



Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje



Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje

Suunnitteluvaiheen ohjaus

Tiehallinto

Helsinki 2001

ISBN 951-726-817-3
TIEH 2100007-01

Edita Oyj
Helsinki 2001

Julkaisua myy/saatavana:
Tiehallinto, julkaisumyynti
Telefaksi 0204 22 2652
S-posti julkaisumyynti@tiehallinto.fi
www.tiehallinto.fi/julk2.htm

Tiehallinto
Tie- ja liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 2211

VASTAANOTTAJA
Tiepiirit

SÄÄDÖSPERUSTA

KORVAA/MUUTTAA
Pengerpaalutus TIEL 3200147

KOHDISTUVUUS
Tiehallinto

VOIMASSA
1.1.2002-toistaiseksi

ASIASANAT
POHJARAKENNUS, PAALUHATUT JA –LAATAT, PAALUTUS

Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje, TIEH 2100007-01

Ohje käsittelee paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelun ja mitoituksen. Ohjeen tapaan käytetty ja Tielaitoksen selvityksiä –sarjassa julkaistu informaatiojulkaisu Pengerpaalutus TIEL 3200147 poistetaan käytöstä.

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

Ohjetta myy Tiehallinnon julkaisumyynti, email: julkaisumyynti@tiehallinto.fi. Se on myös kopioitavissa internetistä osoitteesta: <http://www.tiehallinto.fi/thohje/>.

Apulaisjohtaja
Tie- ja liikennetekniikka

Pauli Velhonoja

Tieinsinööri

Pentti Salo

LISÄTIETOJA

Pentti Salo, Tie- ja liikennetekniikka, puh 0204 22 2145
Matti Piispanen, Siltatekniikka, puh 0204 22 2385
Puh. 0204 22 11

JAKELU/MYYNTI

Tiehallinto, julkaisumyynti
julkaisumyynti@tiehallinto.fi
Telefaksi 0204 22 2652

TIEDOKSI

Hte, Hsi, Htl
Kirjasto
Rakennusteollisuus RT ry
Suomen Maarakentajien Keskusliitto SML
Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry
Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL
Suomen Kuntaliitto
Ratahallintokeskus
VTT, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut
Helsingin kaupungin geotekninen osasto
Tie- ja geo- ja siltakonsultit

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

Tiehallinto
Tie- ja liikennetekniikka ja siltatekniikka

Sisältö

1	SOVELTAMISALUE JA OHJEEN LIITTYMINEN MUIHIN OHJEISIIN	9
1.1	Ohjeen käyttöalue	9
1.2	Suunnitteluohjeet	9
1.3	Luettelo materiaali- ja tarvikkekorteista	10
2	POHJATUTKIMUKSET	11
2.1	Yleisvaatimukset	11
2.2	Tutkimukset maaperän kantavuuden ja painumaominaisuuksien selvittämiseksi	11
2.3	Tutkimukset paalujen maaperän- ja maaperäolosuhteiden syövyttävyydestä ja korroosiosta	12
3	PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEET JA NIIDEN KÄYTTÖALUEET	13
3.1	Yleistä	13
3.2	Paalulaattarakenne	13
3.3	Paalulaatan käyttöalue	15
3.4	Paaluhatturakenne	15
3.5	Paaluhatturakenteen käyttöalue	16
4	KUORMAT	17
4.1	Yleistä	17
4.2	Laatan ja hattujen kautta paaluille siirrettävät kuormat	17
4.2.1	Penkereen ja rakenteiden oma paino	17
4.2.2	Liikennekuorma	17
4.2.3	Vaakasorat ulkoiset kuormat	18
4.2.4	Pystysuorista kuormista aiheutuvat kuormavaikutukset	20
4.3	Paaluihin suoraan vaikuttavat kuormat	20
5	PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITTELU	23
5.1	Suunnittelun vaatimat lähtötiedot	23
5.2	Paalutetun rakenteen suunnittelun perusteet	23
5.3	Penkereen rakenne ja pengermateriaalit	24
5.3.1	Pengerkorkeus	24
5.3.2	Penkereen osat	25
5.3.3	Korkeustason ja kaltevuuden suunnittelu	26
5.3.4	Luiskan suunnittelu ja vierustäytöt	27
5.3.5	Lujitteiden käyttö	27
5.3.6	Routasuojaus	28

5.4	Paaluhatun koon ja rakovälin mitoitus paaluhatturakenteessa	28
5.4.1	Rakovälin mitoitus	28
5.4.2	Paaluvälin mitoitus ja paaluhatun koon valinta	29
5.4.3	Rakovälin mitoitus, kun käytetään yhteenvalettuja paaluhattuja	30
5.5	Paalulaatan rakenteellinen mitoitus	30
5.5.1	Yleistä	30
5.5.2	Läpileikkautuminen	31
5.5.3	Taivutus	31
5.5.4	Halkeilu	32
5.6	Työalusta ja valualusta	32
5.7	Paalutuksen suunnittelu	33
5.7.1	Paalutyypin valinta	33
5.7.2	Paalukoon valinta ja paalun materiaalivaatimukset	34
5.7.3	Paalujen sijainnin ja kaltevuuden suunnittelu	34
5.7.4	Paalutusluokan määrittäminen ja paalun kantavuus	36
5.7.5	Paalujen sallitut sijaintipoikkeamat	38
5.7.6	Rakennustöiden ympäristövaikutukset	38
6	PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEIDEN LIITTÄMINEN MUIHIN RAKENTAISIIN	39
6.1	Penkereen leventäminen ja korjaaminen	39
6.2	Liittäminen siltarakenteisiin	39
6.3	Liittäminen pohjanvahvistuksiin	39
6.4	Paalutusalueelle tehtävät muut rakenteet	43
7	PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITELMAN SISÄLTÖ	45
7.1	Piirustukset	45
7.2	Laatuvaatimukset ja työselitykset	46

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 pengerkorkeus on vähintään 1,5 m.

Paaluhattu- tai paalulaattarakenteita koskevat laatuvaatimukset on esitetty Tienrakennustöiden yleisten laatuvaatimusten ja työselitysten osassa Perustamis- ja vahvistamistyöt TIEH 2200002-01. Tiehallinto. Helsinki 2001.

Tienrakennustöiden yleisistä laatuvaatimuksista ja työselityksistä käytetään tässä ohjeessa lyhennystä TYLT.

1.2 Suunnitteluohjeet

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Perustamis- ja vahvistamistyöt, TIEH 2200002-01. Tiehallinto. Helsinki 2001.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Yleiset perusteet. Leikkaukset, kaivannot ja avo-ojarakenteet. Penger- ja kerrosrakenteet. Lisäykset ja muutokset vuonna 2000. TIEL 2210014-2000. Tielaitos. Helsinki 2000.

Tien pohjarakenteiden yleiset suunnitteluperusteet, TIEH 2100002-01. Tiehallinto, Helsinki 2001

Geotekniset laskelmat, TIEL 2180002. Tielaitos, Helsinki 1996.

LPO-87 Lyöntipaalutusohjeet. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. Helsinki 1987.

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

Teräspuutkipaalut, TIEL 2173448-99. Tielaitos, Helsinki 1999.

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

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

Betonirakenneohjeet, TIEL 2172073-2000. Tielaitos, Helsinki 2000

Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Maa- ja pohjarakenteet - SYL 2. TIEH 2210004-2001, Tielaitos. Helsinki 2001.

Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet - SYL 3, TIEL 2210005-96. Tielaitos, Helsinki 1992.

SVO Sillanrakennustöiden valvontaohje, Paalutustyöt, Tielaitos, TIEL 2220001. Helsinki 1993

Tiesuunnitelman pohjatutkimukset, TIEL 2180003. Tielaitos, Helsinki 1998..

Siltojen pohjatutkimukset, TIEL 3200537, Tielaitos, Helsinki 1999..

Teiden pehmeikkötutkimukset, TIEL 3200520. Tielaitos, Helsinki 1998.

Tieleikkausten pohjatutkimukset, TIEL 3200354. Tielaitos, Helsinki 1995,

Pohjarakennussuunnitelmat, Esitystapa, TIEL 703435. Tielaitos, Toukokuu 1990.

1.3 Luettelo materiaali- ja tarviketekorteista

Tiedot teräsbetonisista pengerpaaluista on esitetty Rakennustuoteteollisuuden tuotelehdessä ”Teräsbetoninen lyöntipaalu, 1999”. Se sisältää tiedot normaalipaalusta II ja IB (koot 250x250 ja 300x300). Tuotelehteä myy Suomen betonitieto Oy.

Paalujen tyyppihyväksytyt kärjet on esitetty Betonikäsikirjassa /by / RTT. Kirja ilmestyy vuosittain.

Siltojen paaluihin käytettävistä Tiehallinnon hyväksymistä materiaaleista ja siltarakenteisiin käytettävistä tarvikkeista on luettelo nähtävillä internet osoitteessa www.tiehallinto.fi/sillat/

2 POHJATUTKIMUKSET

2.1 Yleisvaatimukset

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

Pohjatutkimuksien määrän ja menetelmien valinnan hyvä käytäntö sekä paalutyypikohtaiset erityispiirteet on esitetty kohdassa 1.2 luetelluissa Tiehallinnon pohjatutkimusohjeissa sekä Tiehallinnon ja Suomen geoteknillisen yhdistyksen paalutusohjeissa.

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 painu- ominaisuuksien 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 tunkeutumisnopeus antaa viitteitä laadusta. Tarkimmin 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 lohkaaisuudesta. Täydentävinä tutkimuksina tarvitaan lohka-reisessa 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 määrittystä varten.

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

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

2.3 Tutkimukset paalujen maaperän- ja maaperäolosuhteiden syövyttävyydestä ja korroosiosta

Betonipaaluja käytettäessä on tarpeen mukaan selvitettävä betonille syöpmisriskiä aiheuttavat tekijät.

Betonia syövyttäviä aineita ovat mm. happamat jätevedet ja eräät teollisuusjätteet sekä suolainen merivesi. Rikkipitoiset maakerrokset ovat syövyttäviä varsinkin, kun ne sijaitsevat pohjavedenpinnan yläpuolella.

Teräspaaluja käytettäessä on selvitettävä paalujen korroosioriski teräsputki-paaluohjeen TIEL 2173448-99 mukaan.

Luonnontilaisen ja homogeenisen maaperän syövyttävyyden yleensä pieni. Merkittävää korroosiota tapahtuu hapellisissa olosuhteissa. Hapellisia olosuhteita esiintyy alimman mitoittavan pohjavedenpinnan yläpuolella.

Puupaalujen kyllästystarpeen ja –tavan määrittämistä varten on selvitettävä alin odotettavissa oleva pohjavedenpinnan korkeusasema sekä mahdollinen jätevesien vaikutus.

3 PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEET JA NIIDEN KÄYTTÖALUEET

3.1 Yleistä

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

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

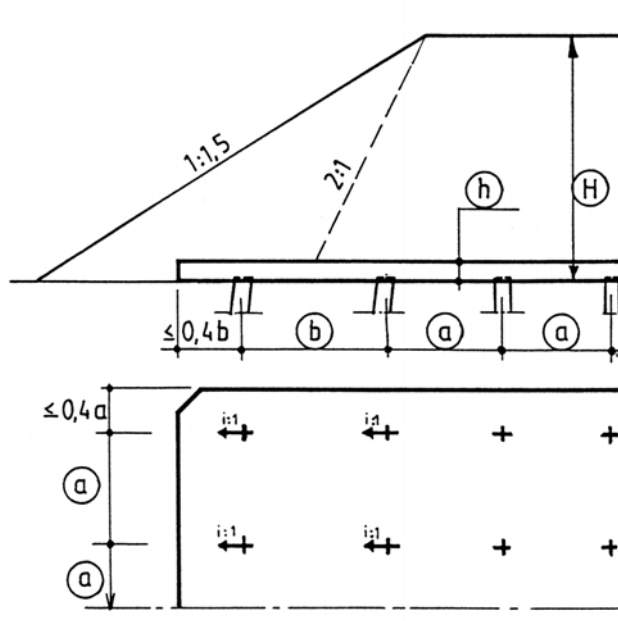
3.2 Paalulaattarakenne

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

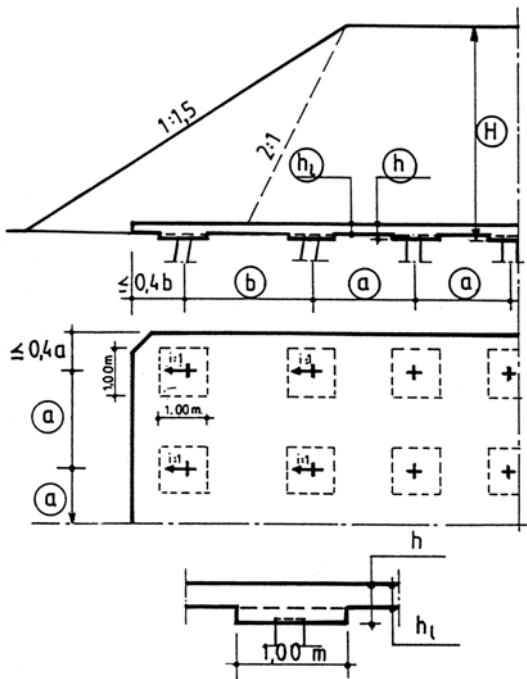
Paalulaattarakenne muodostuu laatasta ja paaluista sekä laatan päälle tulevasta suojakerroksesta.

Tavallisimmin käytettyjä laattatyyppejä 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.

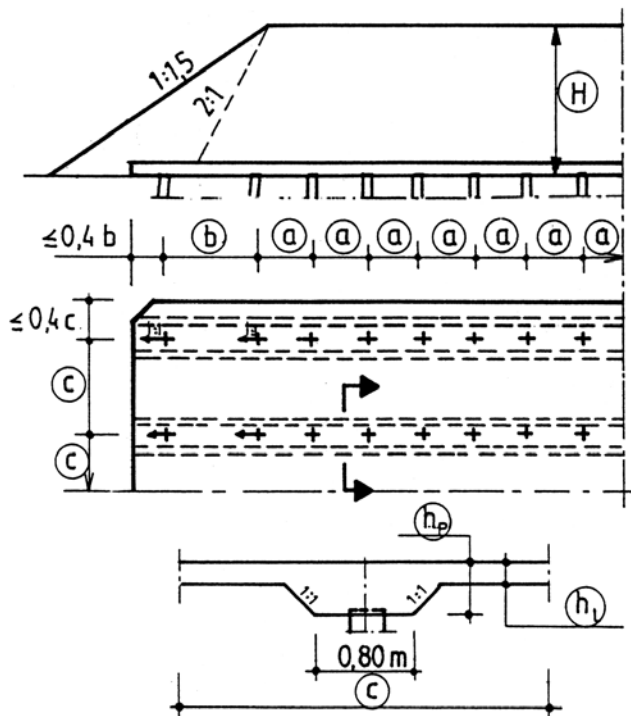
Paalulaattojen rakenne- ja laatuvaatimukset on esitetty TYLT:n osassa "Perustamis- ja vahvistamistyöt".



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 on käytettävä paalulaattaa.

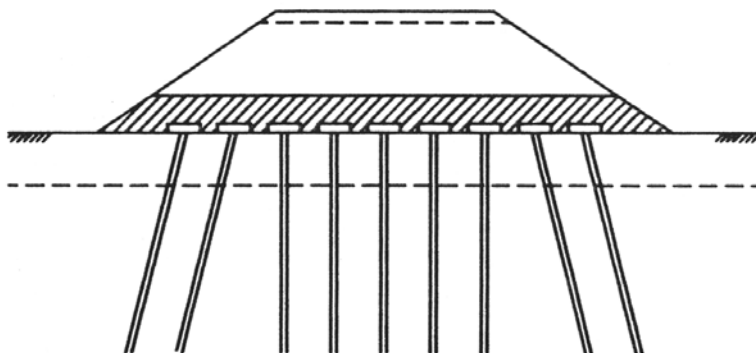
Laattatyypin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat laatan massoihin liittyvien kustannusten lisäksi laatan muoto, alustatyön vaikeus, laatan muotitustarve, raudoitustyön vaikeus sekä mahdollinen varautuminen paalujen epätasaisiin painumiin.

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 vaihtelevuuteen.*
- *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 pengerluiskan 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 5.3.2.



Kuva 4: Paaluhatturakenne

Yleisimmin käytetyt paaluhattukoot on valmiiksi mitoitettu ja esitetty TYLT:n osan "Perustamis- ja vahvistamistyöt" taulukoissa 1 – 5. Taulukoissa esitetyt paaluhattut on mitoitettu 9 MPa keskeiselle paalujännitykselle.

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 rakentamsvaiheessa 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 nelinkertaisen 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 KUORMAT

4.1 Yleistä

Paaluhattu- ja paalulaattarakenteen mitoituksessa tulee ottaa huomioon kaikki rakenteeseen vaikuttavat kuormat ja kuormien yhdistetyt kuormitusohjeiden ja tässä luvussa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

Kuormat on pääsääntöisesti siirrettävä kantavaan kerrokseen paalujen kärki- tai vaippavastuksen avulla.

4.2 Laatan ja hattujen kautta paaluille siirrettävät kuormat

4.2.1 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 kN/m^3 .

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

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

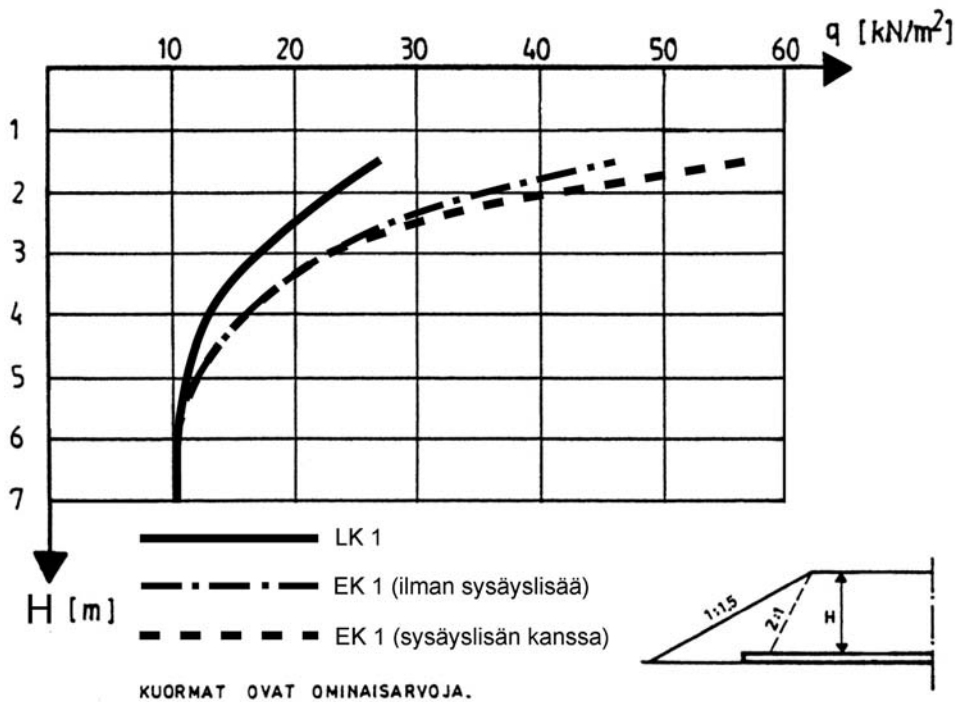
Penkereen keskimääräisenä tilavuuspainona voidaan mitoitusta varten käyttää julkaisussa "Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa. Tielaitos 1999" taulukossa 1 esitettyjä arvoja. Tavanomaisen soratäytön tilavuuspainona voidaan käyttää 20 kN/m^3 ja kitkakulmana $\varphi = 38^\circ$.

4.2.2 Liikennekuorma

Liikennekuormat (Lk 1 ja Ek 1) otetaan huomioon paalulaatta- tai paaluhatturakenteen yläpinnassa vaikuttavana tasaisena pystykuormana kuvan 5 mukaisesti. Kuorma vaikuttaa tieluiskan yläreunasta ulospäin kaltevuudessa 2:1 vedettyjen suorien sisään jäävällä alueella.

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

Kun paalun geotekninen kantavuus mitoitetaan kokonaisvarmuuskerrointa tai sallittujen jännitysten menetelmää käyttäen, käytetään mitoituskuormina liikennekuormien ominaiskuormia kuitenkin niin, että liikennekuormaa Ek 1 ei oteta täysimääräisesti huomioon. Ek 1:n mitoituskuorma saadaan kertomalla kuvassa 6 esitetty ominaiskuorma ilman sysäyslisää kertoimella 0,85.



Kuva 5: Liikennekuorman syvyydessä H aiheuttama tasainen kuorma.

Paaluvälin ollessa suuri laskennallista paalukuormaa voidaan vähentää tutkimalla liikennekuorman jakautumista tarkemmin. Liikennekuormien Lk 1 ja Ek 1 vaikutusalue ja suuruus on määritelty ohjeessa Siltojen kuormat TIEL 2172072-99. Kuorman voidaan olettaa jakautuvan laatan päällä olevassa maakerroksessa suhteessa 2:1.

Moottoritien keskikaista-alueella ja muilla alueilla, joilla voi esiintyä satunnaista liikennekuormitusta, liikennekuormana käytetään tasaista pintakuormaa 10 kN/m^2 .

Työnaikaiset tilanteet tutkitaan murtorajatilassa käyttäen työkoneiden pyöräkuormille osavarmuuslukua 1,8, joka sisältää tavanomaisen sysäyslisän. Työkoneiden kuormitus esimerkkejä on esitetty ohjeessa Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet.

4.2.3 Vaakasuorat ulkoiset kuormat

Vaakasuoria ulkoisia kuormia (kuvat 6 ja 7) ovat mm maanpaine, toisen ajoradan penkereestä aiheutuva kuorma ja sillan tulopenkereeseen pituussuunnassa vaikuttava pengerkkuorma, vaakasuorat liikennekuormat (jarrukuorma).

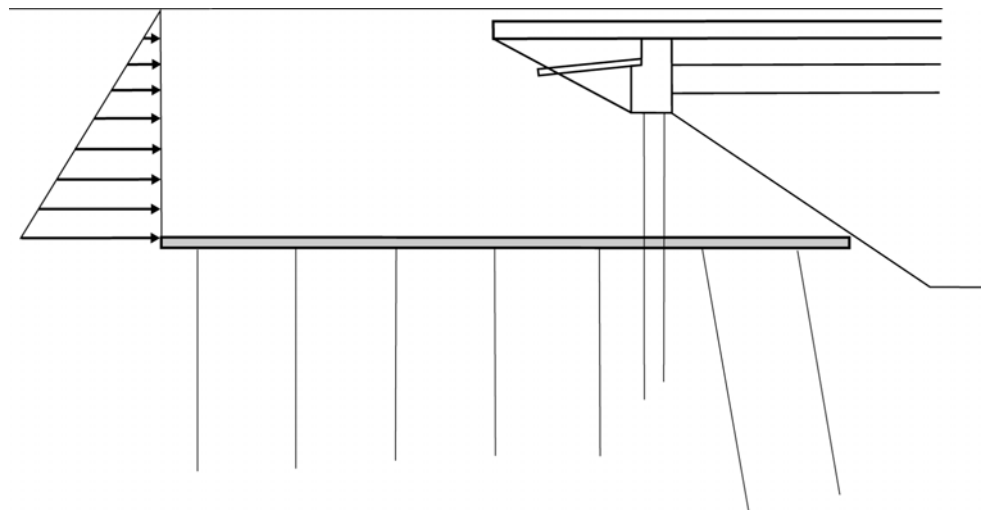
Paalulaatan tai paaluhatturakenteen päällä olevaan penkereeseen maanpaineesta kohdistuva ulkoinen vaakavoima lasketaan lepopaineen avulla. Lepopaineen aiheuttama vaakakuorma F_H lasketaan keskimääräisenä arvona kaavalla:

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

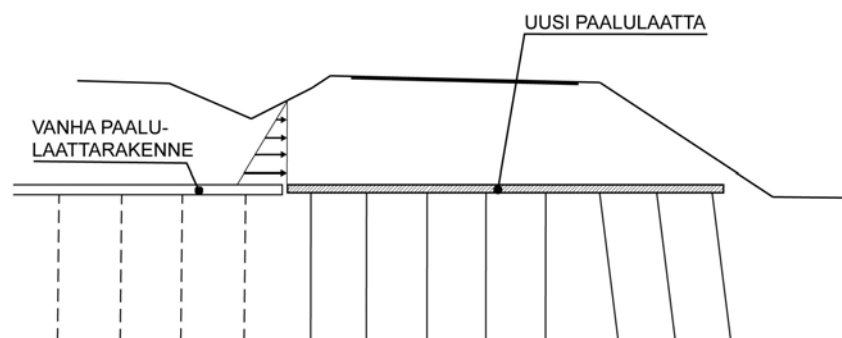
$$K_0 = 1 - \sin \varphi \quad (3)$$

- F_H on vaakakuorma
 H penkereen korkeus laatan tai paaluhatturakenteen yläpinnasta rakenteen ulkoreunassa
 γ_m penkereen keskim. tilavuuspaino
 φ penkereen keskim. kitkakulma
 P tien pinnassa vaikuttava pintakuorma 20 kN/m²

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



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

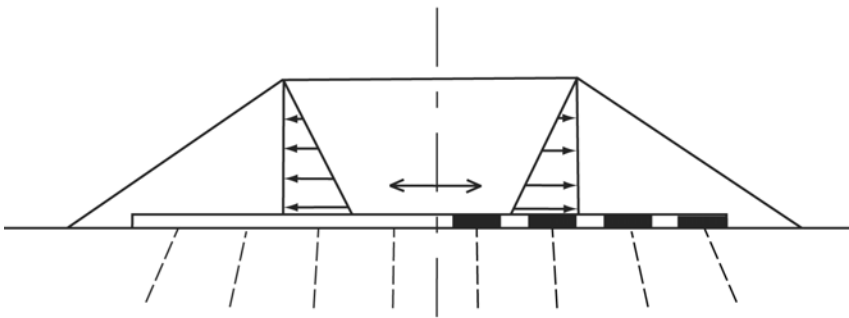


Kuva 7: Uuden ajoradan paalulaattaan vanhan ajoradan penkereestä kohdistuva ulkoinen kuormavaikutus

4.2.4 Pystysuorista kuormista aiheutuvat kuormavaikutukset

Pystykuorma aiheuttaa aina vaakasuoran kuormavaikutuksen rakenteen sisällä.

Vaakasuora kuormavaikutus siirtyy laatalle tai paaluhatturakenteessa hatun välityksellä suoraan paaluille. Maanpaineesta aiheutuvat sisäiset vaakavoimat on otettava vastaan joko laatan raudoituksella tai vinopaaluilla (kuva 8).



Kuva 8: Penger materiaalin painosta ja liikenne- ym kuormista aiheutuva vaakasuora kuormavaikutus.

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen yläpintaan kohdistuva vaakavoima lasketaan lepopaineen avulla. Lepopaineen aiheuttama vaakakuorma F_H lasketaan keskimääräisenä arvona kohdassa 4.2.3 esitetyllä kaavalla 2. Kaavassa H on penkereen korkeus tarkastelupisteessä laatan yläpinnasta.

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

Käytettäessä laatassa pelkkiä pystypaaluja rakenne on epästabiili, jos maan sivuvastusta ei ole tai se on hyvin pieni. Samansuuntaisesti mahdollisesti toteutuvien paalujen kaltevuuspoikkeamat vaikuttavat rakenteeseen vaakasuoran kuorman tavoin. Kuorma on otettava huomioon kohdassa 5.7.3 esitetyllä tavalla.

4.3 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.

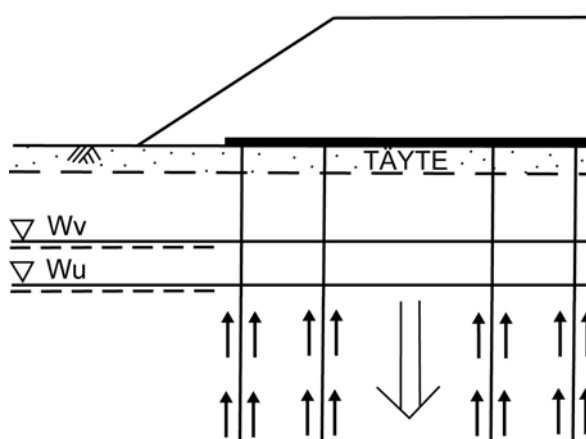
Mikäli pohjamaan siirtymät vaikuttavat rakenteeseen, on rakenne mitoitettava siirtymistä aiheutuville kuormille niin ettei niistä aiheudu paaluille haitallisia rasituksia.

Negatiivinen vaippahankaus (kuva 10) 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 5 avulla. Pystysuorille paaluille ei yleensä aiheudu vähäistä suurempia taivutus- tai leikkausrasituksia.

Negatiivisen vaippahankauksen suuruus määritetään lyöntipaalutusohjeissa kohdassa 3.49 esitettyjen ohjeiden mukaisesti seuraavan kaavan avulla.

$$P_{\text{pitkäaik}} + P_{\text{neg}} \leq P_{\text{sall}}, \text{ kun } P_{\text{lyhytaik}} \leq P_{\text{neg}} \quad (4)$$



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

Negatiivisen vaippahankauksen otaksutaan mobilisoituvan paalujen vaippapinnalle syvyyteen, missä paaluja ympäröivän maakerroksen painuma on 5 mm suurempi kuin paalun painuma.

Pengerpaalutuksessa pitkäaikaisten kuormien vaikutus on yleensä määräävä, joten negatiivinen vaippahankaus vähennetään käyttötilan sallitusta arvosta.

Lyhytaikaisten kuormien ei katsota vaikuttavan samanaikaisesti negatiivisen vaippahankauksen kanssa.

Taivutus- ja leikkausrasituksia maasta paaluun aiheuttavaa sivukuormaa voidaan arvioida murtotilaan perustuvilla vakavuus- ja maanpainetarkasteiluilla, joilla saadaan kuorman maksimiarvot. Paalun sivukuorma on suurimmillaan silloin, kun maa leikkautuu paalun ohi. Yksittäisen paalun läpileikkautumiskuorma p_m paalun pituusmetriä kohti pehmeässä savessa voidaan laskea seuraavasti:

$$p_m = (6...9) s_u d \quad (5)$$

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 moduulimenetelmillä. Lähtötietoina tarvitaan tällöin maan suhteellinen siirtymä paaluun nähden ja maan vaakasuora alustaluku tai kimmomoduuli. Sivukuorma ei voi missään tilanteessa ylittää murtotilatarkastelulla saatua arvoa. Menetelmää on käsitelty tarkemmin Suurpaaluohjeiden SPO-2001 kappaleessa 7.3.17.

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

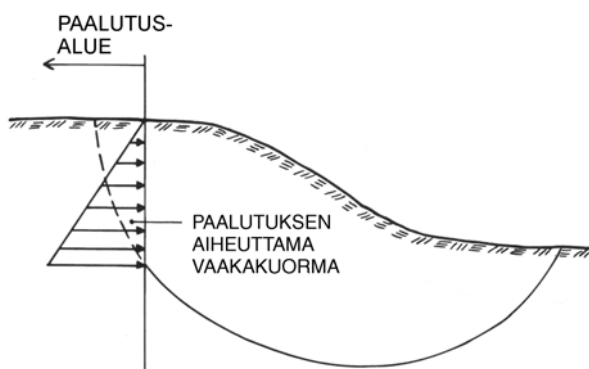
Toispuoleisen maanpaineen aiheuttama sivukuorma ja maan ja paalun välinen yhteistoiminta voidaan määrittää numeerisiin menetelmiin perustuvilla tietokoneohjelmilla.

Paalutustyöstä paaluille aiheutuvat kuormat on otettava huomioon suunnittelussa. Ensimmäisistä 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.

Paalutuksen aiheuttama huokosylipaine purkautuu ajan myötä ja sen suuruuteen voidaan vaikuttaa monin eri keinoin.



Kuva 10: Paalutuksen aiheuttaman huokosylipaineen huomioiminen vakavuuslaskennassa

5 PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITTELU

5.1 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 maatumien 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.*

5.2 Paalutetun rakenteen suunnittelun perusteet

Alueellinen ja paikallinen stabiliteetti

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 näin huokosylipainetta paalun ympäristössä. Tämä on otettava huomioon vakavuutta laskiessa.

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

Paalulaatan- ja paaluhatturakenteen mitoitus kuormille ja kuormavaikutuksille

Paalulaatta- ja paaluhatturakenne on mitoitettava luvun 4 mukaan huomiottaen kaikki siihen kohdistuvat kuormat ja kuormavaikutukset.

Toispuoleisesti kuormitetun paalulaatan kokonaisstabiiliteetti 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 aiheuttamat vaakavoimat.

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

Pystysuoran kuorman aiheuttama vaakasuora kuormavaikutus voidaan ottaa huomioon joko vinopaauluilla laattaan aiheutetun puristusvoiman avulla tai laatan raudoituksella.

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

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 huomioonottaen 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.

5.3 Penkereen rakenne ja pengermateriaalit

5.3.1 Pengerkorkeus

Paalulaatta

Penkereen minimikorkeus paalulaatta 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.

Paaluhatturakenne

Penkereen korkeus on paaluhattun yläpinnan ja tienpinnan välinen ero.

Penkereen korkeuden on oltava vähintään kolminkertainen hattujen rakoväliin nähden kuitenkin aina vähintään 1,5 m ja moottoritiellä aina vähintään 1,8 m.

Penkereen maksimikorkeus määräytyy teknistaloudellisten vertailujen perusteella.

5.3.2 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.

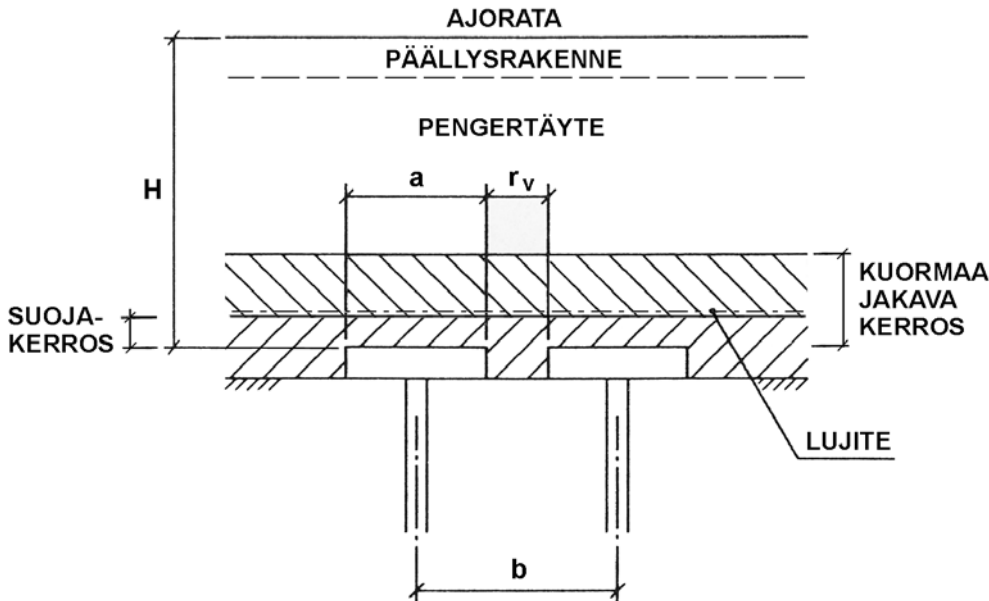
Kuormaa jakavan kerroksen vähimmäisvahvuus on rakoväli kerrottuna kahdella, kuitenkin vähintään 1 m. Tämän kerroksen yläpuolelle voidaan sijoittaa varsinaisia pengermateriaaleja.

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.

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. 5.3.5). Kuvassa 12 on esitetty periaatekuva lujitteen sijainnista suojakerroksen yläosassa.

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



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, murskettua, soraa, hiekkaa, sora- tai hiekkamoreenia.

Paalulaattarakenteissa on suojakerroksen yläpuolella mahdollista käyttää myös hienorakeisia maalajeja.

Pengertäyteen kitkakulma vaikuttaa maanpaineesta aiheutuvan vaakasuoran kuormavaikutuksen suuruuteen.

5.3.3 Korkeustason ja kaltevuuden suunnittelu

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen korkeustaso määritetään ensisijaisesti siten, että taso mukailee olemassa olevaa tai leikattavaa maanpintaa. Laatan tai paaluhattujen alle tai penkereen sivuille ei yleensä voida suunnitella täyttöä työpötiä 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 kallistamalla laattaa tai tekemällä laattaan reikiä riittävän tiheällä välillä. Mikäli käytetään kallistusta tulee sen olla enemmän kuin 1 : 50.

Paaluhattu on aina asennettava vaakasuoraan ja viereiset paaluhatut pääsääntöisesti 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 alenemisesta aiheutuva painuma. Maapohjan painuman pienentämiseksi on tarvittaessa harkittava työalustan osittaista tai täydellistä poistoa ennen hattujen asentamista.

5.3.4 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 keskemälle laattaa, jolloin vierustäyttö ei aiheuta paaluille merkittäviä taivutus- tai leikkausrasituksia.

5.3.5 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 rakoön (kohta 5.3.2). 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 5.3.2 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 mitoituserusteita ja laskentamenetelmiä on esitetty Geovahvisteprojektin julkaisussa Synteettiset geovahvisteet, Rakennustieto Oy Helsinki 1998.

5.3.6 Routasuojaus

Routamitoitus tapahtuu kerran 20 vuodessa toistuvan pakkasmäärän mukaan Pohjarakennusohjeet RIL 121-1988 1999 kuvan 3b 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.

5.4 Paaluhattujen koon ja rakovälin mitoituspäätökset

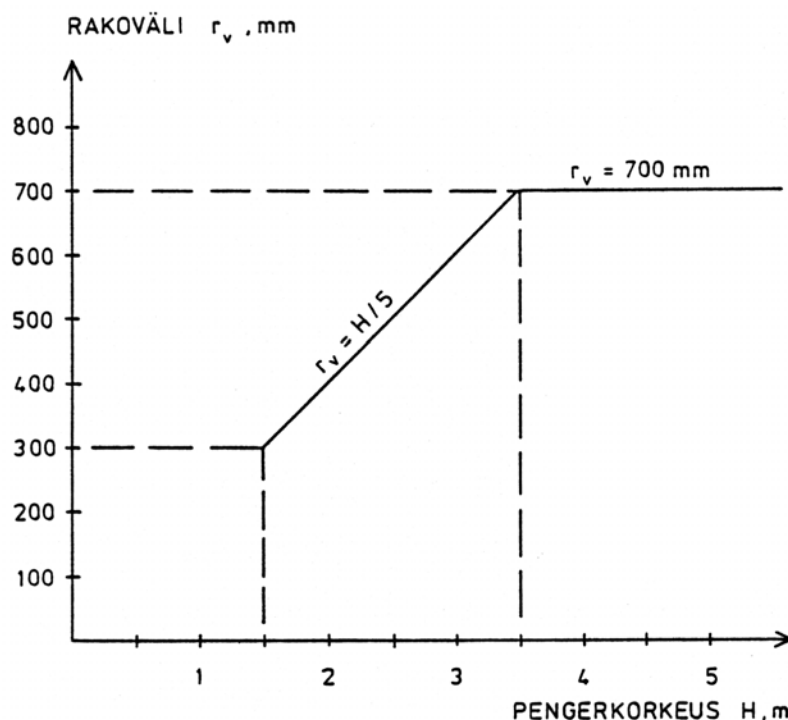
5.4.1 Rakovälin mitoituspäätökset

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.

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

Suojakerroksen ja kuormaa jakava kerroksen käytöstä on erilliset ohjeet kohdassa 5.3.2 Penkereen osat. Lujitteen käytöstä estämään pengermateriaalin valumista rakoväliin alle 3,5 m pengerkorkeudella on ohjeet kohdassa 5.3.2.

Pienin käytännöllinen rakoväli on 300 mm käytettäessä kohdassa 5.7.5 esitettyjä paalun sijaintipoikkeamia.



Kuva 12: Paaluhatturakenteessa käytettävä maksimirakoväli, betonipaalut.

5.4.2 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 4.2) lisäksi suoraan paaluun kohdistuvista kuormista (kohta 4.3) paaluille siirtyvät kuormat kuten negatiivinen vaippahankaus. Paaluväli b voidaan tällöin laskea yhtälöistä 6 ja 7:

$$P = \sigma_{\text{sall}} d^2 \quad (6)$$

$$P = b^2 (\gamma h + q) \text{ tai } b^2 \gamma h + P_{\text{neg}} \quad (7)$$

- P on paalukuorma, kN
 σ_{sall} paalulle sallittu geotekninen kantavuus, kPa
 d paalukoko (sivumitta), m
 b paaluväli, m
 γ penkereen keskimääräinen tilavuuspaino, kN/m³
 h pengerkorkeus hatun alapinnasta, m
 q liikennekuorma, kPa (ks kuva 6)
 P_{neg} negatiivinen vaippahankauskuorma paalua kohti, kN, kts 4.3.2

Rakovälin ja paaluvälin mitoituksen jälkeen valitaan hattukoko huomioonottaen hattujen peitto-osuudelle asetettu vaatimus (5.4.1). Suurin käytettävä hattukoko on 2,0 x 2,0 m².

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

5.4.3 Rakovälin mitoitus, kun käytetään yhteenvalettuja paaluhattuja

Kuvasta 13 saatua rakoväliä voidaan kasvattaa 0,3 metrillä, kun käytetään yhteenvalettua paaluhatturakennetta. Rakovälin lisäys voidaan hyödyntää joko kasvattamalla paaluväliä, mikäli paalujen kantavuus sen sallii tai pienentämällä paaluhattukokoa.

Yhteenvalettavien paaluhattujen rakenteellisen mitoituksen tulee aina vastata paalulle tulevia kuormia.

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

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

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

Kuormaa jakava kerros on toteutettava normaalisti kappaleen 5.3.2 mukaisesti mutta kuitenkin niin ettei kohdassa esitettyä lujitetta ei tarvitse tehdä.

5.5 Paalulaatan rakenteellinen mitoitus

5.5.1 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.

Paalun upotussyvyuden laattaan tulee olla vähintään 50 mm.

5.5.2 Lämpileikkautuminen

Lävistysvoimana käytetään paalun tukireaktiota vähennettynä lävistyskartion alueelle jäävällä osuudella kuormasta eli

$$V_d = R_d - \Delta V_d \quad (8)$$

$$\Delta V_d = q_d (a+2d)^2 \quad (9)$$

R_d on tukireaktio

a paalun sivumitta

d laatan tehollinen paksuus lävistyksessä

Laatan lävistyskapasiteetti tarkistetaan murtotilassa kaavalla

$$V_c = k \beta (1+50 \rho) u d f_{ctd} \quad (10)$$

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

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

$$\beta = 0,40$$

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

Leikkausraudoitetun laatan lävistyskapasiteetti lasketaan vastaavasti kaavoista

$$(0,25 V_c + V_s) \leq 2 V_c \quad (11)$$

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

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

Laatan paksuudeksi oletetaan paalun pään yläpuolelle jäävä paksuus.

5.5.3 Taivutus

Laatan taivutustarkastelu suoritetaan murtorajatilamitoituksena, jossa mitoitukskuormana on

$$q_d = 1,2 \Sigma g_i + 1,8 q_{lk1} \quad (12)$$

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

tai $q_d = 1,35 \Sigma g_i$

Tarkasteltaessa sienilaattaa taivutukselle oletetaan laatan tehollisen poikkileikkauksen 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.

5.5.4 Halkeilu

Rakenne mitoitetaan käyttötilassa lyhyt- ja pitkäaikaisille kuormille:

- lyhytaikainen kuormitus $q_d = \Sigma g_i + q_{lk}$

$$w_{ksall} \leq \left(\frac{c}{35} \right) 0,30 \text{ mm}, c/35 \leq 1,5 \quad (13)$$

- pitkäaikainen kuormitus $q_d = \Sigma g_i + 0,3 q_{lk}$

$$w_{ksall} \leq \left(\frac{c}{35} \right) 0,20 \text{ mm}, c/35 \leq 1,5 \quad (14)$$

- halkeamaleveyttä laskettaessa käytetään teräksen venymän arvona suhteellisen venymän arvoa

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left\{ 1 - \frac{1}{25k_w} \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right\} \geq 0,70 \frac{\sigma}{E_s} \quad (15)$$

Minimiteräskooksi suositellaan $\varnothing 12$ mm työmaateknisten näkökohtien pohjalta.

5.6 Työalusta ja valualusta

Suunnitelmassa on esitettävä yleiset periaatteet suunnitelman työtekniselle 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

Puupaaluja käytettäessä ei paaluhattun yläpinnan alapuolella saa käyttää so-
 raa tai murskettä paalujen lahoamisvaaran takia.

5.7 Paalutuksen suunnittelu

5.7.1 Paalutyypin valinta

Paalutyypin käyttökohteista

Paalutyyppi valitaan teknisten ja taloudellisten näkökohtien perusteella ympäristönäkökohdat huomioonottaen.

Paaluina käytetään yleensä teräsbetonisia lyöntipaaluja ja ne asennetaan tukipaaluiksi.

Teräspaaluja voidaan käyttää vaikeissa pohjasuhteissa, kun teräsbetonipaalujen tunkeutuminen tavoitetasoon ei onnistu tai paalut helposti rikkoutuvat tai paalujen sijaintipoikkeamia ei pystytä hallitsemaan. Paaluhatturakenne ei sovellu kuvatulnaisiin olosuhteisiin.

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

Voimajohtolinjojen alla tai korkeudeltaan rajoitetuissa olosuhteissa saatetaan joutua käyttämään lyhyitä paaluelementtejä.

Pienikokoisia teräspaaluja saattaa olla aiheellista käyttää olosuhteissa, jolloin on tarvetta minimoida maaperän häiriintymistä, siirtymiä ja tärinää (kohta 5.7.6).

Vinojen kallionpintojen alueella suositellaan harkittavaksi porapaaluratkaisua.

Puupaaluja saa käyttää tuki- ja kitkapaaluina paikallisteillä. Käyttö ylempi-luokkaisilla teillä vaatii tilaajan erillisen päätöksen.

Laattarakennetta ei saa perustaa puupaalujen varaan.

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

Paalumateriaalin valinta huomioonottaen pitkäaikaiskestävyys

Paalumateriaali tulee valita siten, että paalu kestää paalulaatta- ja paaluhatturakenteelta edellytettävän elinajan.

Pysyvissä rakenteissa laholta suojaamattomia puupaaluja saa käyttää vain 0,5 m alimman pohjaveden pinnan alapuolella. Mikäli paaluja käytetään pohjavedenpinnan yläpuolella, on ne painekyllästettävä.

Teräspaaluja käytettäessä on paalut suojattava korroosiota vastaan tai yli-mitoitettava teräspuutkipaaluohjeen TIEL 2173448-99 mukaan.

Teräsbetonipaaluja ei saa käyttää betonia syövyttävissä olosuhteissa tai paalut on suojattava, jos niitä käytetään.

5.7.2 Paalukoon valinta ja paalun materiaalivaatimukset

Teräsbetonipaalun tavallisin paalukoko on paalulaatoilla 300 x 300 mm² ja paaluhatturakenteessa 250 x 250 mm².

Teräsbetonipaalun ja sen varusteiden materiaalivaatimukset on annettu TYLT:in osassa Perustamis- ja vahvistamistyöt TIEH 2200002-01.

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

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

Puisen tukipaalun latvaläpimitan tulee olla vähintään 150 mm.

Puupaalun ja sen varusteiden materiaalivaatimukset on annettu TYLT:in osassa Perustamis- ja vahvistamistyöt TIEH 2200002-01.

Pieniläpimittaisen (halkaisijaltaan alle 300 mm) lyötävän teräs-paalun ja sen varusteiden materiaalivaatimukset määritetään soveltaen lyöntipaalutusohjeita (LPO-87) ja Teräspuutkipaaluhjetta (TIEL 1999).

Suuriläpimittaisen paalun ja sen varusteiden materiaalivaatimukset määritetään soveltaen ohjetta SPO-2001 (RIL 2001) ja Teräspuutkipaaluhjetta (TIEL 1999).

5.7.3 Paalujen sijainnin ja kaltevuuden suunnittelu

Paalut suunnitellaan sekä paalulaatta- että paaluhatturakenteessa normaalisti tasavälein säännölliseen ruudukkoon.

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 rajoitetulla alueella vino.

Paaluvälin harventamista ei saa käyttää tapauksissa, joissa varaudutaan penkereen myöhempään leventämiseen.

Kaksiajorataisen tien keskikaistan paalujakoa voidaan harventaa ottaen huomioon, mitä luvussa 4 on sanottu liikennealueen ulkopuolisista kuormista ja mitä suunnitelmassa on mahdollisesti päätetty varautumisesta tien myöhempiin käyttötilanteisiin.

Ulkoiset vaakasuorat voimat 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.

Pystykuormista aiheutuvat vaakasuorat kuormavaikutukset siirretään pääsääntöisesti vinopaaluilla kantavaan kerrokseen. Pelkkiä pystysuoria paaluja käytettäessä tulee paalulaattaan syntyvät vetojännitykset ottaa huomioon laatan mitoituksessa.

Käytettäessä laatassa pelkkiä pystypaaluja rakenne on epästabiili, jos maan sivuvastusta ei ole tai se on hyvin pieni. Kun maan leikkauslujuus on pieni tai laatan alle syntyy maan painumisesta johtuen tyhjää tilaa, on laskelmin tarkistettava rakenteen stabiliteetti ja samansuuntaisesti mahdollisesti toteutuvien paalujen kaltevuuspoikkeamien vaikutus rakenteen siirtymiin. Rakenteen siirtymiä voidaan tällöin tarvittaessa hallita vinopaalujen avulla.

Paaluhatturakenteessa on aina käytettävä myös vinopaaluja. Käyttämällä pystysuorien paalujen lisäksi vinopaaluja laattarakenne voidaan suunnitella niin, että siihen syntyy vain puristusta.

Paaluhatturakenteessa vinopaalun kaltevuus m voidaan likimääräisesti laskea kaavan 16 avulla:

$$m = n / K \quad (16)$$

m on vinopaalun kaltevuus
 n on luiskakaltevuus (esim. 1 : 3 $n = 3$)
 K on maanpaineluku

Lepopaineella $K = 1 - \sin \varphi$

φ on pengertäytteen kitkakulma

Vinopaaluja sijoitetaan lähinnä luiskan osalle. Vinopaalujen tarve on tarkistettava laskelmilla luvussa 4 esitettyjen kuormaolettamusten pohjalta.

Taulukossa 1 on esitetty lepopaineen ja aktiivipaineen avulla kaavalla 4 lasketut vinopaalujen kaltevuusvälit eri pengermateriaaleilla ja luiskakaltevuuksilla. Pengermateriaalien otaksutaan olevan tiiviissä tilassa.

Taulukko 1: Vinopaalujen kaltevuudet $m : 1$.

Penger- materiaali		Luiskakaltevuus 1 : n			
		n = 1.5	n = 2	n = 3	n = 4
Hiekka $d_{10} \leq 0.06$	$\varphi = 34^\circ$	3.4 - 5.3	4.5 - 7.0	6.8 - 10	9.1 - 14
Hiekka $d_{10} > 0.06$	$\varphi = 36^\circ$	3.6 - 5.7	4.8 - 7.7	7.3 - 11	9.7 - 15
Sora	$\varphi = 38^\circ$	3.9 - 6.3	5.2 - 8.4	7.8 - 12	10 - 16
Moreeni	$\varphi = 40^\circ$	4.2 - 6.9	5.6 - 9.2	8.4 - 13	11 - 18
Murske	$\varphi = 42^\circ$	4.5 - 7.5	6.0 - 10	9.1 - 15	12 - 20
Louhe	$\varphi = 45^\circ$	5.1 - 8.7	6.8 - 11	10 - 17	14 - 23

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

5.7.4 Paalutusluokan määrittäminen ja paalun kantavuus

Teräsbetoni- ja puupaalujen paalutustyöt jaetaan lyöntipaalutusohjeen (LPO - 87) mukaisesti paalutusluokkiin. Paalutusluokan määrittämisessä noudatetaan LPO-87 kohdassa 3.3 esitettyjä vaatimuksia seuraavin täsmennyksin:

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

Geotekninen kantavuus

Teräsbetoni- ja puupaalujen geotekninen kantavuus, kun niitä käytetään tukipaaluina, määritetään LPO-87 mukaisen paalutusluokan mukaisesti seuraavasti:

- teräsbetonipaaluilla paalutusluokassa IB enintään 9 MPa ja paalutusluokassa II enintään 7 MPa.
- puupaluilla paalutusluokassa III enintään 5 MPa.

Teräsbetoni- ja puupaalujen kantavuuden määrittämisessä noudatetaan lyöntipaalutusohjeissa (LPO-87) kohdassa 3.41 esitettyjä yleisohjeita.

Pieniläpimittaisten (halkaisijaltaan alle 300 mm) lyötävien teräspaalujen sallittu geotekninen kantavuus määritetään soveltaen lyöntipaalutusohjeiden (LPO-87) kohtaa 3.423 sekä Teräspukkipaaluohjeen (TIEL 1999) kohtaa 4.

Suuriläpimittaisten paalujen suunnittelussa noudatetaan ohjetta SPO-2001 (RIL 2001) ja Teräspukkipaaluohjetta (TIEL 1999).

Porapaalujen kantavuus määritetään Porapaalutusohjeen TIEH 2000002-01 mukaan.

Suunnitelmassa tulee aina esittää paalujen upotussyvyyden tavoitetaso.

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

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

Paalun rakenteellinen kantavuus

Paalujen sallitut materiaaliyännitykset lyönnissä määritellään LPO-87:n kohtien 3.471...3.473 mukaan.

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, jotka ovat osittain tai koko pituudeltaan tukemattomia vedessä tai ilmassa, tai joiden ympärillä olevan koheesiomaan leikkauslujuus yli 5 metrin pituudella on pienempi kuin 8 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 Tiehallinnon sillansuunnitteluohjeiden mukaisesti.

Sivukapasiteetti

Paalujen sivukapasiteetin hyväksikäyttö tulee pengervaalutuksessa suunnitellusti kysymykseen vain erityistapauksissa.

Sivukapasiteetti määritetään LPO-87:n kohdan 3.48 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 LPO-87:n kohdan 3.464 mukaisesti, jos paalujen rikkoutumista tai kallistumista ei voida luotettavasti estää.

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

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

Paaluhatturakenteessa ei saa käyttää alle 5 metrin pituisia paaluja.

5.7.5 Paalujen sallitut sijaintipoikkeamat

Paalujen sijainti-, kaltevuus- ja suunta-poikkeamissa noudatetaan LPO-87:n kohdassa 3.544 esitettyjä ohjeita. Yksittäiselle paalulle sallitaan 100 mm:n sijaintipoikkeama mielivaltaiseen suuntaan. Jos poikkeamiin esitetään suunnitelmakohtaisia edellisestä poikkeavia vaatimuksia, niiden tulee olla pohjasuhteet ja paalutustyön toteuttamistapa huomioon ottaen realistiset.

Yhdensuuntaisten paalujen sekä alaspäin hajaantuvien tai risteilevien tuki-paalujen ohjeelliset minimietäisyydet määrätään LPO-87:n kohdassa 3.541.

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

5.7.6 Rakennustöiden ympäristövaikutukset

Paalutus- ja muiden töiden osalta on suunnitteluperusteet esitetty Tien pohjarakenteiden suunnitteluperusteet –ohjekirjassa (TIEH 2100002-01). 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 (TYLT Perustamis- ja vahvistamistyöt, Tiehallinto 2001). Suunnitelmassa huomioon otettavia asioita ovat esimerkiksi:

- *kevennysleikkaukset vaikuttavat alueelliseen vakavuuteen*
- *valitsemalla pieniläpimittainen paalutyyppejä voidaan saven häiriintymistä 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.

6 PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEIDEN LIITTÄMINEN MUIHIN RAKENTAIISIIN

6.1 Penkereen leventäminen ja korjaaminen

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.

6.2 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 tarkastettava kokonaisstabiileetti.

Sillan maatuen peruslaatan ja hatun tai laatan reunan välinen minimietäisyys sekä vaaka-, että pystysuunnassa on 300 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 minimietäisyys on normaalitoleransseja käytettäessä 200 mm.

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

6.3 Liittäminen pohjanvahvistuksiin

Yleistä

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

Paalulaatta- tai paaluhatturakenteen ja pystyjoituksen rajakohta edellyttää aina siirtymärakennetta, joka suunnitellaan pystyjoikentän odotettavissa olevien laskettujen käytönaikaisten painumien ja sallittujen painumaerojen ja kulmakiertymien perusteella. Rajakohta varmistetaan aina myös siirtymälaatalla.

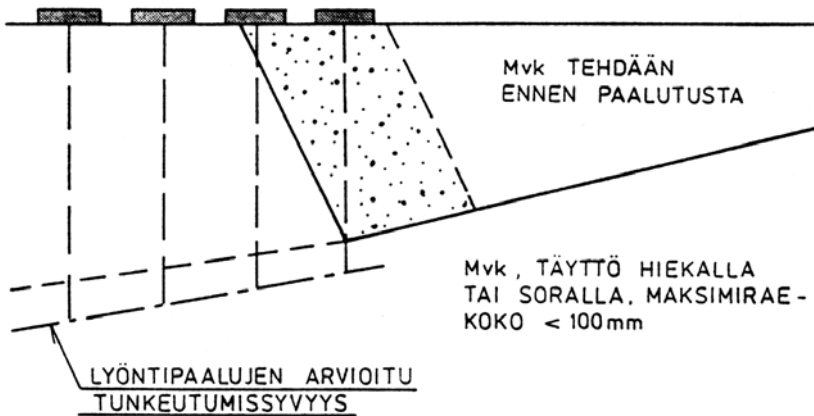
Tiepenkereen siirtymärakenteita on kuvattu Geotekniikan informaatiojulkaisussa Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeillä, Tielaitoksen selvityksiä 39/1994.

Liittäminen massanvaihtoon

Paalulaatta- tai paaluhatturakenne voidaan liittää kaivamalla tehtyyn massanvaihtoon kuvassa 13 esitetyllä tavalla edellyttäen, että massanvaihdon kaivu- ja täyttötööt tehdään ennen paalutusta.

Syvissä ($> 4...5$ m) massanvaihdossa paalutus aloitetaan muutamia viikkoja massanvaihdon täytön jälkeen, jotta massanvaihdosta aiheutuneet huokosylipaineet ja sivusiirtymät ovat ehtineet tasoittua.

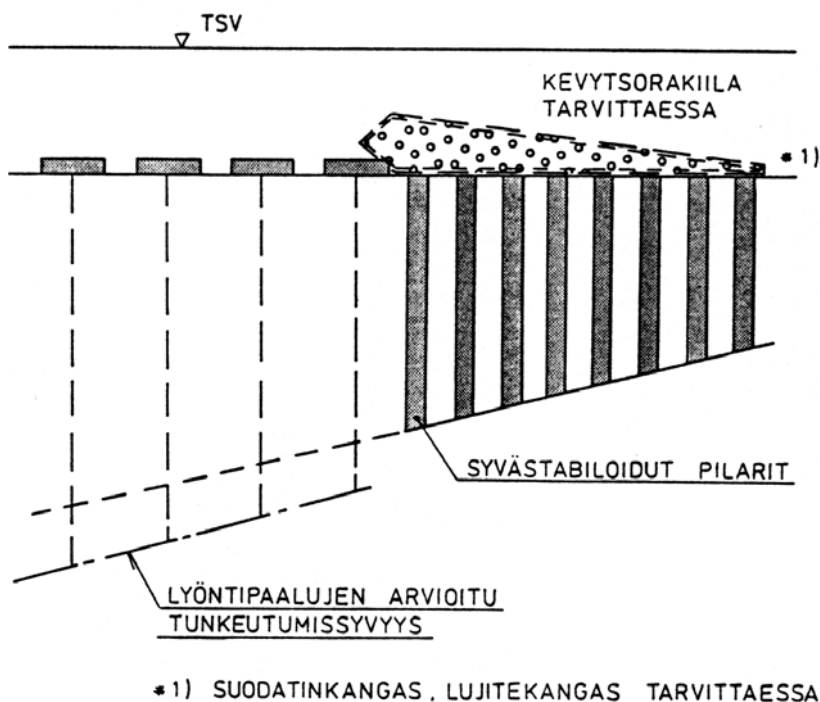
Paalulaatta- tai paaluhatturakennetta ei saa liittää pengertämällä tehtävään massanvaihtoon.



Kuva 13: Paaluhatturakenteen 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: Paaluhatturakenteen 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

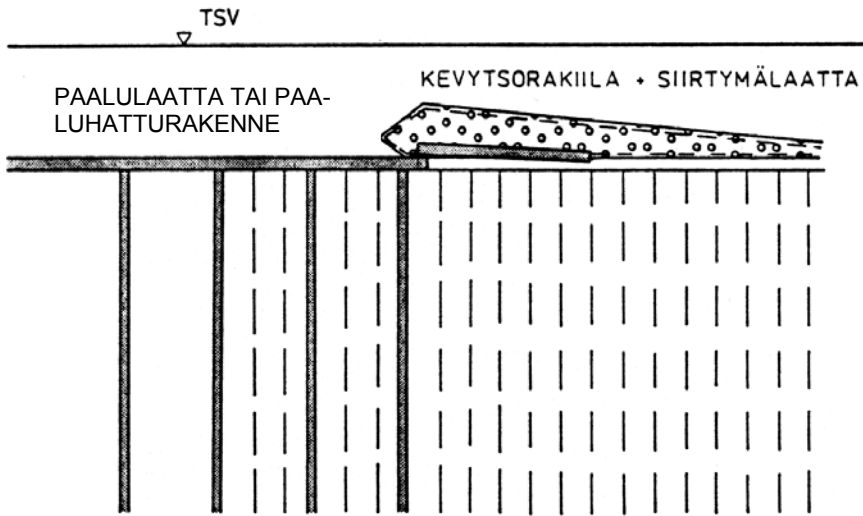
Esimerkki liityntärakenteista on esitetty kuvassa 15.

Pystyjojakenttä on rakennettava ja kuormitettava ennen paalujen asentamista.

Pystyjojakenttä ulotetaan myös muutamia metrejä paalutettavan alueen ulkopuolelle. Siirtymäalueella, jonka pituudeksi valitaan likimain pehmeikön syvyyden suuruinen matka paalutettavalle alueelle, käytetään normaalia pienempää pystyjojaväliä, joka harvennetaan normaaliksi siirryttäessä varsinaiselle pystyjoituksella vahvistettavalle pengerosuudelle. Siirtymäaluetta kuormitetaan samanpituisen jakso kuin varsinaista pystyjoitettua pengertä.

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

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



PYSTYOJITUS ULOTETAAN PAALULAATAN PUOLELLE.
 SIIRTYMÄKOHDASSA KÄYTETÄÄN NORMAALIA TIHEÄMPÄÄ
 PYSTYOJAVERKKOA.

Kuva 15: Paalulaattarakenteen liittyminen pystyjitukseen.

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

Siirtymälaatat

Siirtymälaattaa on käytettävä paaluilla perustetun rakenteen liittyessä pysty-
 ojitettuun rakenteeseen tai maanvaraiseen rakenteeseen, jota ei ole pohja-
 vahvistettu.

*Siirtymälaattaa suositellaan käytettäväksi paalulaatan liittyessä
 syvästabilointiin tai pengervevennykseen.*

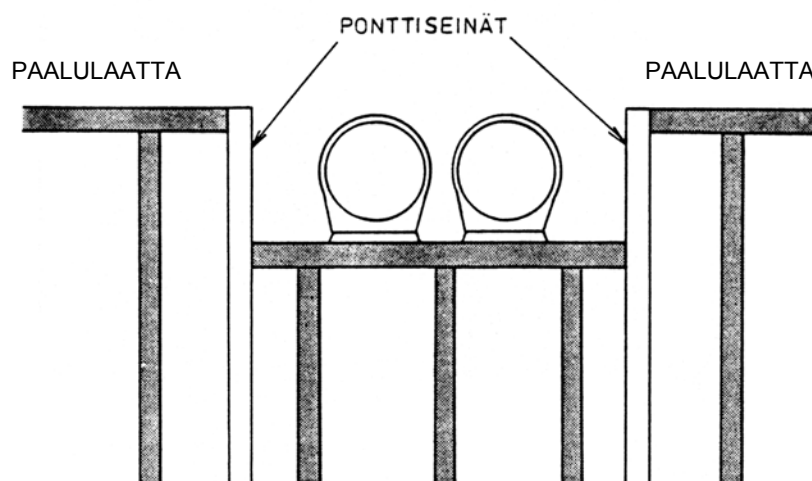
*Siirtymälaatta tukeutuu toisesta päästään nivelellä paalulaat-
 taan. Laatan pituus ja jäykkyys määräytyy lasketun käyttöajan
 painumaeron ja sallitun kulmakiertymän perusteella. Sallitut
 painumaerot ja kulmakiertymät on esitetty ohjeessa Teiden
 pohjarakenteiden suunnitteluperusteet TIEH 2100002-01.*

*Laatan maksimipituus riippuu sen jäykkyydestä ja nivelen
 kautta paaluihin aiheutuvasta kuormasta. Siirtymälaattojen ta-
 vallinen pituus on 5 tai 10 m.*

6.4 Paalutusalueelle tehtävät muut rakenteet

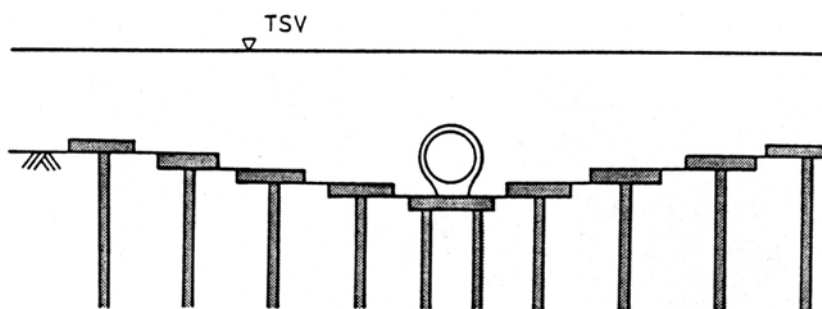
Kuivatusrakenteet

Paalutusalueelle tehtävät rummut perustetaan tavallisesti paalulaatan päälle. Syvällä sijaitsevat rummut joudutaan vakaavuussyistä tukemaan esimerkiksi ponttiseinillä, jolloin rakenne voi olla kuvan 16 mukainen.



Kuva 16: Pysyvillä ponttiseinillä tuettu rumpukaivanto

Paaluhatturakenne rummun läheisyydessä suunnitellaan usein kuvan 17 mukaisesti.



Kuva 17: Pengerpaalutus rummun vieressä

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.

Paalutusalueella sijaitsevat vanhat viemärit yms. rakenteet

Vanhat viemärit, vesijohdot, kaapelit jne. pyritään erillisen joh-tojensiirtosuunnitelman mukaisesti siirtämään jo vahvistetulle tien osalle tavallisesti paalulaatan varaan.

Paalutusalueen pylvää ja portaalit

Pylväät ja portaalit perustetaan korkeiden penkereiden kohdalla pengertäytteen varaan.

Jos perustukset kiinnitetään paalulaattaan, on laatta vahvistettava kiinnitys-kohdasta.

7 PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITELMAN SISÄLTÖ

7.1 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 voidaan haluttaessa piirtää 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

7.2 Laatuvaatimukset ja työselitykset

Paalulaatan ja paaluhatturakenteen työkohtaisissa laatuvaatimuksissa ja työselityksissä esitetään:

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

