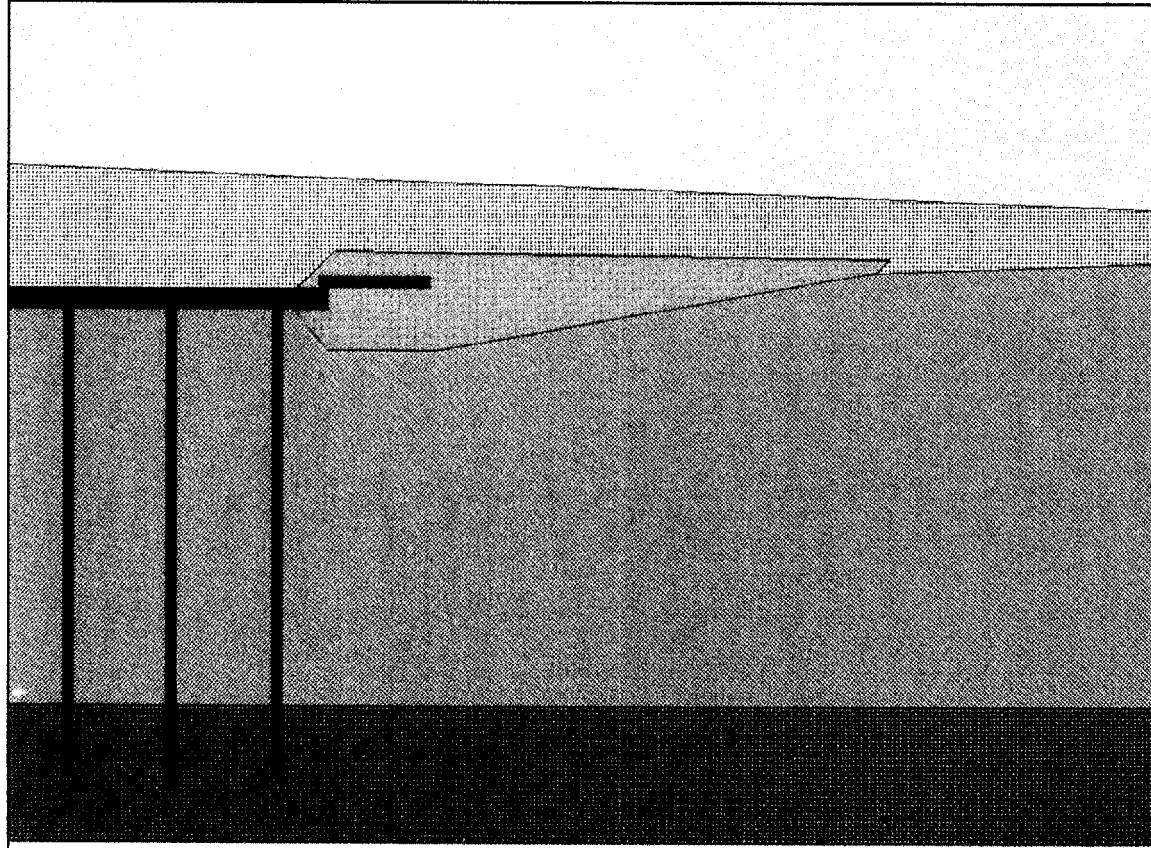


# Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä



Tielaitoksen  
selvityksiä  
39/1994

Helsinki 1994

Geokeskus

Tielaitoksen selvityksiä  
39/1994

Geotekniikan informaatiojulkaisuja

Tiepenkereen siirtymärakenteet  
pehmeiköllä

Tielaitos  
Geokeskus

Helsinki 1994

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-47-9431-1  
TIEL 3200248  
Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1994

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotepalvelut  
Telefax (90) 1487 2652

**Tielaitos**

Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 148 721

## **Alkusanat**

Tämä siirtymärakenteita koskeva julkaisu kuuluu Geotekniikan informaatiojulkaisuja-sarjaan, jonka tarkoituksena on tuottaa geosuunnittelijoille tietoa tämän hetkisestä hyvästä pohjarakentamis- ja perustamiskäytännöstä tienrakentamisen alalta. Tässä julkaisussa käsitellään vain pohjamaan painumien takia tarvittavia siirtymärakenteita. Roudasta ja kantavuusvaihteluista aiheutuvia siirtymärakenteita ei tässä käsitellä.

Työn ovat tehneet Antti Junnila Innogeo Oy:stä ja Simo Hoikkala Viatek Tapiola Oy:stä. Työtä varten on kuultu tielaitoksen suunnittelijoita ja rakentajia.

Tilaaajan puolelta työtä ovat valvoneet Matti Kolhinen ja Panu Tolla geokeskuksesta sekä Petter Sandin Uudenmaan tiepiiristä.

Tielaitos  
Geokeskus

## Sisällysluettelo

Alkusanat	3
1 SIIRTYMÄRAKENTEIDEN TARKOITUS	7
2 SIIRTYMÄRAKENTEIDEN KÄYTTÖKOHTTEITA	8
2.1 Perustamistapojen vaihtumiskohta	8
2.2 Pohjasuhteiden muuttumiskohta	9
3 SIIRTYMÄRAKENTEIDEN KEHITYKSESTÄ JA NYKYKÄYTÄNNÖSTÄ	9
3.1 Yleistä	9
3.2 Kevennys siirtymärakenteena	10
3.3 Siirtymäpaalutus	11
3.4 Syvästabilointi siirtymärakenteissa	12
3.5 Massanvaihto	14
3.6 Pystyjoitus	14
3.7 Lujitteet ja telat siirtymärakenteissa	15
3.8 Siirtymälaatat	15
4 SUOSITUKSET SIIRTYMÄRAKENTEIDEN SUUNNITTELUPERUSTEIKSI	16
4.1 Yleisiä suunnitteluperusteita	16
4.2 Kevennyskiila	18
4.2.1 Kevennyskiila paalulaatan yhteydessä	18
4.2.2 Kevennyskiila hattupaalutuksen yhteydessä	25
4.2.3 Kevennyskiila syvästabiloinnin yhteydessä	26
4.3 Syvästabilointi siirtymärakenteissa	26
4.3.1 Syvästabiloinnin liittäminen pengerpaalutukseen	26
4.3.2 Siirtymäpilarointi	27
4.3.3 Massasyvästabilointi siirtymärakenteissa	31
4.4 Siirtymäpaalutus	31
4.4.1 Yleistä	31
4.4.2 Koheesiopaalut siirtymäpaaluina	32
4.4.3 Kitkapaalut siirtymäpaaluina	33
4.5 Massanvaihto muihin perustamistapoihin rajoittuvana	35
4.5.1 Yleistä	35
4.5.2 Massanvaihdon liittäminen maanvaraiseen penkereeseen	35
4.5.3 Massanvaihdon liittäminen paalutukseen	37
4.5.4 Massanvaihdon liittäminen syvästabilointiin	37
4.5.5 Massanvaihdon liittäminen pystyjoitukseen	37
4.6 Pystyjoitus muihin perustamistapoihin rajoittuvana	37
4.6.1 Yleistä	37
4.6.2 Pystyjoituksen liittäminen paalutukseen	37
4.6.3 Pystyjoituksen liittäminen syvästabilointiin	38
4.7 Telojen käyttö siirtymärakenteissa	38
4.8 Lujitteiden käyttö siirtymärakenteissa	38
4.9 Siirtymälaattojen käyttö	39

---

<b>5 SIIRTYMÄRAKENTEIDEN RAKENTAMINEN JA JÄLKISEURANTA</b>	<b>40</b>
5.1 Yleisiä suosituksia siirtymärakenteiden rakentamisesta	40
5.2 Siirtymärakenteiden jälkiseuranta	41
5.3 Vaurioituneiden siirtymärakenteiden korjattavuudesta ja korjaamisesta	41
5.3.1 Yleistä	41
5.3.2 Vanhan kevennyksen korjaaminen	42
5.3.3 Muiden painuneiden siirtymärakenteiden korjaamiskorjauksia	42
5.3.4 Jyrsintävara painumattomalle osuudelle	42
<b>KIRJALLISUUS</b>	<b>44</b>

---

## 1 SIIRTYMÄRAKENTEIDEN TARKOITUS

Pehmeikölle rakennettavasta tiepenkereestä maapohjalle tuleva kuormitus aiheuttaa maapohjan painumista. Pengerkorkeudesta, pehmeikön paksuudesta ja maakerrosten muodonmuutosominaisuuksista riippuen painumat voivat muodostua tien tasaisuuden, rakenteiden toiminnan ja kestävyuden kannalta haitallisen suuriksi. Pohjasuhteiden vaihtelu ja maapohjalle tulevan kuormituksen muuttuminen lyhyellä matkalla aiheuttavat tiehen jyrkkiä painumaeroja. Epätasaiseen kohtaan kohdistuvat liikenteen sysäykset aiheuttavat tien ylimääräisiä rasituksia, joiden johdosta vaurioituminen nopeutuu ja laajenee.

Perustamisolosuhteiden muutoksesta aiheutuvat tien pituus- ja poikkisuuntaiset jyrkät epätasaisuudet tasoitetaan siirtymärakenteilla. Siirtymärakenteen tarkoituksena on loiventaa painumaeroja niin, että rakenne täyttää liikennöityvyyden edellyttämät tasaisuusvaatimukset.

Jyrkkiä ja haitallisen suuria painumaeroja muodostuu erityisesti pehmeikköjen reuna-alueilla, pohjanvahvistusten muutoskohdissa sekä siltojen, rumpujen ja putkijohtojen kohdilla.

Painumaerojen lisäksi siirtymärakenteilla tasoitetaan tien alusrakenteesta johtuvia kantavuus- ja routivuuseroja, mutta näillä perusteilla tehtäviä siirtymärakenteita ei käsitellä tässä julkaisussa.



*Kuva 1. Esimerkki painumaerosta perustamistapojen vaihtumiskohdassa.*

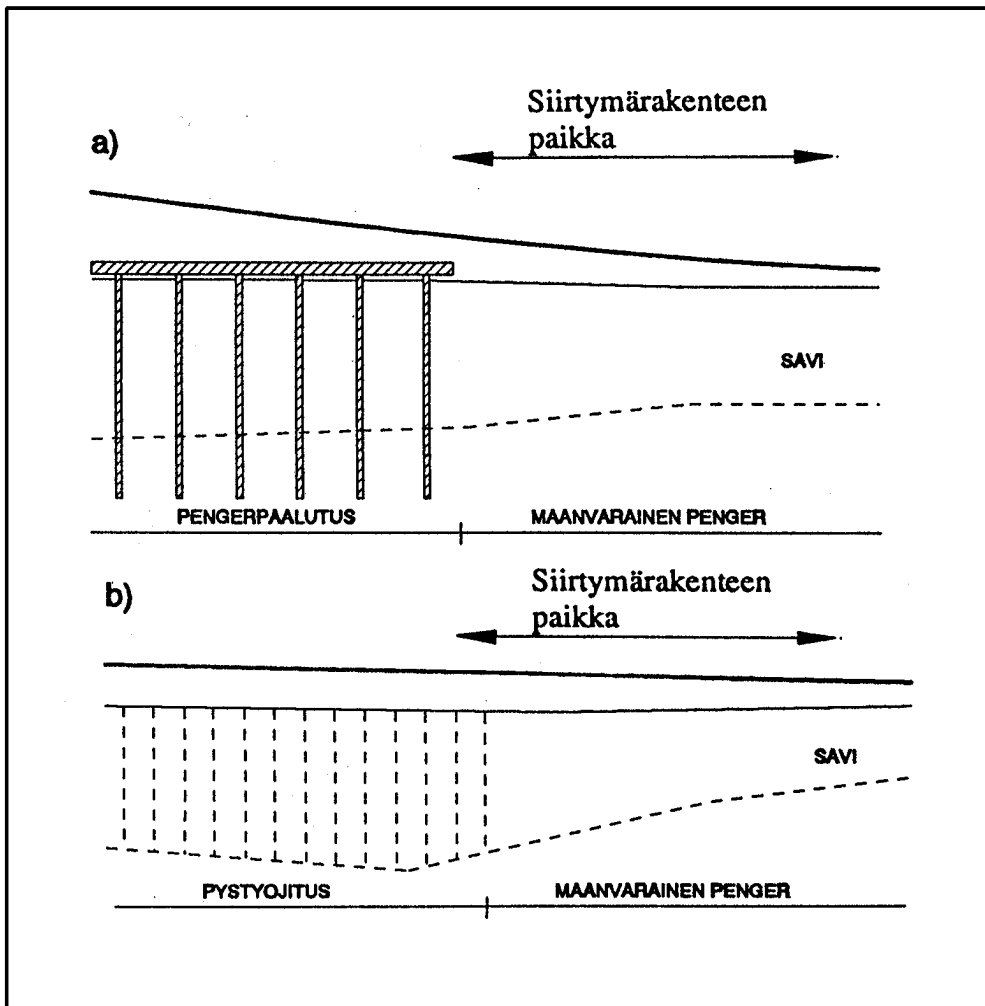
## 2 SIIRTYMÄRAKENTEIDEN KÄYTTÖKOHEITA

### 2.1 Perustamistapojen vaihtumiskohta

Tiepenkereen perustamistapojen muutoskohtaan syntyy usein painumaero, joka yleensä loivennetaan siirtymärakenteella. Pohjanvahvistustavan muutoskohta voidaan luokitella seuraavasti:

- vahvistettu painumaton rakenne - vahvistettu painuva rakenne
- vahvistettu painumaton rakenne - maanvarainen painuva pengero
- vahvistettu painuva rakenne - maanvarainen painuva pengero

Tyypillinen vahvistetulta painumattomalta rakenteelta painuvalle rakenteelle siirtyminen on pengeroaalutuksen ja maanvaraisen penkereen rajakohta (kuva 2a).



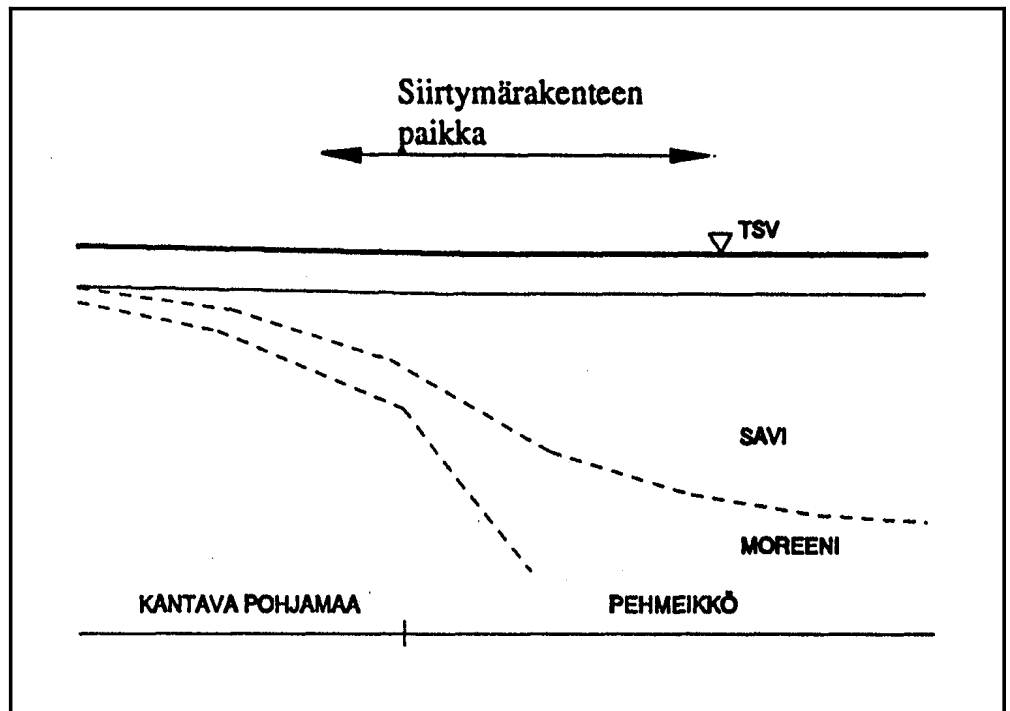
Kuva 2. Siirtymärakenteiden käyttökohteita perustamistapojen vaihtuessa. a) Painumaton vahvistettu rakenne - painuva rakenne. b) Painuva vahvistettu rakenne - painuva rakenne.



Vahvistetulta painuvalta rakenteelta painuvaan maanvaraiseen penkereen siirtyminen voi olla esimerkiksi pystyjoituksen päättymiskohta (kuva 2b).

## 2.2 Pohjasuhteiden muuttumiskohta

Pehmeikön reuna-alueella kantavan maan ja pehmeikön välille voi syntyä jyrkkä painumaero, joka aiheuttaa tiehen haitallisen kaltevuudenmuutoksen. Haitalliset pituus- ja poikkisuuntaiset kaltevuuserot voidaan tasoittaa pohjasuhteiden muutoskohtaan tehtävällä siirtymärakenteella (kuva 3).



Kuva 3. Siirtymärakenteen käyttö kantavan pohjamaan ja pehmeikön rajakohdassa.

## 3 SIIRTYMÄRAKENTEIDEN KEHITYKSESTÄ JA NYKYKÄYTÄNNÖSTÄ

### 3.1 Yleistä

Vielä 1950-luvulla rakennettiin yleisesti siltoja ja rumpuja ilman siirtymärakenteita, mistä seurauksena oli jyrkkäpiirteisiä heittoja tien pinnassa.

Ensimmäiset siirtymärakenteet olivat siirtymäpaalutuksia. Siirtymäpaalutus puisia koheesiopaaluja käyttäen oli tavallisimpia siirtymärakenteita vielä 1960-luvulla, mutta on nykyään jäänyt lähes kokonaan pois käytöstä. Tämä on johtunut useiden siirtymäpaalutusten epätasaisista painumista.

Viime vuosikymmeninä tavallisin siirtymärakenne on ollut painumattoman ja painuvan tiepenkereen rajakohtaan tehtävä kevennyskiila. Yleisin kevennysmateriaali on kevytsora. Kevytsora tuli käyttöön tienrakennuksessa 1960-luvun alussa ja sen käyttö siirtymärakenteissa yleistyi saman vuosikymmenen loppupuolella. Kevytsoralla toteutettujen siirtymärakenteiden onnistuneisuus on ollut vaihteleva. Solumuovikevennyksiä on käytetty 1980-luvulta alkaen muutamissa kohteissa, joissa kevytsoralla saavutettu kevennys ei ole ollut riittävä. Ne ovat toimineet suunnitellusti, mutta käyttökokemukset ovat lyhyeltä ajalta.

Syvästabilointia on alettu 1980-luvulla käyttää siirtymärakenteissa. Tähänastiset kokemukset ovat olleet hyviä ja mitoituspusteiden kehittyessä menetelmän käyttö siirtymärakenteissa ilmeisesti lisääntyy.

Massanvaihto on pitkän aikaa ollut tiepenkereen yleisimpiä pohjanvahvistustapoja ja massanvaihtoja on tehty useihin muihin perustamistapoihin rajautuvana, useimmiten suoraan ilman erityisiä siirtymärakenteita. Yleisesti voidaan todeta, että massanvaihdon ja muiden perustamistapojen rajakohdat ovat harvoin olleet erityisen ongelmallisia.

Pystyjoitus tuli käyttöön 1950-luvun lopulla, mutta menetelmä yleistyi merkittävämmiin vasta 1980-luvulla nauhapystyjojen tultua käyttöön. Rajakohdat painumattomien penkereenosien ja pystyjoitusta käyttäen perustettujen osuuk-sien välillä ovat usein osoittautuneet hankaliksi ja vaikeasti korjattaviksi-

Siirtymärakenteissa on erilaisina muun rakenteen täydennyksinä käytetty teloja ja 1980-luvulta alkaen myös lujitteita.

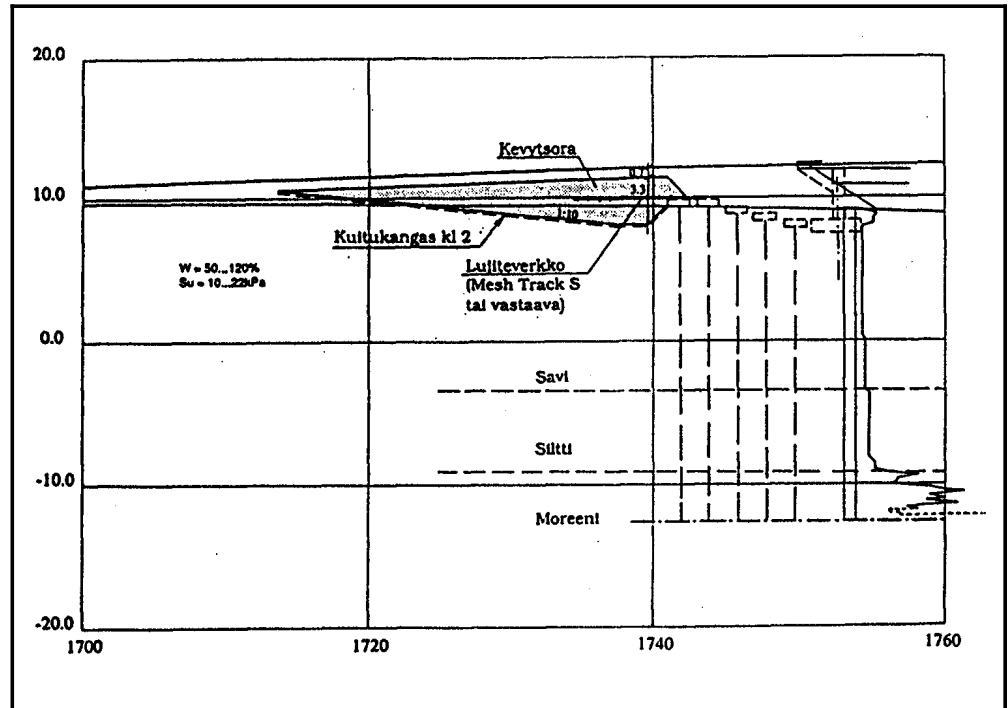
Siirtymälaattoja on 1980-luvulla yhä useammin alettu käyttää pengerraalu-laattojen päättymiskohdassa, aluksi yksittäisissä kohteissa ja myöhemmin säännönmukaisesti.

### 3.2 Kevennys siirtymärakenteena

Kun kevennystä käytetään siirtymärakenteena, tavallisin tapaus on pengerraalutuksen ja painuvan penkereen välille tehtävä siirtymäkiila. Kiilan toisessa päässä painuma on sama kuin keventämättömällä penkereellä ja paalutuksen puoleisessa päässä pyritään siihen, ettei maapohjan konsolidaatiojännitys ylitä eikä painumia näin ollen tapahdu. Tässä ei aina ole täysin onnistuttu. Pohjaveden aleneminen kuormitustekijänä on vaihtelevassa määrin otettu huomioon.

Yleisluontoisesti voidaan todeta, että kevennyskiilojen onnistumisessa on yllättävän paljon vaihtelua. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki onnistuneesta kevytsorakiilasta, mutta saman sillan toisessa tulopenkereessä lähes samanlainen, vain 3 kPa nettokuormalle mitoitettu, kevytsorakiila on selvästi painunut.

Tavallisin virhe kevennyskiiloissa on perustamistavan rajakohdan jyrkkä painumaero. Kiilojen pituudet sitä vastoin ovat useimmiten olleet riittäviä eikä kiilan liiallinen lyhyys aiheutakaan yhtä suurta haittaa kuin jyrkkä painumaero.



Kuva 4. Kehä 1, Pukinmäenkaaren eritasoliittymä. Vantaanjoen ylittävän kevyen liikenteen sillan läntinen tulopenger, rakennettu 1991. Kevytsorakiilla on toistaiseksi toiminut suunnitellusti.

Sementillä tai bitumilla stabiloitua kevytsoraa on käytetty lähinnä erikoistapauksissa, kun parhaaseen kevennysvaikutukseen on katsottu tarpeelliseksi pyrkiä minimoimalla päällysrakennepaksuus. Joissain tapauksissa lisätavoitteena on ollut vähentää kevytsoran jälkitiivistymistä ja varmistaa päällysrakenteen kantavuus.

Solumuovikevennystä on käytetty lähinnä silloin, kun kevytsoralla saavutettava kevennysvaikutus ei ole ollut riittävä.

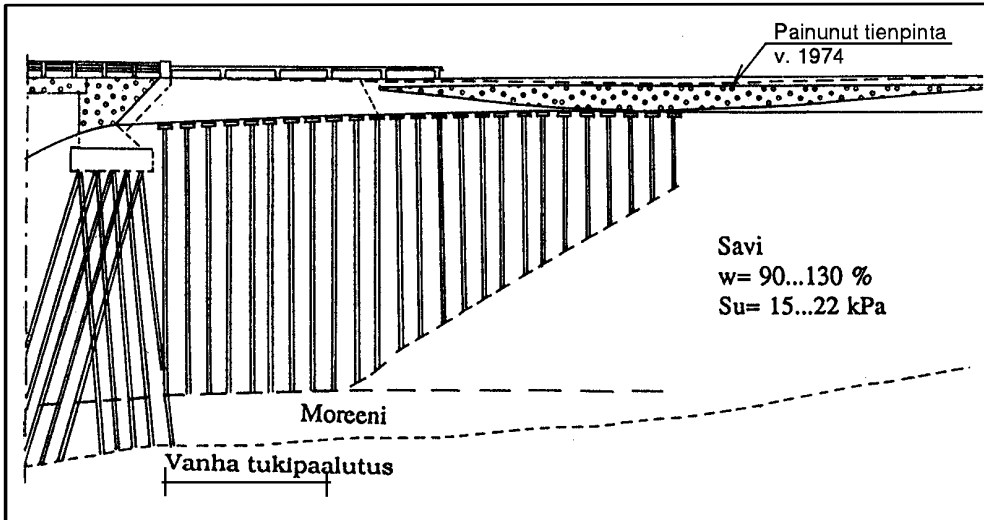
### 3.3 Siirtymäpaalutus

Viimeisen 15 vuoden aikana lähes käytöstä jääneen siirtymäpaalutuksen tyypillinen käyttökohde on ollut syvä savipehmeikkö. Paaluina on käytetty lähes yksinomaan puupaaluja, kuten tuohon aikaan yleensäkin pengerpaalutuksissa.

Paalut lyhennettiin joko tasaisesti tai portaittain. Tavallisimmin siirtymäpaalutus suunniteltiin ilman laskelmia siten, että paalut lyhennettiin kiilamaisesti. Tarkemmat tarkastelut jännitysten jakautumisesta ja paalujen alapuolisten savikerrosten painumista olivat harvinaisia.

Siirtymäpaalutukset ovat useimmin epäonnistuneet lyhimpien paalujen kohdalla, jossa paalujen kantokyky on joskus jäänyt riittämättömäksi ja tiehen on syntynyt haitallisia painumia (kuva 5). Muutamat siirtymäpaalutukset ovat toimineet kohtalaisesti. Mitoitusteorian kannalta parhaiten hallittavissa on

koheesiopaalujen käyttö syvillä savipehmeiköillä. Mitoituksellisesti vaikeampia ovat paalut, joiden kantokyky kokonaan tai osittain muodostuu kitkasta. Toisaalta siirtymäpaalutuksen onnistumismahdollisuudet tällaisissa tapauksissa paranevat, jos sillä tasoitettava painumaero on pienehkö.



Kuva 5. Kantatie 55 Porvoo-Mäntsälä, Vähäjoen sillan pohjoinen tulopenger. Siirtymäpaalutus rakennettu 1971. Lyhimpien paalujen kohdalla tapahtui lyhyessä ajassa haitallisen suurta painumaa ja rakennetta täydennettiin 1974 kevytsorakevennyksellä. Tämän jälkeen siirtymäpaalutuksen ja kevennyksen yhdistelmä on toiminut kohtuullisesti.

### 3.4 Syvästabilointi siirtymärakenteissa

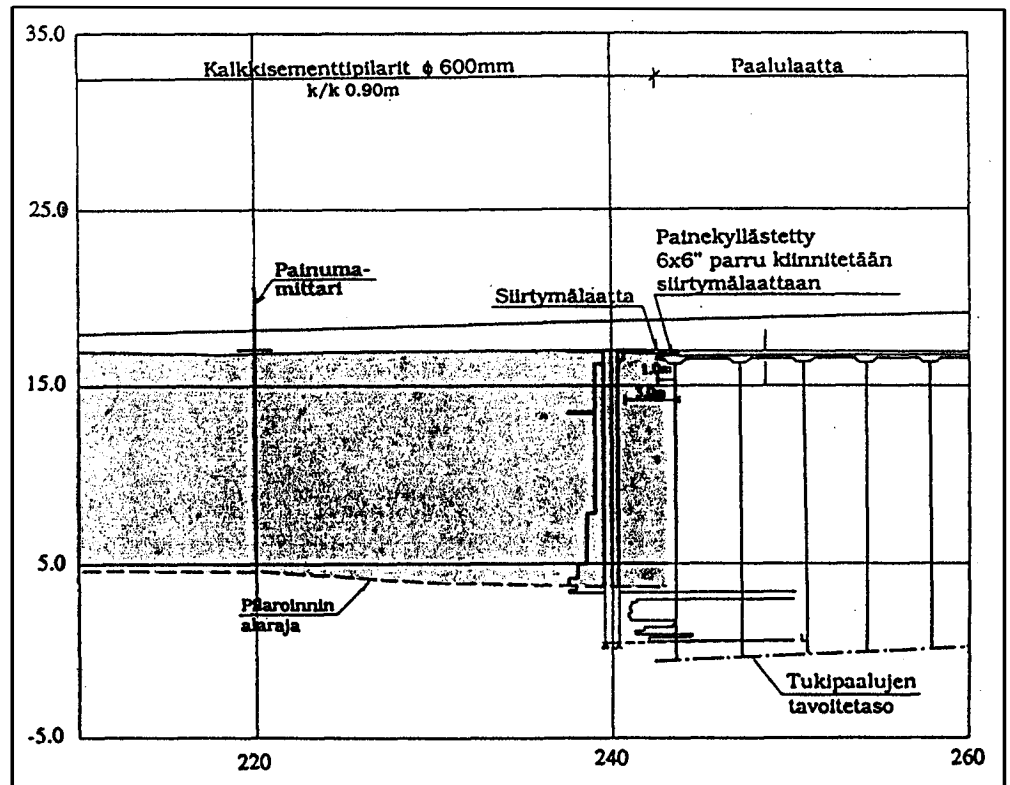
Syvästabilointia on siirtymärakenteissa käytetty seuraavanlaisesti:

- siirtymä paalutukselta pilaroinnille, jossa savikerros on lujitettu koko paksuudeltaan
- asteittain lyhennettävät pilarit siirtymärakenteena
- suhteellisen lyhyiden pilarien käyttö savikerroksen pehmeimmän pintaosan stabilointiin kevennyskiilan yhteydessä

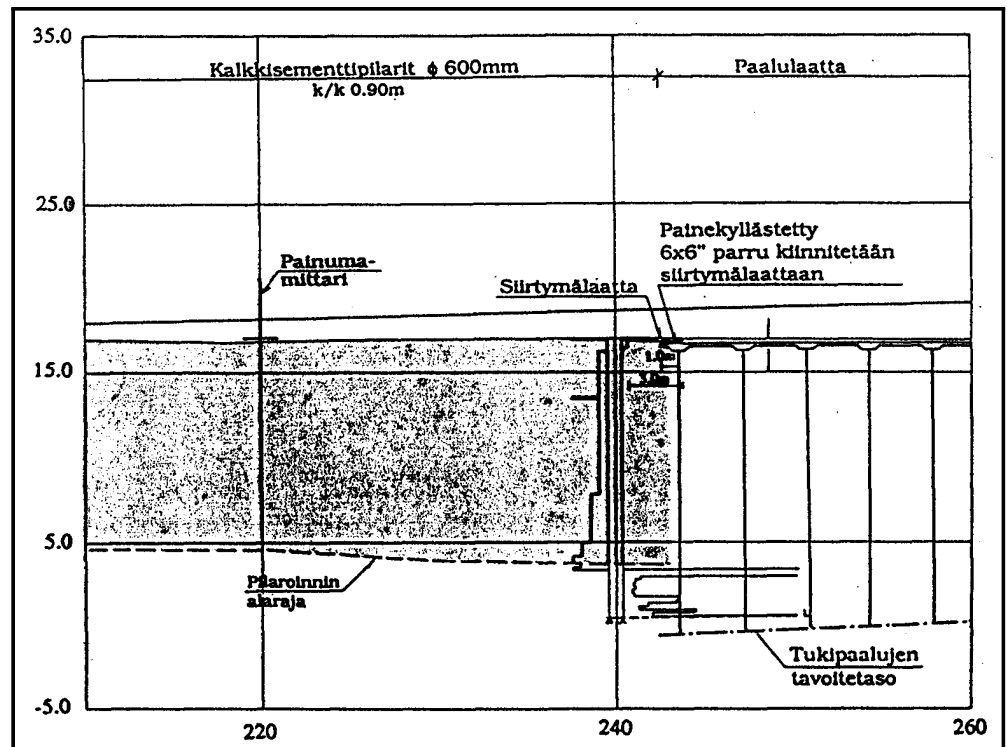
Siirtymä paalutukselta täyssyvälle pilaroinnille on viime vuosien aikana useissa kohteissa osoittautunut hyvin onnistuvaksi ratkaisuksi. Syvätkin pilaroinnit ovat osoittautuneet niin painumattomiksi, ettei silmämääräisesti voida todeta, missä pilaroinnin ja pengerpaalutuksen rajakohta on (kuva 6).

Asteittain lyhennettäviä pilareita on käytetty vasta muutamissa kohteissa mm. sen vuoksi, että mitoitusperusteisiin on liittynyt epävarmuutta. Tähänastiset kokemukset ovat kuitenkin lupaavia (kuva 7).

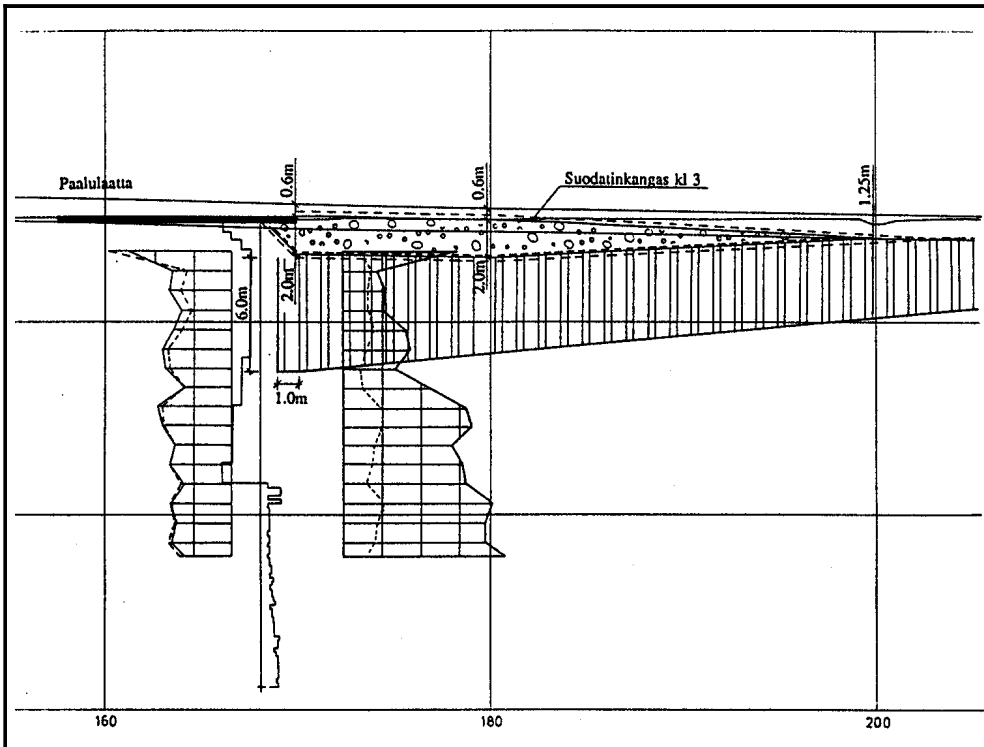
Lyhyiden pilarien käyttö pehmeikön pintaosan lujittamiseen kevennyskiilan yhteydessä on uusi sovellutus. Tästä on esimerkki kuvassa 8.



Kuva 6. Kehä III, Hakunilan eritasoliittymä, ramppi R1, rakennettu 1991. Siirtymä paalulaatalta 14 m syvyyteen ulotetuille 600 mm kalkkisementtipilareille. Rajakohtaa ei ole havaittavissa.



Kuva 7. Kantatie 51, Kirkkonummen eritasoliittymä, ramppi M, rakennettu 1990. Asteittain lyhennettyjen 500 mm kalkkisementtipilarien ja kevennyksen yhdistelmänä toteutettu siirtymärakenne on toiminut hyvin.



Kuva 8. Kantatie 40, Turun ohikulkutie, Topinojan eritasoliittymän ramppi R2, rakennettu 1992. Kevennyskiilalla on periaatteessa nollassa nettokuormitus, mutta lisävarmistuksena onpehmeimämpintakerroksetlujitettu lyhyillä kalkkisementtioilareilla.

### 3.5 Massanvaihto

Massanvaihto saadaan yleensä onnistuneesti liitettyksi muihin perustamistapoihin siten, että perustamistavat menevät muutaman metrin rajavyöhykkeellä päällekkäin. Rajakohtien ratkaisut ovat muodostuneet tyyppiratkaisun luontoisiksi (kuvat 25-28).

Paalutuksen ja massanvaihdon rajakohta tehdään yleensä niin, että muutama paalurivi lyödään massanvaihtotäyten läpi. Rajakohdalla täyttömateriaalin on oltava paaluilla läpäistävä. Massanvaihdon ja syvästabiloinnin rajakohta taas tehdään niin, että stabilointi tehdään ensin ja massanvaihtokaivannon luiska tulee stabiloitua saveen. Kun massanvaihto ja pystyjoitus rajautuvat toisiinsa, tehdään tavallisesti pystyjoitus massanvaihdon jälkeen. Tällöin massanvaihtotäyteen on oltava pystyjoilla läpäistävä.

### 3.6 Pystyjoitus

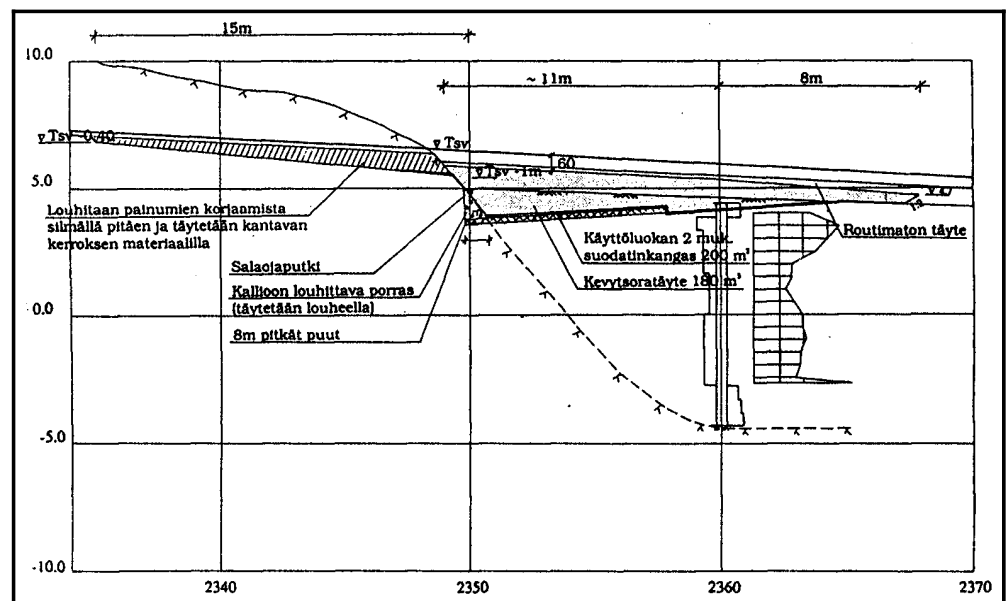
Kun pystyjoitus yleistyi 1980-luvulla, jouduttiin monissa kohteissa toteamaan, että pystyjoituksen liittäminen painumattomaan, esimerkiksi paalutettuun tiepenkereeseen, ei onnistunut suunnitellulla tavalla. Pystyjoitusosuudet ovat muilta osin voineet onnistua varsin hyvin, sillä pienet jälkipainumat eivät tasaisilla pehmeikköosuuksilla ole haitallisia. Laskennallisesti tarkastellen

pystyjoituksella on usein päästy painumattomaan penkereeseen, mutta mitoitusvirheet, toteutusvirheet, sekundääripainumat tms. syyt aiheuttavat jälkipainumia, jotka näkyvät liittyttäessä painumattomaan rakenteeseen. Paitsi pengerraalutus myös syvästabilointi on käytännössä osoittautunut hyvin painumattomaksi viereiseen pystyjoitukseen verrattuna.

### 3.7 Lujitteet ja telat siirtymärakenteissa

Lujitteita on 1980-luvulta alkaen silloin tällöin käytetty siirtymärakenteissa muuta rakennetta täydentävänä lisävarmistuksena, useimmiten ilman tarkempaa mitoitusta. Tällaisesta lujitteen käytöstä on esimerkkinä kuva 4 kohdassa 3.2.

Telarakenteella on lujitteita suurempi jäykkyys ja niitä on käytetty etenkin suopehmeiköllä tai muuten hankalissa olosuhteissa. Telaratkaisut ovat olleet tapauskohtaisia, kuten esimerkki kuvassa 9.



Kuva 9. Paikallistie 11689 Söderkulla-Nikkilä, rakennettu 1979. Telaa käytetty onnistuneesti lisäjäykisteenä kalliroleikkauksen ja kevytsorakiilan rajakohdassa.

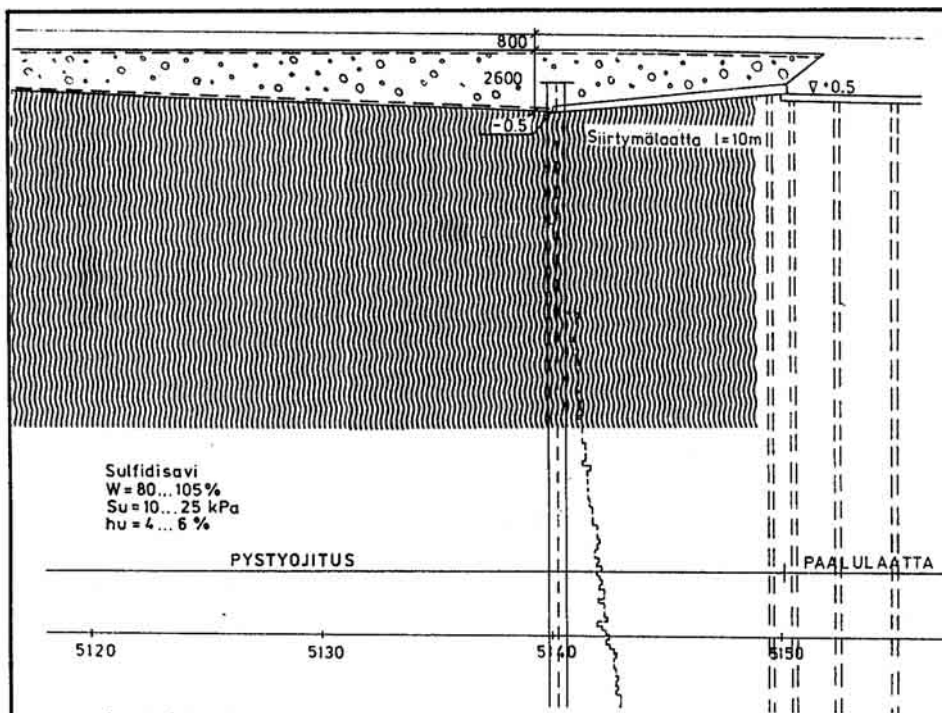
### 3.8 Siirtymälaatat

Siirtymälaattaa on yhä useammin alettu käyttää, paitsi siltojen yhteydessä, myös paalulaatan päättymiskohdassa, kun paalulaatta rajautuu:

- pengervevennykseen
- massanvaihtoon
- syvästabilointiin
- pystyjoitukseen.

ilman siirtymälaattaa toteutettujen paalulaattojen päättymiskohtaan on todettu helposti muodostuvan terävä painumaero. Siirtymälaatan tarpeen ja pituuden määrittämiseen ei ole ollut selviä mitoituksellisia perusteita, vaan asia on yleensä ratkaistu hankekohtaisella päätöksellä.

Kuvan 7 (kohdassa 3.4) esittämässä kohteessa on käytetty 4 m pitkää siirtymälaattaa paalulaatan rajoittuessa syvästabiloinnin ja kevennyksen muodostamaan yhdistelmärakenteeseen. Kuvassa 10 on esimerkki 10 m pituisestä siirtymälaatasta pystyjoituksen ja paalulaatan rajakohdassa.



Kuva 10. Valtatie 3 Pitkämäki-Helsingby. Siirtymälaatta ( $L=10\text{ m}$ ) pystyjoituksen ja paalulaatan rajakohdassa.

## 4 SUOSITUKSET SIIRTYMÄRAKENTEIDEN SUUNNITTELUPERUSTEIKSI

### 4.1 Yleisiä suunnitteluperusteita

Siirtymärakenteiden mitoitus perustuu pääasiassa painumalaskelmiin. Tavallisissa olosuhteissa riittää primäärinen konsolidaatiopainuman suuruuden ja painumanopeuden määrittäminen. On kuitenkin tiedostettava tilanteet, joissa muutkin painumalajit voivat olla merkittäviä.

Sekundääripainumien suuruus on syytä ottaa huomioon ainakin pystyjoitusosuuksilla, kun nämä rajautuvat painumattomaan rakenteeseen, sillä pystyjoitetuilla pehmeiköillä sekundääripainumat pääsevät alkamaan tavallista nopeammin.



Humuspitoisilla pehmeiköllä sekundääripainumat voivat olla merkittäviä muidenkin perustamisratkaisujen yhteydessä.

Pohjamaan plastisoitumisesta aiheutuvia siirtymiä ja painumia tulee erikoisesti välttää siirtymärakenteiden kohdilla. Penkereen alla piastisoituminen on yleensä vähäistä, kun varmuuskerroin sortumista vastaan on suurempi kuin 1,13. Plastisten siirtymien suuruus voidaan tarvittaessa määrittää numeerisiin menetelmiin perustuvilla laskentamenetelmillä, kun pohjamaan geotekniset ominaisuudet on määritetty tarkasti. Erikoisesti kuivakuorikerroksen paksuudella ja ominaisuuksilla on usein huomattava vaikutus muodonmuutoksiin.

Tiegeotekniikan yleisissä mitoitusperusteissa TIEL **3200150 on esitetty seuraavat** tieluokasta riippuvat sallitut pituuskaltevuudenmuutokset tien päällysrakenteen suunnitellun käyttöiän (30 vuotta) aikana:

Moottoriväylät	0,4 ... 0,6%
Valta- ja kantatiet	0,5 ... 0,8%
Seudulliset tiet	0,7 ... 1,1 %
Kokoojatiet	0,9 ... 1,6%
Yhdystiet	1,5 ... %
Betonipäällysteiset tiet	0,5%

Näitä arvoja voidaan pitää suuntaa-antavina lähtökohtina myös siirtymärakenteiden suunnittelussa. Ne johtavat tasalaatuisissa olosuhteissa seuraavan pituisiin siirtymärakenteisiin (mitta L kuvassa 11):

Painuma	Siirtymärakenteen pituus			
	Moottoriväylät	Valta- ja kantatiet	Seudulliset tiet	Betonipäällysteiset tiet
200 mm	33 ... 50 m	25 ... 40 m	18 ... 29 m	42 m
300 mm	50 ... 75 m	38 ... 60 m	27 ... 43 m	Liian suuri
400 mm	67 ... 100 m	50 ... 80 m	36 ... 57 m	kokonais-
500mm		63 ... 100 m	45 ... 71 m	painuma

Käytännön suunnittelussa näistä pituuksista on rakennuskustannusten säästämiseksi jouduttu tinkimään.

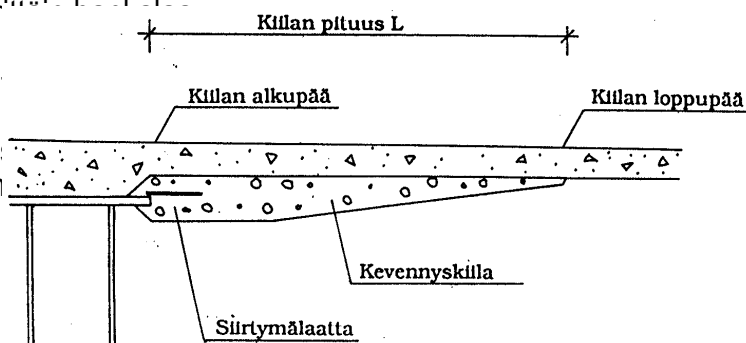
Yleisluontoisesti on syytä todeta, että tien luokka pitää siirtymärakenteen mitoituksessa ottaa huomioon vain siirtymän pituutta määritettäessä. Rajakohdilla sen sijaan pitää pyrkiä välttämään jyrkät painumaerot tien luokasta riippumatta. Epätyydyttävästi toimineissa siirtymärakenteissa on huomattavasti useammin kysymys rajakohdan äkillisestä painumaerosta kuin siirtymärakenteen liiallisesta lyhydestä.

Siltipehmeiköllä painumat tapahtuvat nopeasti, suureksi osaksi jo rakentamisen aikana. Alempiluokkaisilla teillä siirtymärakenne voidaan rakennuskustannusten säästämiseksi joskus suunnitella siten, että penkereen annetaan

painua esim. 1-2 vuotta rakentamisen jälkeen ja tien pinta tasoitetaan painumien tapahduttua. Korkealuokkaisilla teillä tällaisesta ratkaisusta aiheutuvaa huonoa laatutasoa ei pidä hyväksyä edes lyhytaikaisesti.

Betonipäällysteisellä tiellä sallitut kaltevuudenmuutokset ovat likimain samat kuin vastaavanluokkaisella asfalttipäällysteisellä tiellä, mutta vaatimukset on täytettävä suuremmalla varmuudella, sillä painumavaurioiden korjaaminen päällysteen käyttöänsä aikana on erittäin kallis.

Julkaisussa Pohjanvahvistusmenetelmä käsitellyt ratkaisuvaihtoehtojen vertaaminen rakenteiden ollessa kyseessä erityisesti 2.8 käsitellyt ratkaisun onnistumisen.



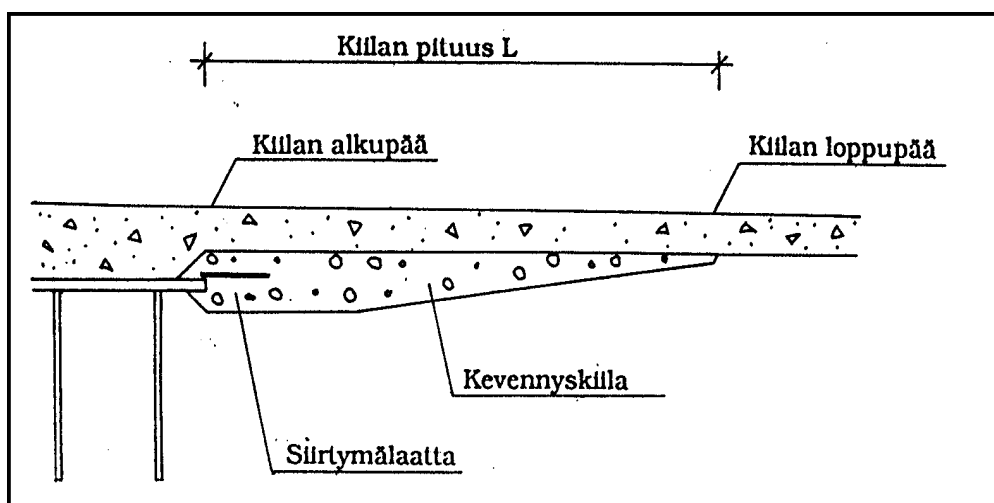
## 4.2 Kevennyskiila

### 4.2.1 Kevennyskiila paalulaatan yhteydessä

#### Laskelmat ja muut tarkastelut

Kevennyksen suunnittelu etenee periaatteessa seuraavasti:

- Valitaan kevennyskiilan alustava pituus.
- Lasketaan 30 vuoden aikana tapahtuva painuma kevennyksen loppupään kohdalla ja vähennetään tästä rakentamisen aikana tapahtuva painuma.
- Tarkistetaan painuman perusteella kiilan pituus  $L$  (kuva 11).
- Tarkistetaan keventämättömän penkereen vakavuus kiilan loppupäässä.
- Suunnitellaan kevennysosuuden päällysrakennepaksuus.
- Mitoitetaan kevennyksen alkupää siten, ettei sen kohdalla tapahdu painumaa.



Kuva 11. Kaavakuva kevennyskiillasta.

- Tarkistetaan, että kevennysosuuden vakavuus on riittävä, jotta plastisia siirtymiä ei esiinny.
- Tarkistetaan varmuus nostetta vastaan.
- Muotoillaan kevennyksen paksuuden muuttuminen alku- ja loppupään välillä.
- Erikoistapauksissa tehdään laskelmia numeerisia menetelmiä käyttäen.

Lopuksi tarkistetaan, kannattaako kiilan alkupää siirtää tien pituussuunnassa eri kohdalle, esimerkiksi matalamman penkereen kohdalle, jossa kiilan alkupää on helpompi saada painumattomaksi.

### **Kuormitusotakumat painumalaskelmissa**

Painumalaskelmassa otetaan kuormituksina huomioon:

- kevennyksen paino ottaen huomioon kuivatusolosuhteet (mahdollisesti alaosa raskaampi)
- pohjaveden aleneminen
- pengertäytteen ja päällysrakenteen paino
- odotettavissa olevat kunnossapitopäällystykset
- mahdolliset paalutustyötä varten tehtävät työalustat
- kevennyksenä poiskaivettavan maan paino
- siirtymäläattojen oma paino (tarvitsee ottaa huomioon vain yli 5 m pitkillä laatoilla)

Maapohjan konsolidaatiotila vaikuttaa merkittävästi kevennyksen mitoittamiseen ja sitä kautta ratkaisun kustannuksiin. Normaalikonsolidoituneilla pehmeiköillä tulee pyrkiä saamaan nettokuorma nolaksi. Tämä on sitä tärkeämpää, mitä pehmeämmistä savikerroksista on kysymys ja mitä ohuempi kuivakuorikerros kevennyksen alle jaa. Silloin kun maapohja on ylikonsolidoitunutta, on mitoituksessa käytettävän konsolidaatiojännityksen tulkinnassa syytä noudattaa varovaisuutta. Vanhaa pengertä kevennettäessä tulee ottaa huomioon, että pengerkuormasta aiheutuvat painumat voivat vielä olla käynnissä ja maapohja näin ollen olla alikonsolidoituneessa tilassa.

Mitoituksessa voidaan käyttää tavallisten kevennysmateriaalien tilavuuspainoina seuraavia (Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet TIEL 3200150):

- kevytsora kuivana 5 kN/m<sup>3</sup>, ajoittain veden alla 6 kN/m<sup>3</sup>
- kevytsorabetoni QS200 7 kN/m<sup>3</sup>
- EPS-penger kuivana 1 kN/m<sup>3</sup>, pysyvästi veden alla 1,5 kN/m<sup>3</sup>

Kevytsorabetonin tilavuuspainon ja puristuslujuuden välillä vallitsee likimäärin kaavan (1) mukainen riippuvuus.

$$\text{tilavuuspaino (kN/m}^3\text{)} = \text{puristuslujuus (MPa)} + 4,6 \quad (1)$$

Pohjaveden aleneminen lasketaan pohjavedenpinnan aikaisemman alarajan ja tulevan alarajan erotuksena. Tuleva alaraja voidaan tapauksesta riippuen olettaa esim. kevytsoran alapinnan tasoon, muuhun salaojitustasoon, tule-

vaan ojanpohjaan tai rakennettavan putkijohdon sora-arinan alapinnan tasoon. Pohjaveden alenemisen sivusuuntainen ulottuvuus arvioidaan tapauskohtaisesti.

Pohjaveden ollessa syvemmän savikon alapuolisissa karkearakeisissa kerroksissa paineellista käytetään kevennyskiilojen mitoituksessa "pohjavesipintana" maanpinnan alapuolella sijaitsevaa huokosvesipaineen nollavirtaa. Se joudutaan arvioimaan esim. painokairauksien tai huokospainemittauksien perusteella, koska pohjavesiputkista saadaan vain painekorkeus syvemmissä karkearakeisissa kerroksissa. Kevennyskiiloilla ei ole yleensä vaikutusta alempien karkearakeisten kerroksien pohjavesipaineeseen. Sen sijaan vieressä tehtävän paalutuksen, siirtymäpaalutuksen tai siirtymäpilaroinnin vaikutus arteesiseen paineeseen ja sitä kautta savikon huokosvesipaineisiin ja painumiin on tapauskohtaisesti otettava huomioon.

Pengertäytteen ja päällysrakenteen tilavuuspainona voidaan käyttää 20 kN/m<sup>3</sup> (Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet TIEL 3200150).

### **Jännitysjakautuma painumalaskelmia varten**

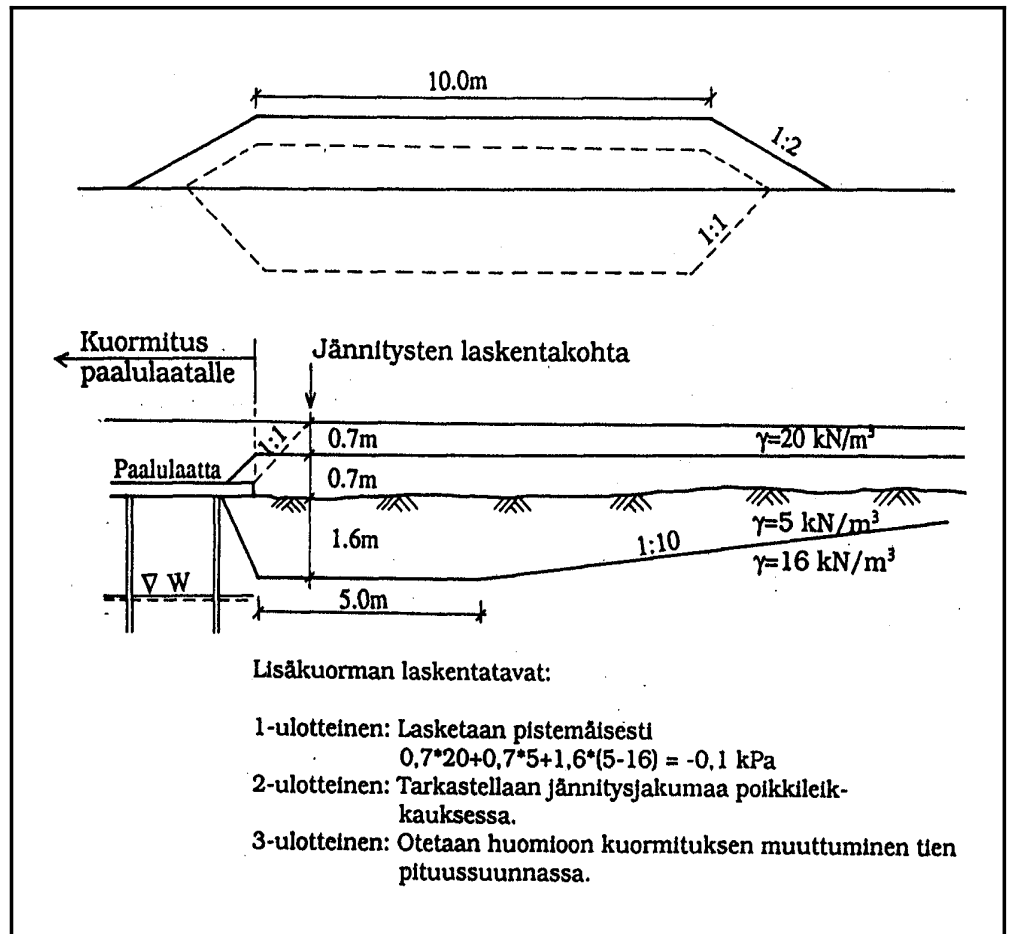
Jännitysten jakautuminen voidaan yleensä laskea Boussinesqin kaavoilla, jotka perustuvat kimmoteoriaan ja maapohjan homogeenisuuteen. Jos kevennyksen alle jää paksu kuivakuorikerros, joka pystyy jakamaan kuormituksia, Boussinesqin kaava voi antaa varmallalla puolella olevia tuloksia.

Kevennyksen mitoituksessa oleellisin asia on välttää konsolidaatiojännityksen ylittyminen ja näin estää painumat maksimikevennyksen kohdalla. Mitoittava kohta voidaan valita kuvan 12 mukaisesti, sillä aivan paalulaatan vieressä laatan holvaava vaikutus pienentää jännityksiä.

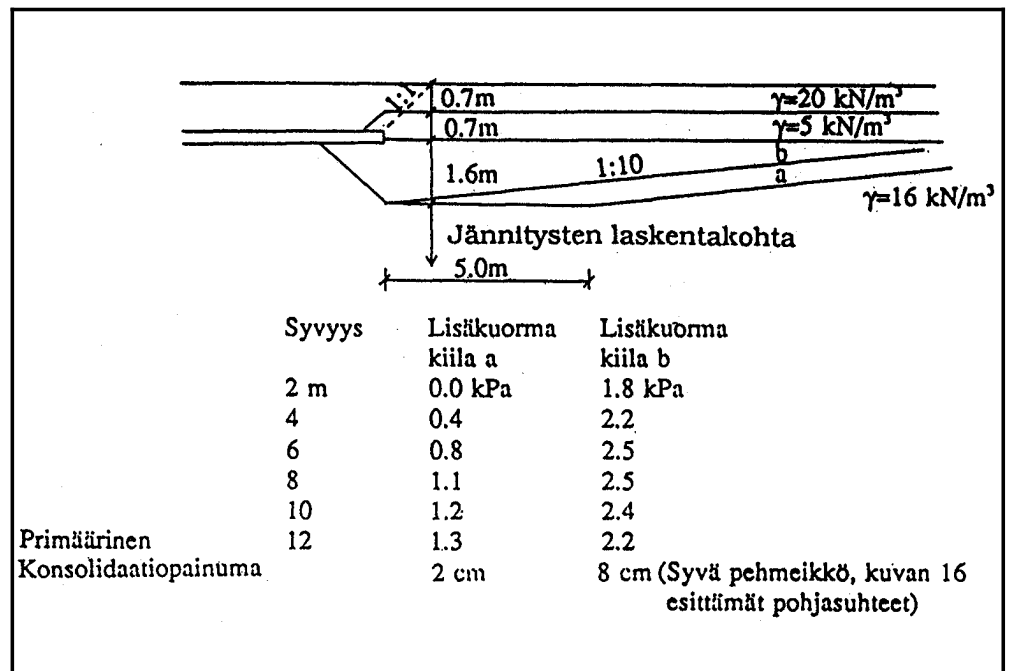
Kun nettokuorma on lähellä nolaa, ei lopputuloksen kannalta ole aina tarpeen laskea jännityksiä 2- tai 3-ulotteisen tapauksen kaavoilla. Tarkimman tuloksen saavuttamiseksi on syytä tehdä laskelmat 3-ulotteisesti, jos kuormituksen muodostuminen on geometrisesti monimutkainen, tai ylikonsolidoituneella savikolla, jossa voidaan sallia lisäkuormitusta.

Jos jännitykset lasketaan 1-ulotteisesti, on syytä pyrkiä kevennyksessä noin 3 kPa varmuusmarginaaliin, sillä varsinkin syvillä pehmeiköillä maksimikevennyksen kohdalle kertyy lisäjännityksiä penkereen reunaosilta sekä myös kiilan pituussuunnassa vähemmän kevennetyiltä kohdilta. Tämä johtaa noin 0,3 m paksuun kevytsorakiilaan kuin siinä tapauksessa, että nettokuorma olisi nolla.

Kevennyskiilan muoto valitaan siten, että riittävä kevennysvaikutus saavutetaan. Kuvassa 13 on esitetty vertailu kahden erilaisen kiilamuodon välillä. Valinta näiden välillä ja tasapaksun kevennysosuuden pituus riippuvat mm. pehmeikön syvyydestä. Tasapaksun maksimikevennyksen tarkoitus on varmistaa riittävä kevennys rajakohdalla. Siirtymärakenteen kokonaispituus lasketaan paalulaatan reunasta.



Kuva 12. Kaavakuva kevennyskiilan kuormatarkasteluista.



Kuva 13. Vertailu kahden kevennyskiilamuodon välillä (Jännitysjakauma). Poikkileikkaus sama kuin kuvassa 12.

## Painuman suuruuden ja painumanopeuden laskenta

Painuman suuruus ja painumanopeus lasketaan yleensä kiilan loppupään kohdalla. Kiilan alkupäässä varmistetaan vain, että painumaa ei tapahdu.

Painuman suuruus voidaan laskea mm. tangenttimoduulimenetelmällä.

Painumanopeus lasketaan yleensä yksisuuntaisen suotovirtaustilan perusteella. Todellisuudessa suotovirtausta saattaa tapahtua paalulaatan suuntaan sekä penkereen sivuille, mikä nopeuttaa painumia varsinkin kiilan alkupäässä. Useampisuuntaista suotovirtausta on käsitelty raportissa "LR 3- Pehmeikölle maan varaan rakennettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat". Kiilan alkupään kohdalla ei painumaa pidä sallia, joten painumanopeudella ei onnistuneissa tapauksissa ole merkitystä.

## Kevennetyn penkereen päällysrakenne

Kevennyksen päällä käytettävä päällysrakenne suunnitellaan ottaen huomioon:

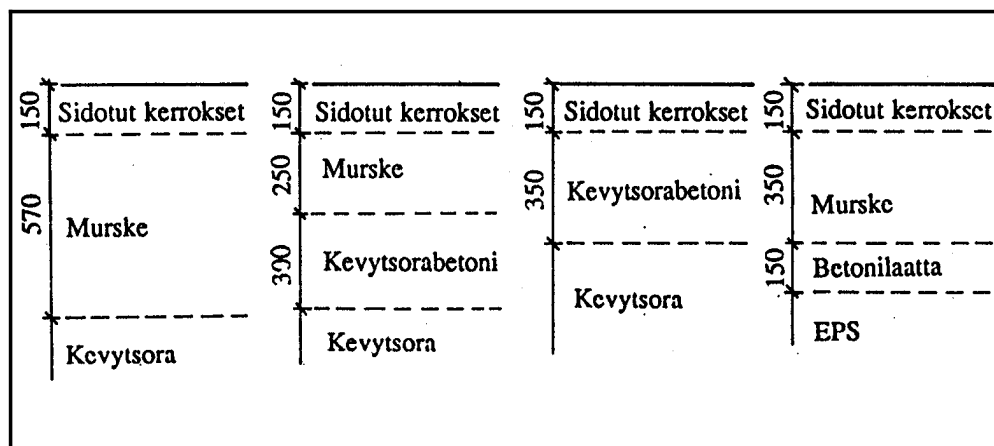
- päällysrakenteen riittävä kantavuus ja kuormituskestävyys
- liukkausriski (yleensä on varottu alle 0,7 m paksuisia rakenteita, kevyen liikenteen väylillä vastaava raja 0,4 m)
- kevennysmateriaalin suojaaminen

Kevytsora voidaan päällysrakenteen mitoituksessa rinnastaa Nuokan hienoon hiekkaan ja sen E-moduulina voidaan käyttää 45 ... 50 MPa. Tämä johtaa esimerkiksi 720 mm paksuiseen kevennyksen päälle tulevaan rakenteeseen päällysrakenneluokassa 2 (kokonaispaksuus myöhemmin toteutuvine päällystevaroineen).

Moottoriväylillä ja muilla erityisen raskaasti kuormitetuilla valta- ja kantateillä edellyttää riittävän kantavuuden saavuttaminen usein stabilointiratkaisuja joko päällysrakenteessa (maabetoni) tai kevytsorakerroksessa (kevytsorabetoni, kevytsora-asfaltti).

Kevytsorabetonin kantavuus on hyvä, ja päällysrakenne voidaan ohentaa jopa 100 ... 150 mm:iin (pelkkä päällyste). Käytännön havainnot eivät ole viitanneet siihen, että tällaisetkaan rakenteet olisivat tavallista liukkaampia. Liukkauden kannaltavarmempi, mutta kevennysvaikutukseltaan tehottomampi vaihtoehtoinen ratkaisu on 150 ... 250 mm murskekerroksen käyttö päällysteen ja kevytsorabetonin välissä.

Kun EPS-kevennys on suoraan päällysrakenteen alla, sen päälle tehdään materiaalin suojaamiseksi ja blokkien sitomiseksi 0,15 ... 0,2 m paksu betonilaatta, joka samalla varmistaa päällysrakenteen kantavuuden. Laatan päälle tuleva rakennepaksuus määräytyy lähinnä siitä, miten hyvä varmuus liukkautta vastaan halutaan.



Kuva 14. Kevennettyjen penkereiden päällysrakennerratkaisuja (päällysrakenneluokka 2).

### Nostemitoitus

Nostemitoituksessa kevennysmateriaalien tilavuuspainoihin sisällytetään varovaisuus päinvastaiseen suuntaan kuin kevennyslaskelmissa. Tilavuuspainoina käytetään seuraavia:

- kevytsora 3 kN/m<sup>3</sup>
- kevytsorabetoni 2 kN/m<sup>3</sup> vähemmän kuin kevennyslaskelmissa, esim. QS200 5 kN/m<sup>3</sup>
- EPS 0,2 kN/m<sup>3</sup>

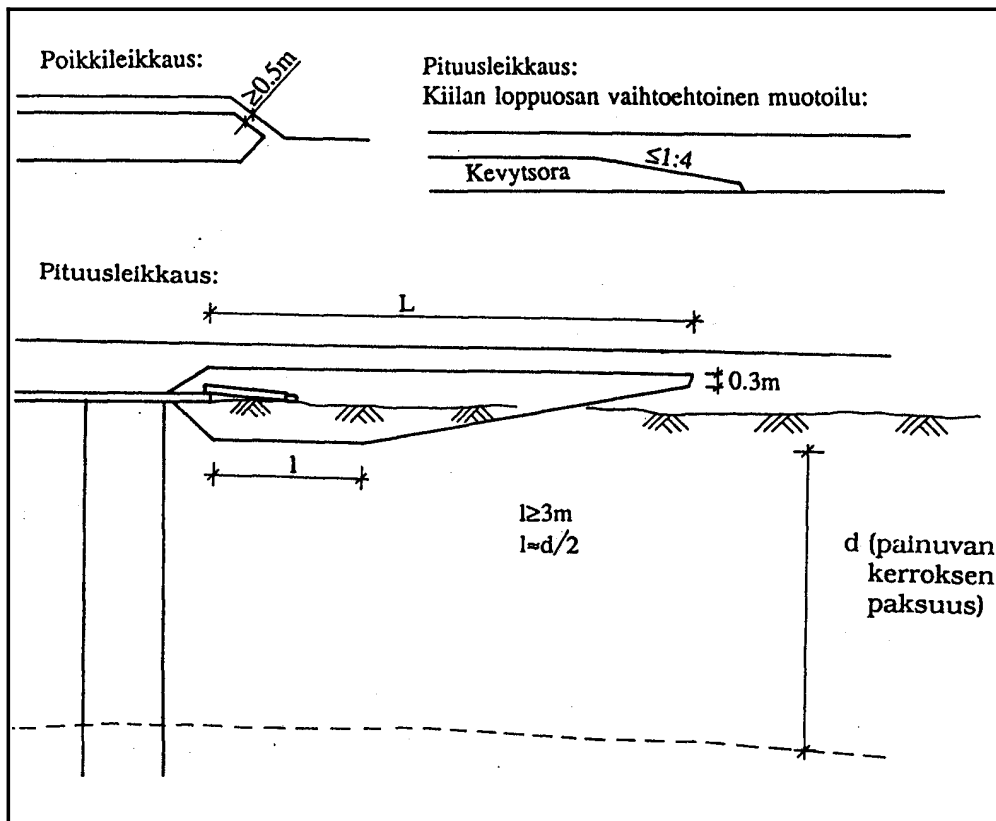
Vesipinta oletetaan ylimpään mahdollisesti toteutuvaan tasoon.

Kokonaisvarmuuskertoimeksi nosteen aiheuttamaa sortumaa vastaan vaaditaan vähintään  $F = 1,2$ . Tällöin "passiivivoimiin" lasketaan rakennekerrosten paino tutkittavaan tasoon saakka edellä esitettyjä tilavuuspainoja käyttäen, vaikka kerrokset olisivatkin vedenpinnan alapuolella. "Aktiivivoima" koostuu tällöin koko vedenalaiselle osalle lasketusta nosteesta 10 kN/m<sup>3</sup>.

### Kevennyskillan muotoilu

Kuvassa 15 on esitetty kevennyskillan muotoiluun liittyviä mittasuosituksia-

Tavallisin tiivistysmenettely on ollut koko kevytsorakerroksen tiivistäminen yhdellä kerralla kevytsorakerroksen päälle tehdyn jakavan kerroksen päältä. Paksuihin kevytsorakiiloihin tehdään joskus välikerroksia (kuitukangas ja 0,2 ... 0,3 m mursketta) tiivistettävyyden parantamiseksi. Koska tällaiset kerrokset heikentävät kevennysvaikutusta, niiden tarpeellisuus on harkittava tapauskohtaisesti. Ainakaan alle 2 m paksuisissa kiiloissa ne eivät ole tarpeen. Kevytsoraa voidaan tiivistää myös ilman murskekerrosta tela-alustaista konetta käyttäen, jolloin ohut pintaosa murskaantuu. Tiivistämistulos riippuu kevytsoran rakeisuudesta ja koneen painon sopivuudesta.



Kuva 15. Kevennyskiilan muotoilun yksityiskohtia.

### Kevennyskiilojen epäonnistumisten syitä

Kevennyskiilojen vaurioitumiseen on voitu arvioida olleen seuraavankaltaisia syitä:

#### Usein toistuneita syitä:

- Pohjamaalle tulevaa lisäkuormitusta ei ole täysin nollattu.
- Pohjaveden alenemista ei ole otettu huomioon riittävässä määrin.
- Kuivakuorikerros on poistettu, mikä on aiheuttanut pohjamaan plastisoitumista ja vähitellen kasvavaa osittain sivusiirtymistä aiheutuvaa painumaa.
- Kevytsorakerroksessa on tapahtunut jälkitiivistymistä.
- Raskaan liikenteen dynaaminen kuormitus on pahentanut syystä tai toisesta alkunsa saanutta epätasaisuutta.
- Vanhan tiepenkereen alla vallinnut konsolidaatiotila on arvioitu väärin.
- Siirtymärakenne on suunniteltu liian korkean penkereen kohdalle tapauksissa, joissa järkevämpää olisi ollut jatkaa pengerialutusta.

#### Syitä, joiden epäillään toistuneen:

- Kevytsorakerros on saattanut toteutua mitoiltaan liian pienenä (käytännössä vaikea päästä parempaan mittatarkkuuteen kuin 0,2 m)



- Kevytsora on saattanut puutteellisesti kuivatettuna ja erityisesti painu-neena imeä vettä ja muuttua suunnitteluvaiheessa oletettua raskaam-maksi.

#### Yksittäisiä erikoistapauksia:

- Pengerpaalujen lyöminen on alentanut arteesista pohjavedenpainetta ja aiheuttanut tätä kautta lisäkuormaa ja painumaa.
- Tulviva joki on huuhdellut kevytsoraa louhepenkereen sekaan.

#### **Kevennyskiilan toimintaa vaikeissa olosuhteissa parantavia ratkaisuja**

Jos nettokuorman nollaaminen tavanomaisella kevytsorakevennyksellä ei luotettavasti onnistu, on syytä tutkia seuraavankaltaisia ratkaisuja keven-nysvaikutuksen parantamiseksi:

- EPS-kevennys paremman kevennysvaikutuksen aikaansaamiseksi var-sinkin kevennyksen alaosassa
- päällysrakenteen ohentaminen stabiloitua kevytsoraa käyttäen, jolloin kevennys saadaan paremmaksi, kantavuus paremmaksi ja kevytsoran jälkitiivistyminen vähäisemmäksi

Jos maapohja on hyvin pehmeää, voidaan rakenteen toimivuutta parantaa seuraavankaltaisilla ratkaisuilla:

- poiskaivetun kuivakuoren korvaaminen telarakenteella tai peltiarinalla rakenteen jäykkyyden lisäämiseksi
- pehmeiden pintakerrosten lujittaminen lyhyillä syvästabilointipilareilla
- koko kevennyskiilan korvaaminen siirtymäpilareilla

Erityisesti silloin kun välittömästi kevennyksen alapuolella savikerroksen vesi-pitoisuus on yli 100% tai suljettu leikkauslujuus alle 10 kPa, on syytä suhtautua varovaisesti tavanomaisen kevennyskiilan toimivuuteen.

#### **4.2.2 Kevennyskiila hattupaalutuksen yhteydessä**

Kun siirrytään hattupaalutukselta kevennykselle, noudatetaan varsin pitkälle samoja periaatteita kuin paalulaatan ollessa kyseessä. Hattupaalutuksen yhteydessä tulee ottaa huomioon:

- Siirtymälaattaa ei voida tukea tavallisiin paaluhattuihin. Laatan sijasta käytetään joskus lujitteita.
- Viimeiset paalurivit on helpompi saada jonkin verran painuviksi kitka- tai koheesiopaaluiksi kuin paalulaattatapauksessa.
- Varsinkin pengerkorkeuden ollessa pieni on kiinnitettävä huomiota reunimmaisten paaluhattujen kallistumisvaaraan.

### 4.2.3 Kevennyskiila syvästabiloinnin yhteydessä

Siirryttäessä syvästabiloinnilta kevennykselle voidaan noudattaa soveltuvin osin samoja periaatteita kuin paalulaatalta kevennykselle siirryttäessä. On kuitenkin kaksi merkittävää näkökohtaa, jotka tässä tapauksessa helpottavat joustavan siirtymän aikaansaamista:

- Pilarikentän reunimmaisiet pilarit on helppo tehdä tarvittaessa määrämittäisiksi ja jonkin verran painuviksi.
- Kevennys voidaan kaivaa pilaroituun saveen helpommin riittävän syväksi.

## 4.3 Syvästabilointi siirtymärakenteissa

### 4.3.1 Syvästabiloinnin liittäminen pengerpaalutukseen

**Kun siirrytään** pengerpaalutukselta syvästabiloinnille, pilarit ulotetaan paalutukseen rajoittuvalla osuudella savikerroksen alarajaan. Tämän täyssyville pilareille perustettavan osuuden minimipituudeksi suositellaan puolet pehmeikön syvyydestä, kuitenkin vähintään 5 metriä. Kohdassa 3.4 kuvassa 7 esitettyssä esimerkkitapauksessa paalulaattaan rajautuvat pilarit on jätetty jonkin verran lyhyemmiksi, koska kyseisen kohteen suunnittelun aikaan ei vielä ollut varmaa tietoa syvien pilarointien onnistumisesta.

Pilarointi voidaan mitoittaa Syvästabilointiohjeen STO-91 mukaisesti tai esimerkiksi seuraavan yksinkertaistetun menettelyn mukaisesti:

- kuormituksina otetaan huomioon penkereen paino ja 10 kPa liikennekuorma
- kaiken kuorman oletetaan siirtyvän pilareille
- pilareille sallitaan kuormitusta murtokuorma jaettuna osavarmuuskertoimella 1,0 ... 1,2

Paalutuksen ja pilaroinnin rajakohtia on onnistuneesti toteutettu siten, että reunimmaisiet pilarit ovat paalulaatan reunan kohdalla, limittämättä perustamistapoja enempää.

Paalutuksen ja syvästabiloinnin välisestä työjärjestyksestä ei ole annettavissa yleispätevää suositusta.

Läpimitaltaan 600 mm pilarit ovat tavallisesti taloudellisempia eivätkä teknisesti ainakaan huonompia kuin pienempiläpimittaiset.

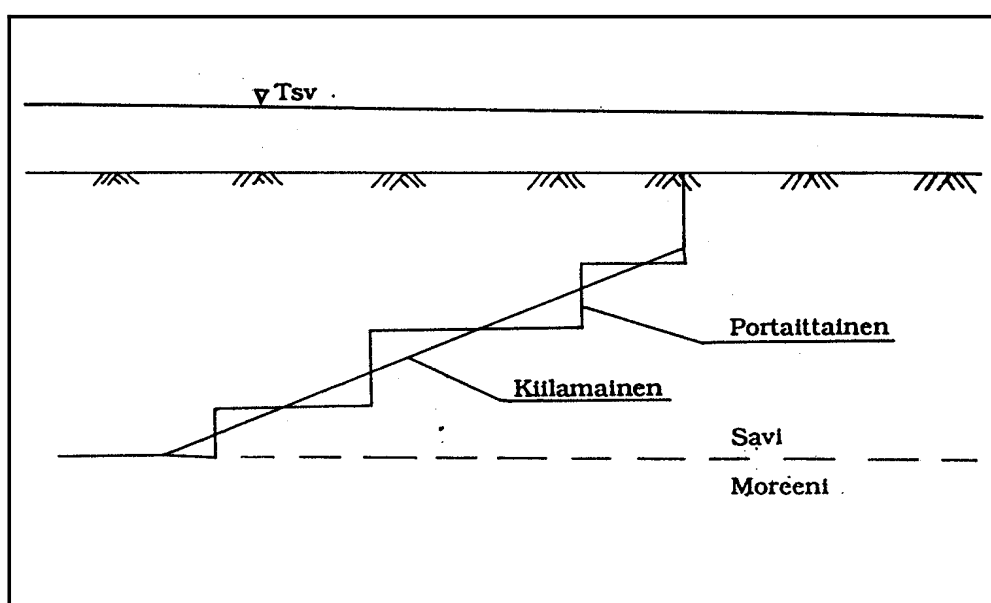
Jos pilareilla lujitettavan pehmeän savikerroksen alle jää esimerkiksi silttiä, on yleensä edullisinta vähentää jälkipainumia esikuormittamalla pilaroitua kohtaa täyskorkealla penkereellä. Muutaman kuukauden esikuormitus ennen päällystämistä on muissakin tapauksissa suositeltava lisävarmistus pienten jälkipainumien varalta.

### 4.3.2 Siirtymäpilarointi

#### Yleistä

Pilarit voidaan lyhentää joko kiilamaisesti tai portaittain (kuva 16). Kun portaittain lyhentämistä on käytetty, syynä on ollut toteutuksen yksinkertaistamiseen pyrkiminen. Periaatteellista mitoituksellista eroa näillä tapauksilla ei ole, ja ne käsitellään jäljempänä yhdessä.

Pilaroidun vyöhykkeen oletetaan yleensä laskelmissa toimivan yhtenäisenä ja jäykkyydeltään sellaisena, että se pystyy jakamaan ja tasoittamaan jännityksiä.



Kuva 16. Pilarien lyhentämisen vaihtoehtoiset-tavat.

#### Jännitysten jakautuminen

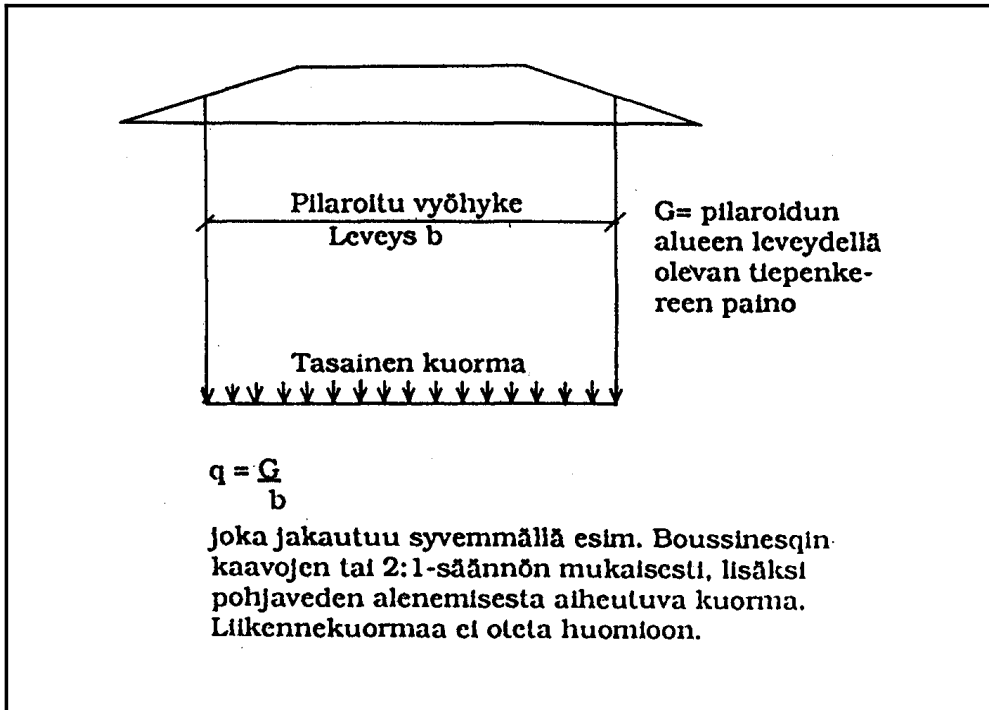
Tiepenkereen painosta aiheutuvien lisäjännitysten voidaan olettaa jakautuvan kuvassa 17 esitetyn mukaisesti.

Kuvassa 17 esitetty otaksuma jännitysten jakautumisesta pitää parhaiten paikkansa, kun tiepenger on suhteellisen leveä eivätkä pilarit ole kovin pitkiä. Kun pilarit ovat pitkiä ja/tai pilaroitu alue kapea, jännitysten jakautuminen pilaroidun vyöhykkeen ulkopuolelle tulee merkittävämmäksi. Jos pilaroidun alueen vieressä tapahtuu suurempaa painumaa kuin pilarien kohdalla, painumasta voikin aiheutua lisäkuormaa pilareille, ks. kuva 18.

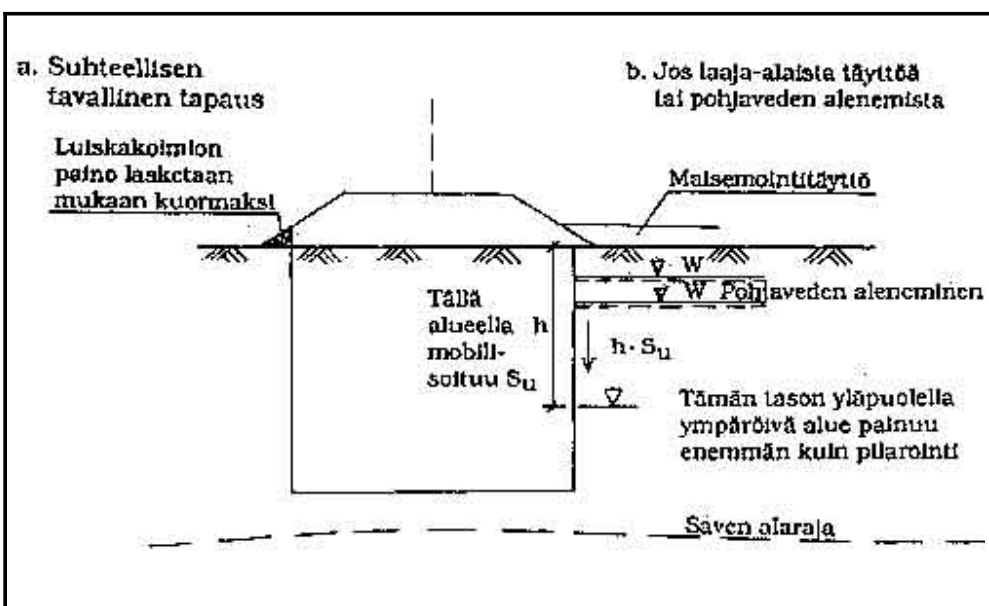
#### Painumalaskelmat

Pilaroinnin alapuolelle jäävien maakerrosten painuman suuruus lasketaan normaaliin tapaan esim. tangenttimoduulimenetelmällä. Itse pilaroinnin painumat tapahtuvat nopeasti eikä niillä ole mitoituksessa merkitystä.

Koska pilarointi parantaa huomattavasti saven vedenjohtavuutta, myös pilarien alapuolisen saven painumat nopeutuvat. Usein oletetaan, että painumanopeus voidaan laskea olettaen huokosveden pääsevän purkautumaan pilarien alapuolelle tasolla, ainakin kun kysymyksessä ovat kaikkipilarit. Kalkkisementtipilareilla tilanne lienee jokseenkin sama, vaikka vedenjohtavuus onkin pienempi kuin kalkkipilareilla. On mahdollista, että joillakin sideaineilla pilarien vedenjohtavuus ei kasva.



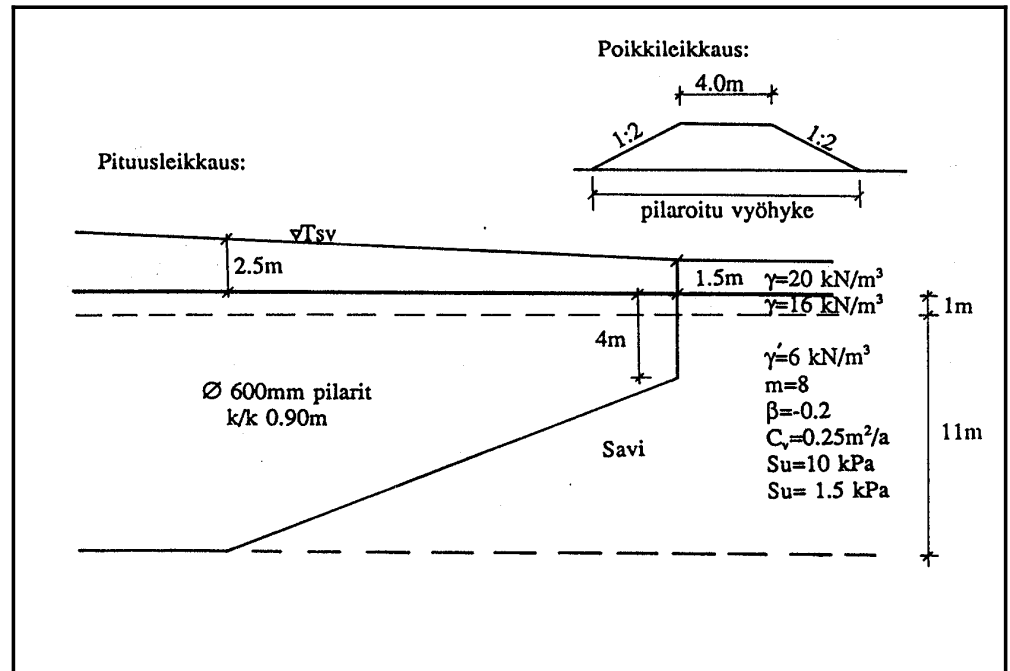
Kuva 17. Jännitysten jakautuminen määrämittaisten pilarien alapuolella.



Kuva 18. Pilaroidulle vyöhykkeelle kertyvä lisäkuorma, jos ympäröivä alue painuu enemmän kuin pilarit

## Laskentaesimerkki

Lasketaan kuvassa 19 esitetyn kevyen liikenteen väylän painumat, kun siirtymärakenteena käytetään asteittain lyhennettäviä pilareita.



Kuva 19. Esimerkki asteittain lyhennettävistä pilareista siirtymärakenteena.

Arvioidaan jännitysten jakautuminen.

### a) Otaksuma 1

Oletetaan, että pengerkuormasta aiheutuvat jännitykset jakautuvat tasaisesti pilaroidun vyöhykkeen alarajalla ja sen alapuolella jakautuvat Boussinesqin kaavojen mukaisesti.

Pengerkuormasta aiheutuvia lisäjännityksiä ei siirry pilaroidun vyöhykkeen ulkopuolelle pilaroidun vyöhykkeen ulkopinnasta.

Pengerkuormasta aiheutuvat lisäjännitykset lasketaan 2-ulotteisesti, ts. tarkastellaan poikkileikkauksia.

### b) Otaksuma 2

Tämä poikkeaa jännitysjakaumaotaksumasta 1 sikäli, että pilaroidun vyöhykkeen ulkopinnoilla oletetaan mobilisoituvaksi saven suljettu leikkauslujuus ja tämän mukainen osa pengerkuormasta siirtyy pilaroidun vyöhykkeen ulkopuolelle.

Tarkastelu on edelleen 2-ulotteinen.

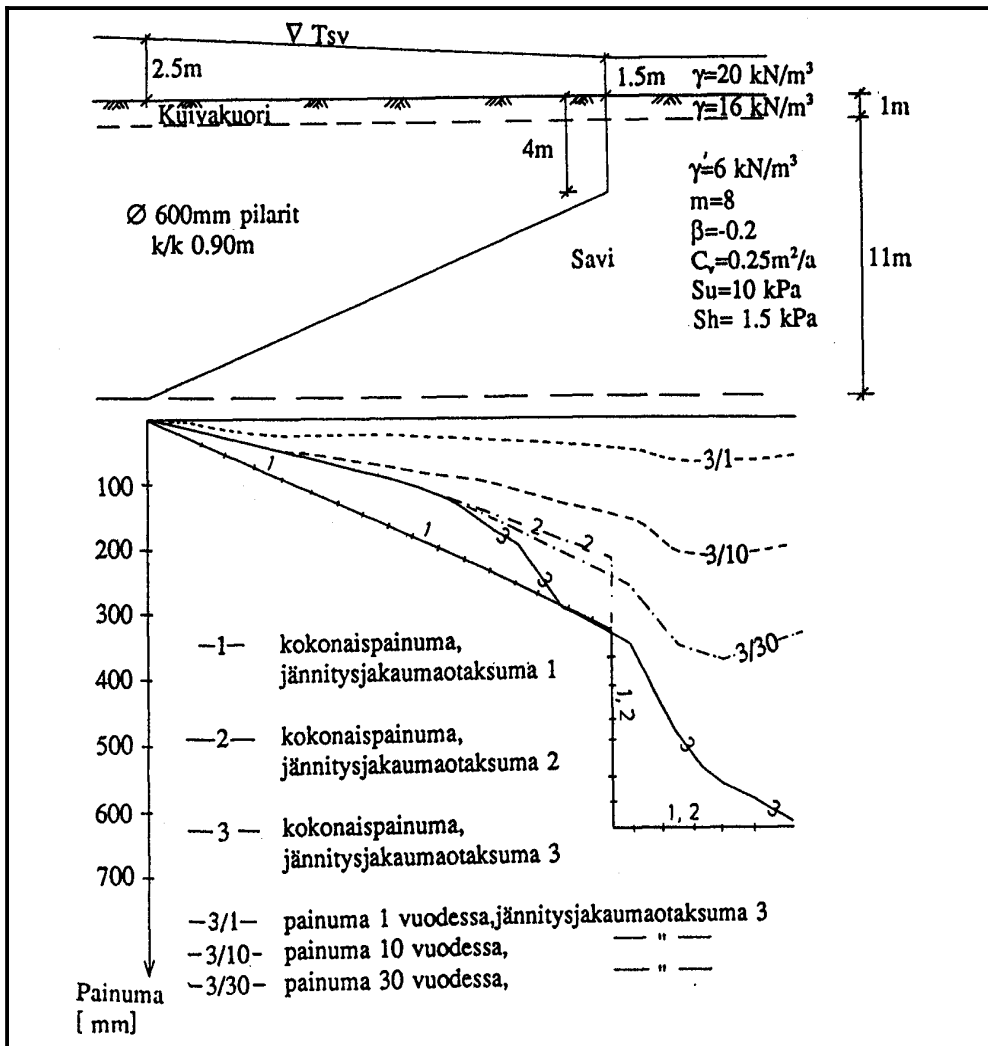
## c) Otaksuma 3

Tämä poikkeaa jännitys jakaumaotaksumasta 2 sikäli, että maanvaraisen penkereen alkuosan oletetaan "roikkuvan" pilaroidun vyöhykkeen varassa. Rajapinnalla oletetaan tällöin mobilisoituvan saven suljettu leikkauslujuus.

Jännitys jakaumatarkastelu tehdään 3-ulotteisena.

Otaksuma 3 vastaa parhaiten todellisuutta kohdassa, jossa siirrytään lyhyeltä pilaroinnilta maanvaraiselle penkereelle.

Muulla osuudella todellinen jännitys jakauma lienee otaksumien 1 ja 2 välillä. Jännitys jakaumaotaksuman 2 olettamus rajapinnalla mobilisoituvasta täydestä suljetusta leikkauslujuudesta saattaa olla liian rohkea.



Kuva 20. Kuvassa 19 esitetyn esimerkkikohteen painumaviiva eri laskentaotaksumilla.

Laskettu painuma ja sen ajallinen kehittyminen eri laskentaotaksumilla on esitetty kuvassa 20. Painumanopeuslaskelmissa on pilarien alapuolisen saven oletettu konsolidoituvan 2-suuntaisesti käyttäen kerrospaksuutena pilaroimatoman saven paksuutta.

### **Lyhyiden pilarien käyttäytyminen**

Kun tarkastellaan yksittäistä pilaria pysyvässä tilanteessa, tämän esimerkitapauksen lyhimmilläkin pilareilla (4 m) kaikki kuorma siirtyy saven leikkauslujuuden mobilisoituessa pilarin vaipan kautta savelle eikä kärjelle jää teoriassa kuormitusta lainkaan. Sama olisi tämän tapauksen lujuusarvoilla tilanne jo 1,5 ... 2,5 m pitkillä pilareilla. Tästä tuloksesta voidaan päätellä, etteivät lyhyetkään pilarit käyttäydy samaan tapaan kuin liian lyhyet koheesiopaalut, joiden kantokykyä riittämättömäksi. Siirtymärakenteissa käytettävien pilarien mielekäs minimipituus lienee kuitenkin 2,5 ... 3 m.

Rakentamisen aikana vallitsee jonkin aikaa tilanne, jossa sekä yksittäisen pilarin että pilariryhmän kantokyky on riittämätön, koska pilareita ympäröivä ja niiden alapuolinen savi on hetkellisesti häiriintyneessä tilassa pilaroitityön vaikutuksesta. Tässä esimerkkitapauksessa varmuuskerroin pilarien alapuolisen saven murtumista vastaan on 0,45, kun savi on täysin häiriintynyt, ja varmuuskertoimeen 2,0 päästään, kun savi on saavuttanut 60 % alkuperäisestä lujuudestaan. Saven lujuuden palautumiseen tarvittava aika on yleensä samaa suuruusluokkaa kuin pilarien lujittumisaika (1-3 kk).

#### **4.3.3 Massasyvästabilointi siirtymärakenteissa**

Massasyvästabilointi on uusi pohjanvahvistusmenetelmä, joka on v. 1993 edennyt ensimmäisten kokeilujen vaiheeseen. Massasyvästabiloinnissa sideaine sekoitetaan pehmeään pohjamaahan moneen suuntaan liikkuvalla sekoittimella siten, että pyritään muodostamaan yhtenäinen stabiloitu vyöhyke. Nykyiset koneet pystyvät sekoitukseen enimmillään 5 metrin syvyydellä.

Massasyvästabilointia tullaan todennäköisesti soveltamaan siirtymärakenteissa samaan tapaan kuin asteittain lyhennettäviä pilareita, kun työtekniikka on riittävästi kehittynyt.

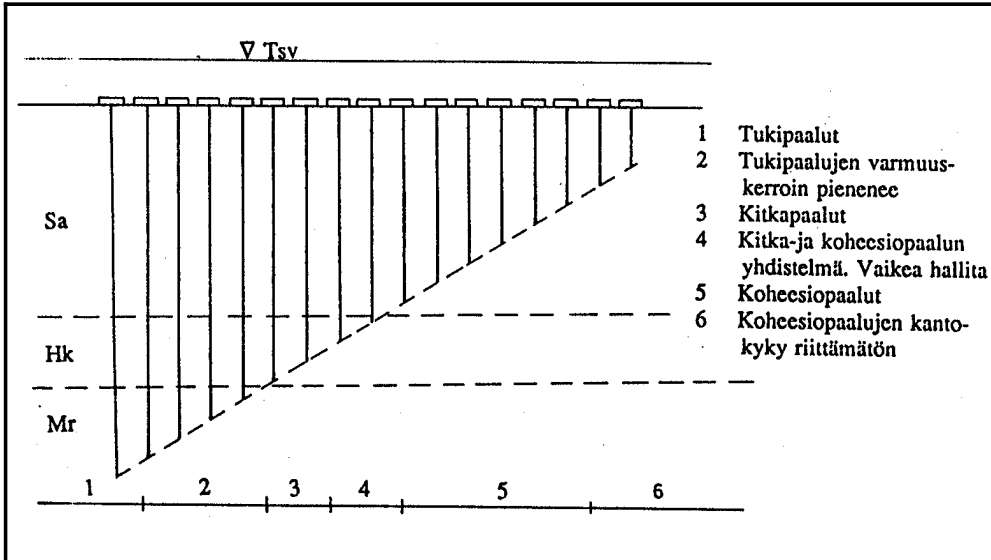
### **4.4 Siirtymäpaalutus**

#### **4.4.1 Yleistä**

Siirtymäpaaluja käytetään lähinnä hattupaalutuksissa, koska paalulaatat eivät yleensä siedä painumaeroja.

Siirtymäpaaluja suositellaan käytettäväksi vain harkituissa erikoistapauksissa, yleensä muuta siirtymärakennetta täydentävänä osana, kun siirtymäpaaluilla tasoitettava painumaero on pieni. Kuvassa 21 on esitetty siirtymäpaalujen mahdollisia toimintatapoja erilaisissa maakerroksissa. Osa näistä toimintatavoista on sellaisia, ettei niiden mitoitukseseen ole luotettavia menetelmiä. Jos

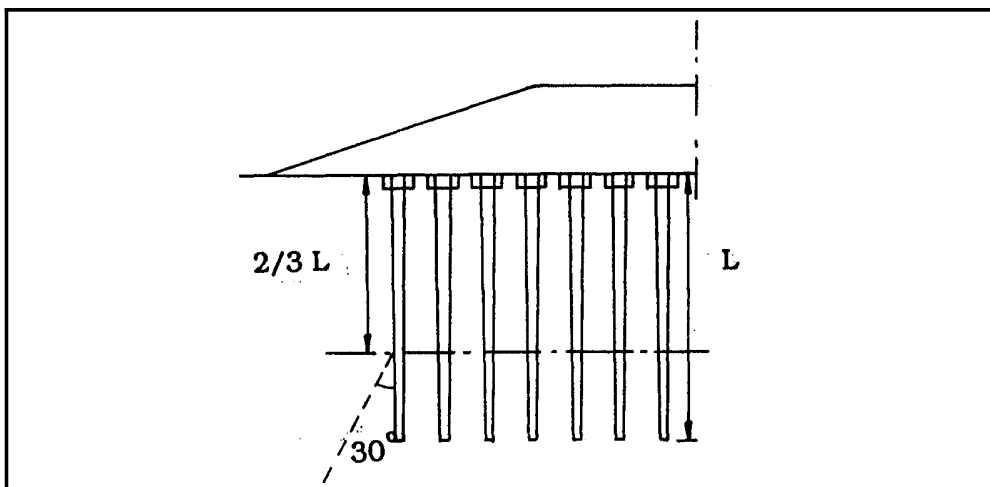
siirtymäpaaluja käytetään, on selvítettävä paaluilta odotettu toimintatapa. Lisäksi on suositeltavaa, ettei samaan siirtymärakenteeseen yhdistetä eri lailla toimivia paaluja.



Kuva 21. Siirtymäpaalujen mahdollisia toimintatapoja erilaisissa maakerroksissa.

#### 4.4.2 Koheesiopaalut siirtymäpaaluina

Siirtymäpaalutuksella on periaatteellisia onnistumisen mahdollisuuksia syvillä savipehmeiköllä, joilla on pystysuunnassa "tilaa" erimittaisille koheesiopaaluille. Siirtymäpaalutus on kuitenkin osoittautunut vaikeasti hallittavaksi rakenteeksi ja on epäonnistumiselle altis ratkaisu. Vaihtoehtoisena ratkaisuna voidaan usein käyttää siirtymäpilarointia, ks. kohta 4.3.2.



Kuva 22. Jännitysten jakautuminen koheesiopaaluryhmän alapuolella.



Jos siirtymäpaalutusta joudutaan erikoistapauksissa käyttämään, yleispätevät ohjeet rajoittuvat seuraaviin:

- Kuormitusten jakautuminen lasketaan tapaukseen soveltuvilla oletuksilla, ottaen huomioon mm. paalujen toimiminen ryhmänä. Kuvassa 22 on esitetty tavallisin otaksuma jännitysten jakautumisesta.
- Erityisesti pitää huolehtia siitä, ettei lyhimpienkään paalujen kantokykyä ylitetä.

Yksittäisen koheesiopaalun murtokuorma lasketaan esimerkiksi kaavalla (2).

$$P_m = 9 * s_{uk} * A_p + m * s * r \int_{z_1}^L s_{uz}(z) * U_p * dz \quad 2)$$

jossa

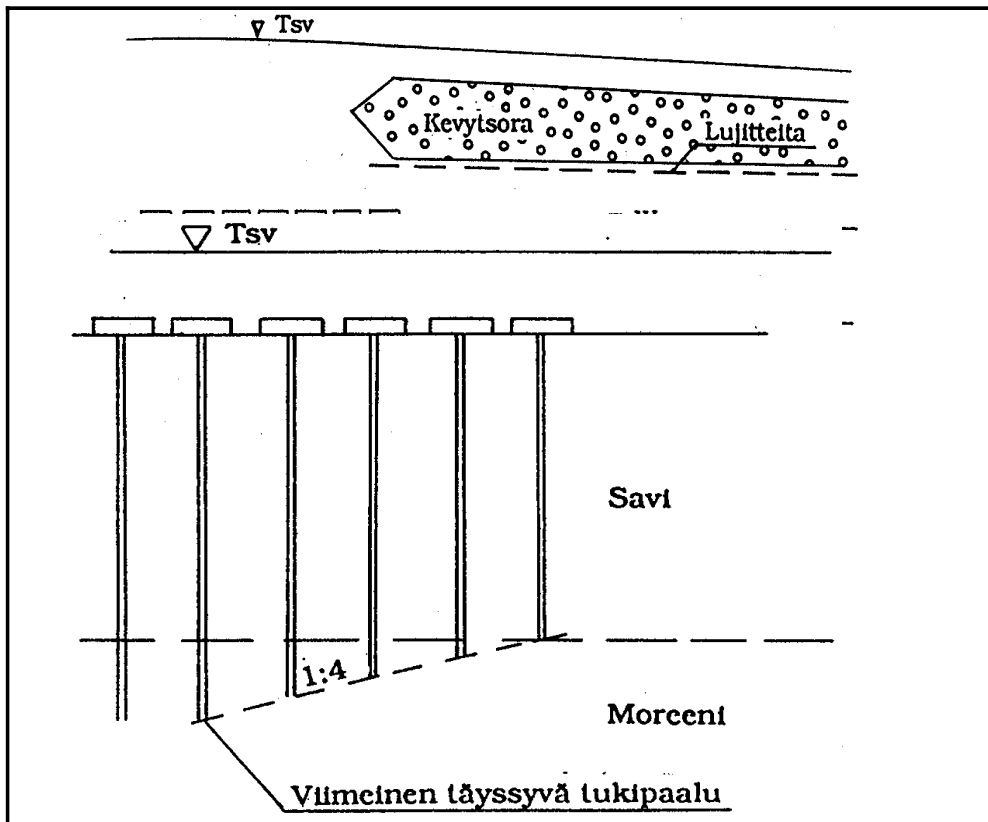
- $P_m$  = paalun murtokuorma
- $s_{uk}$  = koheesiomaan suljettu leikkauslujuus paalun kärjen tasolla
- $s_{uz}(z)$  = koheesiomaan suljettu leikkauslujuus paalun vaipan kohdalla syvyyden mukaan muuttuvana
- $A_p$  = paalun kärjen pinta-ala
- $U_p$  = paalun ympärysmitta
- $z_1$  = vaippavastusta aiheuttavan maan yläpinnan syvyys
- $L$  = paalun kärjen syvyys
- $m$  = materiaalikerroin (puulle ja betonille  $m = 1,0$ , teräkselle  $m = 0,7$ )
- $s$  = muotokerroin (vakiopoikkileikkauksella  $s = 1,0$ , kartiomaisella  $s = 1,2$ )
- $r$  = maapohjan lujuuden palautumiskerroin (normaalikonsolidoituneella savella 1 kk kuluttua paalutuksesta  $r = 1,0$ , ylikonsolidoituneella savella  $r < 1$  pysyvästi)

#### 4.4.3 Kitkapaalut siirtymäpaaluina

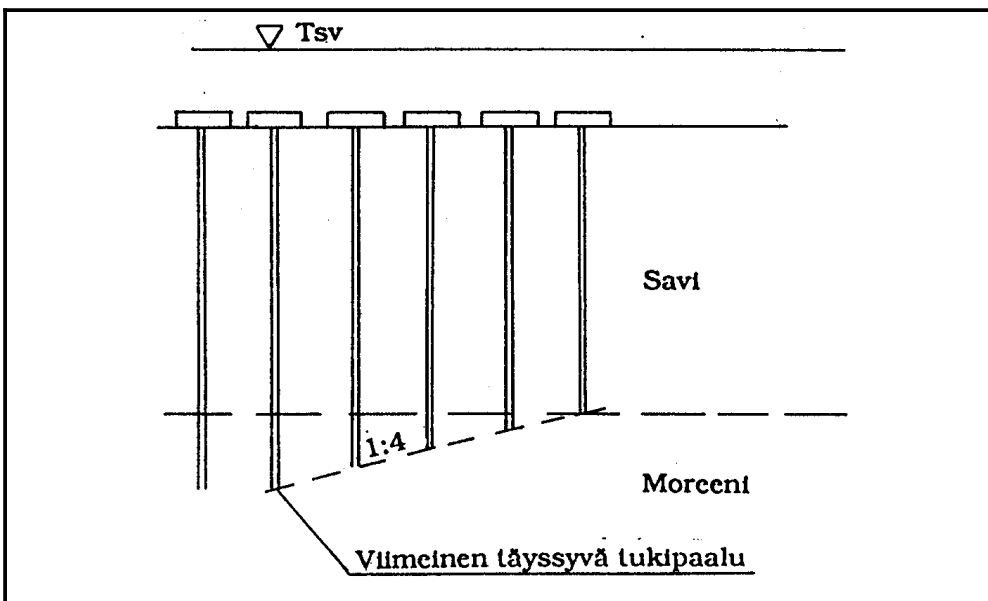
Kitkapaalujen mitoitus siirtymärakenteissa on vaikeaa lähinnä siksi, että kitkapaalujen painumat tapahtuvat välittömästi, toisin kuin muiden pehmeiköllä käytettävien siirtymärakenteiden hitaasti tapahtuvat konsolidaatiopainumat. Erikoislaatusissa pohjasuhteissa (kuva 23) kitkapaaluista saattaa olla selvää etua. Joskus kitkapaaluja käytetään parantamaan siirtymärakenteen toimintaa, vaikka niillä saavutettavasta hyödystä ei ole täyttä varmuutta (kuva 24).

Muutaman kitkapaalurivin käyttö tukipaalutuksen ja kevennyksen rajakohdalla saattaa auttaa jyrkän painumaeron välttämässä seuraavista syistä:

- Jos kevennys epäonnistuu ja painuu, tästä aiheutuu kitkapaaluille negatiivisen vaippahankauksen takia lisäkuormaa ja muuten syntyvä jyrkkä painumaero saattaa hieman tasoittaa.
- Jyrkästä painumaerosta aiheutuva dynaaminen lisärasitus saattaa aiheuttaa pientä painumaa myös kitkapaaluille.



Kuva 23. Jyväskylän Rantaväylä, ramppi E31R3, rakennettu 1986. Tuki-  
paalutusosuuden ja kevytsorakiilan välissä hiekkaisen siltin varaisille kitka-  
paaluille perustettu osuus. Siirtymärakenne on toiminut hyvin. Merkillepanta-  
vaa on, että hiekkaisen siltin alla on 2-3 m paksu kerros savista silttiä, jossa on  
kitkapaalujen alla tapahtunut konsolidaatiopainumaa.



Kuva 24. Kaavakuva tukipaalutuksen ja maanvaraisen penkereen rajakoh-  
dalla joskus käytettävästä menettelystä.

## 4.5 Massanvaihto muihin perustamistapoihin rajoittuvana

### 4.5.1 Yleistä

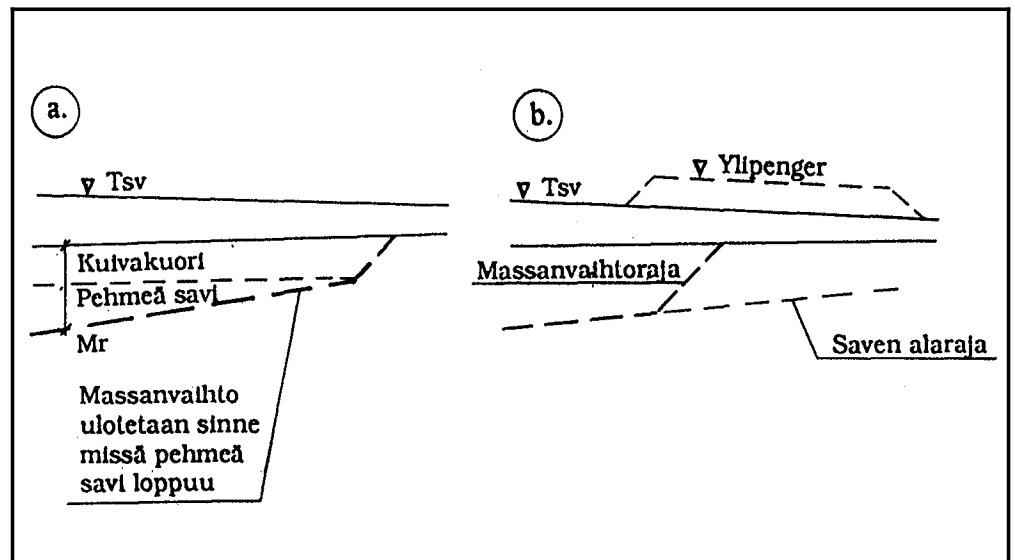
Seuraavat ohjeet koskevat massanvaihtoa kaivamalla. Massanvaihto pengertämällä (pohjaantäyttö) on hankalampi liittää muihin perustamistapoihin. Yleissuosituksena voidaan esittää, että pohjaantäyttö tulisi ulottaa koko pehmeikköosuudelle tai siirtymä muille perustamistavoille tulisi sijoittaa matalalle pehmeikölle, jotta massanvaihto voidaan tehdä kaivamalla siirtymän kohdalla.

### 4.5.2 Massanvaihdon liittäminen maanvaraiseen penkereeseen

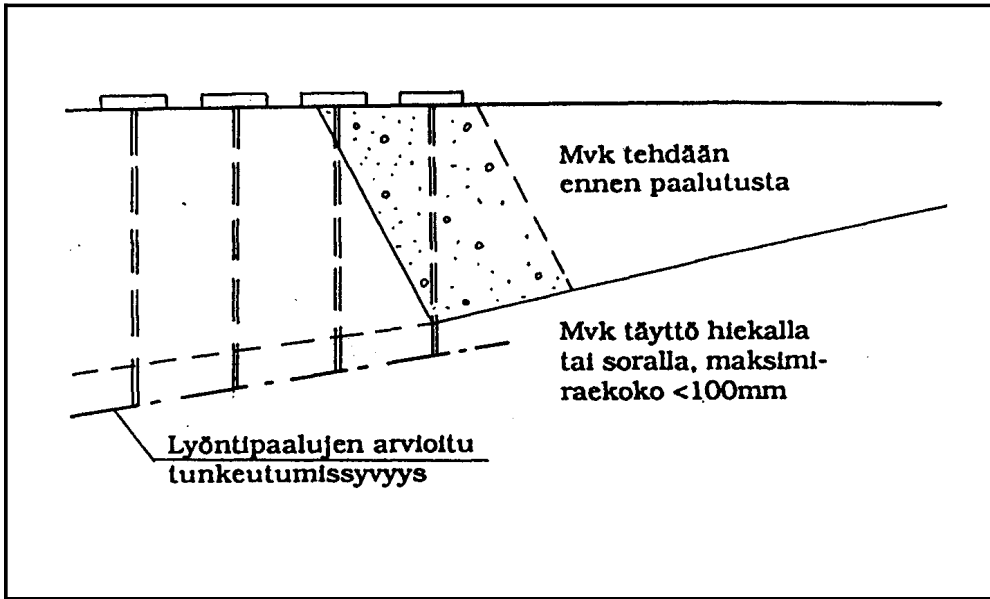
Korkealuokkaisilla teillä suositeltavin menettely on ulottaa massanvaihto koko pehmeikön pituudelle. Tämä onnistuu usein pienin lisäkustannuksin ja koko siirtymäongelma vältetään (kuva 25 a).

Jos siirtymä massanvaihdolta maanvaraiselle penkereelle joudutaan kustannussyistä sijoittamaan pehmeikölle, rajakohtaa on jälkipainumien pienentämiseksi usein edullista kuormittaa ylipenkereellä (kuva 25 b). Ylipenger on tehokas siiltipehmeiköillä ja matalilla savipehmeiköillä.

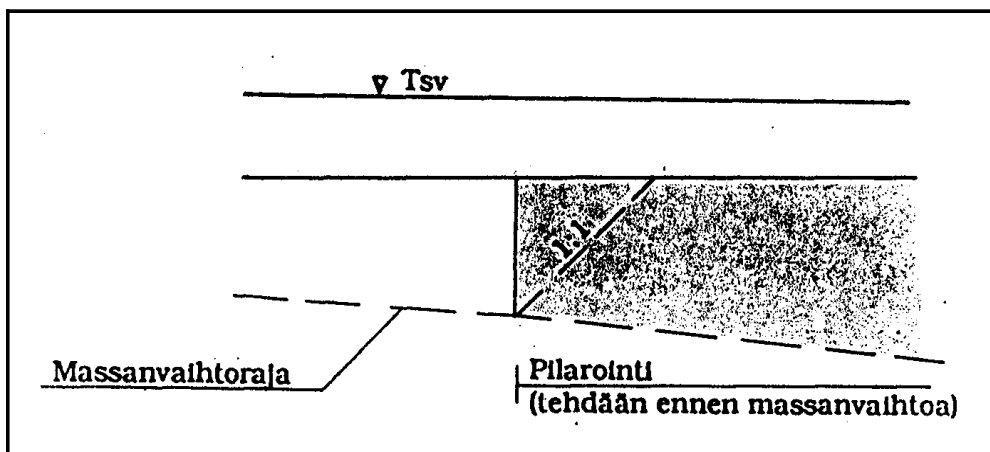
Yleensä massanvaihtokaivannon luiskankaitevuutena tien pituussuunnassa käytetään 11. Loivemmasta luiskasta voi olla hyötyä painuman tasoittamisessa erikoistapauksissa, kun voidaan varmistua siitä, että luiskan muoto säilyy pengerryksen aikana (kiinteät savet). Pehmeillä savilla loivan luiskan kohta vain häiriintyy ja siinä tapahtuu plastisia muodonmuutoksia.



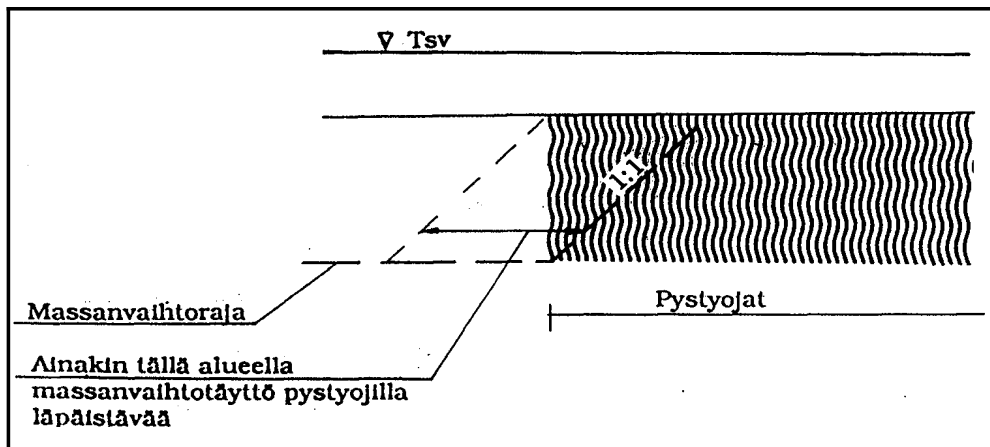
Kuva 25. Siirtyminen massanvaihdolta maanvaraiselle penkereelle.



Kuva 26. Siirtymä massanvaihdolta paalutukselle.



Kuva 27. Siirtymä massanvaihdolta syvästabiloinnille.



Kuva 28. Siirtymä massanvaihdolta pystyjojitukselle.

#### 4.5.3 Massanvaihdon liittäminen paalutukseen

Siirtymä massanvaihdolta paalutukselle tehdään kuvan 26 mukaisesti.

#### 4.5.4 Massanvaihdon liittäminen syvästabliointiin

Siirtymä massanvaihdolta syvästabiloinnille tehdään tavallisesti kuvan 27 mukaisesti. Siirtymä pyritään sijoittamaan pehmeiköllä sellaiselle kohdalle, että kaivantoluiskan vakavuus olisi riittävä ilman pilaroinnin erityistä tihentämistäkin.

#### 4.5.5 Massanvaihdon liittäminen pystyöjitukseseen

Siirtymä massanvaihdolta pystyöjitukselle tehdään tavallisesti kuvan 28 mukaisesti siten, että massanvaihto toteutetaan ensin ja pystyöjituksen reunimmat rivit tehdään massanvaihtotäytön läpi. Yli 2 metrin paksuisten kitkamaatäyttöjen läpäisy pystyöjillä on vaikeaa ja edellyttää yleensä esireiän tekemistä.

### 4.6 Pystyöjitus muihin perustamistapoihin rajoittuvana

#### 4.6.1 Yleistä

Pystyöjituksen ja muiden perustamistapojen rajakohtiin on herkästi muodostunut haitallisen suuruisia painumaeroja. Näiden painumien korjaaminen on lisäksi hankalaa lisäpainumien nopeuden takia. Parhaiten ovat onnistuneet siirtymät massanvaihdolta pystyöjitukselle.

Kun siirrytään paalulaatalta, hattupaalutukselta tai syvästabiloinnilta pystyöjitukselle, jyrkän painumaeron riski on siinä määrin suuri, että kunnossapitotoimenpiteiden helpottamiseksi on perusteltavissa paksunnetun päällysteen (jyrsintävaran) tekeminen painumattoman osuuden reunaan.

#### 4.6.2 Pystyöjituksen liittäminen paalutukseen

Kun siirrytään paalulaatalta pystyöjitukselle, oleellisin asia on välttää painumat paalulaatan päässä vastaavasti kuin kohdassa 4.2.1, jossa on käsitelty siirtymä paalulaatalta kevennykselle.

Pystyöjitusta suositellaan tihennettäväksi siirtymäkohdalla. Pystyöjitus uloteetaan muutamia metrejä paalulaatan puolelle. Painuma-aikainen pengeri tulee ulottaa niin pitkälle paalulaatan alueelle, että rajakohdalla saavutetaan riittävä kuormitusvaikutus. Pystyöjakenttä rakennetaan ja esikuormitetaan ennen paalutustöitä.

Paalulaataan rajoittuvalla pystyjoitusosuudella pitää kuormitusta ennen tien käyttöönottoa selvästi keventää ylipengervaiheeseen verrattuna. Jos ylipeenkeren poistaminen ei riitä, käytetään pengerkevennystä. Käynnissä olevan painuman pysäyttäminen kuormitusta keventämällä on osoittautunut epävarmaksi ratkaisuksi.

Siirtymä paalulaatalta pystyjoitukselle on siinä määrin epäonnistumiselle altis ratkaisu, että on syytä harkita sen korvaamista esimerkiksi siirtymäpilaroinnilla.

Siirtymä hattupaalutukselta pystyjoitukselle on varsin samankaltainen kuin siirtymä paalulaatalta pystyjoitukselle.

#### 4.6.3 Pystyjoituksen liittäminen syvästabliointiin

Siirtymä syvästablioinnilla pystyjoitukselle tehdään samoilla periaatteilla kuin siirtymä paalulaatalta pystyjoitukselle.

Syvillä pehmeiköillä on suositeltavaa tehdä reunimmaisat pilarit määrämittäisiksi ja jonkin verran painuviksi, jolloin vähennetään jyrkän painumaeron riskiä.

#### 4.7 Telojen käyttö siirtymärakenteissa

Telojavoidaan käyttää alempi luokkaisilla teillä muun siirtymärakenteen täydennyksinä mm. seuraaviin tarkoituksiin:

- Rakenteen jäykkyyseron vähentäminen siirryttäessä painumattomalta rakenteelta painuvalle.
- Poiskaivetun tai muuten vähäisen kuivakuorikerroksen korvaaminen.
- Siirtymälaattamainen toiminta.

Telarakenteita on esitetty TYLT:ssä.

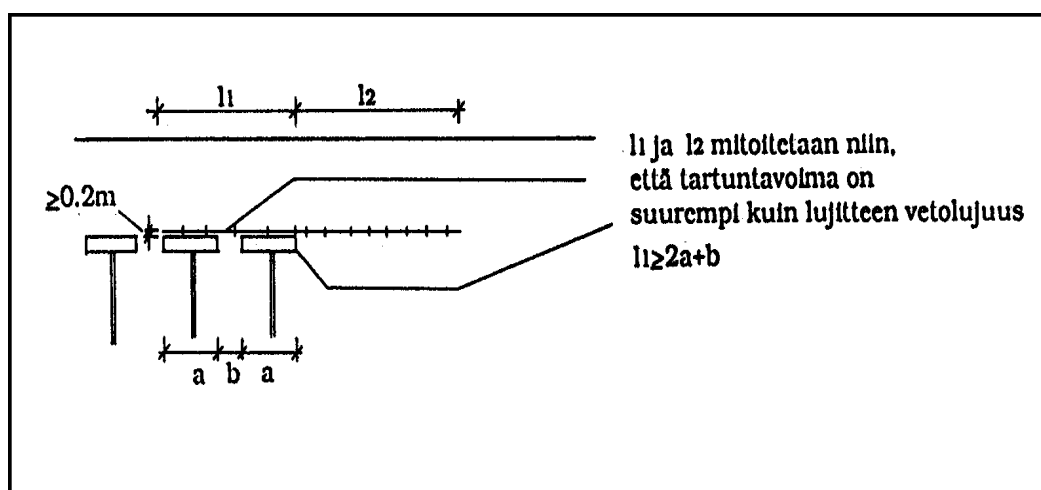
Jos tela yhdistetään pengerkevennykseen, tulee tiedostaa, että telan todellinen paksuus tulee teoreettista suuremmaksi, koska mitoitus perustuu latvaläpimittoihin. Tämän takia penkereeseen saattaa mahtua vähemmän kevennyksiä, kuin tavoitteena on ollut.

#### 4.8 Lujitteiden käyttö siirtymärakenteissa

Lujitteita voidaan käyttää esimerkiksi hattupaalutuksen ja kevennyksen rajakohdassa. Vaikka tarkempaa mitoitusta ei yleensä tehdä, on suunnittelijan muodostettava itselleen kuva lujitteen toiminnasta. Lisäksi on tutkittava, aiheuttaako lujite paaluhattujen kallistumista. Lujite tulee valita siten, että jännitys mobilisoituu lujitteeseen pienellä muodonmuutoksella. Tällainen jäykkä lujite on esimerkiksi teräsverkko.

Lujitteen tehoa voidaan parantaa käyttämällä lujitteita kahdessa kerroksessa niin, että niiden välissä on riittävän kitkan omaava kerros, jolloin koko rakenteen jäykkyys paranee.

Kuvassa 29 on esitetty joitakin suosituksia lujitteen mittojen määrittämiseksi periaatteella, että riittävällä ankkurointipituuksilla varmistetaan, ettei lujite irtoa penkereestä ennen lujitteen vetomurtumaa.



Kuva 29. Paalutuksen ja kevennyskiilan rajakohdassa käytettävän lujitteen mittoja.

#### 4.9 Siirtymälaattojen käyttö

Siirtymälaattoja käytetään aina paalulaattojen päättymiskohdassa, vaikka jälkipainumia ei olisikaan odotettavissa. Siirtymälaattojen pituuksiksi voidaan tien luokasta, ohjenupeudesta ja mahdollisesti arvioitavissa olevista jälkipainumista riippuen suositella seuraavia:

- paalulaatan rajautuessa pystyojitukseen 5-10 m
- paalulaatan rajautuessa pengerkevennykseen n. 5 m
- paalulaatan rajautuessa massanvaihtoon tai syvästabilointiin 3-5 m

Siirtymälaatta mitoitetaan alkupäästään paalulaattaan tukeutuvana ja loppupäästään maanvaraisena laattana. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon pohjaan painuminen, joka aiheuttaa laatan alkupäässä maan irtoamisen laatasta.

Siirtymälaattojen rakenne suunnitellaan yhteistyössä sillansuunnittelijan kanssa.

## 5 SIIRTYMÄRAKENTEIDEN RAKENTAMINEN JA JÄLKISEURANTA

### 5.1 Yleisiä suosituksia siirtymärakenteiden rakentamisesta

Siirtymärakenteiden rakentamista varten voidaan esittää suosituksena, että työkohtaisten laatuvaatimusten ja työselitysten laadinnassa kiinnitetään huomiota mm. seuraaviin asioihin ja että rakentamisen aikainen yhteistoiminta suunnittelijoiden ja rakentajien välillä hoidetaan niin, että asiat toteutuvat tavoitellulla tavalla.

#### **Kevytsorakevennys ja kevennykset yleensä**

- kevennystä varten tehtävän kaivannon mittatarkkuus (kevennyksen riittävyys, nosteen vaara)
- työalustojen tekeminen
- kaivannon kuivanapito (työn aikana ja lopullisessa rakenteessa)
- kuitukankaan tarve
- kevytsoran tiivistäminen
- tulvavesikorkeuksien selvittäminen nostemitoitusta varten

#### **Kevytsorabetoni**

- kevytsorabetonikerroksen mittatarkkuus ja sen toteamistapa tapauskohtaisesti harkiten
- puristuslujuustavoite ja miten sen toteutumista tarkkaillaan
- tilavuuspainotavoite
- lajittumisvaaran välttäminen
- missä vaiheessa sallitaan liikenne

#### **EPS-kevennys**

- asennuskerrosten tekeminen
- missä vaiheessa voidaan betonilaatan päälle tulevia kerroksia tehdä

#### **Syvästabilointi**

- pilarien alapään syvyyden toleranssi, kun pilarit ovat määrämittäisiä
- pilarien alapään syvyyden muuttaminen tarvittaessa todellisten maaperäolosuhteiden mukaiseksi, kun pyritään painumattomaan pilarointiin
- missä vaiheessa pilareita saa kuormittaa

#### **Pengerpaalutus**

- koheesio- ja kitkapaalujen osalta paalupituuden määräytyminen ja mahdollinen työn aikana tarkentaminen (määrämittaiset paalut, mahdolliset loppulyöntiehdot, paalun alapään sijaintitoleranssi)
- erityisesti koheesiopaalujen osalta ajankohta, jolloin saadaan kuormittaa
- työalustojen (paalutustyö, laatan valu, siirtymälaatan valu) käyttö ja niiden sallitut mitat



## Pystyjoitus

- alustavat ohjeet pengerrysvaiheista ottaen huomioon mm. pystyjoitus-työn aiheuttama maapohjan häiriintyminen
- ohjeet painumamittauksista
- suunnitelma tarkkailumittauksista, joiden avulla rakentamisaikana varmistetaan ylipengerkuormituksen sopivuudesta (ei haitallisia plastisia siirtymiä eikä painumien kannalta myöskään liian varovaista kuormittamista)
- alustava suunnitelma, miten menetellään, jos painumat eivät näytä lakkaavan suunnitellulla tavalla

## Lujitteet

- laatuvaatimukset (muodonmuutos, murto- ja pitkäaikaisuus)
- limittäminen, liitokset
- lujitetta vasten tulevien maakerrosten laatuvaatimukset

## 5.2 Siirtymärakenteiden jälkiseuranta

Jo suunnittelun ja rakentamisen aikana pitää suunnittelijan muodostaa itselleen kuva rakentamisen jälkeistä erityistä tarkkailua vaativista kohteista ja riittävän aktiivisesti huolehtia seurannan järjestämisestä. Siirtymärakenteista tällaisia kohteita ovat yleensä:

- painumattomaan rakenteeseen rajautuvat pystyjoitusosuudet
- painumattomaan rakenteeseen rajautuvat kevennykset, erityisesti hankalissa maaperäolosuhteissa
- siirtymäpilaroinnit tms. harvinaiset ratkaisut, joiden käyttäytymisestä kaivataan enemmän tietoa

Painumien seuraaminen tulee aloittaa välittömästi tien päällystämisen jälkeen. Yleensä sopiva mittaustiheys on pystyjoitusosuuksilla kaksi kertaa vuodessa ja muissa tapauksissa kerran vuodessa. Tarkkuudeltaan monissa tapauksissa riittävä menettely on tien pituusprofiilin vaaitseminen esim. keskilinjan ja maalausviivojen kohdalta. Tärkeä osa seurantaa on lisäpäällystysten dokumentointi. Lisävaaitukset on hyvä tehdä ennen ja jälkeen päällystysten.

## 5.3 Vaurioituneiden siirtymärakenteiden korjattavuudesta ja korjaamisesta

### 5.3.1 Yleistä

Siirtymärakenteita tarvitaan tierakenteen epäjatkuvuuskohdissa vaikeissa maaperäolosuhteissa ja niiden suunnittelussa on monia virhemahdollisuuksia. Niinpä siirtymärakenteiden vaurioitumisilta ei ole aina välttytty. Seuraavassa esitellään siirtymärakenteiden korjattavuutta ja mahdollisia korjausratkaisuja.

Työnaikainen liikenteenhoito vaikuttaa merkittävästi korjausratkaisun valintaan. Korjauksen suunnittelun lähtökohdaksi on neuvotteluin selvitettävä, voidaanko liikenne katkaista työn ajaksi.

### 5.3.2 Vanhan kevennyksen korjaaminen

Kun painumattoman penkereenosan ja kevennyksen välille syntyy painumero, on nopea korjaaminen tarpeen, jotta epätasaisuudesta aiheutuva dynaaminen lisärasitus ei ehtisi pahentaa vauriota. Erilaisia yhdessä tai erikseen käytettäviä korjausratkaisuja ovat:

- Korotetaan painunutta osuutta päällysteellä. Tämä ratkaisu poistaa haitallisen epätasaisuuden joksikin aikaa, mutta ajan mittaan huonontaa tilannetta, koska pohjamaalle tulee lisäkuormitusta ja näin ollen lisäpainumia. Savipehmeiköillä on tavallista, että penkereen korotuksesta aiheutuu konsolidaatiopainuman lisäys, joka on n. 30 ... 60 % korotuksen suuruudesta, ja joissain tapauksissa myös muita lisäpainumia.
- Alennetaan tasausta painumattomalla osuudella. Jos tähän on tiegeometrian ja esimerkiksi paalutuksen vaatiman vähimmäispengerkorkeuden puolesta mahdollisuuksia, ratkaisu voi olla kustannuksiltaan edullinen, varsinkin jos siihen on jo suunnitteluvaiheessa varauduttu.
- Korotetaan painunutta osuutta siten, että lisäkevennyksellä estetään myöhemmät haitalliset painumat.

Lisäkevennyksen aikaansaamiseksi voidaan:

- vaihtaa kevennysmateriaali kokonaan tai osittain vielä kevyemmäksi, esimerkiksi kevytsora EPS:ksi (esimerkki esitetty kuvassa 30)
- ohentaa päällysrakennetta, jolloin riittävän kantavuuden saavuttaminen edellyttää esimerkiksi stabiloidun kevytsoran käyttöä. Kuvassa 31 esitetyssä esimerkkitapauksessa oli pystyjoitusosuudella kevennyksestä huolimatta tapahtunut jälkipainumaa, joka oli painumattomaan pilarointiin rajautuvana aiheuttanut jyrkän painumaeron.

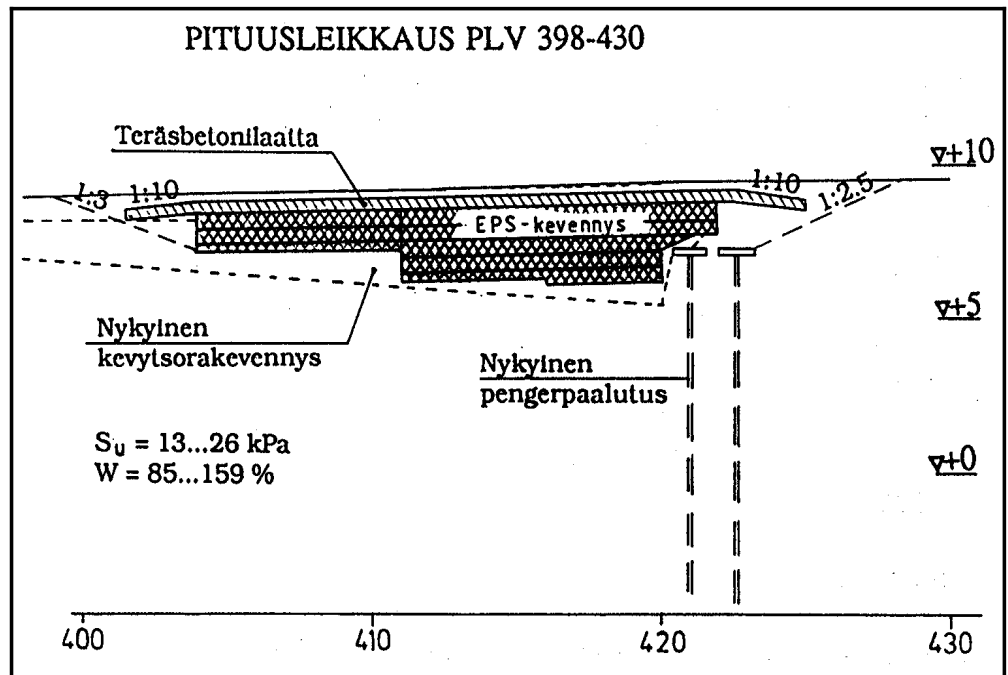
### 5.3.3 Muiden painuneiden siirtymärakenteiden korjausratkaisuja

Kun painumattomaan penkereeseen rajoittuvalla pystyjoitusosuudella tapahtuu jälkipainumia, mahdolliset korjausratkaisut ovat periaatteessa samat kuin edellä on esitetty painuneen kevennyksen korjaamiselle. Erikoispiirteenä on kuitenkin, että kaikki jälkipainumat tapahtuvat nopeasti ja vähäisen korjauksen hyöty jää lyhytaikaiseksi.

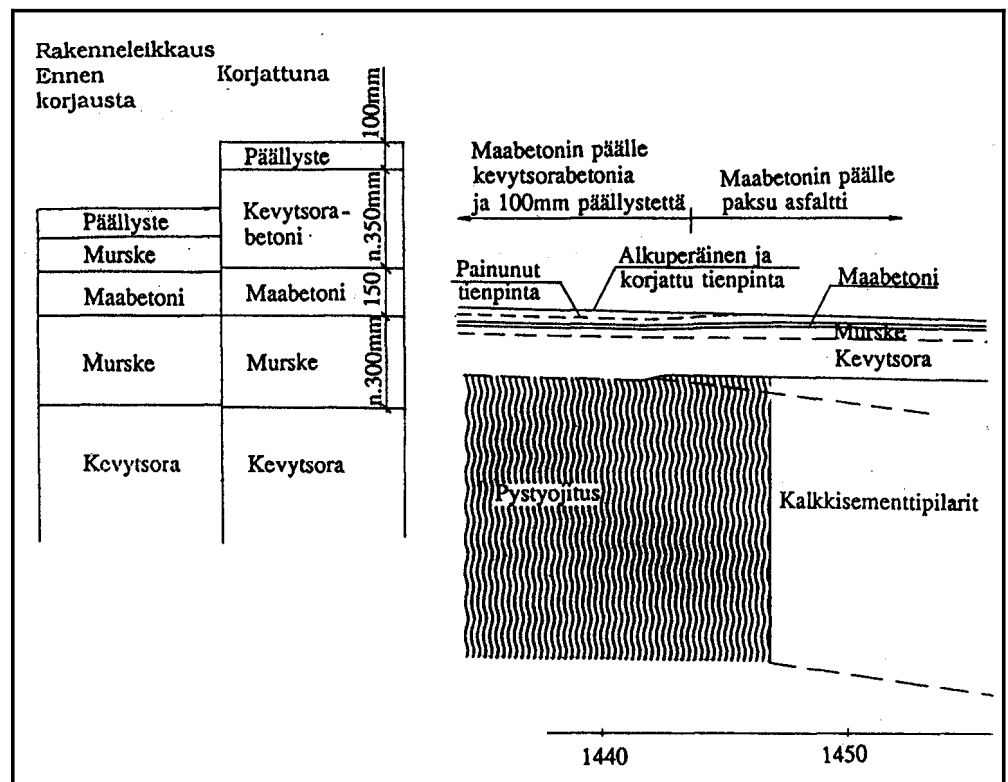
Painuneita siirtymäpaalutuksia on joskus korjattu pengertä keventämällä. Samaa ratkaisua voidaan tarvittaessa soveltaa painuneisiin siirtymäpilarointeihin.

### 5.3.4 Jyrsintävara painumattomalle osuudelle

Monien siirtymärakenteiden mahdollisia tulevia kunnossapitotöitä voidaan pienin lisäkustannuksin helpottaa ja näin ollen koko ratkaisun riskialttiutta pienentää tekemällä mieluiten jo rakentamisvaiheessa paksunnettu päällyste jyrsintävaraksi painumattomalle osuudelle. Jyrsintävaran tarvittava pituus painumattomalla osuudella voidaan arvioida kohdassa 4.1 esitettyjen sallittujen kaitevuudenmuutosten ja suurimman odotettavissa olevan jälkipainuman perusteella. Jotta päällystettä ei kunnossapitotöiden yhteydessä jyrittäisi



Kuva 30. Maantie 170, Ilolan sillan tulopenkereen korjaus. Vanha kevytsora-kevennys korvataan osittain EPS:llä.



Kuva 31. Kantatie 51, Kirkkonummen eritasoliittymä, putkisillan tulopenger. Painunutta kevennyksen kohtaa korjattu kevytsorabetonikevennyksellä ja ohuella päällysrakenteella. Painumattomalle syvästabilointiosuudelle tehtiin samassa yhteydessä Jyrsintävara.

puhki, jysintävaraa on jatkettava Painuvamman perustamistapaosuuden puolelle sikäli kuin penkereen holvautuminen vaikuttaa painumia vähentävästi. Jysintävaran tekeminen jälkeinpäin korjaustoimenpiteenä on myös mahdollista. Tällöin toimenpide on jonkin verran hankalampi tehdä, mutta sen tarve ja laajuus on täsmällisemmin todettavissa.

## KIRJALLISUUS

Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet. Tielaitos. Geokeskus. Helsinki 1993. TIEL 3200150.

Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. Tielaitos. Geokeskus. Helsinki 1993. TIEL 3200149.

Pengerpaalutus. Tielaitos. Geokeskus. Helsinki 1993. TIEL 3200147.

Massanvaihto. Tielaitos. Geokeskus. Helsinki 1993. TIEL 3200127.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Perustus-, tukemis- ja lujitustyöt. Tielaitos. Helsinki 1991. TIEL 2212456.

Korhonen, K-H., Lojander, M., Karstunen, M. Pehmeikölle maan varaan rakennettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat (LR 3). Tielaitos. Geokeskus. Helsinki 1993.

Junnila, A. Kevytsorarakenteiden E-moduulit. Lohja Oy Ab / Viatek Tapiola Oy, 1993. Lohja Oy Ab:n sisäinen julkaisu. 1 0 s.

Rämö, S. Kevytsoran tiivistysmenetelmien kehittäminen. Kenttäkokeiden tutkimusselostus. Lohja Rudus Oy Ab / Suomalainen Insinööritoimisto Oy, 1994. Lohja Rudus Oy Ab:n sisäinen julkaisu. 5 s.

Mäkelä, H. Kehä III - Massastabilointi koerakenteena. Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri / Viatek Tapiola Oy / Lohja Rudus Oy Ab / YIT-Yhtymä Oy, 1994. Uudenmaan tiepiirin sisäinen julkaisu. 18 s.