamma H \quad (1)$$

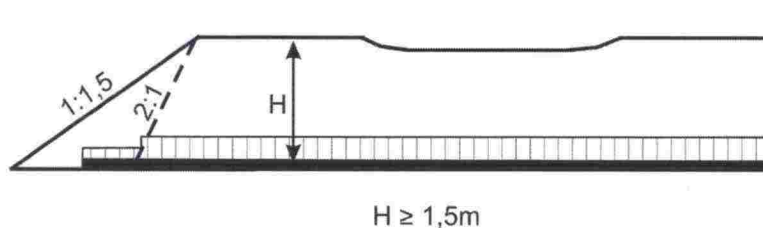
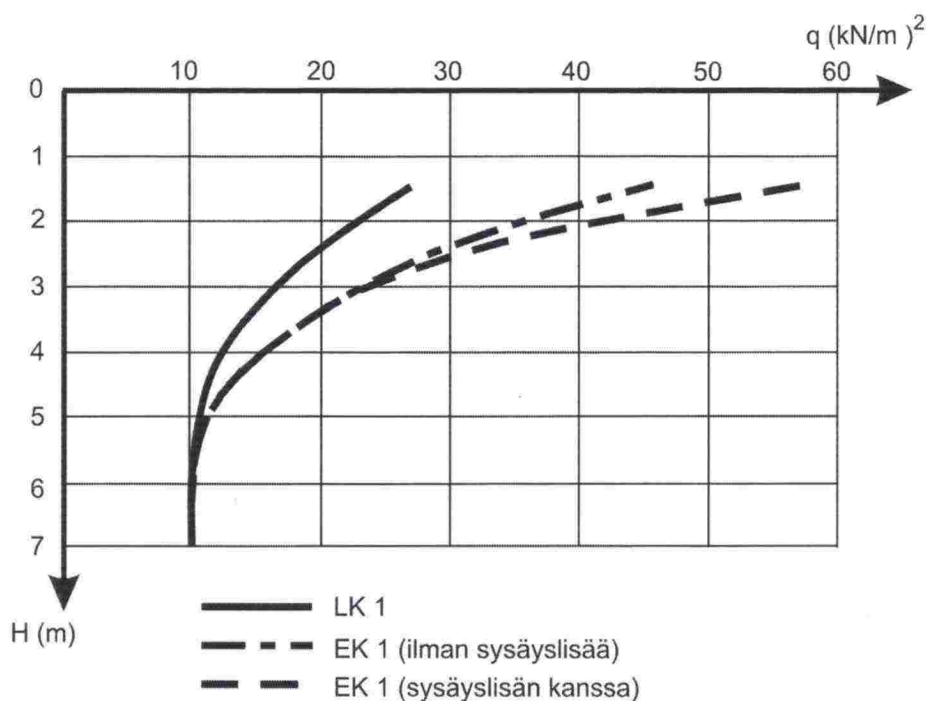
Penkereen keskimääräisenä tilavuuspainona voidaan mitoitusta varten käyttää julkaisun " Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, TIEH 2100053-07" liitteen 4 taulukoissa 1-3 esitettyjä arvoja. Tavanomaisen soratäytön tilavuuspainona voidaan käyttää  $20 \text{ kN/m}^3$ .

#### 5.2.2 Liikennekuorma

Laatan rakenne mitoitetaan liikennekuormalle Lk 1 ja Ek 1. Paalun rakenteellisen ja geoteknisen kantavuuden mitoituksen tulee perustua samoille kuormille. Paalun nurjahdus on tarvittaessa tarkistettava em liikennekuormille.

Liikennekuormat (LK 1 ja EK 1) vaikuttavat tien pinnalla ja ne koostuvat kais-toille sijoitettavista akselikuormista, nauhakuormasta ja sysäyslisästä. Liikennekuormien vaikutus laatan pinnalla saadaan kuvasta 5. Kuvan diagrammista saatava kuormitusintensiteetti vaikuttaa laatan pinnalla ajoradan ja keskikaistan kohdalla sekä osittain luiskassa. Täyden kuormitusintensiteetin vaikutusalue rajautuu luiskassa ajoradan reunasta kaltevuudessa 2:1 piirretyn suoran avulla. Mikäli keskialue on yli 15 m leveä, laatan tarve ja kuormitusintensiteetti keskialueella määritellään hankekohtaisissa tuotevaatimuksissa. Laatan reuna-alueen mitoituskuorma määritetään tapauskohtaisesti mutta se on kuitenkin vähintään  $10 \text{ kPa}$  ottaen huomioon lisäksi työnäikaisen liikenteen ja työmaa-ajoneuvojen vaikutukset.

Kun paalun geotekninen kantavuus mitoitetaan kokonaisvarmuuskerrointa tai sallittujen jännitysten menetelmää käyttäen, käytetään mitoituskuormina liikennekuormien ominaiskuormia ilman sysäyslisää (EK I).



Kuva 5: Liikennekuorman syvyydessä  $H$  aiheuttama tasainen kuorma.

Paaluvälin ollessa suuri voidaan kuvasta 5 saatavaa liikennekuorman intensiteettiä vähentää tutkimalla liikennekuorman jakautumista tarkemmin. Liikennekuormien Lk 1 ja Ek 1 vaikutusalue ja suuruus on määritelty ohjeessa Siltojen kuormat TiEL 2172072-99.

Työnaikaiset tilanteet tutkitaan aina tapauskohtaisesti kulloinkin käytettävien konetyyppien, työnaikaisen pengerkorkeuden ja reunan ylityspaikkojen suhteen. Mitoitustarkastelu tehdään murtorajatilassa käyttäen työkoneiden pyöräkuormille osavarmuuslukua 1,8, joka sisältää tavanomaisen sysäyslisän. Työnaikaisten, laattoihin kohdistuvien kuormitustilanteiden ja työnaikaisten liikennöntialueiden tarkastelut esitetään suunnitelmissa ja laskelmissa työvaiheen suunnittelun yhteydessä.

Työkoneiden kuormitusesimerkkejä on esitetty ohjeessa Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet TIEH 2200002-01.

### 5.2.3 Vaakasuorat kuormat ja kuormavaikutukset

Vaakasuoria ulkoisia kuormia ovat mm maanpaine, toisen ajoradan penkereestä aiheutuva kuorma ja sillan tulopenkereeseen pituussuunnassa vaikuttava pengerkuorma (kuva 6), vaakasuorat liikennekuormat (jarrukuorma).

Pystykuorma aiheuttaa aina vaakasuoran sisäisen kuormavaikutuksen rakenteen sisällä (kuva 7).

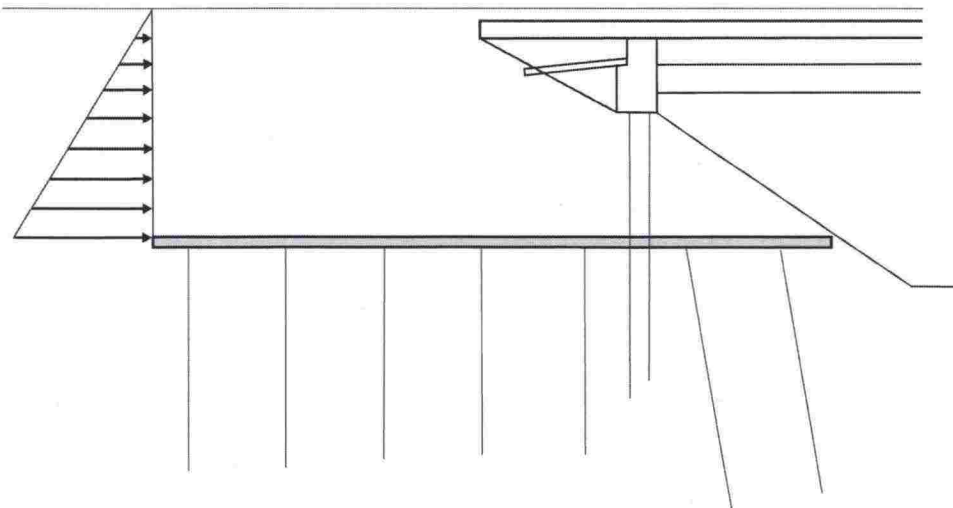
Paalulaatan tai paaluhatturakenteen päällä olevaan penkereeseen maanpaineesta kohdistuva ulkoinen vaakavoima lasketaan lepopaineen avulla. Lepopaineen aiheuttama vaakakuorma  $F_H$  lasketaan keskimääräisenä arvona kaavalla:

$$F_H = K_0 \left( \gamma_m \frac{H^2}{2} + q * H \right) \quad (2)$$

$$K_0 = 1 - \sin \varphi \quad (3)$$

- $F_H$  on vaakakuorma  
 $H$  penkerein korkeus laatan tai paaluhatturakenteen yläpinnasta rakenteen ulkoreunassa  
 $\gamma_m$  penkerein keskim. tilavuuspaino  
 $\varphi$  penkerein keskim. kitkakulma  
 $q$  tien pinnassa vaikuttava pintakuorma 20 kN/m<sup>2</sup>  
 $K_0$  lepopaine kerroin

Penkereeseen kohdistuvien ulkoisten kuormien resultantti siirtyy paalulaatan tai paaluhatturakenteen paaluille kitka ym voimavaikutusten välityksellä.

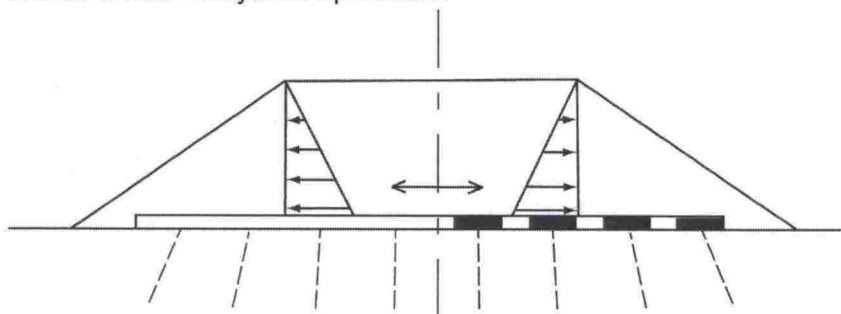


Kuva 6: Paalulaattaan tiepenkereestä kohdistuva ulkoinen kuormavaikutus. Ulkoinen kuormitus on otettava vinopaaluilla.



Pystysuorien kuormien (kuva 7) sisäinen vaakasuora kuormavaikutus laske-  
taan kaavalla (2) kuten ulkoinen vaakakuorma. Maapaineeksi oletetaan le-  
popaine.

Sisäinen vaakasuora kuormavaikutus siirtyy laatalle tai paaluhatturaken-  
teessa hatun välityksellä paaluille.



Kuva 7: Penger materiaalin painosta ja liikenne- ym kuormista aiheutuva vaa-  
kasuora kuormavaikutus.

Tien pituus- tai poikkisuunnan epäsymmetriasta aiheutuva kuormavaikutus-  
ten erilaisuus on otettava huomioon.

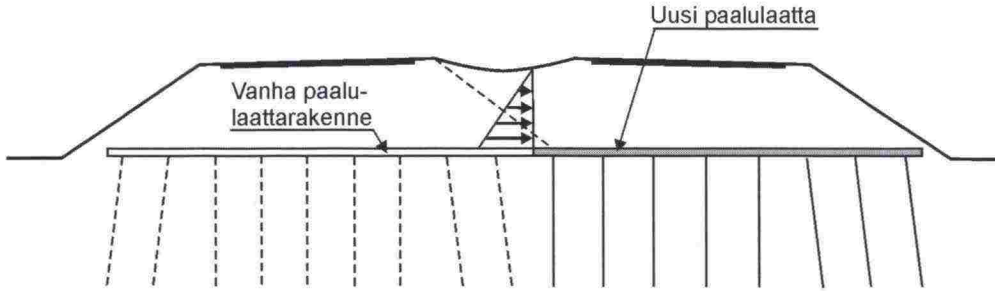
*Ulkoiset vaakakuormat ovat yleensä epäsymmetrisiä (kuva 6).*

*Penkereen poikkileikkaus on hyvin usein symmetrinen ja tästä johtuen myös sisäiset pystykuormista aiheutuvat vaakasuorat kuormavaikutukset ovat tien poikkileikkauksessa symmetrisiä (kuva 7). Kun laatta on kalteva tai pengerkorkeus vaihtelee, syntyy epäsymmetrinen kuormavaikutus.*

*Symmetriset sisäiset kuormavaikutukset viedään yleensä vino-  
paaluille, mutta paalulaatan kyseessä ollen ja tietynlaisten olo-  
suhteiden vallitessa ne voidaan viedä myös pystypaaluille, kts  
kohta 6.7.3.*

Penkereen rakentaminen aiheuttaa aina epäsymmetrisen kuormituksen.  
Pengerrettävän kerroksen paksuus saa olla enintään 1 m, ellei suunnitel-  
massa ole muuta esitetty.

*Epäsymmetrisiä tapauksia syntyy erityisesti korjausrakentami-  
sessa purettaessa ja rakennettaessa vaiheittain. Esim kun van-  
han penkereen reuna-alueesta tehdään uuden penkereen kes-  
kialue, kuormitusresultantin suunta ja suuruus muuttuvat, mikä  
voi vaikuttaa myös vanhan laatan osan rakenteeseen ja paalu-  
jen määrään ja kaltevuuteen (kuva 8).*



Kuva 8: Uuden ajoradan paalulaattaan vanhan ajoradan penkereestä kohdistuva ulkoinen kuormavaikutus. Vanhan laatan reuna-alueen ja tulevan penkeen keskialueen vinopaalujen kapasiteetti on tarkistettava. Tarvittaessa alueelle lisätään pystypaaluja. Myös vanhan laatan rakenteen kestävyys luiska-alueella on tarkistettava.

### 5.3 Paaluihin suoraan vaikuttavat kuormat

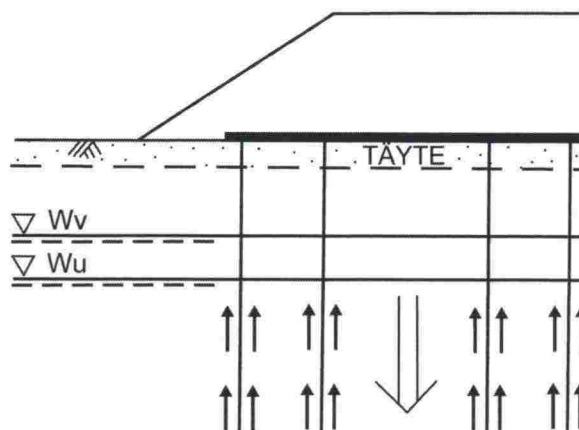
Paalutusalueelle tulevat maarakenteet ja muut rakenteet on suunniteltava niin, että pyritään eliminoidaan pohjamaan siirtymisestä suoraan paaluihin kohdistuvat kuormat.

*Suoraan paaluille tulevat kuormat voivat olla puristusrasituksia (mm negatiivinen vaippahankaus) tai taivutus- ja leikkausrasituksia, joita voi syntyä sekä pysty- että vinopaaluille mm täytöistä ja pohjaveden alentamisesta.*

Mikäli pohjamaan siirtymät vaikuttavat rakenteeseen, on rakenne mitoitettava siirtymistä aiheutuville kuormille niin ettei niistä aiheudu paaluille haitallisia rasituksia.

**Negatiivinen vaippahankaus** (kuva 9) on otettava huomioon paalun kantavuuden mitoituksessa. Negatiivinen vaippahankaus syntyy, kun maa paalun ympärillä painuu enemmän kuin paalu.

*Painuma saattaa aiheutua mm täytemaan painosta ja pohjaveden alenemisesta tai itse paalutustyön vaikutuksesta. Maapohjan painuma aiheuttaa vinoille paaluille lisäksi taivutus- ja leikkausrasituksia, jolloin kuormaa voidaan arvioida kaavan 4 avulla. Pystysuorille paaluille ei yleensä aiheudu vähäistä suurempia taivutus- tai leikkausrasituksia.*



Kuva 9: Paalulaatan alla olevan täyteen aiheuttama maapohjan painuminen aiheuttaa pystypaaluissa negatiivista vaippahankausta. Vinopaaluihin kohdistuu lisäksi merkittävää taivutus- ja leikkausrasitusta.

Negatiivisen vaippahankauksen laskenta tehdään samoilla periaatteilla kuin vaippavastuksen laskenta. Paaluryhmän vaikutus otetaan huomioon Sillan geotekniset suunnitteluperusteissa (TIEH 2100053-07) ja Lyöntipaalu- tusohje LPO-2005:ssä esitetyllä tavalla.

*Negatiivinen vaippahankaus ei vaikuta yhtä aikaa lyhytaikaisen kuormituksen kanssa, mikäli paalun kimmoinen kokoonpuristuma kompensoi vaippahankauksen vaikutuksen.*

Negatiivinen vaippahankaus on otettava huomioon aina paalun rakenteellisessa mitoituksessa vaikuttava kuormana.

Negatiivisen vaippahankauksen vaikutus paalun painumaan on otettava huomioon kuten pysyvä kuorma.

**Taivutus- ja leikkausrasituksia** maasta paaluun aiheuttavaa sivukuormaa voidaan arvioida murtotilaan perustuvilla vakavuus- ja maanpainetarkaste- luilla, joilla saadaan kuorman maksimiarvot. Paalun sivukuorma on suurim- millaan silloin, kun maa leikkautuu paalun ohi. Yksittäisen paalun läpileikkau- tumiskuorma  $p_m$  paalun pituusmetriä kohti pehmeässä savessa voidaan las- kea seuraavasti:

$$p_m = (6 \dots 9) s_u d \quad (4)$$

$s_u$  on maan suljettu leikkauslujuus

$d$  on paalun halkaisija tai sivun pituus

*Sivukuorman suuruutta ennen paalun leikkautumista maan läpi voidaan arvioida kimmoteoriaan perustuvilla alustaluku- ja mo- duulimenetelmillä. Lähtötietoina tarvitaan tällöin maan suhteel- linen siirtymä paaluun nähden ja maan vaakasuora alustaluku tai kimmomoduuli. Sivukuorma ei voi missään tilanteessa ylittää murtotilatarkastelulla saatua arvoa. Menetelmää on käsitelty tarkemmin LPO-2005:n kappaleessa 7.5.8 ja PPO-2007:n kap- paleessa 6.9.4.*



Sivukuorman määrittämisen jälkeen paalu mitoitetaan taivutukselle ja leikkausvoimalle ko. paalumateriaalia koskevien ohjeiden mukaisesti.

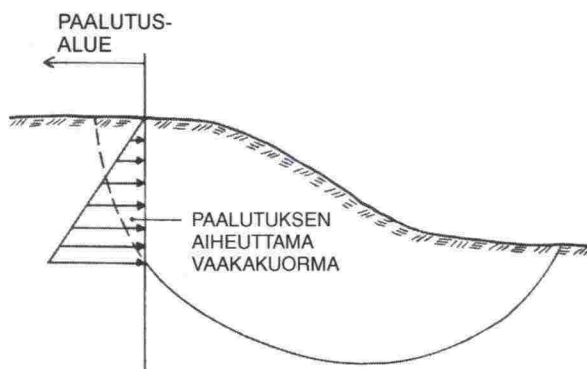
*Toispuoleisen maanpaineen aiheuttama sivukuorma ja maan ja paalun välinen yhteistoiminta voidaan määrittää numeerisiin menetelmiin perustuvilla tietokoneohjelmilla.*

**Paalutustyöstä** paaluille aiheutuvat kuormat on otettava huomioon suunnittelussa. Ensisijaisesti on suunnittelun keinoin pyrittävä eliminoimaan tällaisten kuormien ja siitä paaluille mahdollisesti aiheutuvien siirtymien syntyminen.

*Merkittäviä kuormia voi syntyä erityisesti maata syrjäyttävien paalujen asennuksessa.*

*Paalutuksen aiheuttama vaakasuora kuormavaikutus voidaan ottaa huomioon vakavuuslaskelmissa kuvan 10 mukaan. Paalurintaman eteen sijoitetaan laskelmassa paalutuksesta aiheutuva lisäkuorma, joka voidaan olettaa lepopaineen suuruiseksi. Jos paalutuksen yhteenlaskettu pinta-ala koko alueen pinta-alasta on yli 2 %, lepopaineoletus ei ole riittävä, vaan paalutuksen aiheuttama paine lähestyy passiivipainetta.*

*Paalutus voi aiheuttaa lisäksi huokosveden ylipainetta mutta sen suuruuteen ja purkautumisnopeuteen voidaan vaikuttaa monin eri keinoin.*



Kuva 10: Paalutuksen aiheuttaman vaakasuoran kuormituksen huomioiminen vakavuuslaskennassa

## 6 PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITTELU

### 6.1 Suunnittelun vaatimat lähtötiedot

*Paalutettavalta alueelta tarvitaan lähtötietoina paalutuksen suunnittelua varten mm.:*

- *penkereen korkeus ja leveys sekä pengerluiskien kaltevuudet*
- *maanpinnan korkeusasema*
- *pohjatutkimustulosten perusteella arvioidut lyöntipaalujen tunkeutumistasot*
- *pengerpaalutukseen liittyvien siltojen maatukien sijainti, korkeusasema ja koko*
- *rumpujen, putkijohtojen yms. rakenteiden sijainti, korkeusasema ja koko sekä niiden mahdolliset erilliset ja/tai aikaisemmat pohjanvahvistussuunnitelmat*
- *paalutettavaan alueeseen liittyvät muut pohjanvahvistukset.*

### 6.2 Alueellinen ja paikallinen stabiilitetti

Maapohjan vakavuus on selvitettävä geoteknisen suunnittelun yhteydessä. Vakavuuden parantamiseksi tarvittavat vahvistustoimenpiteet kuuluvat myös geotekniseen suunnitteluun

Maapohjan vakavuus alueellista sortumaa vastaan on paalutusalueella oltava vähintään 1,8 ellei tilaaja erillisen selvityksen perusteella ole määritellyt alhaisempaa varmuuslukua.

*Rinteen luonnontilainen vakavuus selvitetään riittävän laajalla alueella pohja- ja laboratoriotutkimuksia, seurantamittauksia, geoteknisiä laskelmia sekä hyvää geoteknistä asiantuntemusta käyttäen. Luonnontilaisesta vakavuudesta saadaan viitteitä esim. vanhoista sortumista. Jatkotoimenpiteiden laajuus ja laatu riippuvat tapauskohtaisesti luonnontilaisesta varmuudesta.*

Paalujen lyönnistä aiheutuva maan syrjäytyminen lisää kokonaisjännitystilaa ja aiheuttaa huokosylipainetta paalun ympäristössä. Tämä on otettava huomioon vakavuutta laskiessa (kts myös kohta 5.3 ja kuva 10).

Paalutetun penkereen ulkopuolelle jäävän penkereen osan (esim luiskan alaosan) vakavuutta mitoitettaessa kokonaisvarmuusluvun liukusortumaa vastaan tulee olla vähintään 1,8.

## 6.3 Paalutetun rakenteen suunnittelun perusteet

### 6.3.1 Rakenteen mitoitus kuormille ja kuormavaikutuksille

Paalulaatta- ja paaluhatturakenteen mitoituksessa on otettava huomioon kaikki siihen kohdistuvat kuormat ja kuormavaikutukset luvun 5 mukaisesti.

Toispuoleisesti kuormitetun paalulaatan kokonaisstabiilitetti on aina tarkastettava sekä laatan pituus- että poikkisuunnassa. Kriittisiä suunnitteluasioita ovat mm. laatan jäykkyys ja laatalle tulevan pystykuorman ja maanpaineen suhde sekä vino- ja pystypaalujen sijoittelu. Vinopaalujen tarve on laskettava riittäväksi kumoamaan ulkoisten kuormien sekä pystykuormien aiheuttamat sisäiset vaakavoimat.

*Mikäli laatta rajoittuu sillan maatukeen, on mahdollista siirtää laattaan kohdistuvia ulkoisia kuormia edelleen sillan peruslaatalle.*

*Epäsymmetrisiä kuormitustapauksia on käsitelty kohdassa 5.2.3.*

Paalutus on suunniteltava niin, että paaluihin ei kohdistu maapohjan vaakasiirtymistä aiheutuvia haitallisia kuormia.

### 6.3.2 Rakenteen laajuuden, korkeustason, kaltevuuden ja pengerkorkeuden suunnittelu

#### Rakenteen laajuus

Rakenteen laajuus tien pituussuunnassa määritetään teknistaloudellisen selvityksen perustella.

Rakenne rajautuu usein siltaan. Suunnittelussa on selvitettävä, miten rakenne liitetään siltaan. Lisäksi on selvitettävä, miten keilat ja etuluiskat perustetaan.

Rakenteen liittyessä pohjanvahvistukseen on se yleensä suunniteltava niin, että laatan päätyreuna on kohtisuoraan tien poikkisuunnassa.

Rakenteen laajuus tien sivusuunnassa suunnitellaan niin, että sen avulla voidaan ottaa kaikki liikennekuormat ja pengerkuormat. Sivuluiskan alaosa voidaan suunnitella maanvaraiseksi. Rakenne on rajattava niin, että maanvaraisen osan kuormitus ei painumisen, riittämättömän vakavuuden tai muun syyn takia vahingoita rakennetta.

#### Korkeustaso ja kaltevuuden suunnittelu

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen korkeustaso määritetään ensisijaisesti siten, että taso mukaillee olemassa olevaa tai leikattavaa maanpintaa. Laatan tai paaluhattujen alle tai penkereen sivuille ei yleensä voida suunnitella täyttööä työpetiä tai vähäisiä routasuojauksia lukuunottamatta.



*Paalulaatan tai paaluhattujen alle suunniteltava täyttö on yleensä mahdollista vain kun maapohja on sitkeää, ylikonsolidoitunutta savea.*

Kuivakuori tulee mahdollisuuksien mukaan säilyttää.

Paalulaatan kaltevuuden suurin arvo käytännössä on 1:4...1:6.

Paalulaatan yläpinnalle kertyvä vesi on johdettava laatan ulkopuolelle kallis-  
tamalla laattaa tai tekemällä laataan reikiä riittävän tiheällä välillä. Mikäli  
käytetään kallistusta tulee sen olla enemmän kuin 1 : 50.

Paaluhattu on aina asennettava vaakasuoraan ja viereiset paaluhatut pää-  
sääntöisesti samalle korkeustasolle.

*Paaluhatturakenne voidaan osalla paalutettavaa aluetta rakentaa luiskatulle maapohjalle, jos se on tarpeen esimerkiksi paaluhatturakenteen liittämiseksi toiseen rakenteeseen eikä toimenpiteellä vaaranneta paaluhatturakenteen vakavuutta ja teknistä toimivuutta. Paaluhatturakenteen kaltevuuden enimmäisarvo on 1:6 ja se lasketaan viereisten paaluhattujen alapintojen keskipisteiden kautta kulkevan suoran kaltevuutena.*

Erityisesti paaluhatturakenteen suunnittelussa on huomioitava paalutuksesta  
johtuva maanpinnan nousu sekä sen jälkeinen painuma. Paalutuksen aiheuttaman  
huokosylipaineen purkautuminen kestää savimaassa 3..6 kk.

Painuma-arvioissa on lisäksi huomioitava paalutustyöalustan ym täyttöjen  
painosta sekä mahdollisesta pohjaveden pinnan alenemisestä aiheutuva  
painuma. Maapohjan painuman pienentämiseksi on tarvittaessa harkittava  
työalustan osittaista tai täydellistä poistoa ennen hattujen asentamista.

### **Penkereen korkeus**

Penkereen minimikorkeus paalulaattaa käytettäessä on 1.5 m. Poikkeuksena  
on yhden tason raudoituksella varustetulla sienilaatta, kun sitä käytetään  
moottoritien liikennealueella. Tällöin minimikorkeus on 1.8 m.

Alle 1,5 m pengerkorkeuksilla laatta on aina suunniteltava siltarakenteena.  
Tällöin laatan suunnittelussa on huomioitava myös vesieristys ja betonin  
pakkasenkestävyys.

Penkereen korkeus on paaluhattuja käytettäessä paaluhatun yläpinnan ja  
tienpinnan välinen ero.

Penkereen korkeuden on oltava vähintään kolminkertainen hattujen rakovä-  
liin nähden kuitenkin aina vähintään 1,5 m ja moottoritillä aina vähintään  
1,8 m.

*Penkereen maksimikorkeus määräytyy teknistaloudellisten vertailujen perusteella.*

### 6.3.3 Penkereen osat

#### Kuormaa jakava kerros ja suojakerros

**Paalulaattarakenteessa** penkereen osiin kuuluvat suojakerros, pengertäyte ja ylinnä päällysrakennekerrokset.

Paalulaattarakenteessa suojakerroksen vahvuuden tulee olla vähintään 300 mm. Suojakerros tehdään sorasta tai murskeesta maksimiraekoko 50 ... 150 mm.

**Paaluhatturakenteessa** penkereen osiin kuuluvat kuormaa jakava kerros, pengertäyte ja ylinnä päällysrakennekerrokset (kuva 11). Kuormaa jakavan kerroksen alinta osaa kutsutaan suojakerrokseksi.

Kuormaa jakavan kerroksen vähimmäisvahvuus on rakoväli kerrottuna kahdella, kuitenkin vähintään 1 m. Tämän kerroksen yläpuolelle voidaan sijoittaa varsinaisia pengermateriaaleja. Mikäli suojakerros toimii päällysrakenteen osana, on sen materiaalin täytettävä myös päällysrakennemateriaalille asetetut vaatimukset.

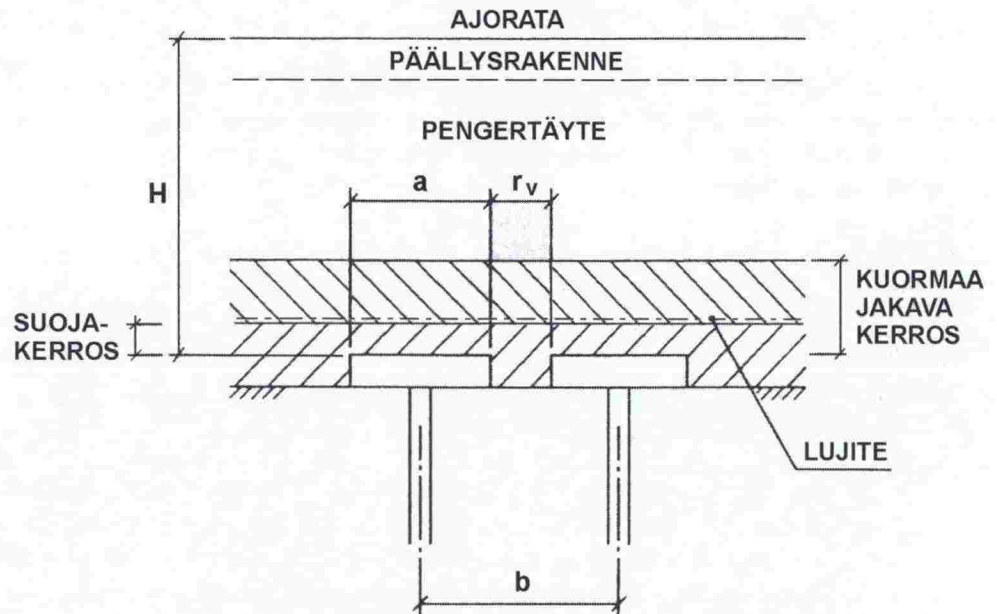
Paaluhatturakenteessa on suoraan hattujen päälle ja väliin sijoitettava 300 mm suojakerros, joka tehdään sorasta tai murskeesta maksimiraekoko 50 ... 150 mm. Suojakerroksen paksuus mitataan paaluhattun yläpinnasta.

Suojakerroksen päälle rakennetaan kuormaa jakavan kerroksen yläosa, jonka materiaali on hyvän kitkakulman omaavaa kalliomursketta, jonka maksimiraekoko on 150-200 mm.

Puupaaluja käytettäessä on paaluhattujen alle ja väleihin käytettävän materiaalin oltava vettä pidättävää.

Paaluhatturakenteessa pengerkorkeuden ollessa alle 3,5 m on suojakerroksen päälle sijoitettava lujite, joka estää kuormaa jakavan kerroksen yläosan ja pengertäytteen valumisen maapohjan painuessa (kts. 6.3.5). Kuvassa 11 on esitetty periaatekuva lujitteen sijainnista suojakerroksen yläosassa.





Kuva 11: Penkereen osat. Kuvassa on esitetty matalan (alle 3,5 m) penkereen rakenne. Lujitteen tarkoituksena on estää täyttömateriaalin valumista rakoon dynaamisten kuormien vaikuttaessa. Penkereen korkeuden ollessa vähintään 3,5 m lujite voidaan jättää pois.

### Pengertäyte

Paaluhatturakenteen yhteydessä pengermateriaalina kuormaa jakavan kerroksen yläpuolella on käytettävä karkearakeisia materiaaleja, kuten louhetta, mursketta, soraa, hiekkaa, sora- tai hiekkamoreenia.

*Paalulaattarakenteissa on suojakerroksen yläpuolella mahdollista käyttää myös hienorakeisia maalajeja.*

*Pengertäytteen kitkakulma vaikuttaa maanpaineesta aiheutuvan vaakasuoran kuormavaikutuksen suuruuteen.*

### 6.3.4 Luiskan suunnittelu ja vierustäytöt

Pengerrakennetta tukevan luiskan alaosan ja rakenteen reuna-alueiden suunnittelulla määritetään vahvistamattoman pengerosan laajuus ja korkeus. Suunnittelun lähtökohtana tulee olla, että luiskan alaosan lisäksi ei muita luiska- ja vierustäyttöjä rakenneta.

Luiskan alaosan maanvaraisesta täytöstä tai muusta vierustäytöstä rakenteelle tulevat kuormat tulee ottaa huomioon. Paalut on mitoitettava täyttöjen mahdollisesti aiheuttamille taivutus- ja leikkausrasituksille.

*Laattarakennetta käytettäessä voidaan eräissä tapauksissa käyttää pelkkiä pystypaaluja. On myös mahdollista sijoittaa vinopaalut keskeemmälle laattaa, jolloin vierustäyttö ei aiheuta paaluille merkittäviä taivutus- tai leikkausrasituksia.*

### 6.3.5 Lujitteiden käyttö

Alle 3,5 m pengerkorkeudella paaluhatturakenteeseen on sijoitettava lujitekangas tai verkko suojakerroksen yläosaan estämään kuormaa jakavan kerroksen yläosan valuminen mahdollisesta maapohjan painumasta syntyvään paaluhattujen väliseen rakoon (kohta 6.3.3). Lujite on mitoitettava siten, että lujitteen maksimipainuma rakovälin keskellä on alle 100 mm. Mitoituksessa oletetaan raon olevan tyhjä maapohjan painumasta johtuen. Suunnittelun tulee vastata lujitteen todellista käyttäytymistä rakenteessa.

Lujitteiden käyttö muuhun tarkoitukseen kuin kappaleessa 6.3.3 esitettyyn rakovälin peittämiseen on paaluhatturakenteen yhteydessä kussakin tapauksessa erikseen hyväksyttävä rakennuttajalla.

*Pengerpaalutukseen liittyvien lujitteiden mitoitustapoja ovat esitelleet mm. John 1987 ja Jones, Lawson & Ayres 1990. Lujitteisiin vaikuttavien pystykuormien laskentatapoja on esitetty myös julkaisuissa "Tiepenkereen holvautumistutkimus, teoreettinen osa. Tiehallitus 1990" ja "Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. Tielaitoksen tutkimuksia 4/1992". Paalutetun penkereen geovahvisteiden mitoitustapoja ja laskentamenetelmiä on esitetty julkaisuissa Synteettiset geovahvisteet, Suunnittelu ja rakentaminen. Rakennustieto Oy Helsinki 1998 ja Nordic guidelines for reinforced soils and fills. Nordic Geosyntetic Group. May 2003.*

### 6.3.6 Routasuojaus

Routamitoitus tapahtuu kerran 20 vuodessa toistuvan pakkasmäärän mukaan Pohjarakennusohjeet RIL 121-2004 kohdan 3.3 kuvan 4d mukaan.

Mitoitussyvyys määritellään syvyytenä tien pinnasta leikkauspohjaan ja puupaaluilla paaluhattujen yläpintaan.

Mitoitus tehdään ilman lumen suojaavaa vaikutusta. Näin menetellään myös pengerluiskissa.

*Routimisen kannalta kriittisin kohta sijaitsee yleensä penkereen alaluiskassa, jossa paalurakenteen päällä olevan pengertäytteen korkeus on pienimmillään. Tarvittaessa luiskan alaosaan sijoitetaan lämpöeriste tai kevyt humusmaatäyttö.*

### 6.3.7 Paalutetun penkereen leventäminen ja purku

Kun käytössä olevaa paaluperustusta levennetään, on suoritettava teknistaloudellinen vertailu, jossa on mukana myös rakennettavaan osaan välittömästi liittyvä aikaisemmin rakennettu paaluperustuksen osa.

*Teknistaloudellisen vertailun avulla selvitetään, miten uusi rakenne liitetään olemassa olevaan rakenteeseen ja onko olemassa olevan paaluperustuksen rakenne ja kunto huomioonotetaan tarkoituksenmukaista korvata se joko osittain tai kokonaan uudella rakenteella.*



Paaluhatturakenteelle tai paalulaatalle perustetun penkereen purkamisesta on laadittava suunnitelma. Penger on tarvittaessa purettava vaiheittain. Paikoilleen jäävä penger on myös tarvittaessa tuettava maanpaineista aiheutuvien vaakavoimien hallitsemiseksi.

*Paaluhatturakenne on altis progressiiviselle sortumalle.*

*Yleensä vain paalulaatan leventäminen on mahdollista. Vanhan pengerluiskan kohdalla olevat vinopaalut joudutaan tällöin levennyksen määrästä riippuen joko osittain tai kokonaan korvaamaan pystypaaluilla. Levennettävällä alueella on suositeltavaa käyttää paaluhatturakenteen sijasta paalulaattaa.*

## **6.4 Paaluhatturakenteen koon ja rakovälin mitoitus paaluhatturakenteessa**

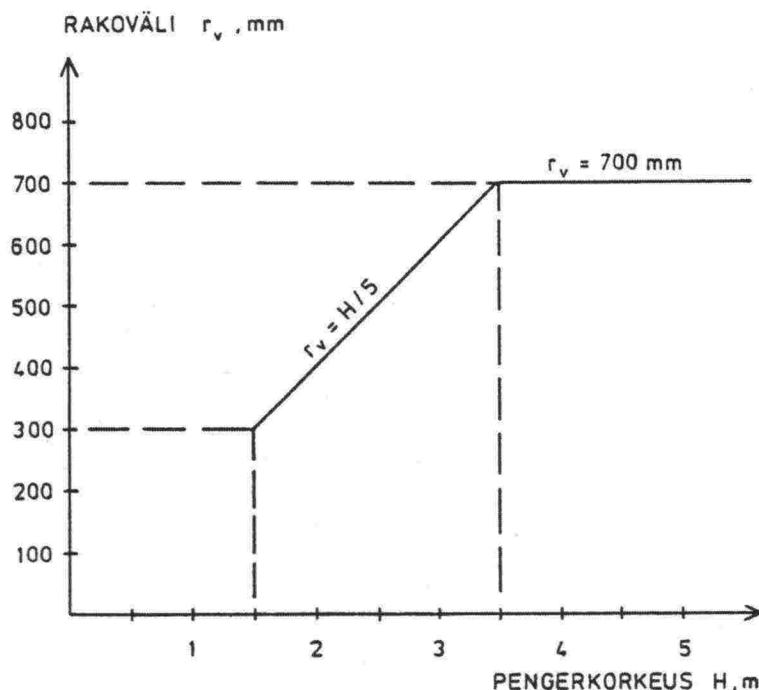
### **6.4.1 Rakovälin mitoitus**

Rakovälillä tarkoitetaan vierekkäisten hattujen reunojen suurinta väliä. Hattujen peitto-osuudella tarkoitetaan hattujen yhteenlasketun pinta-alan suhdetta koko paalutettavan alueen pinta-alaan.

Paaluhatturakenteen rakoväli mitoitetaan pengerkorkeuteen perustuen kuvan 12 avulla. Kuvasta saadaan paaluhattujen rakoväli. Rakoväliä on tarvittaessa pienennettävä hattukokoa suurentamalla niin, että hattujen peitto-osuus on vähintään 0,4.

*Suojakerroksen ja kuormaa jakava kerroksen käytöstä on erilliset ohjeet kohdassa 6.3.3 Penkereen osat. Lujitteen käytöstä estämään pengermateriaalin valumista rakoväliin alle 3,5 m pengerkorkeudella on ohjeet kohdassa 6.3.5.*

*Pienin käytännöllinen rakoväli on 300 mm käytettäessä kohdassa 6.7.5 esitetyjä paalun sijaintipoikkeamia.*



Kuva 12: Paaluhatturakenteessa käytettävä maksimirakoväli, betonipaalut.

#### 6.4.2 Paaluvälin mitoitus ja paaluhatun koon valinta

Paaluväli mitoitetaan laskennallisten kuormien ja paalun kantokyvyn mukaan. Tuloksena saadaan paalujen k/k -väli.

Paalun rakenteellista kantavuutta alentavat paaluihin kohdistuvat taivutus- ja leikkausjännitykset ja maaperäolosuhteet (nurjahdus) on tarpeen mukaan otettava mitoituksessa huomioon.

Paaluvälin mitoituksessa otetaan huomioon penger- ja liikennekuorman (kohta 5.2) lisäksi suoraan paaluun kohdistuvista kuormista (kohta 5.3) paaluille siirtyvät kuormat kuten negatiivinen vaippahankaus. Paaluväli  $b$  voidaan tällöin laskea yhtälöistä 5 ja 6:

$$P = \sigma_{\text{sall}} d^2 \quad (5)$$

$$P = b^2 (\gamma h + q) \text{ tai } b^2 \gamma h + P_{\text{neg}} \quad (6)$$

$P$	on paalukuorma, kN
$\sigma_{\text{sall}}$	paalulle sallittu geotekninen kantavuus, kPa
$d$	paalukoko (sivumitta), m
$b$	paaluväli, m
$\gamma$	penkereen keskimääräinen tilavuuspaino, kN/m <sup>3</sup>
$h$	pengerkorkeus hatun alapinnasta, m
$q$	liikennekuorma, kPa ( ks kuva 6)
$P_{\text{neg}}$	negatiivinen vaippahankauskuorma paalua kohti, kN, kts 4.3.2

Rakovälin ja paaluvälin mitoituksen jälkeen valitaan hattukoko huomioonottaen hattujen peitto-osuudelle asetettu vaatimus (6.4.1). Suurin käytettävä hattukoko on 2,0 x 2,0 m<sup>2</sup>.

*Hatulle määritellystä maksimikoosta johtuen matalissa penke-reissä paalujen koko kapasiteettia ei aina voida käyttää kokonaan hyväksi. Tämä koskee erityisesti betonipaaluja.*

### **6.4.3 Rakovälin mitoitus, kun käytetään yhteen valettuja paaluhattuja**

*Kuvasta 12 saatua rakoväliä voidaan kasvattaa 0,3 metrillä, kun käytetään yhteenvalettua paaluhatturakennetta. Rakovälin lisäys voidaan hyödyntää joko pienentämällä paaluhattukokoa tai kasvattamalla paaluväliä mikäli paalujen kantavuus sen sallii.*

Yhteenvalettavien paaluhattujen rakenteellisen mitoituksen tulee aina vastata paalulle tulevia kuormia.

Yhteenvalettavien paaluhattujen raudoitus viedään rakovälin yli käyttäen hattun reunaosan teräsjakoa ja –kokoa.

Rakoväli valetaan samat materiaalivaatimukset täyttävällä betonilla kuin hattuosaa. Rakenteen paksuuden rakovälissä tulee olla vähintään 130 mm, mutta ei kuitenkaan yli puolta hattuosan paksuudesta. Hattujen ja rakovälien väli tulee suorittaa samalla kertaa. Rakovälin betonoinnin tarkoituksena on estää pengermateriaalin valuminen hattujen väliin.

Yhteenvaletun paaluhatturakenteen käyttörajoitukset eivät poikkea normaalin paaluhatturakenteen käyttörajoituksista, jotka on lueteltu kohdassa 3.5.

Kuormaa jakava kerros on toteutettava normaalisti kappaleen 6.3.3 mukaisesti mutta kuitenkin niin ettei kohdassa esitettyä lujitetta ei tarvitse tehdä.

## **6.5 Paalulaatan rakenteellinen mitoitus**

### **6.5.1 Yleistä**

Paalulaatta mitoitetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman B4 mukaan ottaen huomioon niitä täydentävät Tiehallinnon sillansuunnittelua koskevat lisäohjeet sekä seuraavissa kappaleissa esitetyt täsmennykset ja vaatimukset. Merkinnät on esitetty rakentamismääräyskokoelman osassa RakMK B4.

Pystysuoran kuorman aiheuttama vaakasuora kuormavaikutus aiheuttaa paalulaattaan vetoa, joka otetaan täysimääräisesti huomioon laatan raudoituksessa (kts kohta 6.7.3).

Paalun upotussyvyys laattaan tulee olla vähintään 50 mm.



### 6.5.2 Läpileikkautuminen

Lävistysvoimana käytetään paalun tukireaktiota vähennettynä lävistyskartion alueelle jäävällä osuudella kuormasta eli

$$V_d = R_d - \Delta V_d \quad (7)$$

$$\Delta V_d = q_d (a + 2d)^2 \quad (8)$$

$R_d$  on tukireaktio  
 $a$  paalun sivumitta  
 $d$  laatan tehollinen paksuus lävistyksessä

Laatan lävistyskapasiteetti tarkistetaan murtotilassa kaavalla

$$V_c = k \beta (1 + 50 \rho) u d f_{ctd} \quad (9)$$

$$k = 1,6 - d \text{ (m)} \geq 0,8$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x * \rho_y} \leq 8 \text{ ‰}$$

$$\beta = 0,40$$

$$u = 4 (a + d)$$

Leikkausraudoitetun laatan lävistyskapasiteetti lasketaan vastaavasti kaavoista

$$(0,25 V_c + V_s) \leq 2 V_c \quad (10)$$

$$V_s = A_{sv} f_{yd} \sin \alpha$$

$$f_{yd} \leq 300 \text{ N/mm}^2$$

Laatan paksuudeksi oletetaan paalun pään yläpuolelle jäävä paksuus.

### 6.5.3 Taivutus

Laatan taivutustarkastelu suoritetaan murtorajatilamitoituksena, jossa mitoituskormana on

$$q_d = 1,2 \Sigma g_i + 1,8 q_{lk1} \quad (11)$$

$$\text{tai } q_d = 1,2 \Sigma g_i + 1,4 q_{ek1}$$

$$\text{tai } q_d = 1,35 \Sigma g_i$$

Tarkasteltaessa sienilaattaa taivutukselle oletetaan laatan tehollisen poikkeileikkauksen muuttuvan enintään 1:3 viisteellä, kuitenkin niin, että korkeus on enintään sienien todellinen korkeus paalun kohdalla vähennettynä paalun upotussyvyydellä. Laatan voimasuureita laskettaessa käytetään laatan todellisten paksuuksien mukaisia jäykkyyksiä olettaen betoni halkeilemattomaksi.

#### 6.5.4 Halkeilu

Halkeilu otetaan mitoituksessa huomioon ohjeen Betonirakenneohjeet 2006, TIEH 2100037-v-06 ja ohjeen Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet, TIEH 2100003-01, jonka uudistaminen on käynnissä, mukaisesti.

#### 6.5.5 Säilyvyys

Paalulaatan ja paaluhattujen sekä teräsbetonipaalujen ja teräspaalujen kemiallinen rasitus otetaan huomioon ohjeen Sillan geotekniset suunnittelupeusteet, TIEH 2100053-07, mukaisesti. Betonin osalta käytetään lisäksi erilaisiin ympäristöolosuhteisiin soveltuvia rasitusluokkia ohjeen Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet (TIEH 2100003) mukaisesti. Myöhemmin ohjeet siirretään Tiehallinnon Betonirakenneohjeisiin (TIEH 2100037).

Ohjeiden vaatimukset on kirjoitettu vain paalulaattaa varten mutta niitä sovelletaan myös paaluhatuille.

Tiesuolarasitetut paalulaatat suunnitellaan em ohjeiden mukaan rasitusluokkaryhmän R4 mukaisesti, kun ajorataosalla rakenteen päällä oleva suojakerros on vähintään 1,5 m. Paalulaatta suunnitellaan koko leveydeltään samaan rasitusluokkaryhmään.

Paalut suunnitellaan rasitusluokkaryhmään R4. Rasitusluokka karbonatisoitumista vastaan on XC2, jonka mukaan RT:n julkaiseman tuotelehden "Teräsbetoninen lyöntipaalu" tyyppipaalut on suunniteltu. Ankarammissa olosuhteissa mm sulfidisavialueilla rasitusluokka valitaan em ohjeiden mukaisesti.

### 6.6 Työalusta ja valualusta

Suunnitelmassa on esitettävä yleiset periaatteet suunnitelman työtekniiselle toteuttamiselle työ- ja valualustan osalta.

*Erittäin heikosti kantavilla maapohjilla valun toteuttamiseen liittyvät reunaehdot voivat vaikuttaa paalulaattatyypin valintaan.*

Paaluhatturakenteen työalustan rakenteesta ja mahdollisesta poistosta paalujen asennuksen jälkeen on suunnitelmassa annettava ohjeet, jotta vältettäisiin yli 100 mm jälkipainuma.

Valualustan painuma ei saa betonin sitoutumisaikana ylittää 5 mm.

*Työalustan tarvittava paksuus ja materiaalivaatimukset voidaan tarvittaessa määrittää lävistysmurtumalaskelmien avulla esimerkiksi elementtimenetelmään perustuvilla ohjelmilla.*

*Kantavuuskaavoilla voidaan tehdä alustavia tarkasteluja työalustan tarpeesta*

*Betonimenekkiä voidaan vähentää käyttämällä murskepohjaisessa valualustassa suodatinkangasta.*

Puupaaluja käytettäessä ei paaluhatun yläpinnan alapuolella saa käyttää soraa tai mursketta paalujen lahoamisvaaran takia.

## 6.7 Paaluperustuksen suunnittelu

### 6.7.1 Paalutyypin valinta

#### Paalutyypien käyttökohteista

Paalutyyppi valitaan teknisten ja taloudellisten näkökohtien perusteella ympäristönäkökohdat huomioonottaen.

*Paaluina käytetään yleensä teräsbetonisia lyöntipaaluja ja ne asennetaan tukipaaluina.*

*Teräspaalut soveltuvat käytettäväksi vaikeissa pohjasuhteissa, kun teräsbetonipaalujen tunkeutuminen tavoitetasoon ei onnistu tai paalut helposti rikkoutuvat tai paalujen sijaintipoikkeamia ei pystytä hallitsemaan. Paaluhatturakenne ei sovellu kuvattuihin olosuhteisiin.*

*Teräspaalujen syrjäyttämän maan tilavuus on pieni ja sen takia ne soveltuvat käytettäväksi myös olosuhteissa, joissa on tarvetta minimoida maapohjan häiriintymistä ja siirtymiä sekä tärinää (kohta 6.7.6).*

*Hyvin vinojen kallionpintojen alueella suositellaan käytettäväksi porapaaluratkaisua.*

*Voimajohtolinjojen alla tai korkeudeltaan rajoitetuissa olosuhteissa voi olla välttämätöntä käyttää lyhyitä paaluelementtejä.*

*Kitkapaaluja kannattaa yleensä käyttää vain silloin, kun kitka-  
maakerrokset ovat paksuja.*

Laattarakennetta ei saa perustaa puupaalujen varaan. Paaluhatturakenteen voi perustaa puupaalujen varaan vain, mikäli kysymyksessä on korjausrakentaminen.

Kun laatan perustamiseen käytetään erilaisia paaluja, on paalujen keskinäinen sekä paalujen ja laatan välinen yhteistoiminta varmistettava.



## Paalumateriaalin valinta huomioonottaen paalun säilyvyys

Paalumateriaali tulee valita siten, että paalu säilyttää vaaditut ominaisuudet paalulaatta- ja paaluhatturakenteelta edellytettävän elinajan.

Pysyvissä rakenteissa puupaalujen yläpäiden tason on oltava vähintään 0,5 m alimman pohjaveden pinnan alapuolella.

*Säilyvyyden vaatimukset on esitetty kohdassa 6.5.5.*

## 6.7.2 Paalukoon valinta ja paalun materiaalivaatimukset

*Teräsbetonipaalun tavallisin paalukoko on paalulaatoilla 300 x 300 mm<sup>2</sup> (350 x 350 mm<sup>2</sup>) ja paaluhatturakenteessa 250 x 250 mm<sup>2</sup>.*

*Teräsbetonipaalun ja sen varusteiden materiaalivaatimukset on annettu tämän ohjeen luvussa 4 ja InfraRYL 2006:n laatuvaatimuksissa.*

Jos on odotettavissa, että teräsbetonipaalun kärki tukeutuu kallionpintaan tai lohkareiseen pohjamaakerrokseen ja että liukumisvaara on olemassa, paalut on varustettava kalliokärjellä.

*Paalu voidaan varustaa kalliokärjellä myös muulloin. Tunkeutuvuuden parantaminen voi olla tarpeellista, jotta paalujen ehjänä pysyminen voidaan varmistaa.*

*Pieniläpimittaisen (halkaisijaltaan alle 300 mm) lyötävän teräspaalun ja sen varusteiden materiaalivaatimukset määritetään soveltaen lyöntipaalutusohjeita (LPO-2005) ja pienpaalutusohjetta (PPO-2007) sekä porapaalutusohjetta (TIEH 2000002-01).*

*Suuriläpimittaisen paalun ja sen varusteiden materiaalivaatimukset määritetään soveltaen ohjetta suurpaalutusohjetta (SPO-2001) ja porapaalutusohjetta (TIEH 2000002-01).*

## 6.7.3 Paalujen sijainnin ja kaltevuuden suunnittelu

Paalut suunnitellaan sekä paalulaatta- että paaluhatturakenteessa normaalisti tasavälein säännölliseen ruudukkoon ottaen huomioon mitä luvussa 5 on sanottu liikenne- ja pengerkuormien vaikutusalueista.

*Luiskissa, jossa kuorma on pienempi kuin varsinaisen ajoradan kohdalla, voidaan käyttää harvempaa paaluväliä. Keiloissa tai muissa vastaavissa pienialaisissa paikoissa voidaan käyttää myös epäsäännöllistä paaluväliä. Ryhmittelyllä voidaan vähentää erikoispaalujen tarvetta esimerkiksi, kun kallionpinta on pie-nehköllä alueella vino.*

Ulkoiset vaakasuorat kuormat on siirrettävä aina vinopaaluilla kantavaan kerrokseen. Erityistapauksessa kuormat voidaan siirtää esimerkiksi sillan rakenteiden kautta maaperään.

Paalujen mitoituksessa on otettava huomioon maakerrosten muodonmuutoksista ja painumista vinopaaluihin aiheutuvat lisärasitukset.

Sekä paalulaatta- että paaluhatturakenteen osalta on laskelmin osoitettava vaakasuorien kuormavaikutusten hallinta penkereen kaikissa leikkauksissa.

Pystysuorat kuormat aiheuttavat aina sisäisiä vaakasuoria kuormavaikutuksia (kohta 5.2.3). Paaluhattuja käytettäessä vaakasuorien vetojännitysten syntyminen penkereeseen ja maapohjaan on estettävä viemällä kuormavaikutukset vinopaaluille.

Paalulaatan poikkileikkauksessa voidaan käyttää pelkkiä pystypaaluja, jos rakenne on symmetrinen eikä vaakasuoria ulkoisia kuormia esiinny sekä lisäksi maapohja on riittävän jäykkä. Koska rakenne voi tällöin kuitenkin olla epästabiili mm paalujen samansuuntaisista kaltevuuspoikkeamista johtuen, on käytettävä tien poikkisuuntaan vinoja paaluja, jos maan leikkauslujuus on alle 15 kPa tai maapohjassa on pinnassa turvetta yli 1 metrin paksuinen kerros. Laskennallisena vaakakuormana käytetään tällöin pystykuorman vaakasuuntaista kuormavaikutusta ja se lasketaan kaavan (2) avulla. Vinopaalujen suunta saadaan taulukon 1 avulla. Jos maa on em jäykempää ja turvekerros on alle 1 m, voidaan olettaa marginaalisten vaakakuormien siirtyvän maapohjaan paalujen sivuvastuksen ja laatan pääty/reunavastuksen välityksellä ilman rakenteelle aiheutuvia vaurioita.

**Paaluhatturakenteessa** Vinopaalujen määrä on tarkistettava laskelmilla luvussa 5 esitettyjen kuormaolettamusten pohjalta.

*Paaluhatturakenteessa vinopaalun kaltevuusluku  $m$  voidaan likimääräisesti laskea kaavan 12 avulla:*

$$m = n / K \quad (12)$$

$m$  on vinopaalun kaltevuusluku (esim.  $m=8 \Rightarrow$  paalun kaltevuus= 8:1)

$n$  on luiskakaltevuusluku (esim.  $n=3 \Rightarrow$  luiskakaltevuus= 1:3)

$K$  on maanpaineluku (lasketaan kaavan (3) avulla)

*Vinopaaluja sijoitetaan lähinnä luiskan osalle.*

*Taulukossa 1 on esitetty lepopaineen ja aktiivipaineen avulla kaavalla 12 lasketut vinopaalujen kaltevuusluvut eri pengermateriaaleilla ja luiskakaltevuuksilla. Pengermateriaalien otaksutaan olevan tiiviissä tilassa.*

*Käytännössä taulukkoa 1 voidaan soveltaa siten, että valitaan vaihtelualueen puolesta välissä sijaitseva lähin kokonaislukuarvo lähtien kuitenkin pienimmästä kaltevuusluvun  $m$  arvosta 4.5. Käytettäviä kaltevuuksia voivat siten olla 4.5, 5, 6, 7, 8 jne.*

*Taulukko 1: Vinopaalujen kaltevuusluku (m) eri pengermateriaaleilla ja penkeroon luiskakaltevuuksilla. Maanpaine on laskettu lepopaineena kaavan 12 avulla.*

Penger- materiaali	Pengertäyt- teen kitka- kulma	Vinopaalun kaltevuusluku m			
		Luiskan kal- tevuus n = 1.5	Luiskan kal- tevuus n = 2	Luiskan kal- tevuus n = 3	Luiskan kal- tevuus n = 4
Hiekka $d_{10} \leq 0.06$	34°	3.4	4.5	6.8	9.1
Hiekka $d_{10} > 0.06$	36°	3.6	4.8	7.3	9.7
Sora	38°	3.9	5.2	7.8	10
Moreeni	40°	4.2	5.6	8.4	11
Murske	42°	4.5	6.0	9.1	12
Louhe	45°	5.1	6.8	10	14

#### 6.7.4 Paalutusluokan määrittäminen ja paalun kantavuus

Paalujen paalutustyöt jaetaan lyöntipaalutusohjeen (LPO - 2005) tai pienpaalutusohjeen (PPO - 2007) mukaisesti paalutusluokkiin.

- Paalulaatta ja paaluhatturakenne teräsbetonipaaluin tai teräspaaluin suunnitellaan paalutusluokkiin I B tai II.
- Paaluhatturakenne puupaaluin suunnitellaan paalutusluokkaan III.

#### Geotekninen kantavuus

Paalujen geotekninen kantavuus, kun niitä käytetään tukipaaluina, määritetään paalutusluokan mukaisesti seuraavasti:

- teräsbetonipaaluilla paalutusluokassa IB enintään 9 MPa ja paalutusluokassa II enintään 7 MPa.
- pieniläpimittaisten teräspaalujen kantavuus määritetään suunnitelmasa pienpaalutusohjeen (PPO-2007) kohdan 6.9.2 periaatteita noudattaen.
- puupaaluilla paalutusluokassa III enintään 5 MPa.

Suuriläpimittaisten paalujen suunnittelussa noudatetaan ohjetta suurpaalutusohjetta (SPO-2001).

Porapaalujen (lukuunottamatta pieniläpimittaisia porapaaluja) kantavuus määritetään Porapaalutusohjeen TIEH 2000002-01 mukaan.

Suunnitelmassa tulee aina esittää paalujen upotussyvyyden tavoitetaso.

Negatiivisen vaippahankauksen vaikutus geotekniseen kantavuuteen tarkistetaan silloin, kun negatiivista vaippahankausta kehittyä.



Paalutuksen suunnittelussa on huomioitava paalutuksesta johtuva maanpinnan nousu sekä sen jälkeinen painuma

### Paalun rakenteellinen kantavuus

Käytetään luvun 4 mukaisia materiaaleja ja varusteita.

Käytettävien paalujen sallitut materiaaliyännitykset lyönnissä määritetään LPO-2005:n mukaisesti.

Käytettäessä Tiehallinnon hyväksymiä jatkostyyppisiä ei jatkoksesta johtuvaa vähennystä paalujen rakenteelliseen tai geotekniseen kantavuuteen tarvitse tehdä.

Paalujen nurjahdus tulee tarkistaa, jos niiden sivutuenta ei ole riittävä. Riittämättömästi tuetuksi katsotaan betoni- ja puupaalut sekä pieniläpimittaiset teräspaalut, jotka ovat osittain tai koko pituudeltaan tukemattomia vedessä tai ilmassa, tai joiden ympärillä olevan koheesiomaan leikkauslujuus yli 5 metrin pituudella on pienempi kuin  $8 \text{ kN/m}^2$ .

Paalutusluokkaan I B luettavien paalujen ja pehmeissä hienorakeisissa ja eloperäisissä maissa olevien pienten teräspaalujen nurjahdusvaara on aina tarkistettava.

Lyöntipaalut mitoitetaan nurjahdusta vastaan LPO-2005 ja PPO-2007 ohjeiden mukaisesti.

### Sivukapasiteetti

Paalujen sivukapasiteetin hyväksikäyttö tulee pengerraalutuksessa kysymykseen vain erityistapauksissa, ei kuitenkaan koskaan pieniläpimittaisia (sivumitta tai halkaisija  $< 250 \text{ mm}$ ) paaluja käytettäessä.

Sivukapasiteetti määritetään LPO-2005:n ja PPO-2007:n mukaisesti. Paalu mitoitetaan taivutukselle ja leikkausvoimalle ko. paalumateriaalia koskevien ohjeiden mukaan.

Paalujen sivukapasiteettia ei saa ottaa huomioon hienorakeisilla maalajeilla ja turpeella pitkäaikaisessa kuormitustilanteissa.

Paalujen mahdollinen systemaattinen samansuuntainen sallittu kaltevuuspoikkeama on huomioitava rakenteen tasapainotarkastelussa.

### Lyhyet paalut

Lyhyiden, alle 5 metriä pitkien paalujen geoteknistä kantavuutta tulee pienentää, jos paalujen rikkoutumista tai kallistumista ei voida luotettavasti esittää.

*Tapauskohtaisesti, jos paalu saa maasta tai rakenteesta riittävästä sivutukea, ei paalun geoteknistä kantavuutta tarvitse pienentää, jos paalun pituus on vähintään kolme metriä.*

Alle 3 m pituiset paalut tulee kiinnittää paalulaattaan jäykästi. Pienin hyväksyty lyöntipaalun pituus maahan lyötynä on 1.5 metriä.

Paaluhatturakenteessa ei saa käyttää alle 5 metrin pituisia paaluja.

### 6.7.5 Paalujen sallitut sijaintipoikkeamat

Paalujen sijainti-, kaltevuus- ja suuntapoikkeamissa noudatetaan LPO-2005:n kohdassa 3.544 esitettyjä ohjeita. Yksittäiselle paalulle sallitaan 100 mm:n sijaintipoikkeama mielivaltaiseen suuntaan. Kahden vierekkäisen paalun välin poikkeama ei kuitenkaan saa ylittää 150 mm. Jos poikkeamiin esitetään suunnitelmakohtaisia edellisestä poikkeavia vaatimuksia, niiden tulee olla pohjasuhteet ja paalutustyön toteuttamistapa huomioon ottaen realistiset.

Yhdensuuntaisten paalujen sekä alaspäin hajaantuvien tai risteilevien tukipaalujen ohjeelliset minimietäisyydet määrätään LPO-2005:n mukaisesti..

Sijaintitoleranssin ylittyessä vaikutukset paalukuormaan on tarkistettava sekä paalulaatan että paaluhatturakenteen mitoituksessa.

### 6.7.6 Rakennustöiden ympäristövaikutukset

Paalutus- ja muiden töiden osalta on suunnitteluperusteet esitetty ohjeessa Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, TIEH 2100053-07. Suunnittelussa tulee erityisesti ottaa huomioon paalutustyön mahdollisesti aiheuttama huokosveden ylipaine ja maan siirtymä, jotka voivat aiheuttaa vahinkoa ulkopuolisille rakenteille ja rakennettavalle kohteelle.

*Suunnitelmassa voidaan ympäristöriskeihin vaikuttaa sen lisäksi että työn aikana ovat työtekniset keinot käytettävissä, joita on selostettu yleisissä laatuvaatimuksissa (InfraRYL 2006 ja Perustamis- ja vahvistustyöt, InfraRYL:n täydennys, TIEH 2200002-07). Suunnitelmassa huomioonotettavia asioita ovat esimerkiksi:*

- *kevennysleikkaukset vaikuttavat alueelliseen vakavuuteen*
- *valitsemalla pieniläpimittainen paalutyyppe voidaan saven häiriintymistä ja syrjäytymistä vähentää, samoin voidaan vähentää muita paalutustöistä aiheutuvia haittoja kuten tärinää ja melua*
- *suunnitelmassa esitetään toimenpiteet, joilla pohjaveden pinnan lasku voidaan estää kun siitä aiheutuisi haitallista negatiivista vaippahankausta*

Suunnitelmassa on määrättävä ne ympäristön tarkkailutoimenpiteet, jotka on tehtävä ennen työn suoritusta, työn aikana ja työn jälkeen.



## 7 PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEIDEN LIITTÄMINEN MUIHIN RAKENTAISIIN

### 7.1 Liittäminen siltarakenteisiin

*Sillan tulopenkereen ja keilojen kohdilla käytetään pääsääntöisesti paalulaattaa (kts. 3.3)*

Peruslaatan korkeusasemaa suunnitellessa on otettava huomioon laatan alle rakennettujen täyttöjen paaluille aiheuttama negatiivinen vaippahankaus sekä tarkistettava kokonaisstabiileetti.

Sillan maatuon peruslaatan ja hatun tai laatan reunan välinen maksimietäisyys sekä vaaka-, että pystysuunnassa on 300 mm ja minimietäisyys vaaka-suunnassa 100 mm. Jos paalujen ja laatan tai hatun normaalitoleransseja tiukennetaan, voidaan em arvoa pienentää.

Rakenteen liittyessä siltapilareihin tai suurpaaluihin käytetään ensisijaisesti erillistä paalulaattaa. Paalun ja laatan reunan maksimietäisyys on normaalitoleransseja käytettäessä 200 mm ja minimietäisyys vaakasuunnassa 100 mm.

Siirtymälaattaa käytetään paalulaatta- ja paaluhatturakenteen yhteydessä siltojen siirtymälaattojen käytöstä annettujen ohjeiden mukaisesti.

### 7.2 Liittäminen pohjanvahvistuksiin

#### Yleistä

Paalulaatta- tai paaluhatturakenteelle perustettu tierakenne voidaan pääsääntöisesti liittää vain pohjavahvistettuun tierakenteeseen.

Paalulaatta- tai paaluhatturakenteen ja pohjanvahvistuksen rajakohta edellyttää yleensä siirtymärakennetta, joka suunnitellaan maanvaraisen pengerosan odotettavissa olevien laskettujen käytönaikaisten painumien ja sallittujen painumaerojen ja kulmakiertymien perusteella. Siirtymärakenne voi olla kevytsorakiila, siirtymälaatta tai muu rakenne tai niiden yhdistelmä.

#### Siirtymälaatta

Siirtymälaatta käytetään aina yhtenä siirtymärakenteen osana, kun siirrytään paalulaatalta vahvistamattomalle tai pystyjoituksella vahvistetulle maanvaraiselle osalle. Paaluhatturakenteeseen ei voi liittää siirtymälaattaa.

Paalulaatta on siirtymälaattaa käytettäessä vahvistettava päätypalkilla, jonka varaan siirtymälaatta tukeutuu nivelellä. Paalumäärä on tarkistettava, koska kuormitus laatan päädyssä lisääntyy.

*Siirtymälaattaa suositellaan käytettäväksi myös paalulaatan tai paaluhatturakenteen liittyessä pengerkevennykseen, syvästabiilointiin tai massanvaihtoon.*

Siirtymälaatan pituus ja jäykkyys määritetään lasketun käyttöajan painumaeron ja sallitun kulmakiertymän perusteella. Tavoitteena on saavuttaa siirtymäkohdassa tieosuuden normaali ajoturvallisuus ja ajomukavuus sekä lisäksi estää liikenteen laattaan kohdistama dynaaminen kuormitus.

*Siirtymälaatan tavallinen pituus on 5 tai 10 m.*

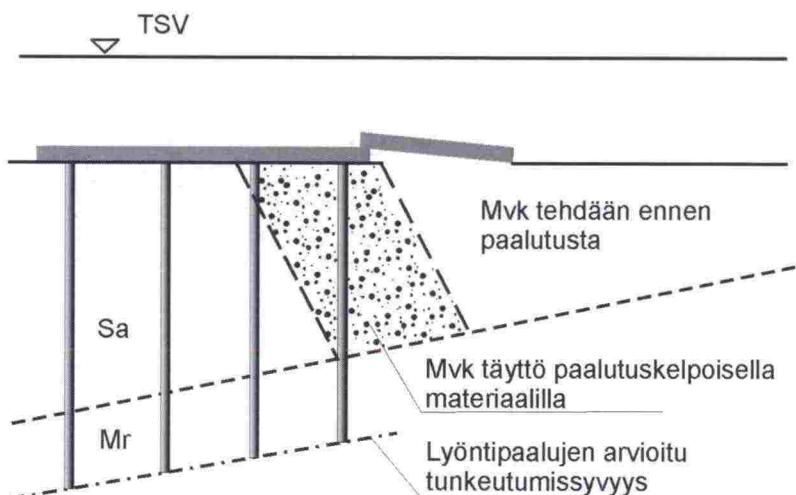
*Tiepenkereen siirtymärakenteita on kuvattu Geotekniikan informaatiojulkaisussa Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeillä, Tielaitoksen selvityksiä 39/1994.*

### Liittäminen massanvaihtoon

Paalulaatta- tai paaluhatturakennetta ei saa liittää pengertämällä tehtävään massanvaihtoon.

*Paalulaatta- tai paaluhatturakenne voidaan liittää kaivamalla tehtyyn massanvaihtoon kuvassa 13 esitetyllä tavalla. Massanvaihdon kaivu- ja täyttötyöt tehdään ennen paalutusta. Siirtymälaatan tarve arvioidaan täytteen odotettavissa olevan tiivistymän perusteella.*

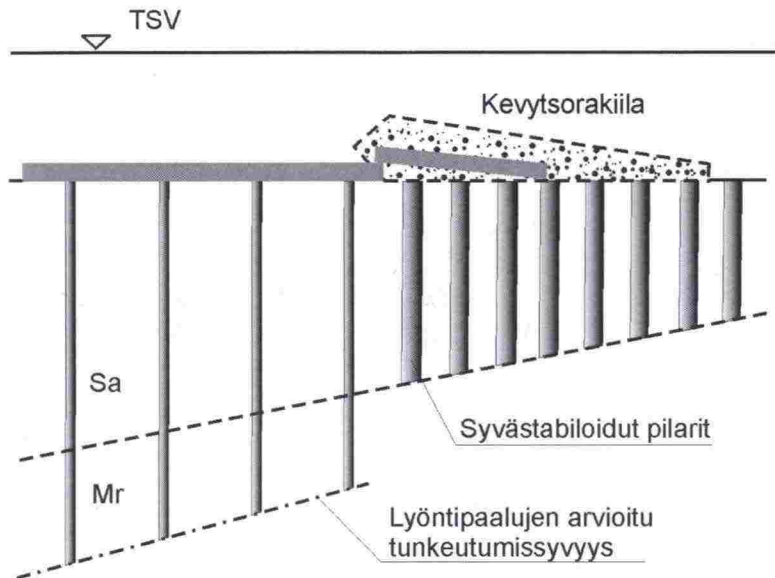
*Syvissä ( 4...6 m ) massanvaihdossa paalutus aloitetaan muutamia viikkoja massanvaihdon täytön jälkeen, jotta massanvaihdosta aiheutuneet huokosylipaineet ja sivusiirtymät ovat ehtineet tasoittua.*



Kuva 13: Paalulaattarakenteen liittyminen massanvaihtoon.

### Liittäminen syvästabiloituun penkereeseen

Periaatekuva paaluhatturakenteen ja syvästabiloinnin rajakohdasta on esitetty kuvassa 14. Syvästabilointi rakennetaan ensin. Paalujen lyönti pilarikentän vieressä voidaan aloittaa vasta sen jälkeen kun syvästabiloitujen pilareiden on todettu saavuttaneen suunnitellun lujuutensa. Samat reunaehdot pätevät myös paalulaattarakenteeseen.



Kuva 14: Paalulaattarakenteen liittyminen syvästabilointiin

Pengerkevennyksen ja siirtymälaatan tarve arvioidaan suunnitteluvaiheessa syvästabiloidun kentän lasketun käyttöajan painuman perusteella. Edellä mainittu tarve tarkistetaan pilareiden seurantamittausten tulosten perusteella



## Liittäminen pystyjitettuun penkereeseen

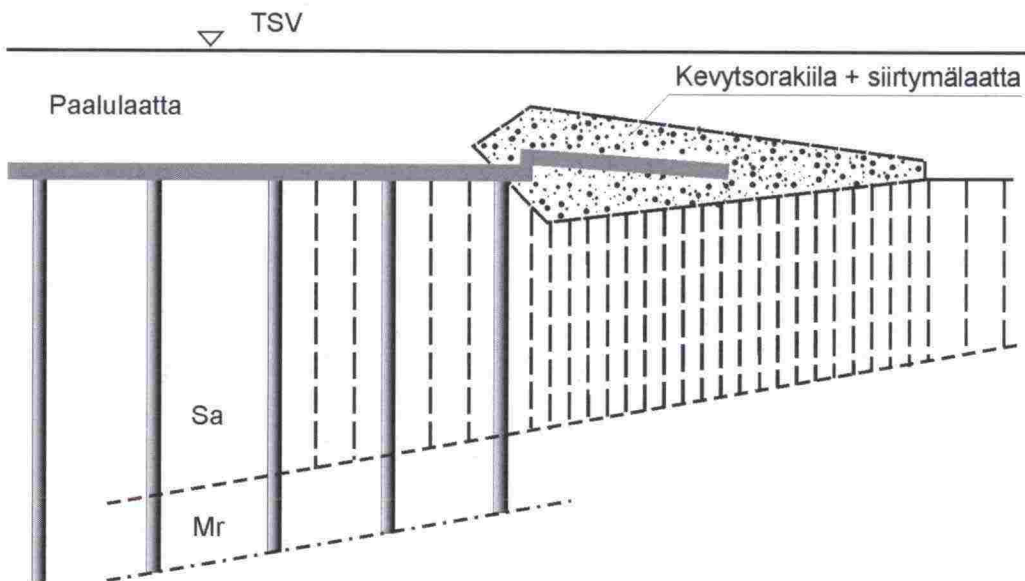
*Esimerkki liityntärakenteista on esitetty kuvassa 15.*

Pystyjakenttä on rakennettava ja kuormitettava ennen paalujen asentamista.

Pystyjakenttä ulotetaan myös muutamia metrejä paalutettavaan alueeseen. Siirtymäalueella, jonka pituudeksi valitaan likimain pehmeikön syvyyden suurin matka paalutettavalle alueelle, käytetään normaalia pienempää pystyjaväliä, joka harvennetaan normaaliksi siirryttäessä varsinaiselle pystyjituksella vahvistettavalle pengerosuudelle. Siirtymäaluetta kuormitetaan samanpituisen jakso kuin varsinaista pystyjitettua pengertä.

Paalutus voidaan aloittaa pystyjakentän painuma-ajan jälkeen, kun painumapengerrakenteet paalutusalueella on purettu.

Paalujen ja pystyjituksen rajakohta edellyttää aina siirtymärakennetta, joka suunnitellaan pystyjakentän odotettavissa olevien laskettujen käytönaikaisen painumien ja sallittujen painumaerojen ja kulmakiertymien perusteella. Siirtymärakenteena käytetään tavallisesti kevytsorakiilaa. Siirtymärakenteen toiminta varmistetaan myös siirtymälaatan avulla.



Pystyjitus ulotetaan paalulaatan puolelle.  
Siirtymäkohdassa käytetään normaalia tiheämpää pystyjaverkkoa.

*Kuva 15: Paalulaattarakenteen liittyminen pystyjitukseen.*

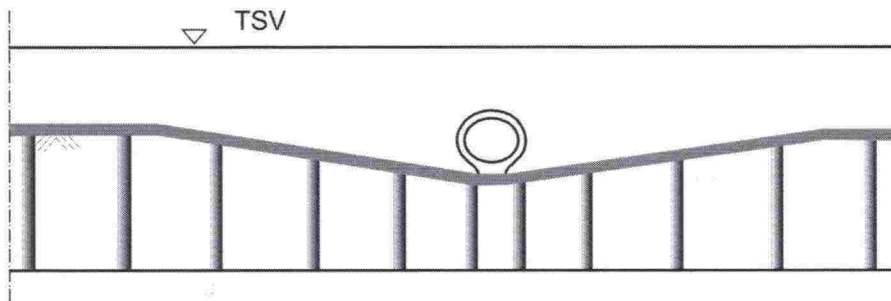
*Paalujen ja pystyjakentän liittymiskohdat ovat usein epäonnistuneet ja vaatineet toistuvia korjauksia.*



## 8 PAALUTUSALUEELLE TEHTÄVÄT MUUT RAKENTEET

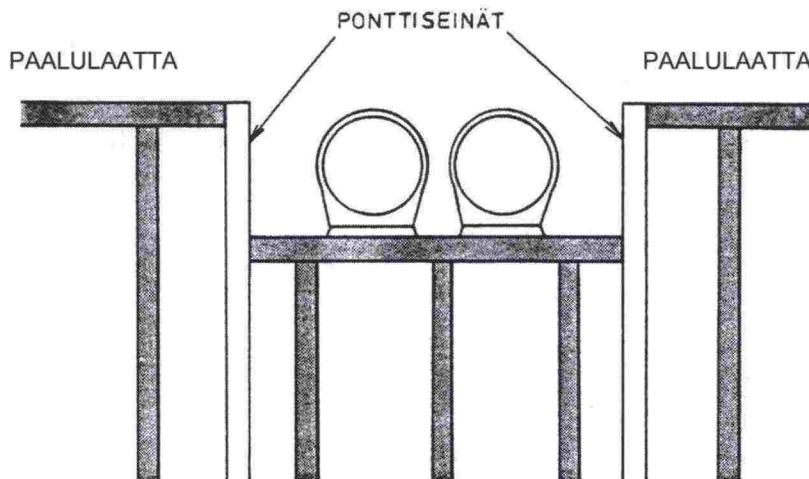
### 8.1 Kuivatusrakenteet

*Paalutusalueelle tehtävät rummut perustetaan tavallisesti paalulaatan päälle kuvan 16 mukaisesti.*



Kuva 16: Pengerpaalutus rummun vieressä

*Syvällä sijaitsevat rummut joudutaan vakavuussyistä tukemaan esimerkiksi ponttiseinillä, jolloin rakenne voi olla kuvan 17 mukainen.*



Kuva 17: Pysyvillä ponttiseinillä tuettu rumpukaivanto

*Paalutusalueella olevien vanhojen rumpujen ja niiden perustusten käyttökelpoisuus joudutaan tutkimaan tapauskohtaisesti. Rumpujen uusiminen on yleensä edullisempaa kuin vanhojen korjaaminen. Ellei uusiminen ole mahdollista, rumpu voidaan suojata erillisellä kehärakenteella.*

*Paalutusalueen viereen sijoittuvien ojien etäisyys paalukentästä suunnitellaan vakavuuslaskelmien perusteella. Paalukentän viereen sijoittuvat syvät purkuojat joudutaan vakavuussyistä putkittamaan.*

## 8.2 Paalutusalueella sijaitsevat vanhat viemärit yms. rakenteet

*Vanhat viemärit, vesijohdot, kaapelit jne. pyritään erillisen johtojensiirtosuunnitelman mukaisesti siirtämään jo vahvistetulle tien osalle tavallisesti paalulaatan varaan.*

## 8.3 Paalutusalueen pylvääät ja portaalit

*Pylvääät ja portaalit perustetaan korkeiden penkereiden kohdalla pengertäytteen varaan.*

Jos perustukset kiinnitetään paalulaattaan, on laatta vahvistettava kiinnityskohdasta.

## 9 PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITELMAN SISÄLTÖ

### 9.1 Piirustukset

Paalulaatan ja paaluhatturakenteen suunnitelmassa tärkein esitettävä piirustus on kartta. Kartan mittakaavana käytetään usein 1:200. Pienemmissä monimutkaisissa rakenteissa mittakaavana käytetään 1:100.

Paalulaatan suunnitelmassa esitetään karttapiirustuksena laatan mittakuva sekä rakenteelliset karttapiirustukset. Lisäksi esitetään tarpeellinen määrä pituus- ja poikkileikkauspiirustuksia.

Paaluhatturakenteesta esitetään paalukartta sekä tarpeellinen määrä leikkauspiirustuksia.

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen mittapiirustuksessa esitetään:

- paalujen sijainnin määrittämistä varten jokaisesta yhtenäisestä paalualueesta vähintään kahden paalun koordinaatit. Paalujen paikantamista varten esitetään sijoituskaavio, jossa mitat sidotaan koodipisteisiin. Vaihtoehtoisesti voidaan jokaiselle paalulle antaa x-, y-, ja z - koordinaatit. Pisteiden koordinaatit esitetään erillisessä luettelossa tai tiedot siirretään suoraan mittauskojeelle.
- paalulaatan jokaiselle nurkka- ja taitepisteelle annetaan kooditunnus. Pisteiden koordinaatit esitetään erillisessä luettelossa tai ne siirretään suoraan laskennasta mittauskojeelle.
- paaluhattujen koko, k/k mitta sekä lukumäärä esitetään mittajanoilla
- paalujen materiaali, koko, k/k mitta ja lukumäärä esitetään mittajanoilla
- paalun kuvaamisessa käytetään kullekin materiaalille eri symbolia. Vinojen paalujen kaltevuuden suunta piirretään nuolella ja kaltevuus mainitaan paalutuspiirustuksessa. Kullekin kaltevuudelle valitaan oma symboli. Merkkien selitykset esitetään samassa piirustuksessa.
- paalunkärkien tavoitetasot piirretään karttaan tasa-arvokäyrinä
- tielinjaan mahdollisesti sidotut mitat esitetään mittajanoilla
- vinojen paalujen kaltevuus esitetään myös leikkauspiirustuksissa. Paalujen tavoitetaso piirretään piste-katkoviivalla.
- paalutettavan alueen leikkaustaso ja paalulaatan tai paaluhattujen alapinnan korkeustaso esitetään leikkauspiirustuksissa
- paalulaatan rakenne esitetään erillisissä rakennepiirustuksissa
- siirtymärakenteet esitetään paalutuspiirustuksissa. Rastereita voidaan käyttää selventämään piirustusta

- mahdolliset lämpöeristeet esitetään sekä kartta, että leikkauspiirustuksissa

## 9.2 Laatuvaatimukset ja työselitykset

Paalulaatan ja paaluhatturakenteen työkohtaisissa laatuvaatimuksissa ja työselityksissä esitetään:

- paalujen ja muiden rakenteiden sijainti- ja kaltevuustoleranssit
- paalujen materiaali, koko ym.
- käytettävät paalukärjet
- paalutusluokka, paalujen tavoitetasot sekä loppulyönti vaatimukset
- työ - ja paalutusjärjestysasiat
- paalulaatan rakenteelliset vaatimukset
- paaluhattuihin liittyvät erityisvaatimukset



ISBN 978-952-221-083-8  
TIEH 2100007-08