

Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet

30.12.2002



Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet

30.12.2002

Suunnitteluvaiheen ohjaus

Tiehallinto

Helsinki 2002

ISBN 951-726-749-5
TIEH 2100003-01

Multiprint Oy
Vaasa 2003

Tiehallinto, julkaisumyynti
Telefax 0204 22 2652
e-mail: julkaisumyynti@tiehallinto.fi

TIEHALLINTO
Siltatekninen tuki
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihde 0204 22 150

VASTAANOTTAJA
Jakelun mukana

SÄÄDÖSPERUSTA

KORVAA/MUUTTAA

KOHDISTUVUUS
Tiehallinto

VOIMASSA
1.6.2003- toistaiseksi

ASIASANAT
sillansuunnittelu, sillanrakennus

SILLANSUUNNITTELUN TÄYDENTÄVÄT OHJEET

Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet ovat valmistuneet ja lähetetään käytettäväksi 1.6.2003 alkaen siltojen suunnittelussa.

Tämä julkaisu korvaa Tiehallinnon kotisivuilta löytyneet vanhemmat, julkaisemattomat esiversiot.

Apulaisjohtaja
Siltatekniikka



Juhani Vähäaho

Kehittämispäällikkö
Siltatekninen tuki



Matti Piispanen

TIEDOKSI

Jukka Isotalo (kirje)
Tiepiirit, siltainsinöörit
Palvelujen suunnittelu/Päätiel
- " - /S-tieto
Palvelujen hankinta /Investointien hankinta
Tekniset palvelut /Siltateknikka, tekninen henkilökunta
- " - /Siltatekninen tuki, tekninen henkilökunta
Kirjasto 2 kpl
TIEH:n ulkopuolinen jakelu/luettelo

LIITE

Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet

ALKUSANAT

Julkaisu Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet täydentää muita sillansuunnittelua varten hyväksyttyjä ohjeita. Se korvaa myös erilliset Sillansuunnittelun suositukset nro:t 1...15, joka sarja tämän julkaisun myötä lopetetaan.

Ohjetta uusitaan tarvittaessa ja siinä otetaan ensimmäisenä huomioon muissa ohjeissa ilmenneet täydennystarpeet. Muita ohjeita uusittaessa siirretään täydennykset niihin. Tämä ohje on saatavissa myös Internetin kautta Tiehallinnon kotisivuilta.

Ohjetta laatineeseen työryhmään on kuulunut edustajia Tiehallinnon silta-teknisestä tuesta ja siltatekniikasta sekä Insinööritoimisto Ilkka Kerola Oy:stä.

Helsingissä joulukuussa 2002

Tiehallinto

SISÄLTÖ

1	SOVELTAMISALA	9
2	SUUNNITTELUMENETTELY	9
3	RAKENTEELLISET OHJEET	9
3.1	Perustukset	9
3.1.1	Yleistä	9
3.1.2	Paalut	9
3.1.3	Peruslaatat	10
3.1.4	Täyttövalut	10
3.2	Maa- ja välituet	10
3.2.1	Yleisohjeet	10
3.3	Päällysrakenne	11
3.3.1	Yleisohjeet	11
3.3.2	Laatta- ja palkkisillat	12
3.3.3	Kehäsillat	13
3.3.4	Ulokesillat	13
3.3.5	Teräksiset palkkisillat	13
3.4	Kannen pintarakenteet	13
3.5	Varusteet ja laitteet	13
3.5.1	Laakerit	13
3.5.2	Liikuntasaumalaitteet	14
3.5.3	Vedenjohtolaitteet	15
3.5.4	Suojalaitteet	15
3.5.5	Muut varusteet ja laitteet	16
3.6	Tietyöt siltapaikalla	16
4	LASKELMA- JA MITOITUSOHJEET	17
4.1	Kuormat	17
4.1.1	Onnettomuuskuormat	17
4.1.2	Jääkuorma	17
4.2	Käyttörajatilavaatimukset	17
4.2.1	Kevyen liikenteen sillan värähtely	17
4.3	Perustukset	18
4.3.1	Paalut	18
4.3.2	Teräsbetonisen lyöntipaalun nurjahdus	20
4.3.3	Peruslaatat	21
4.4	Maa- ja välituet	21
4.4.1	Maa- ja välitukien yleisohjeet	21
4.4.2	Välituet	21
4.5	Päällysrakenne	22
4.5.1	Betonisiltojen yleisohjeet	22
4.5.2	Sillan pään ja maan yhteistoiminta	23
4.5.3	Ulokesillat	24
4.6	Varusteet ja laitteet	24
4.6.1	Laakerit	24
4.6.2	Liikuntasaumalaitteet	25

LIITEET

SUURPAALUJEN MUODOSTAMAN PÄÄTYTUEN	
MAANPAINE	Liite 1.1
SUURPAALUJEN JA VEDENALAISTEN BETONOINTIEN	
LAADUNVARMISTUS	Liite 1.2
PERUSTUSTEN VÄHIMMÄISRAUDOITUS	Liite 1.3
MAA- JA VÄLITUKIEN VÄHIMMÄISRAudoitus	Liite 2.1
REUNAPALKKI. VÄHIMMÄISMITAT JA MUOTOILU-	
PERIAATTEET	Liite 3.1
SILLAN KOHOTUKSET	Liite 3.2
JÄNNITETTY KAAREVA BETONIPALKKISILTA	Liite 3.3
TERÄSBETONISEN LAATTAKEHÄN SUUNNITTELUSTA	Liite 3.4
PÄÄLLYSRAKENTEEN VÄHIMMÄISRAUDOITUS	Liite 3.5
KANNEN PINTARAKENTEET	Liite 4.1
REUNAPALKIN JA ASFALTIN VÄLINEN SAUMA	Liite 4.2
LAAKERIALUSTA.	Liite 5.1
LAAKERIN ALUSLEVYN MINIMIKOON MÄÄRÄÄMINEN	Liite 5.2
KUMILEVYLAAKERIN SUUNNITTELU	Liite 5.3
LIIKEVARA JA ENNAKKO LAAKEREISSA JA	
LIIKUNTASAUMALAITTEISSA	Liite 5.4
BETONIMUOVISTA TAI POLYMEERIBETONISTA	
TEHTÄVÄN LIIKUNTASAUMALAITTEEN TUKIKAISTA	Liite 5.5
SILTOJEN SIIRTYMÄLAATAT	Liite 5.6
TERÄSPALKKISILTOJEN NOUSUESTE	Liite 5.8
KONTAKTITAPPIEN ESITTÄMINEN SILTA- SUUNNI-	
TELMASSA	Liite 5.9

1 SOVELTAMISALA

Tämä ohje täydentää Tiehallinnon sillansuunnittelua varten voimassa olevia ohjeita ja korvaa erilliset sillansuunnittelun suositukset nro:t 1...15. Ohjeessa esitetään myös jo aikaisemmin käytössä olleita kirjaamattomia suunnittelu-sääntöjä.

Ohjeessa on pyritty ottamaan huomioon suunnittele -rakenna urakointi (SR aikaisemmin KVV) suunnitteluohjeistolle asettamat tarpeet.

2 SUUNNITTELUMENETTELY

Jos siltasuunnittelija haluaa poiketa Tiehallinnon voimassa olevista sillan-suunnittelun ohjeista, on hänen etukäteen varmistettava, että tarkastava viranomainen (Tiehallinnon siltatekninen tuki) hyväksyy suunnitteluratkaisun.

Tässä ohjeessa oleviin liitteisiin ei suunnitelmassa viitata vaan niissä olevat asiat siirretään tarpeen mukaan piirustuksiin tai siltakohtaisiin laatuvaatimuk-siin.

3 RAKENTEELLISET OHJEET

3.1 Perustukset

3.1.1 Yleistä

Suurpaalujen ja vedenalaisten betonointien laadunvarmistus on suunnitelta-va liitteen 1.2 mukaisesti.

3.1.2 Paalut

Teräsbetonisia lyöntipaaluja siltapaaluina käytettäessä paalutusluokka on II tai IB. Paalutusluokan IB käytön edellytykset on esitetty ohjeessa Pohjaran-kennusohjeet sillansuunnittelussa. Paalutusluokkaa IA ei siltarakenteissa käytetä.

Jos Tiehallinnon hyväksymiä teräsbetonisten lyöntipaalujen tyyppiratkaisuja ei käytetä, siltapaalut suunnitellaan LPO-87 Lyöntipaalutusohjeiden kysees-sä olevaa paalutusluokkaa koskevien vaatimusten mukaisesti seuraavin muutoksin ja täydennyksin:

- Pääteräksinä käytetään kuumavalssattuja teräksiä. Paalutusluokassa II käytetään pääraudoituksen laatuluokkana A500 HW.
- Pienin pääraudoitteen koko on 16 mm.
- Pääraudoitteita ei jatketa.
- Pääraudoitteiden betonipeite on 30 mm +15 mm, - 5 mm
- Hakaraudoitteiden suurin jako saa olla 200 mm. Paalun päissä ja osapaa-lujen päissä käytetään tihennettyä hakajakoa lyönnin aikana esiintyvien vetojännityksien varalta LPO-87 mukaisesti.
- Hakaraudoitteen betonipeite on 25 mm +15 mm, - 5 mm

Ellei rakenteellinen mitoitus vaadi suurempaa raudoitemäärää, suurpaalujen raudoituksen tulee täyttää liitteessä 1.3 esitetyt vähimmäisvaatimukset.

Teräsputkipaalun maahan lyötävällä osuudella ei (vaurioitumisriskin vuoksi) hyväksytä ulkopuolista pinnoitetta paalun korroosiosuojana, jos putkiteräs käytetään hyväksi paalun rakenteellisessa mitoituksessa.

Halkaisijaltaan alle 600 mm:n raudoitettuja teräsputkipaaluja ei tule suunnitella betonoitaviksi vedenalaisena valuna.

Käytettävien suurpaalujen kalliokärkien tulee olla valmistettu Tiehallinnon hyväksymien piirustusten mukaan.

3.1.3 Peruslaatat

Rakenneratkaisua, jossa tuki perustetaan pengerlaatan yläpuolelle lyöntipaalujen varaan, ei käytetä, koska rakennetta ei pystytä luotettavasti toteuttamaan.

Ellei rakenteellinen mitoitus vaadi suurempaa raudoitemäärää, peruslaattojen ylä- ja alapintojen raudoituksen tulee täyttää liitteessä 1.3 esitetyt vähimmäisvaatimukset.

3.1.4 Täyttövalut

Täyttövalujen tulee olla lujuudeltaan vähintään betonia K30. Mikäli kallionpinta on kaltevuudeltaan yli 15 astetta on se louhittava tasaiseksi tai porrastettava. Raudoittamattoman täyttövalun vaakamitan tulee olla anturan reunasta 0,5 m + h/2. Tässä h tarkoittaa täyttövalun paksuutta.

3.2 Maa- ja välituet

3.2.1 Yleisohjeet

Maa- ja välitukien kaikki pinnat raudoitetaan. Ellei rakenteellinen mitoitus vaadi suurempaa raudoitemäärää, sijoitetaan pintoihin vähimmäisrauditus noudattaen liitteessä 2.1 esitetyt periaatteita.

Siipimuurien alareuna sijoitetaan vähintään 0,5 m:ä alemmaksi kuin maanpinta luiskassa kyseisellä kohdalla.

Maa- ja välitukien 120° terävämmät näkyviin jäävät nurkat varustetaan viistein 20x20 mm, ellei siltakohtaisesti toisin sovita. Viistämisestä mainitaan piirustuksissa.

Maatukiin, joissa on useampikuminen liikuntasaumalaite, tehdään tarkastus- ja huoltotila laitteen alle. Tilan minimileveys on 600 mm ja siinä on oltava seisomakorkeus ja laitteeseen on yletyttävä tekemään käsin huoltotoimenpiteitä.

Päällysrakenteen ja laakeritason välin on oltava kumilevylaakereita käytettäessä vähintään 200 mm ja muita laakerityyppejä käytettäessä 250 mm. Tästä poiketen kaikille laakerityypeille hyväksytään vähimmäisväli 150 mm, jos pilarin yläpinnan pinta-alan pienuudesta johtuen laakerin kunto on helposti tarkastettavissa joka puolelta.

Jos sillan päällysrakenne tukeutuu vapaasti seisoviin yksittäisiin suurpaaluihin tai suurpaalun jatkeena oleviin pilareihin, joiden sivuttaisvakavuus on ympäröivän maan sivuvastuksen varassa, on suurpaalut tai pilarit tuettava vaakasuuntaan kansirakenteeseen jäykällä kiinnityksellä, kiinteällä laakerilla tai liikerajaajalla.

3.3 Päällysrakenne

3.3.1 Yleisohjeet

Ajoneuvoliikenteen sillan päällysrakenteella tulee olla vääntöjäykkä tuenta sillan päätytuella, jolla estetään väännöstä aiheutuva päällysrakenteen pään kiertymä poikkisuunnassa.

Silloissa, joissa sillan päällysrakenteen pää liikkuu penkereessä, saa liikepi-tuus liikuntakeskiöstä penkereeseen olla ajoneuvoliikenteen sillassa enin-tään 35 m ja kevyen liikenteen sillassa enintään 45 m.

Penkereessä liikkuvan sillan päällysrakenteen pään vinous saa olla enintään 30°.

Kun risteyssillaksi suunnitellaan kevytrakenteista päällysrakennetta (esimer-kiksi jännitetty elementtipalkki tai teräspalkki), tulee selvittää törmäys-vaara ja sen vaatimat toimenpiteet (vrt. ”Siltojen kuormat” kohta 3.812).

Betoni- ja teräspalkkisiltojen kansilaattojen paksuuden ajoneuvoliikenteen silloissa tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Vähimmäispaksuus suurimpien taivutusmomenttien kohdalla sekä pääkan-nattimien puolivälissä että pääkannattimien kohdalla on 230 mm.
- Vähimmäispaksuus koko kansilaatan alueella on 200 mm.

Rautatiealueelle rakennettavien pysyvien tai tilapäisten rakenteiden suunni-telmat tulee olla Ratahallintokeskuksen ohjeiden mukaisia.

Rautatiealueelle rakennettaville pysyville tai tilapäisille rakenteille (sillat, tuki-muurit, telineet ja työnaikaiset rakenteet) laaditaan maadoitussuunnitelma, jonka Ratahallintokeskus tai tämän valtuuttama organisaatio hyväksyy.

Sähköistetyt radan ylittävien tai sen lähellä sijaitsevien siltojen tai muiden rakenteiden reunoihin suunnitellaan kosketussuojaseinämät tai -lipat, joiden rakenteiden tulee olla Ratahallintokeskuksen ohjeiden mukaisia.

Reunapalkin korkeuden valinnassa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Risteyssiltoihin, alikulkukäytäviin ja rautatien ylittäviin siltoihin tulee korkea reunapalkki.
- Vesistösiltojen reunapalkki voi olla tapauskohtaisesti korkea tai matala. Korkean reunapalkin tarve määritellään sillan tuotevaatimuksissa esim. ympäristösyistä.

Reunapalkin vähimmäisleveys on ajoneuvoliikenteen silloissa 450 mm ja kevyen liikenteen silloissa 300 mm. Reunapalkin sivupinnan korkeus on ajoneuvoliikenteen silloissa vähintään 450 mm ja kevyen liikenteen silloissa vähintään 400 mm. Reunapalkin yläpinta tehdään matalassa reunapalkissa kaltevaksi ulospäin ja korkeassa sisäänpäin. Kaltevuus on vähintään 1:20.

Reunapalkin nokan (ulkopinnan alanurkan) muotoilulla ja alapinnan tippauralla vähennetään sade- ja sulamisvesien aiheuttamaa reunapalkin likaantumista ja rapautumista. Reunapalkin ja sen tippauran muotoilussa noudatetaan liitteessä 3.1 esitettyjä periaatteita ja vähimmäismittoja. Reunapalkin raudoituksen vähimmäisvaatimukset on esitetty liitteessä 3.5.

Reunapalkin muoto- ja pinnoittamisvaatimuksia voidaan tiukentaa siltakohtaisesti mm. siltapaikkaluokan mukaan.

Mittapiirustuksissa on esitettävä alue, jota reunapalkin P-luvulle asetettu vaatimus koskee.

Kaidepylvään ja reunapalkin kiinnittyminen päällysrakenteeseen varmistetaan kaidepylvään leikkauskestävyyttä vastaavalle voimalle. Kaiteen kiinnityspultteihin kohdistuva voima on siirrettävä reunapalkin ajoradan puoleiseen reunaan lisähaoituksella tai lenkkiteräksellä ($d=20$ mm). Kansilaatasta reunapalkkiin ulottuvien poikittaisen raudoituksen enimmäisetäisyys reunapalkin ulkoreunasta on 50 mm.

Päällysrakenteen 120° terävämmät näkyviin jäävät nurkat viistetään 20x20 mm, ellei siltakohtaisesti toisin sovita. Viistämisestä mainitaan piirustuksissa.

Päällysrakenteen kaikki pinnat raudoitetaan. Ellei rakenteellinen mitoitus vaadi suurempaa raudoitemäärää, sijoitetaan pintoihin vähimmäisraudoitus noudattaen liitteessä 3.5 esitettyjä periaatteita.

3.3.2 Laatta- ja palkkisillat

Risteyssilloissa, joiden alla vapaa korkeus on < 5 m, päällysrakenteen alanurkat vahvistetaan kolhaisuja vastaan ajoradan kohdalla kuumasinkityllä tai ruostumattomalla teräslevyllä, jonka vähimmäispaksuus on 8 mm.

Jänneraudoitteita tulee olla vähintään 3 kpl/ palkki ja 4 kpl/ silta.

Molemmista päistä jännitettävän raudoitteen enimmäispituus on 300 m. Yksittäisen raudoitteen murtovoima saa olla enintään 4,0 MN.

3.3.3 Kehäsillat

Jos kehäsillan jalka valetaan jäykästi anturaan kiinni, betoni suhteitetaan mahdollisimman vähän kutistuvaksi ja käytetään runkoaineelle vähintään 16 mm:n maksimiraekokoa. Betonin laatuvaatimukset kutistuman pitämiseksi pienenä on esitettävä siltakohtaisissa laatuvaatimuksissa.

3.3.4 Ulokesillat

- Ulokesilloja, joissa ulokkeen pituus on $> 2,5$ m, ei sallita moottoriteillä, moottoriliikenneteillä eikä valta- ja kantateillä.

3.3.5 Teräksiset palkkisillat

Yli 65 metrin pituisten siltajänteiden pääkannattimet varustetaan alapuolisella vaakaristikolla. Se ulotetaan viereiseen aukkoon vähintään jännemitan neljännespisteeseen.

Jäykistysristikoiden sauvoina (pysty- ja vaakaristikot) tulee käyttää suljettuja profiileja. Pystyristikon yläsauva suunnitellaan poistettavaksi kannen valun jälkeen.

Erityisesti I ja II luokan siltapaikoilla teräspalkkien alapaarteen leveyttä vaihdellaan mahdollisimman vähän. Tarvittavat levyn poikkipinta-alan muutokset tehdään 1-aukkoisissa silloissa ja jatkuvien siltojen kenttäalueella pääasias-
sa levyn paksuutta muuttamalla. Jatkuvien siltojen tukialueella alapaarteen leveyden muutos tehdään juohevasti, ellei poikkipinta-alan muutosta voida tehdä levyn paksuutta muuttamalla.

3.4 Kannen pintarakenteet

Kannen pintarakenteiden valintaa ja suunnittelua koskevat ohjeet ovat liitteessä 4.1.

3.5 Varusteet ja laitteet

3.5.1 Laakerit

Kumilevylaakeroiduissa silloissa, joiden päällysrakenteen pää liikkuu penkereessä, liikerajaajien käytössä noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Jos päällysrakenteen pää on kohtisuora liikesuuntaa vastaan, poikittaisia liikkeenrajaajia ei tarvita, ellei rajaajien käyttämiseen ole erityisiä perusteita.
- Jos päällysrakenteen pää on vino, tarvitaan poikittaisia siirtymiä estävät liikkeenrajaajat, jotka mitoitetetaan niihin kohdistuville rasituksille.

Kumilevylaakerin on oltava materiaaliltaan sellaista, että sen liukumoduli kelpoisuustestissä on -30°C :ssa enintään 1,5-kertainen $+20^{\circ}\text{C}$:ssa mitattuun arvoon verrattuna. Kumilevylaakerin vakiokoot on esitetty liitteessä 5.3.

Laakerialustan muoto, mitat, materiaalivaatimukset ja raudoitusperiaate on esitettävä suunnitelmassa. Laakerialustan vähimmäismitat, vähimmäisetäisyydet rakenteen reunaan ja raudoitusperiaate on esitetty liitteessä 5.1.

Laakerit on tehtävä betonisissa silloissa irrotettaviksi kiinnittämällä niiden ala- ja ylälevyt pulteilla.

Laakerit on varustettava pölysuojuksin.

Vinoissa silloissa varataan laakeritasolle ja päällysrakenteen alapintaan riittävästi tilaa laakerivarausta varten.

Kumipesälaakerin käyttöä tulee harkita linjan Kemi-Oulu-Kajaani pohjois- ja itäpuolella.

3.5.2 Liikuntasaumalaitteet

Tehtäessä liikuntasaumalaitteen tukikaista erillisenä jälkivaluna betonimuovista tai polymeerisementtibetonista SYL 7.223 vaihtoehdon B mukaan tukikaista ankkuroidaan liikuntasaumalaitteen kiinnitysvaluun liitteen 5.5 mukaisesti.

Silloissa käytetään vain Tiehallinnon hyväksymiä liikuntasaumalaitteita. Liikuntasaumalaitteille asetetaan siltasuunnitelmassa seuraavat vähimmäisvaatimukset:

Tieluokka	Laitevaatimus	Yhden kumin liikevara mm
Mo, Mol	Valuun asennettava teräsrunkoinen	0...60 useampikuminen laite 0...80 yksikuminen laite
Vt, Kt Mt, Pt ¹⁾	Valuun asennettava, teräsrunkoinen	0...80
Mt, Pt ²⁾	Valuun asennettava, teräsrunkoinen	0...100 yksikuminen laite 0...80 useampikuminen laite
KVL-tie	Valuun asennettava, ruuvikiinnitteinen tai liimattava Teräs- tai kevytmetalli- rakenteinen	0...100 yksikuminen laite 0... 80 useampikuminen laite

¹⁾ ≥ 1500 ajon./vrk

²⁾ < 1500 ajon./vrk

Mo = moottoritie, Mol = moottoriliikennetie, Vt = valtatie

Kt = kantatie, Mt = maantie, Pt = paikallistie

KVL-tie = kevyen liikenteen tie

- Puukantisissa silloissa käytetään puristetussa tilassa olevaa kumiprofiilia, jonka liikevara on 0...50 mm.

- Teräskantisissa silloissa laite kiinnitetään joko hitsaamalla tai ruuveilla kansilevyn läpi.

- Piirustuksissa on ilmoitettava laitevaatimus, todellinen tarvittava liikevara ja kumiprofiilien määrä.

Reunapalkin kohdalla saumalaite voidaan taittaa ylöspäin jotta vesi ei valu laitetta pitkin luiskaan.

Massaliikuntasauman tarve ja käyttömahdollisuus harkitaan erikseen. Massaliikuntasaumaa tulisi käyttää aina kun liikuntasauman kokonaisliikemäärä on enintään 30 mm.

3.5.3 Vedenjohtolaitteet

Sillan kuivatuslaitteet suunnitellaan Siltojen korjausohjeen (SILKO 1.601) mukaan.

Ellei hankekohtaisesti muuta sovita, suunnitellaan sillan päiden kuivatus siten, että pintavedet kootaan pintavesikaivoon, josta vesi johdetaan umpiputkessa sivuojaan. Suojattavilla pohjavesialueilla tai muilla vastaavasti suojeltavilla alueilla on pintavesien käsittely suunniteltava hankekohtaisesti suojelutarve huomioonottaen Siltojen korjausohjeen 1.601 mukaisesti.

Maatukien laakeritasoille kertyvät vedet kerätään kouruun laakeritason takareunaan ja johdetaan putkella maatuen sisällä maatuen eteen tai sivulle siten, että putki päättyy luiskaan yläpuolella. Putken koko on > 50 mm.

3.5.4 Suojalaitteet

Kaidetyyppien valinnan yleiset periaatteet ja muut suunnitteluperusteet esitetään sillankaideohjeessa.

Teräspalkkisiltojen pääkannattimien alapaarteille pääsyn estämiseksi voidaan käyttää nousuestettä, josta esimerkkipiirustus on liitteenä 5.8. Esteen käyttö määritellään hankekohtaisesti.

- Este on yleensä tarpeen silloissa, joiden pääkannattimien korkeus on suurempi kuin 1,30 m ja alapaarteen leveys uumasta paarteen reunaan > 0,20 m.
- Esteen pituus ja sijoitus valitaan siten, että vapaa korkeus sillan alla esteen silta-aukon puoleisen pään kohdalla on suurempi kuin 2,4 m. Esteen tulee kuitenkin ulottua vähintään pääkannattimen korkeuden verran maatuen etupinnalle.
- Este voidaan sisällyttää teräsrakennepiirustuksiin tai esittää omana piirustuksenaan.

3.5.5 Muut varusteet ja laitteet

Siirtymälaatan käytön yleiset periaatteet sekä siirtymälaatan pituuden ja korkeusaseman määrityisperusteet on esitetty liitteessä 5.6.

Silloissa varaudutaan tarvittavien putkien ja kaapeleiden vientiin, joista on hankekohtaiset tiedot. Betonin kanssa kosketuksiin joutuvat varausputket eivät saa olla alumiinia. Myöhemmin mahdollisesti suoritettavaa kaapelointia varten varaudutaan seuraavasti, ellei hankekohtaisesti ole tietoa suuremmasta määrästä:

- Massiivisiin betonikansiin sijoitetaan kaksi varausputkea läpimitaltaan 110 mm, yksi kannen kummallekin puolelle.
- Betonisiin laatta- ja kotelopalkkisiltoihin ja betonikantisiin teräspalkkisiltoihin sijoitetaan kaksi varausputkea läpimitaltaan 110 mm sillan päihin. Päälysrakenteen osalle vastaaville kohdille sijoitetaan sisäkierretartunnat tarvittavin välein siten, että kaapelihylly voidaan niihin kiinnittää. Myös poikkipalkeissa ja muissa rakenneosissa varaudutaan kaapelihyllyn rakentamiseen.

Betonirakenteiden sähkökemiallisia mittauksia varten sijoitettavat kontaktitapit suunnitellaan liitteen 5.9 ohjeiden mukaisesti.

Sillan rakennusvuosi esitetään vesistö- ja risteyssilloissa kaiteeseen kiinnitettävällä metallisella vuosilaatalla. Merkittäviin alikulkukäytäviin tehdään valun yhteydessä vuosiluku. Ohjeita sijoituksesta siltaan on tyyppipiirustuksessa R15/DM-13.

Tarkastussilta suunnitellaan siltaan hankekohtaisen harkinnan pohjalta. Sille pääsy estetään portilla tai luukulla.

Siltojen maatumien etuluiskiin rakennetaan vähintään 0,5 m levyiset huoltotasanteet ja vesistösiltoihin 0,5 m levyiset jatkänpolut. Korkeissa penkereissä harkitaan erikseen välitasanteiden rakentamista.

Sillan sisään johtavat kulkuaukot suljetaan luukulla ja riippulukolla.

3.6 Tietyöt siltapaikalla

Luiskien verhoilu suunnitellaan Siltojen korjausohjeen (SILKO 1.901) mukaisesti.

Etuluiskan kaltevuuden valinnassa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Etuluiskan kaltevuuden tulee tiesilloilla liikenneturvallisuussyistä olla yleensä 1:2. Muilla silloilla, jos etuluiskan verhoilu tehdään sitomattomasta pintamateriaalista kuten murskeverhous, kaltevuus voi olla 1:1,75 tai loivempi.
- Jos etuluiska verhotaan tiivissaumaisella materiaalilla kuten kivilaatta- tai betonikiviverhouksella tai verhous sidotaan yhteen väliaineella kuten maakostealla betonilla, tulee luiskan kaltevuuden olla 1:1,5 tai loivempi.

4 LASKELMA- JA MITOITUSOHJEET

4.1 Kuormat

Rakenteissa joissa pysyvien kuormien osuus on suuri kuten paalulaatoissa, suurimmissa silloissa ja eräiden siltojen asennusaikaisissa tilanteissa, on muistettava tarkastaa varmuus myös pelkälle pysyvälle kuormalle (1,35).

Siirtymälaatan tukireaktio siltaan lasketaan seuraavilla otaksumilla:

- Siirtymälaatta on yksinkertainen palkki, jonka jännemitta on 60% siirtymälaatan pituudesta. Loppuosa siirtymälaatasta tukeutuu suoraan penkereeseen.
- Tukireaktio otetaan huomioon päällysrakenteen kuormana vain jos se vaikuttaa mitoituskuormaa lisäävästi.

4.1.1 Onnettomuuskuormat

Siltaan kohdistuva ajoneuvoliikenteen, alusten tai junan törmäys käsitellään suunnittelussa onnettomuuskuormana. Sillan reunan tulee kestää kaikissa tilanteissa onnettomuuskuorma, joka koostuu pyöräkuormasta, joka on sijoitettu reunapalkin ulkoreunaan ja samanaikaisesti kaiteeseen vaikuttavasta törmäyskuormasta samassa kohdassa.

4.1.2 Jääkuorma

Vesistösillan tukiin kohdistuu aina myös poikittainen jääkuorma, joka aiheutuu jääpeitteen lämpötilan muutoksesta.

4.2 Käyttörajatilavaatimukset

Tarkennuksena Betonirakenneohjeisiin 2000, teräsbetonirakenteessa $M_r = 1,7 W_{ce} f_{ctk}$ ja ankkurijännerakenteissa $M_r = W_{ce} f_{ctk}$.

Jarrukuorman aiheuttama päällysrakenteen laskennallinen vaakasiirtymä saa olla enintään ± 50 mm.

4.2.1 Kevyen liikenteen sillan värähtely

Ulkona sijaitsevien kevyen liikenteen siltojen jalankulkijoista aiheutuva sillan pystysuuntaisen värähtelyn kiihtyvyys ei saa olla mitoitusherätteillä suurempi kuin $0,5 \text{ m/s}^2$. Kaikille kevyen liikenteen silloille lasketaan alin ominaistaajuus (taivutusmuoto). Kiihtyvyys on laskennallisesti tarkistettava, jos sillan alin ominaistaajuus on alle 3,5 Hz.

Näille värähtelyn kannalta kriittisille silloille on tarvittaessa määritettävä myös alle 3,5 Hz:n alueella olevat ylempiä taivutusmuotoja sekä vääntömuotoja vastaavat ominaistaajuudet ja niitä vastaavat kiihtyvyydet.

Mitoitusherätteenä käytetään jalankulkijamääriltään normaaleilla silloilla taajuusalueella $f_1 < 2,3$ Hz kahden kävelijän herätettä ja taajuusalueella $2,3 \leq f_1 < 3,5$ Hz yhden juoksijan aiheuttamaa herätettä. Jalankulkijan painoksi oletetaan 70 kg.

Herätevoima määritetään lausekkeesta:

$$F = k \cdot \alpha \cdot P$$

missä k on määräkerroin, $k = \sqrt{n}$ (jalankulkijat epätahdissa)
 n on jalankulkijoiden määrä, normaalitapauksessa 2 kävelijää tai 1 juoksija
 α on kuormakerroin
 P on yhden kävelijän paino (700 N)

Kuormakerroin lasketaan kaavoilla

$$\alpha = 0,83 \cdot e^{-0,35 \cdot f} \leq 0,45 \quad \text{kävelyherätteelle ja}$$

$$\alpha = 5,25 \cdot e^{-0,45 \cdot f} \leq 1,50 \quad \text{juoksuherätteelle.}$$

missä f on rakenteen ominaistaajuus.

Jos kevyen liikenteen silta sijaitsee kävelijämäärältään erittäin vilkkaalla reitillä, on suositeltavaa mitoittaa silta suuremmalle kävelijäryhmälle. Tällöin voidaan kävelijämäärää suurentaa esim. arvoon $n = 5$.

Vaimennussuhteena käytetään arvoa $\zeta = 0,01$, ellei toisin ole sovittu.

Jos sillan ominaistaajuus vaakatasossa on alle 2,5 Hz on myös vaakasuuntainen kiihtyvyys tutkittava. Kiihtyvyys ei saa ylittää arvoa $0,25 \text{ m/s}^2$ käytettäessä herätteenä puolta edellä mainituista herätevoiman F arvosta.

4.3 Perustukset

4.3.1 Paalut

Poikkileikkaukseltaan pienien paalujen (sivumitta tai halkaisija ≤ 350 mm) muodostaman paaluryhmän laskennassa ei oteta paalujen sivuvastusta huomioon paalukuormia pienentävänä tekijänä, ellei erityistapauksissa silta-kohtaisesti toisin sovita. Tällaisia erityistapauksia voivat olla mm. eräät lyhytaikaiset kuormitustapaukset kuten sivukuorma tai tuulikuorma.

Jos paaluryhmän mitoituksessa poiketaan ohjeen Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa kohdan 10.91 laskentaotaksumista, paalujen saamat taivutusmomentit, leikkausvoimat ja vääntömomentit on otettava paalun rakenteellisessa mitoituksessa huomioon.

Penkereissä olevien kevyiden lyöntipaaluperustusten paalukuormien laske-
misessa on otettava huomioon negatiivinen vaippahankaus.

Stabiileissa paaluryhmissä, joissa paalut on mitoitettu ottamaan vastaan kaikki perustukseen kohdistuvat kuormat, paalun sallittua geoteknistä kantavuutta ei tarvitse pienentää paalun lyhyydestä johtuen (vrt. Lyöntipaalutusohjeet, LPO-87, kohta 3.464).

Kallioon tuetun kaivinpaalun mitoituksessa sovelletaan Pohjanrakennusohjeet sillansuunnittelussa ohjeen kohtaa 10.62 seuraavasti:

- Tutkittaessa paalun alapään jännitystilaa rakenne mallinnetaan niin, että saadaan alapään todelliset rasitukset. Sallittuna reunapuristusjännityksenä voidaan käyttää arvoa $0,5 \cdot f_{ck}$, jos heikko kallio ei rajoita jännitystä pienemmäksi.

- Paalun alapään ankkurointiraudoitteen tarve ja määrä selvitetään mitoittamalla alapään poikkileikkaus teräsbetonipilarina käyttäen murtorajatilassa kokonaisvarmuuskerrointa $\gamma = 1,5$. Raudoitteet ankkuroidaan kallioon koko raudoitemäärän vetokapasiteettia vastaavan 90° kartion korkeuden verran, ellei ole muuta luotettavaa kallioselvitystä. Injektointimassan tartuntalujuus porareikään on selvitettävä.

Suurpaalujen muodostamalle paalutetulle päätytuelle määritetään maanpaine liitteen 1.1 mukaisesti.

Suurpaaluille perustetuissa paalupukeissa, paalut ankkuroidaan alusrakenteeseen niiden geoteknistä vetokapasiteettia vastaavalle voimalle.

Suurpaalujen ympärystäytön ei oleteta lisäävän maan paalua tukevaa vaikutusta.

Teräspaalujen korroosiotutkimukset ja mitoitus tehdään ohjeen Teräsputki-paalut kohdan 2.2.6 mukaisesti. Tehdyt suunnitteluratkaisut on perusteltava rakennelaskelmissa, joihin liitetään maan korroosiotutkimuksiin perustuva geoteknikon lausunto.

Mitoitettaessa teräsputkipaaluja liittorakenteisena on maaperän korroosiota aiheuttavat ominaisuudet tutkittava. Maaperästä on tutkittava ainakin sen pH-luku, sähkönjohtavuus ja kloridien määrä.

Mikäli tutkimuksen perusteella syövyttävyys todetaan vähäiseksi valitaan korroosiovarat Tiehallinnon julkaisun Teräsputkipaalut mukaan.

Talvihoitoluokkiin 1s ja 1 kuuluvien teiden siltojen paalutuksia ei voida mitoittaa liittorakenteisina tiesuolan vaikutusalueella. Suolan vaikutusalueen katsotaan ulottuvan vaakasuunnassa 12 m:n etäisyydelle suolattavan tien reunasta ja pystysuunnassa 2 m pysyvän pohjavesipinnan alapuolelle.

Liittorakennepaaluissa on varmistettava yläpuoliselta rakenteelta tulevan voiman siirtyminen liittorakenteelle. Voiman siirtymämatkalla paalu on mitoitettava teräsbetonirakenteena.

Onnettomuustilanteessa paalukuorma saa olla 1,5ertainen sallittuun paalukuormaan nähden. Paalujen vetokapasiteetti saa ylittyä. Paalukon, josta tällaiset vetorasitukset paalut ajatellaan poistetuiksi, on kuitenkin säilytettävä vakavuutensa ja kestävyytensä.

4.3.2 Teräsbetonisen lyöntipaalun nurjahdus

Maahan tukeutumattoman teräsbetonisen paalun nurjahdus tarkastellaan osoittamalla sen poikkileikkauksien kestävyys normaalivoimalle ja samanlaisesti koko paalun mitalla vaikuttavalle taivutusmomentille, joka aiheutuu normaalivoimalle otaksutusta perusepäkeskisyydestä ja paalun taipuman aiheuttamasta lisäepäkeskisyydestä. Menettelyssä noudatetaan Suomen Rakentamismääräyskokoelman ohjeen B4 Betonirakenteet kohtaa 2.2.5 seuraavin täydennyksin:

- Lisäepäkeskisyys poikkileikkauksessa, e_2 , voidaan määrittää laskemalla paalun taipuma edellä mainitulla otaksumalla normaalivoiman epäkeskisyydestä. Paalun jäykkyytenä käytetään $EI = 0,15 E_c I_c + E_s I_s$. Tarkastelussa otetaan huomioon, että paalun taipuma lisää sen taivutusmomenttia normaalivoimasta 2-kertaluvun teorian mukaisesti. Lisäepäkeskisyyden laskentaan tarkoitettu ohjeen B4 kaava 2.54 voi antaa mitoituksen kannalta epätaloudellisen varmallalla puolella olevia arvoja.

Maassa olevan nurjahdusalttiin paalun sallittuina jännityksinä käytetään oheisen taulukon arvoja. Taulukko soveltuu vain aksiaalisesti kuormitetuille paaluille savimaassa.

Teräsbetonipaalujen sallitut jännitykset nurjahdukselle [MPa]

su [kN/m ²]	paalu	penkereen korkeus [m]			
		1,5	2	3	>4
3	250x250	6,0	6,5	6,9	7,0
	300x300	5,9	6,4	6,8	6,9
4	250x250	7,1	7,7	8,1	8,2
	300x300	7,0	7,5	7,9	8,0
5	250x250	8,0	8,7	9,2	9,2
	300x300	7,9	8,5	9,0	9,0
6	250x250	8,9	9,6	> 9	> 9
	300x300	8,7	9,3	9,8	>9
7	250x250	9,6	> 9	> 9	> 9
	300x300	9,4	> 9	> 9	> 9

Jännitykset tarkastellaan oman painon ja Lk 1:n ominaiskuormille.

Taulukko ottaa huomioon EK I: n vaikutuksen.

Taulukko koskee jatkamattomia siltapaaluja.

Väliarvot interpoloidaan.

Su on pienin nurjahduspituudella oleva saven leikkauslujuus.

Nurjahduspituudet lasketaan LPO:n mukaan.

4.3.3 Peruslaatat

Perustettaessa kalliolle, tasataan kallion pinta usein murskepatjalla. Mikäli kallionvarainen perustus tehdään mursketasauksen päälle, on se myös mitoitettava täytönvaraiseksi.

Ohuen (≤ 500 mm), tiivistetyn täytön varaan perustetun perustuksen kantokyvyksi laskettuna tehokkaalle pinta-alalle ("Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa", TIEL 2172068 kohdan 8.43 mukaisesti) voidaan ilman lisäselvityksiä otaksua 600 kN/m^2 . Kallion läheisyyden takia on anturan rakenteet mitoitettava kolmiomaisesti jakautuneelle pohjapaineelle. Myös varmuus liukumista ja kaatumista vastaan on tarkastettava.

Kalliokuoppaan ohuen täytteen varaan perustetun tuen siirtymäksi oletetaan 10 mm, vaikka kuoppaa ei kuivateta.

Suoraan kallionvaraisesti perustettu antura mitoitetaan kolmiomaisesti ja kautuneen pohjapaineen ja kallion geoteknisen kantavuuden mukaan.

Jännittämättömiä betoniteräksiä ei käytetä perustuksen ankkurointiin kallioon pysyväälle kuormalle. Korroosion huomioon ottamiseksi ankkurien jännitykset muille kuormayhdistelmille rajoitetaan siten, että korroosiovara pois lukien sallittu jännitys on käyttörajatilan lyhytaikaiselle yhdistelmälle $\sigma_{sall} = 250 \text{ N/mm}^2$. Korroosiovaraksi lasketaan 2,5 mm:n kerros teräksen pinnassa tai käytetään kuumasinkittyä teräksiä.

4.4 Maa- ja välituet

4.4.1 Maa- ja välitukien yleisohjeet

Jos seinämäinen pitkänomainen tuki valetaan jäykästi kiinni perustukseen tai kallioon, on kutistuminen otettava huomioon vaakaraudoitteen mitoittamisessa halkeamakoon rajoittamiseksi.

Maasilloissa pohjaveden pinnan tasossa oleva jäätynyt maa voi estää tukien vaakaliikkeen. Rakenne on tällöin mitoitettava myös vaakaliikkeen estäville kuormille. Samoin mitoitetaan myös vesistösiltojen välituet.

Laakerin alla halkaisuvoimat ja halkaisuraudoitteiden tarve lasketaan RakMK:n ohjeen B4 mukaan ja erilliset halkaisuteräksiset sijoitetaan betonin vetojännityskuvion mukaan.

Maatuen siipimuurin mitoituksessa hyötykuormana on liikennekuorman aiheuttama maanpaine ja pyöräkuorma siipimuurin päällä.

4.4.2 Välituet

Pilarimaiset välituet mitoitetaan murtorajatilassa ulkoisten kuormien lisäksi myös muodonmuutoskuormista aiheutuville pakkovoimille. Tämän johdosta sallittu halkeamakoko ei niissä tavallisesti ylitä eikä halkeamakoon tarkastelua tarvitse suorittaa kaikissa tarkasteltavissa poikkileikkauksissa. Suunnittelijan tulee kuitenkin huolehtia, että sallittu halkeamakoko ei ylitä.

Pilareiden yläpää mitoitetaan halkaisuvoimalle, joka muodostuu maksimi laakerivoimasta suunnitelman edellyttämän laakerin aluslevyn päällä.

Jos pilari perustetaan yksittäisen suurpaalun varaan, sovelletaan pilarin ja suurpaalun raudoitettankojen limityspituuden määrittämisessä jatkospituudelle annettuja sääntöjä RakMk B4 kohdan 2.2.6.7 mukaan. Jatkoskertoimelle k_j käytetään aina arvoa 2,0.

4.5 Päälysrakenne

Teräsrakenneohjeessa (TIEL 2173449-2000) taipumarajatilaa käsittelevässä kohdassa 3.6 on maininta siitä, että liikennekuormasta aiheutuva kannen poikittaiskallistuma ei saa olla haitallisen suuri.

Kallistuman ei katsota olevan vielä haitallinen, jos se on korkeintaan 1%.

Sama rajoitus koskee kaikkia kaksi- tai useampipalkkisia siltoja, palkkien rakennusmateriaalista riippumatta.

Betonirakenneohjeen (TIEL 2172073-2000) kohdassa 2.3.2.2 on esitetty reunaulokkeen sallitut taipumat sekä jännitetylle, että jännittämättömälle kansilaatalle. Jännittämällä tarkoitetaan tässä yhteydessä kannen poikittaissuuntaista jännittämistä.

Ulokkeen taipumaa laskettaessa otetaan huomioon kiinnityskohdan kiertymä, mutta rinnakkaisten palkkien taipumaerosta johtuvaa kannen poikittaiskallistumaa ei tarvitse ottaa huomioon.

Yksipalkkisilla ja poikkileikkaukseltaan kotelomaisilla silloilla ei kannen reunaulokkeen taipuma saa ylittää em. betonirakenneohjeessa ilmoitettuja sallittuja arvoja. Taipumaa laskettaessa otetaan kannen kiertymän vaikutus huomioon.

4.5.1 Betonisiltojen yleisohjeet

Laattapalkkisillan arinamallin muodostamisessa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Poikittaisten laattakaistojen pituudeksi otaksutaan pääkannattimien keskiöväli. Laattakaistan jäykkyyssarvoja laskettaessa otetaan huomioon jäykkyyden muutos koko tällä välillä.
- Jos laatta on poikkisuunnassa teräsbetonirakenne, otaksutaan se halkeileeksi ja sen jäykkyydeksi 50 % halkeilemattoman poikkileikkauksen jäykkyydestä.
- Jos laatta on poikkisuuntaan jännitetty, käytetään laskennassa halkeilemattoman poikkileikkauksen arvoja
- Arinamallin tulee olla sellainen, että kansilaatan ulokkeella oleva, pääpalkkia vääntävä kuorma tulee otettua oikein huomioon. (Laskentaohjelmissa on havaittu puutteita tältä osin).

Laattasillan laatan pituussuuntaisen momentin poikittainen jakaantuminen otetaan raudoituksen sijoittelussa huomioon.

Käytettäessä laatasta kevennysputkia on betonoinnin onnistumiseksi niiden etäisyyden laatan alapinnasta oltava 250 mm. Yläpinnasta etäisyyden tulisi olla 200 mm.

4.5.2. Sillan pään ja maan yhteistoiminta

Silloissa, joissa päällysrakenteen pää liikkuu penkereessä noudatetaan seuraavia ohjeita:

- Silta tulee mitoittaa kestäämään päällysrakenteen 30° C lämpötilanmuutoksesta aiheutuvat sillan ja penkereen vuorovaikutuksesta syntyvät voimat.
- Penkereen vaakasuuntaisia kimmo-ominaisuuksia ja passiivisen maanpaineen kehittymistä arvioidaan ”Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa” ohjeen kohdan 13.1 mukaan. Maanpaineen voidaan otaksua seinän ja maan välisestä kitkasta johtuen vaikuttavan pääty pintaa vasten vinossa kulmassa seuraavasti:

--Sillan vinous $< 20^\circ$: maanpaineen resultantin suunta poikkeaa sillan keskilinjan suuntaan pääty pintaa vastaan kohtisuorasta suunnasta puolet sillan vinouskulmasta.

--Sillan vinous $\geq 20^\circ$: maanpaineen resultantin suunta poikkeaa sillan keskilinjan suuntaan pääty pintaa vastaan kohtisuorasta suunnasta 10° (n. 1/4 maan kitkakulmasta).

- Osa päällysrakenteeseen vaikuttavista vaakavoimista voidaan viedä sillan pään kautta penkereeseen. Tällöin passiivisen maanpaineen kehittymiseen tarvittavaksi liikkeeksi oletetaan 1 % päätyseinän korkeudesta ja tutkitaan seuraavat vaihtoehtoiset otaksumat:

-- Pää on kiinni penkereessä ja toimii heti vaakavoimia välittävänä rakenteena.

-- Pään ja penkereen välissä on rako, jonka suuruudeksi oletetaan pään vaakasiirtymä 20° C suuruudesta lämpökutistumasta. Pää alkaa toimia vaakavoimia välittävänä rakenteenavasta, kun vaakavoima on aiheuttanut päällysrakenteeseen tätä rakoa vastaavan siirtymän. Vaakavoima välittyy aluksi alusrakenteelle ja vasta raon umpeuduttua päällysrakenteen pään kautta penkereeseen.

- Päällysrakenteen päädyn rakenteet ja kiinnitys päällysrakenteeseen on mitoitettava passiivipaineelle käyttäen murtotilassa passiivipaineelle osavarmuuskertoimaa 1,20.
- Vinopäisissä silloissa päällysrakenteen päihin syntyvä maanpaine aiheuttaa siltaan päällysrakennetta pysty akselin suhteen kiertävän momentin, joka tulee ottaa huomioon mitoituksessa. Maan sekä siirtymälaatan ja siipimuurien välisiä reaktiovoimia ei oteta huomioon näissä tarkasteluissa. Murtotilata tarkasteluissa maanpaineen osavarmuuskertoimena käytetään arvoa 1,2.
- Sovellettaessa tyyppisiltojen tyyppipiirustuksia vinopäisiin siltoihin on aina varmistettava, että alusrakenne pystyy ottamaan päällysrakenteen pään ja penkereen vuorovaikutuksesta syntyvät voimat.

Tyyppisiltojen piirustuksia sovellettaessa niiden käyttöohjeessa mainittujen raja-arvojen ulkopuolella, on tehtävä mitoituksen tarkistuslaskelmat.

4.5.3 Ulokesillat

Ulokesiltojen pään taipuma (kokonaisliike) suunnittelukuormasta rajoitetaan arvoon ± 20 mm. Suunnittelukuormana on LKl:n kaavio 1 sijoitettuna kahdelle kaistalle epäedullisimpaan asentoon.

Taipumaa laskettaessa otetaan huomioon ulokkeen oma taipuma sekä tukikiertymä.

Ulokkeen pituudeksi otetaan tien keskilinjan suuntainen mitta tuelta sillan päähän (siirtymälaatan sillan puoleiseen reunaan). Ellei laattasillan kuorman jakautumista haluta tarkemmin selvittää, voidaan laatan jäykkyys laskea todellisten mittojen mukaan 8,5 metrin hyötyleveyteen asti. Leveämpien laattojen leveydestä otetaan jäykkyyttä laskettaessa huomioon 8,5 metriä. Betonipoikkileikkaus voidaan otaksua halkeilemattomaksi muodonmuutoksia laskettaessa.

Ulokkeen tulee kestää myös liikennekuorma otaksumalla, että ulokkeen pää tukeutuu penkereeseen, mille otaksumalle tarkistetaan ulokkeen alapinnan kestävyys.

4.6 Varusteet ja laitteet

4.6.1 Laakerit

Laakereiden kitka-arvona käytetään laskelmissa 6 %.

Laakerin ylä- ja alalevyjen vähimmäiskoko lasketaan ja merkitään suunnitelmiin liitteen 5.1 mukaisesti. Vinossa sillassa kuormituspinnan A_{c0} nurkka sijaitsee usein lähinnä pilarin tai rintamuurin reunaa. Suure A_{c1} lasketaan tämän nurkan reunaetäisyyden perusteella. Ympyränmuotoisen alalevyn vaadittavaa minimikokoa laskettaessa reunaetäisyytenä käytetään pinta-alaltaan vastaavan suuruisen neliön reunaetäisyyttä.

Laakerien liikevaran sekä ennakon suuruus lasketaan liitteen 5.4 mukaisesti ja tällöin on otettava huomioon rakenteen muunnetun paksuuden vaikutus kutistumis- ja virumisnopeuteen esim. julkaisun by16 kuvien S12 ja S15 mukaan. Liikevaran suuruutta laskettaessa on otettava huomioon myös päällysrakenteen kiertymästä johtuvat vaakasuorat siirtymät.

Laskettaessa laakeritappien tai liikerajajatappien leikkausvoimakapasiteettia on otettava vähentävänä tekijänä huomioon vaakavoiman vaikutuspisteeseen todellinen etäisyys betonin pinnasta. Laskenta voidaan tehdä esim. teoksen Leonhardt, Vorlesungen über Massivbau, Zweiter Teil, 1975 kohdan 3.6 mukaisesti.

Laakerointipiirustuksessa esitetään laakerien mitoituskuormat käyttörajatilassa sekä vaatimus siitä, että mitoitettaessa laakereita murtorajatilassa käytetään kokonaisvarmuuskerrointa 1,5.

Yhteen suuntaan liikkuvien laakereiden suuntaus ja siitä aiheutuvat pakko-voimasuureet on tarkasteltava laskelmissa.

4.6.2 Liikuntasaumalaitteet

Liikuntasaumalaitteen liikevaran sekä ennakon suuruus lasketaan kuten laakerien arvot. Liikevaraa pienentävänä voidaan ottaa huomioon päällysrakenteen ikä laitteiden asennusajankohtana.

Laitteen kumi- ja teräsprofiili ulotetaan 100 mm reunapalkin ulkopuolelle. Teräsprofiilin alalaipat leikataan tältä osin pois.

LIITE 1.1 SUURPAALUJEN MUODOSTAMAN PÄÄTYTUEN MAANPAINE

1. Yleistä

Tätä ohjetta voidaan soveltaa vain kun paalut kaivetaan tai lyödään valmiin penkereen läpi, eikä suunnitelman mukaista etuluiskaa ole myöhemmin tarve kaivaa auki tai jyrkentää.

Peruslaatallisen päätytuen suunnittelussa, jossa täyttötöyt tehdään tuen valmistumisen jälkeen, ei tätä ohjetta voida käyttää.

Ohjeessa käsitellään vain maanpaineen ja penkereellä olevan liikennekuorman vaikutusta päätytukeen. Muut kuormat, kuten kannelta ja siirtymäläältä tulevat, lasketaan normaalin suunnittelukäytännön mukaan.

2. Tuen rakenne

Tuki voi muodostua pystysuorista tai sekä pystysuorista että vinoista suurpaaluista. Paalujen päälle tehdään laakeripalkki. Paalupukin yhteydessä on suositeltavaa käyttää liikkuvia laakereita. Pystypaalutuki voidaan liittää kansirakenteeseen liikkuvalla tai kiinteällä laakerilla. Myös jäykkä kiinnitys kannen on mahdollinen.

3. Kuormat

3.1 Laakeripalkkiin kohdistuva maanpaine

Laakeripalkin taustatäytön maanpaine, tiivistyslisä ja liikennekuorman maanpaine otetaan huomioon koko päätytuen leveydeltä Tiehallinnon suunnitteluohjeiden mukaan.

3.2 Paaluihin kohdistuva maanpaine

Paaluihin kohdistuu toispuoleinen maanpaine, joka aiheutuu liikennekuormasta penkereellä ja paalujen yläpuolisen täytön aiheuttamasta pintakuormasta (kuva 1).

Maanpaineen otaksutaan kohdistuvan paaluun sen kolminkertaiselta leveydeltä. Pystysuunnassa painekuvion korkeus on 1,2 x pengerkorkeus.

Paalujen sijainnista riippuen maanpaine voi kohdistua takapaalujen lisäksi myös eturivin vinopaaluihin. Maanpaineen intensiteettiä laskettaessa voi paineen olettaa jakaantuvan poikkisuunnassa suhteessa 2:1 (kuva 1).

Maanpainetta laskettaessa käytetään lepopainekerrointa tai sen 0,7-kertaista arvoa, jos se on kuormituksena määräävä.

3.3 Maan liikkumisesta aiheutuva kuormitus

Jos paalutuki tehdään kerroksittain tiivistettyyn penkereeseen, ei maan liikkeistä johtuvaa kuormitusta tarvitse ottaa huomioon.

Jos tuki sijaitsee leikkausluiskassa, voi maa paalujen ympärillä liikkua ja aiheuttaa painetta paaluja vasten. Liikkeen suuruus on arvioitava ja siitä johtuva maanpaine on otettava lisäkuormana huomioon.

3.4 Tuen vaakasuorasta siirtymästä aiheutuva kuormitus

Tämä kuormitus otetaan huomioon Tiehallinnon julkaisun ”Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa” mukaisesti.

3.5 Kuormien yhdistely

Tässä käsitellyt kuormat ovat pysyviä, paitsi penkereellä olevasta liikennekuormasta aiheutuva maanpaine ja paalun vaakasiirtymä siltä osin kun se aiheutuu lämpöliikkeestä tai jarrukuormasta. Ne otetaan yhdistelyssä huomioon muuttuvina kuormina.

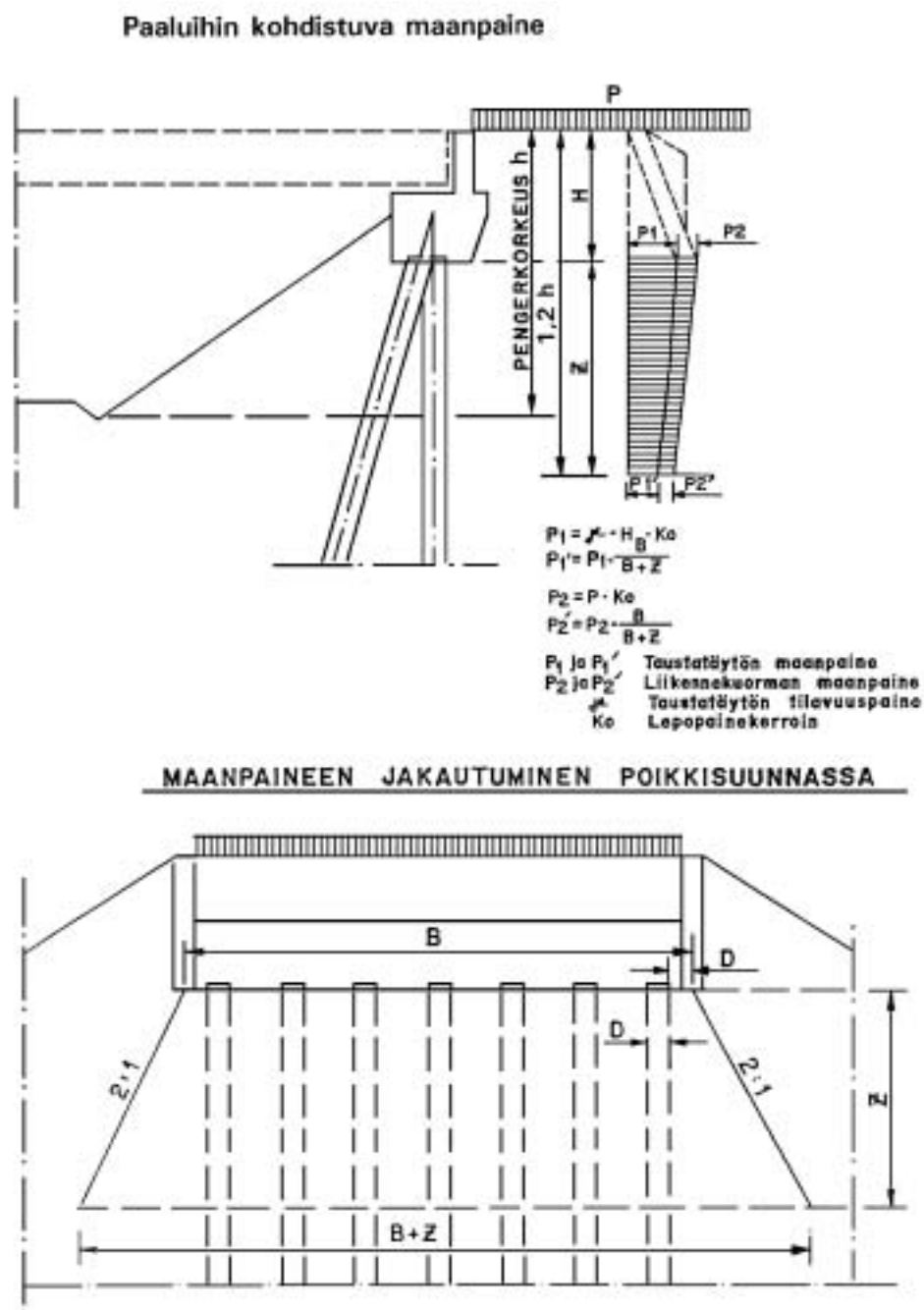
4. Siirtymälaatan vaikutus

Laakeripalkkiin kohdistuvan maanpaineen laskemisessa ei siirtymälaatalle ole merkitystä.

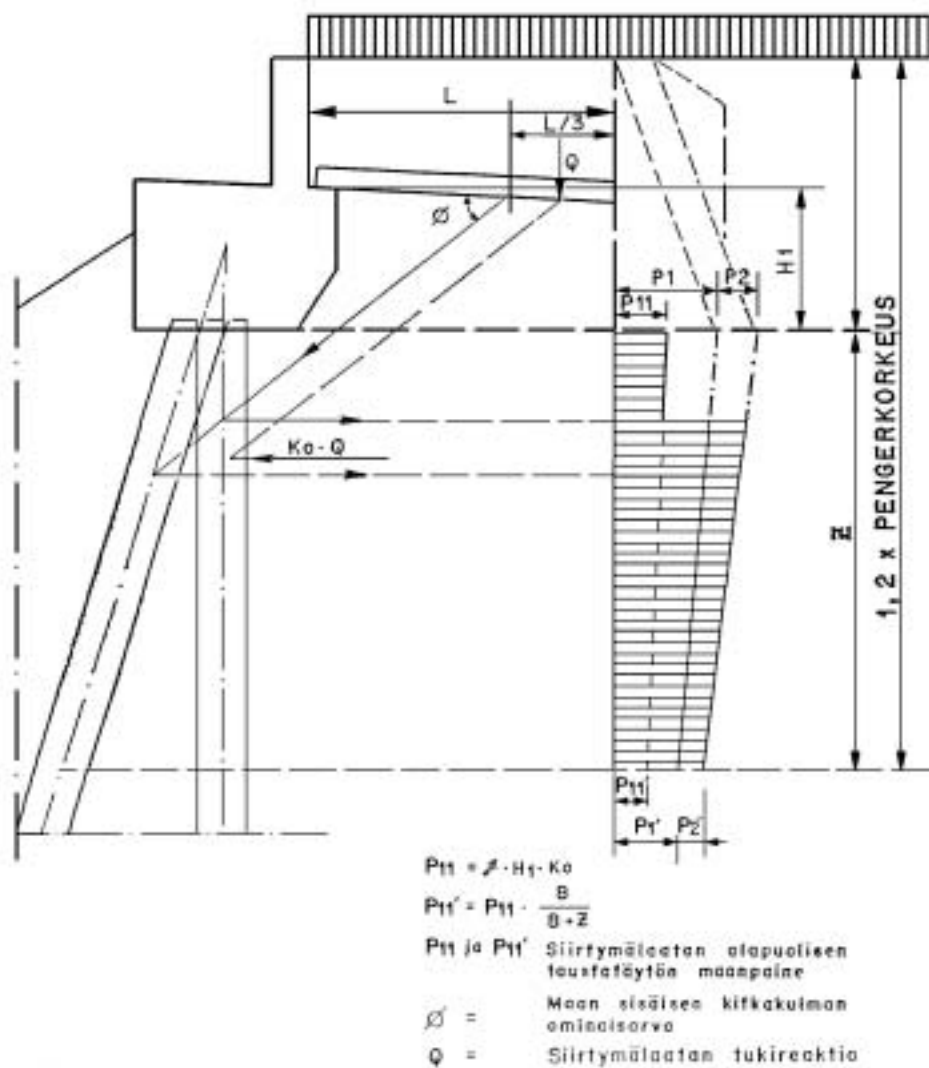
Paaluille tulevaa kuormitusta siirtymälaatta jakaa niin, että sen yläpuolisen täytön ja liikennekuorman aiheuttama maanpaine ei kohdistu paalujen yläosaan. Jakaantumiskulmana käytetään maan sisäistä kitkakulmaa ja lähtöpisteenä siirtymälaatan kolmannespistettä (kuva 2).

5. Laskentamalli

Paalujen voimasuureet lasketaan esim. tasokehäohjelmalla, ottaen huomioon ulkoisten voimien lisäksi maan sivuvastus. Koska paalut voivat siirtymäaukkoon tai penkereeseen päin, on sivuvastusta kuvaavat jousivoimat määritettävä molemmille suunnille.



Kuva 1. Paaluihin kohdistuva maanpaine



Kuva 2. Siirtymälaatan vaikutus maanpaineeseen

LIITE 1.2 SUURPAALUJEN JA VEDENALAISTEN BETONOINTIEN LAADUNVARMISTUS

1. Sovellutusalue

Nämä ohjeet täydentävät Sillanrakentamisen yleisten laatuvaatimusten (SYL) osissa 2 ja 3 annettuja laatuvaatimuksia suurpaalujen ja vedenalaisten betonointien laadunvarmistuksessa.

Siltakohtaisissa laatuvaatimuksissa esitetään mitä menetelmää tai menetelmiä kussakin tapauksessa käytetään.

Kaivinpaalujen kalliokontakti varmistetaan aina kohdan 2 mukaisesti.

Paalun varren betonoinnin laadunvarmistus suunnitellaan kohdan 3 mukaisesti.

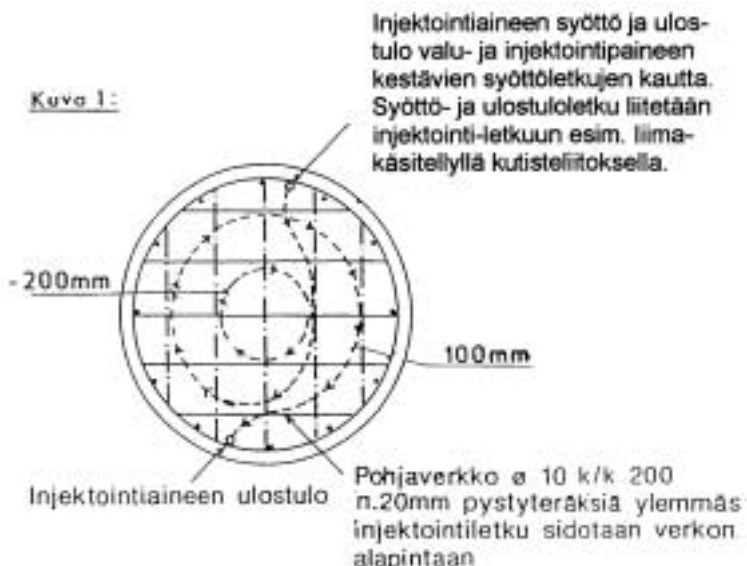
Vedenalaisten betonointien laadunvarmistus suunnitellaan kohdan 4 mukaisesti.

Kunkin tarkastusmenetelmän yhteydessä kohdissa 2-4 on esitetty myös mahdollinen korjausmenetelmä.

Tarkastusmenetelmä voi olla myös edellä mainituista suosituksista poikkeava. Urakoitsija voi tarjouksensa perusteella käyttää tällöin omaan laadunhallintajärjestelmäänsä sisältävää vaihtoehtoista tarkastusmenetelmää, jos sen käyttö on hyväksytty sitä ennen Tiehallinnon toimesta.

2. Kaivinpaalun kalliokontaktin varmistus injektioletkun avulla

Kallioon ulottuvien kaivinpaalujen pohjakontaktin varmistamiseksi laitetaan aina paalun alapäähän kuvan 1 mukaisesti injektointiletku kiepille. Injektointipaineen tulee olla < 35 baria. Paalun tulee olla vähintään 7 vrk:n ikäinen ennen injektointia. Injektointiin soveltuvat letkutyypit on esitetty taulukossa 1.



Kuva1. Injektioletku paalun alapäässä

Taulukko 1. Injektointiin soveltuvat letkutyytit

Injektointi- aine	Polyure- taani	Harts	Mikro sementti	Sementti	Yhteystiedot
Letkutyyppi					
Delta 1, ϕ 5	x	x	x		Deltahansa Oy
Delta 2, ϕ 10			x	x	
Infiltra-Stop	x	x			De Neef Finland Oy
JOCO 10	x	x	x		Muottikolmio Oy
JOCO 20	x	x			
JOCO ADCOR				x	

3. Paalun varren betonoinnin laadunvarmistus

Paalujen varren betonoinnin laadunvarmistukseen soveltuvia tarkastusmenetelmiä ovat ultraäänimittaus (kohta 3.1), PIT-mittaus (kohta 3.2), injektointi (kohta 3.3) tai radiometrinen mittaus (kohta 3.1) ja työnaikainen valvonta seuraavin rajoituksin:

- Kaivinpaaluissa PIT-mittausta ei voi käyttää paaluissa, joiden pituus on suurempi kuin 40 x halkaisija ($L > 40 D$).
- Frankipaaluissa varren betonoinnin kelpoisuus todetaan työnaikaisen valvonnan avulla. Paaluissa, joiden pituus on pienempi kuin 40 x halkaisija ($L < 40 D$) käytetään lisäksi PIT-mittausta.
- Raudoitetuissa teräsputkipaaluissa käytetään ultraäänimittausta kohdan 3.1 mukaan, jos betonointi tapahtuu vedenalaisena valuna. Kun teräsputkipaalun halkaisija on < 600 mm ei paalua voida normaalisti suunnitella valettavaksi vedenalaisena valuna. Raudottamattomissa ja kuivana valettavissa raudoitetuissa teräsputkipaaluissa betonoinnin kelpoisuus todetaan työn aikaisen valvonnan avulla.
- Injektointimenetelmää käytetään vaikeissa pohjaolosuhteissa, esimerkiksi silloin kun maassa on virtaavaa pohjavettä.

3.1 Kaivinpaalun varren ultraääni- tai radiometrinen mittaus

Paalun varsiosaan laitetaan kolme teräsputkea ($\phi = 76,2$ mm, $t = 2$ mm) tasasivuisen kolmion muotoon. Putket kiinnitetään sidelangoilla hakaraudoituksen sisäpuolelle. Putkien alapääät suljetaan tiiviisti tulpalla asennusvaiheessa. Paalun tulee olla vähintään 7 vrk:n ikäinen ennen mittausta.

Mittaus tehdään teräsputkien sisään laskettavilla mittapäillä. Ennen ultraäänimittausta putket täytetään vedellä. Mittauksen jälkeen putket tyhjennetään vedestä ja talvella suojataan paalun pää niin, ettei vesi pääse jäätymään putkiin. Radiometrisessä mittauksessa putket ovat tyhjinä mittauksen aikana.

Jos mittaustulokset osoittavat paaluissa valuvirheitä korjataan paalut siten, että kaikki putket rikotaan sisäkautta erityistyökaluilla vauriokohdista. Sen jälkeen tehdään injektointi polyuretaanilla, epoksilla tai sementillä vaurion laadusta ja koosta riippuen. Sementti-injektointi sopii vain suuriin vaurioihin. Epoksi-injektoinnissa on ensin varmistettava massan soveltuvuus märkien pintojen injektointiin. Polyuretaani soveltuu hyvin märkien pintojen injektointiin, pieniin halkeamiin ja raudoitteen korroosiosuojaukseen, mutta ei anna sanottavasti rakenteellista lujuutta.

Injektoinnin jälkeen putket täytetään sementtilaastilla. Vauriokohtaa voidaan vahvistaa lisäraudoituksella (esim. 3 ϕ 16 mm, $L \geq$ vauriokohdan korkeus + 2000 mm) kussakin teräsputkessa.

Ultraäänimittauksia tekee Tieliikelaitos ja VTT:n Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

3.2 Kaivinpaalun varren PIT-mittaus

Paalun varsiosan kelpoisuus mitataan paalun yläpäästä tehtävällä iskuaaltomittauksella (PIT-mittaus, Pile-Integrity-Test). Menetelmä soveltuu paaluihin, joiden pituus on enintään 40 x paalun halkaisija. Paalun tulee olla vähintään 7 vrk:n ikäinen ennen mittausta.

Mittaukseen kuuluu:

- mittaus
- tulostus sanallisessa muodossa sekä nopeus- ja kiihtyvyysskäyrät
- PITWAP-analyysi aina, kun paalussa on mittaustuloksien mukaan jotain epätavallista
- mahdollinen korjaus injektoinnilla.

Korjaustyö injektoimalla tehdään kuten kohdassa 3.1 on selostettu.

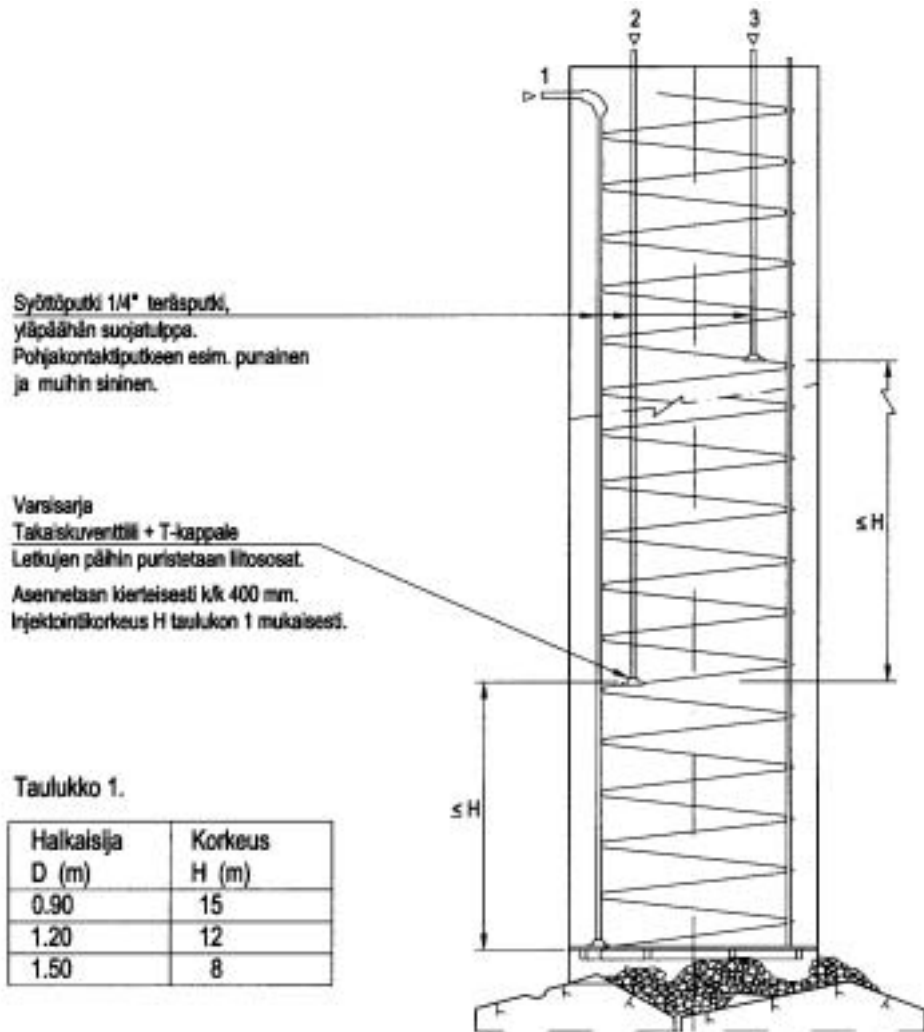
3.3 Kaivinpaalun varren injektointimenetelmä

Paalun varsiosaan laitetaan letku injektointia varten kierteellä ylösnostaen kuvan 2 mukaisesti, nousuväli ≤ 400 mm. Menetelmä soveltuu paaluihin, joissa ei ole vaippaputkea.

Injektointiletkuna ja -aineena käytetään liitteessä 1.2 taulukossa 1 lueteltuja tuotteita.

Paalunvarren injektointikorkeus on esitetty kuvassa 2 taulukossa 1. "Infiltra-Stop" letkulla käytetään taulukosta poiketen injektointikorkeutta 6, 4 tai 3 m paalun halkaisijasta riippuen.

Injektointityö aloitetaan pohjakontaktin tiivistyksen jälkeen (liite 1.2) edeten vaiheittain alhaalta ylöspäin. Injektointipaineen tulee olla <35 baria. Paalun tulee olla vähintään 7 vrk:n ikäinen ennen injektointia.



Kuva 2. Paalun varren injektointi

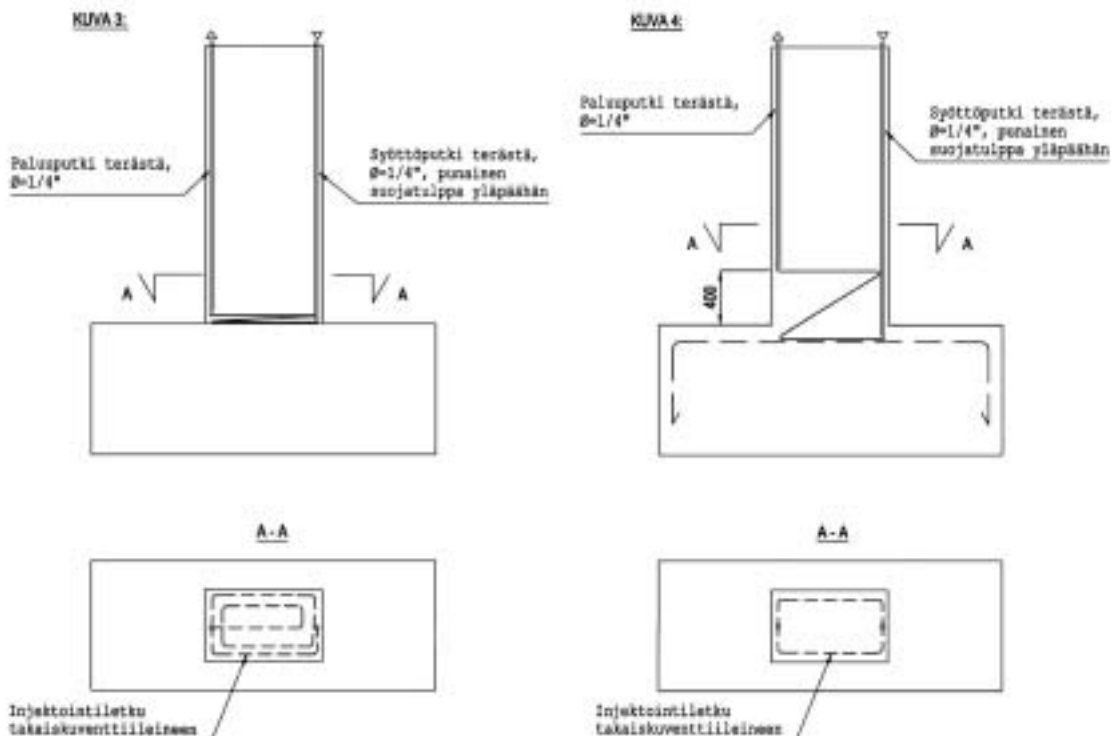
4. Vedenalaisten peruslaattojen ja pilarien betonoinnin laadunvarmistus

Peruslaattojen ja pilarien vedenalaisen betonoinnin laadunvarmistustoimenpiteenä voi olla videokuvaukset, vesipainekoe porareistä, sydännäyteporaus, injektointi tai ultraäänimittaus yksin tai yhdistettynä keskenään.

Peruslaatan laadunvarmistustoimenpiteet ilmoitetaan suunnitelmassa. Silta-kohtaisissa laatuvaatimuksissa esitetään yksilöidysti montako näytettä otetaan ja miten näyteporaukset tehdään.

Peruslaatan ja pilarin liitoskohta tiivistetään aina injektioimalla. Kun rajakohdassa on työsauma menetellään kuvan 3 mukaisesti ja jos pilariosa vaeleetaan yhtäjaksoisesti peruslaatan valun kanssa, menetellään kuvan 4 mukaisesti. Injektointiletkun ja -aineena käytetään kohdassa 2 lueteltuja tuotteita. Betonin tulee olla vähintään 7 vrk:n ikäinen ennen injektointia ja injektointipaine tulee olla < 35 baria.

Vesipainekokeessa alkupaine on 3 baria. Painetta pidetään 1 tunnin ajan, jonka aikana paine saa laskea korkeintaan 10 % alkupaineesta.



Kuvat 3 ja 4. Peruslaatan ja pilarin liitoskohdan tiivistäminen injektioimalla.

LIITE 1.3 PERUSTUSTEN VÄHIMMÄISRAUDOITUS

1. Lyöntipaalut

Teräsbetonisten lyöntipaalujen raudoituksen on täytettävä LPO-87 Lyöntipaalutusohjeiden kohdan 4.3 vaatimukset ja tämän ohjeen kohdan 3.1.2 lisävaatimukset.

2. Suurpaalut

Noudatetaan Suurpaalutusohjeiden SPO-95 kohdan 7.7 ohjeita seuraavin täydennyksin:

- Pääraudoituksen kokonaismäärän on myös täytettävä RakMK:n ohjeessa B4 pilareille annetut vähimmäisraudoitevaatimukset eli $A_{smin} \geq 0,006 A_{ctarv}$, jossa $A_{ctarv} = N_d/f_{cd}$ = murtorajatilan normaalivoiman mukaan laskettu betonin tarpeellinen poikkileikkaus. Teräsputkipaaluissa putkiteräs voidaan laskea hyväksi arvioitaessa paalun vähimmäisraudoitemäärää siltä osin, kuin putkiteräs toimii paalun rakenteellisena osana ilman korroosiovaraa.

- Pääraudoitetankojen halkaisija on vähintään 16 mm

- Pääraudoitetankojen keskiöväli saa olla enintään 300 mm. Raudoitetankojen vapaa väli on vedenalaisena betonoitavissa paaluissa vähintään 100mm

- Paalun hakojen halkaisijan tulee olla vähintään 8 mm ja hakavälin enintään 300 mm. Hakojen vapaa väli on vedenalaisena betonoitavissa paaluissa vähintään 100 mm

3. Peruslaatat

Peruslaattojen ylä- ja alapintojen raudoituksen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Laatoissa, joiden paksuus $h=500$ mm tulee olla raudoitus, jonka suhteellinen raudoitepinta-ala on molempiin suuntiin $0,25 f_{ctk}/f_{yk}$. Laatoissa, joiden paksuus on $h < 500$ mm, noudatetaan tankojen halkaisijalle ja jaolle asetettujen ehtojen kautta jäljempänä määräytyvää vähimmäisraudoitemäärää.

- Laatoissa, joiden paksuus $h \geq 1000$ mm tulee olla raudoitus, jonka suhteellinen raudoitepinta-ala on molempiin suuntiin $0,20 \times f_{ctk}/f_{yk}$.

- Em. laatanpaksuuksien välillä vaadittava vähimmäisraudoitemäärä saadaan interpoloimalla suoraviivaisesti.

- Raudoitetankojen halkaisija on vähintään 16 mm ja raudoitetankojen jako enintään 300 mm.

- Jos tarkasteltavan pinnan betoni on käyttötilan kuormitusyhdistelmällä aina puristettuna, riittää raudoitteen vähimmäismääräksi 50% yllämainituista suhteellisen raudoitepinta-alan vähimmäisarvoista. Samoin on jakoraudoitteen osalta

silloin, kun laatta toimii yhteen suuntaan (kuten esimerkiksi seinämäisen tuen kohdalla). Tällöin tankojako saa olla enintään 400 mm ja tankojen halkaisijan tulee olla vähintään 12 mm.

- Vedenalaisina betonoitavissa anturoissa raudoitustankojen vapaavälin tulee olla kaikkialla vähintään 100 mm ja rakenteen yläpinnan raudoitteen suunnittelussa on otettava huomioon betonointikaluston vaatimat valaukot.

LIITE 2.1 MAA- JA VÄLITUKIEN VÄHIMMÄIS- RAUDOITUS

1. Yleistä

Ellei allaolevissa kohdissa toisin määrätä noudatetaan julkaisun RakMK B4 kohdan 2.5.2 ohjeita.

2. Taivutetut laattamaiset rakenteet

Rakenteiden kaikkien pintojen raudoituksen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- rakenteissa, joiden paksuus $h=300$ mm, on suhteellinen raudoitepinta-ala molempiin suuntiin vähintään 0,15 %
- rakenteissa, joiden paksuus $h \geq 800$ mm, on suhteellinen raudoitepinta-ala molempiin suuntiin vähintään 0,10 %
- rakennekaksuiksille 300...800 mm suhteellinen vähimmäisraudoitemäärä saadaan interpoloimalla
- rakenteissa, joiden paksuus on < 300 mm, noudatetaan kohdan 5 vähimmäisraudoitemäärää.

3. Palkit

Vähimmäisraudoituksessa sovelletaan liitteen 3.5 kohtia 2 ja 3.

Palkkien pääraudoitetankojen tulee olla halkaisijaltaan vähintään 16 mm.

Palkkihakojen halkaisija on vähintään 10 mm. Reunapalkeissa hakojen halkaisija on vähintään 8 mm ja jakoväli enintään 200mm.

4. Normaalivoiman ja taivutusmomentin rasittamat rakenteet

Määritellään seuraavat rakenteet rakenteiden sivumittojen h (paksuus) ja b (leveys) mukaan:

Pilari: $b \leq 3 h$
 $h \leq 1,5 m$

Seinämainen pilari: $b > 3 h$
 $h \leq 1,5 m$

Massiivipilari: $h > 1,5 m$

4.1 Pilareissa ja massiivipilareissa tulee pääraudoitteen kokonaismäärän olla

$$A_{s \min} = \frac{0,18 N_d}{f_{yk}}$$

N_d = Murtorajatilän normaalivoiman laskenta-arvo.

4.2 Teräsbetoniseinissä ja seinämäisissä pilareissa tulee pystyte-rästen määrän olla molemmissa pinnoissa vähintään 0,1 % koko poikkileik-kausalasta ja kokonaismäärän enintään 4 % koko poikkileikkausalasta. Vaa-karaudoituksen määrä on vähintään puolet edellä mainitusta pystyraudoit-teen määrästä ja väli enintään 250 mm ellei kohdan 5 vaatimuksesta muuta johdu.

Jos pystyraudoituksen määrä on suurempi kuin 2 % koko poikkileik-kausalasta, sidotaan se haoilla RakMK B4 kohdan 2.5.2.4 pilarihaoitukselle annettujen vaatimusten mukaan. Hakaväli saa olla enintään 200 mm.

Jos rakenteen leikkauskapasiteetti vaatii hakoja noudatetaan niiden vähim-mäismäärässä RakMK B4 kohdan 2.5.2.3 vaatimuksia.

4.3 Pystyraudoitetankojen vähimmäiskoko ja suurin sallittu rau-doitejako on seuraava:

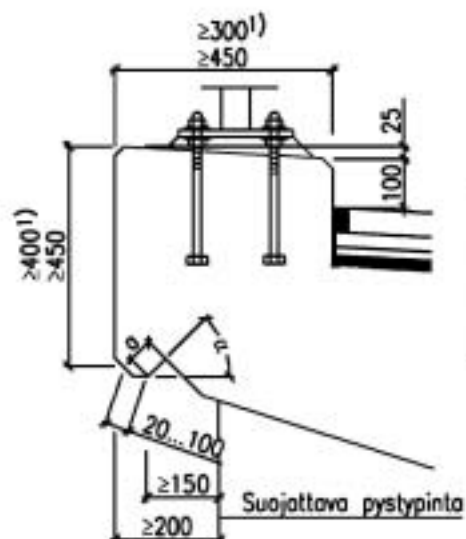
- Pilarit: Raudoitetankojen halkaisija 20 mm, jako 300 mm
- Massiivipilarit: Raudoitetankojen halkaisija 25 mm, jako 300 mm
- Seinämäiset pilarit Raudoitetankojen halkaisija 16 mm, jako 300 mm

5. Muut vaatimukset

Alusrakenteen muun pintaraudoituksen tulee olla halkaisijaltaan vähintään 12 mm ja suurin sallittu raudoitejako on 250 mm.

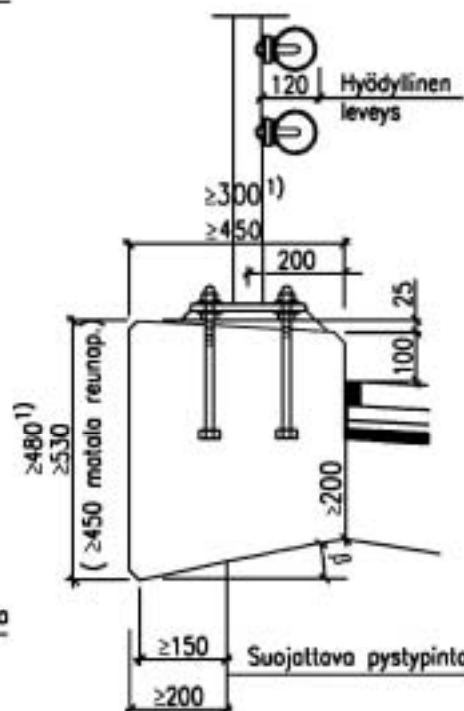
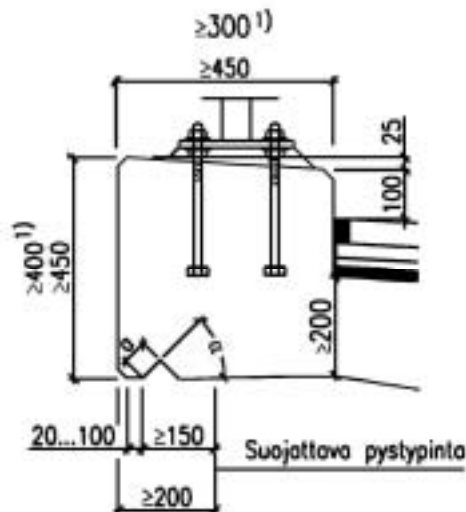
Seinämäisessä pilarissa tai seinässä, joka saa vaakasuunnassa huomatta-via vetorasituksia kutistumaeroista tai lämpötilaeroista liittyvään rakentee-seen nähden (esim. peruslaattaan kiinnittyvä pystyseinä), määritetään vaa-karaudoitteen minimimäärä siten, ettei rakenteen halkeamakoko laskettuna kutistumisesta ja lämpötilaerosta ylitä sallittua halkeamakoon arvoa lyhytai-kais-kuormille.

LIITE 3.1 REUNAPALKKI. VÄHIMMÄISMITAT JA MUOTOILUPERIAATTEET



TIPPU-URAN VÄHIMMÄISKOKO

$\alpha = 18^\circ$	$a \geq 50 \text{ mm}$
$\alpha \geq 35^\circ$	$a \geq 30 \text{ mm}$
väliarvot voidaan interpoloida	
Jos $\beta \geq 15^\circ$, tippu-uraa ei tarvita	



1) Kevyen liikenteen sillat

¹) Kevyen liikenteen sillat

LIITE 3.2 SILLAN KOHOTUKSET

1. Yleistä

Sillan ulkonäköön vaikuttaa päällysrakenteen valmistuksen yhteydessä tehtävä kohotus. Määritellään kaksi eri kohotusta seuraavasti:

Ennakkokohotus: kohotus, jonka tarkoitus on kumota rakenteen pysyvien kuormien aiheuttama taipuma.

Pysyvä kohotus: kohotus, jonka tarkoitus on parantaa optista vaikutelmaa siten, ettei vaakasuora silta näyttäisi roikkuvalta. Tämä kohotus jää pysyväksi. (Käytetään myös nimitystä **optinen kohotus**).

Seuraavat näkökohdat on syytä ottaa huomioon kohotusta arvioitaessa:

2. Ennakkokohotus

Rakenteen pysyvien kuormien aiheuttama taipuma kumotaan aina ennakkokohotuksella. Taipuma pyritään arvioimaan mahdollisimman oikein. Liikennekuormalla ei otaksuta olevan pysyvää osuutta.

Betonirakenteissa rakenne toimii suurimmalta osalta halkeamattomassa tilassa, jolloin sen taipuman laskennassa voidaan käyttää halkeilemattomilla osin homogeenisen poikkileikkauksen arvoja ja halkeilleen alueen osalta ottaa huomioon halkeilu. Kutistuman ja viruman vaikutukset voidaan laskea Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen B4 Betonirakenteet mukaisilla otaksumilla.

Teräksen ja betonin liittorakenteissa pysyvän kuorman taipuma kohdistuu pääosin teräsrakenteeseen. Yhdistettyyn rakenteeseen kohdistuvien kuormien aiheuttama taipuma voidaan laskea olettamalla halkeilleella laatan osalla 20 % betonipoikkileikkauksesta toimivaksi. Kutistuman ja viruman vaikutukset voidaan laskea em. ohjeen B4 mukaisilla otaksumilla.

Ulokelaatassa tai ulokepalkissa ennakkokohotus voi olla negatiivinen.

3. Pysyvä kohotus

Sillan ulkonäön vuoksi tehtävän pysyvän kohotuksen tarve arvioidaan tapauskohtaisesti suunnittelun yhteydessä.

Siltojen esi- ja yleissuunnittelussa vaikutetaan siihen, että tien tasaus sillalla on kupera, jolloin optista esikohotusta ei tarvita.

Moniaukkoisessa sillassa ei aukoilta tule antaa pysyvää kohotusta, koska sen johdosta valmiissa sillassa reunalinja poikkeaisi jatkuvasta käyrästä. Tämä vaikuttaisi ulkonäköön haitallisesti ja ulkonäköä jouduttaisiin korjaamaan kaiteen asennolla.

Alapinnaltaan kaarevassa tai viisteellisessä sillassa pysyvää kohotusta ei yleensä tarvita.

Jos yksiaukkoista siltaa, jonka jännemitta on > 15 m, ei voida sovittaa ylöspäin kaarevaan tasaukseen on siinä tarpeen pysyvä kohotus. Sen suuruus on 1/1000-osa jännemitasta, mutta kuitenkin enintään 30 mm. Koverassa kaaressa olevaan siltaan ei tehdä pysyvää kohotusta.

4. Esittäminen suunnitelmassa

Käytettävän kohotuksen tulee käydä ilmi suunnitelmasta yksikäsitteisesti eriteltynä ennakkokohotukseen ja pysyvään kohotukseen.

LIITE 3.3 JÄNNITETTY KAAREVA BETONIPALKKISILTA

1. Yleistä

Tässä liitteessä käsitellään kaarevan betonisen palkkisillan erityispiirteitä ja suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Vääntö on ilmiö, joka vaatii kaarevassa sillassa huomiota. Sillan jännittäminen aiheuttaa vielä lisää vääntöä, jota on erityisesti tarkasteltava.

2. Vääntöä aiheuttavat tekijät kaarevassa sillassa

2.1 Kuormitus

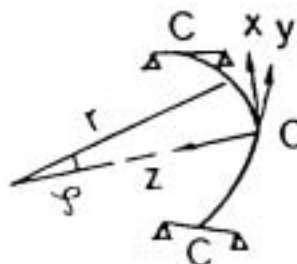
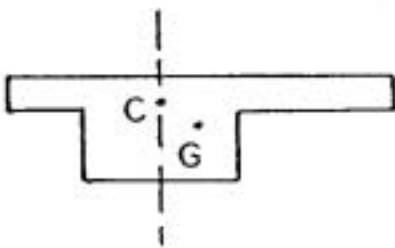
- a) Sillan poikkisuunnassa epäkeskeinen kuorma
- b) Voimasuureiden vuorovaikutus: taivutusmomentti aiheuttaa vääntöä
- c) Jännevoima
 - vääntökeskiöön nähden epäkeskeinen ohjausvoima
 - pakkomomentti ($m_t = MP/r$)
 - ankkurivoimat

2.2 Rakenteelliset syyt

- a) Päällysrakenteen vaikutus
 - epäsymmetrinen poikkileikkaus (painopiste ja vääntökeskiö eivät ole samassa pystytasossa)
 - poikkipalkit, ramppiliittymät tms.
 - leveä silta (massaa on enemmän ulko- kuin sisäreunalla)
- b) Tukien ja laakeroinnin vaikutus
 - epäkeskeinen tuenta
 - laakeriohjaimilla pakotettu liikesuunta kutistumis- ja lämpöliikkeille

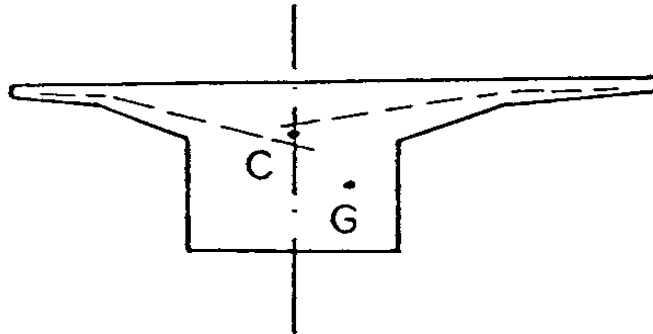
3. Rakenteesta aiheutuva vääntö

Tarkastelun perustana on vaakatasossa kaareva laattapalkkisilta. Palkki on laakeroitu siten, että vääntömomenttitasapaino on mahdollinen ts. ainakin sillan päissä on vääntöjäykkä laakerointi (kuva 1).



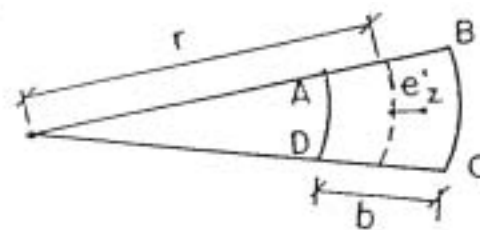
Kuva 1.

Poikkileikkauksen vääntökeskiön aseman täsmällinen määrittäminen paksuseinäisessä poikkileikkauksessa on työläs tehtävä. Riittävällä tarkkuudella voidaan kuitenkin olettaa, että se sijaitsee uuman keskilinjan ja laattaulokkeiden keskilinjojen jatkeiden leikkauspisteessä. Jos leikkauspisteet eivät yhdy, käytetään niiden keskiarvoa. Keskilinjoja määritettäessä otetaan laattojen viisteet huomioon (kuva 2).



Kuva 2.

Jos laattaulokkeet ovat eri pituiset, sijaitsee poikkileikkauksen painopiste G uuman keskitason ulkopuolella. Siitä aiheutuu rakenteelle pysyvä vääntökuormitus $t_g = g e_z$ (kuvat 2 ja 3).



$$e'_z = \frac{b^2}{12r}$$

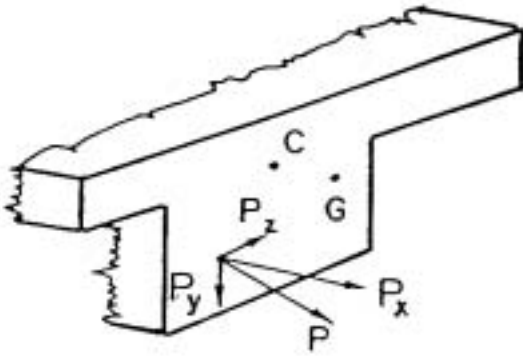
Kuva 3.

Sillan kaarevuussäteen ollessa pieni, korostuu poikkileikkauksen leveyden vaikutus. Suunnikkaan ABCD painopiste sijaitsee etäisyydellä e'_z leveysmitan keskikohdasta. Tämä lisäepäkeskeisyys lasketaan erikseen kansilaatan ja uuman osalta ja lisätään e_z -arvoon (kuva 3).

Sillan poikkisuunnassa leveä tuki pysäyttää vääntömomentin siten että jatkuvassakin sillassa väännön vaikutusta voidaan käsitellä kentittäin. Jos välituki on hoikka pilari tai joka suuntaisen kiertymisen salliva laakeri, on palkin jatkuvuus otettava huomioon.

4. Jännevoiman vaikutukset kaarevaan palkkiin.

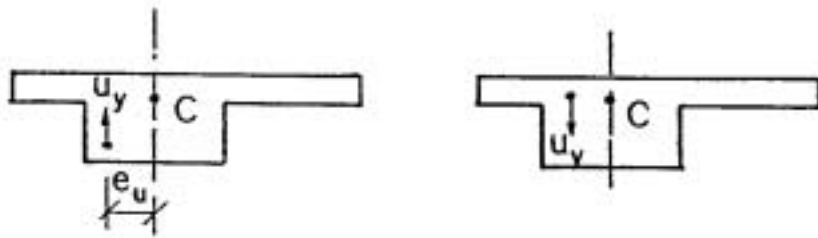
Jännevoima P on tavallisesti usean jänteen resultanttivoima ja sillä on yleisessä tapauksessa komponentti kunkin koordinaattiakselin suunnassa P_x , P_y ja P_{az} . Kuten suorassa palkissa, voidaan yleensä riittävällä tarkkuudella olettaa, että $P_x = P$, $P_y = P \sin \alpha$, jossa α on vaakatason ja jänteen välinen kulma. $P_z = P \sin \beta$, jossa β on kulma jänteen ja siltalinjan tangentin määräämän pystytason välillä (kuva 4).



Kuva 4.

Ohjausvoima vaikuttaa jänteen kaarevuuden keskipisteeseen päin. u_y ja u_z ovat ohjausvoiman komponentit sillan pysty- ja vaakasuuntaan. Jos jännegeometria pystysuunnassa on nimenomaan parabeli, on ohjausvoima

$$u_{yi} = \frac{8P_i f_i}{l_i^2}$$

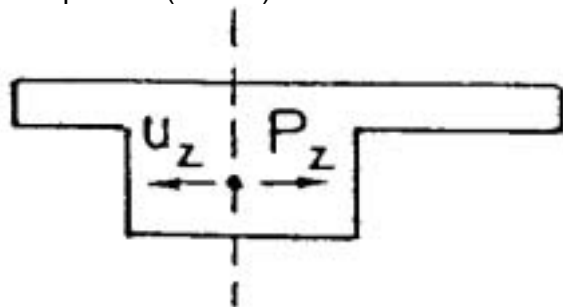


Kuva 5.

Kaarevassa sillassa pystysuuntainen ohjausvoima voidaan laskea erikseen ottaen huomioon kunkin jänteen koveran osan pituus l_i ja nuolikorkeus f_i . Sisäkaarteiden puoleiset jänneet ovat lyhyempiä kuin ulkokaarteiden puolella sijaitsevat. Tästä johtuen ohjausvoimaresultantti ei yleensä vaikuta jännevoimaresultantin P kanssa samassa pystytasossa ja rakenteeseen syntyy vääntöä.

Vääntöä voi syntyä myös ankkurivoimien pystykomponentin ja mahdollisen pakkovääntötilan kautta.

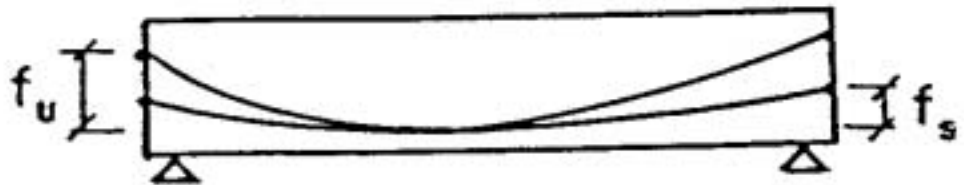
Palkin vaakakaarevuudesta johtuva jänteen vaakasuuntainen ohjausvoima u_z vaikuttaa jänteen kohdalla ja suuntautuu kohti sillan vaakakaarevuuden keskipistettä (kuva 6).



Kuva 6.

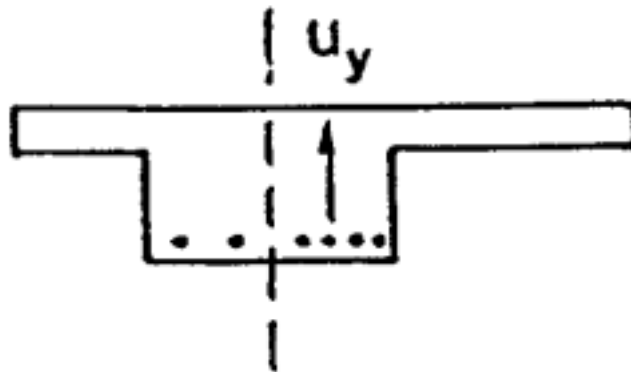
Se on yhtä suuri, mutta vastakkaissuuntainen kuin jännevoiman betoniin aiheuttama puristusjännityksien vaakakomponentti P_z , joka myöskin vaikuttaa jänteen kohdalla. Nämä voimat kumoavat toisensa eli staattisesti määrättyssä yksiaukkoisessa palkissa ei synny vääntöä sen keskilinjalla sijaitsevista jännevoimakuormasta. Jos kuitenkin siltaan syntyy jännevoimasta pakkovoimatila, eivät em. voimat sijaitse tarkalleen samalla kohtaa ja rakenteeseen syntyy vääntöä. Se voidaan yleensä vähäisenä jättää huomiotta.

Useimmiten on mahdollista kumota pysyvien kuormien aiheuttamaa kiertymää sijoittamalla pystysuuntainen ohjausvoimaresultantti sopivasti poikkisuunnassa. Yksiaukkoisessa sillassa voidaan esim. järjestää ulkokaarten puoleisille jänteille suurempi nuolikorkeus kuin sisäkaarten puoleisille jänteille. Jänteiden kapasiteetista ei tällöin kuitenkaan menetetä juuri mitään, sillä keskikentässä ne sijaitsevat kaikki poikkileikkauksen alareunassa (kuva 7).



Kuva 7.

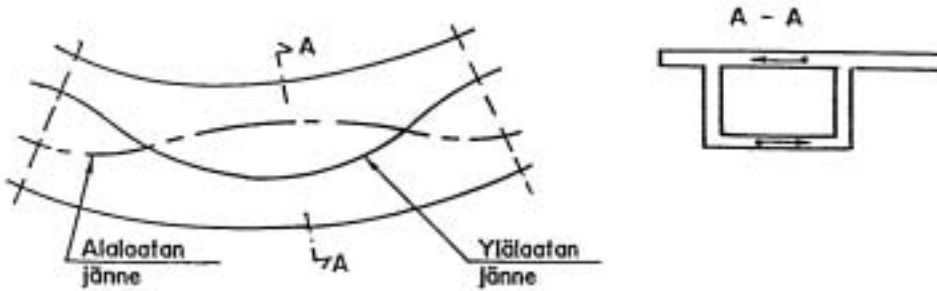
Toinen tapa kumota pysyvien kuormien aiheuttamaa kiertymää on sijoittaa ulkokaarten puolelle useampia jänteitä kuin sisäkaarten puolelle (kuva 8).



Kuva 8.

Jatkuvassa palkissa erilaisten nuolikorkeuksien käyttö ei ole edullista, koska osa jänteistä sijaitseisi välitukien kohdalla liian alhaalla.

Kotelopalkeissa jänteitä ei voida keskikentän ja tuen välillä helposti siirtää vaakasuunnassa. Niissä voidaan käyttää ns. laattajänteitä, jotka sijoitetaan ylä- ja alalaattaan. Poikkeuttamalla niitä vaakasuunnassa aikaansaadaan pysyvien kuormien vääntömomentille vastakkainen ohjausvoimapari (kuva 8).



Kuva 9.

5. Suunnittelua koskevia suosituksia

Sillan suunnittelun yleisen käytännön lisäksi vaakatasossa kaarevan sillan suunnittelussa on otettava erityisesti huomioon vääntömomentin vaikutus.

Tukien muotoilulla voidaan vaikuttaa vääntörasituksen jakautumiseen rakenteessa. Yleensä ainakin maatuella on syytä suunnitella vääntöjäykkyä tuenta. Välitukien joustavuudesta riippuu sillan päihin kertyvän vääntörasituksen suuruus.

Poikkileikkauksen muodon valinnalla vaikutetaan vääntömomentin aiheuttamien jännitysten suuruuteen ja palkin kiertymään. Vääntöhalkeilua on syytä välttää, koska kiertymät kasvavat tällöin merkittävästi.

Kaareva silta suunnitellaan ensisijaisesti siten, että pysyvän kuorman ja jännevoiman aiheuttamat kiertymät ovat vähäisiä. Jos se jossakin tapauksessa ei ole mahdollista, sillalle annetaan pysyvää kiertymää vastaava ennakkokiertymä (vrt. ennakkokokohotus) halutun muodon aikaansaamiseksi.

On huomattava, että kaarevassa sillassa jännevoiman sijaitessa sillan symmetria-akselilla jännevoimasta ei aiheudu merkittävää vääntöä. Tämän johdosta jännevoima, joka kumoaa oman painon aiheuttaman taivutusmomentin ei kumoaa oman painon aiheuttamaa vääntömomenttia. Tämä on otettava huomioon laskentaohjelman käytössä ja rakenne- ja kuormitusotaksumissa.

Jos rakenteen tasapainotila ei ole mahdollinen ilman vääntökapasiteettia, murtorajatilatarkasteluissa kiinnitetään erityisesti huomiota vääntötasapainoa ylläpitävien kohtien suunnitteluun. Voimasuureet voidaan laskea kimmoiteorian mukaan. Kimmotilassa on voimassa kaarevalle rakenteelle tyypillinen voimasuureiden myötävaikutus.

Halkeilu otetaan huomioon rakenteen taivutus- ja vääntöjäykkyyttä laskettaessa.

Murtokuormaa määrättäessä jännevoimaan suhtaudutaan kuten pysyvään kuormaan ja sille käytetään vastaavaa varmuuskerrointa. Jännevoiman suuruus ennen tai jälkeen pitkäaikaishäviöiden valitaan määräävän tilanteen mukaan.

6. Kirjallisuutta

- [1] Menn, C., Stahlbetonbrücken, Springer-Verlag 1986
- [2] Bachmann, H., Spazielle Probleme der Vorspannung, Vorlesung, Eidgenössische Technische Hochschule, Zurich.
- [3] Renault, J., Complexe d'echance de la Porte de Bagnolet. Pre-contrainte dans les viaducs courbes et biais. Sixieme Congres International de la Precontrainte, Prague- 6-13 Juin 1970.
- [4] Leonhardt, F., Vorlesung über Massivbau, Sechter Teil, Springer-Verlag 1979.
- [5] Melhorn, G, Schwarz, P., Ein Beitrag zur Bestimmung des Lage des Schubmittelpunktes, Der Bauingenieur 46 (1971) Heft 1.

LIITE 3.4 TERÄSBETONISEN LAATTAKEHÄN SUUNNITTELUSTA

1. Kuormat

1.1 Oma paino ja pintarakenteen paino

Vinojalkaisessa kehässä vaikuttaa kuormana myös jalan päällä oleva maa ja siirtymälaatta.

1.2 Maanpaine

Rakenne suunnitellaan lepopaineelle tai 0,7-kertaiselle lepopaineelle. Maanpaineen voidaan otaksua olevan yhtä suuri molemmin puolin rakennetta. Kehän taustan tiivistyksestä aiheutuva lepopaineen lisäys otetaan huomioon Tiehallinnon ohjeiden mukaan.

1.3 Liikennekuorma

Mitoitus tehdään liikennekuormalle I (LkI) ja mitoituksen tarkistus raskaalle erikoiskuormalle 1 (Ek1).

Liikennekuormana vinolle jalalle voidaan käyttää tasan jakautunutta kuormaa 20 kN/m^2 .

1.4 Maanpaine liikennekuormasta

Lepopaine, joka kehittyy pintakuormasta 20 kN/m^2 .

1.5 Jarrukuormat

Jarrukuorman voidaan otaksua jakaantuvan tasan koko kehän leveydelle.

1.6 Lämpötilan muutos ja lämpötilaero

Ylin keskilämpötila on $+ 25 \text{ °C}$ ja alin keskilämpötila -25 °C tai -30 °C ”Siltojen kuormat” ohjeen mukaan.

Lämpötilaero $+10 \text{ °C}$ tai -5 °C (Positiivisen lämpötilan ollessa korkeampi yläpinnassa). Betonin kimmomodulille käytetään lyhytaikaista arvoa E_c . Lämpötilaeroa ei tarvitse ottaa mitoituksessa huomioon kehän jalkojen osalta.

1.7 Siirtymät

Maanvaraisessa perustuksessa otaksutaan siirtymä vaakasuorassa suunnassa 10 mm toisessa jalassa. Jos perustukseen vaikuttavien voimien vaakakomponentti vaikuttaa penkereeseen päin tai on pieni ($< 1/5$ pystykomponentista) ei vaakasiirtymää otaksuta aiheutuvan.

Painumaero otetaan huomioon perustamisolosuhteiden pohjalta. Betonin kimmomodulille käytetään pitkäaikaista arvoa E_{cc} .

1.8 Betonin kutistuminen

Betonin kimmomodulille käytetään pitkäaikaista arvoa E_{cc} .

2. Rakennemalli

2.1 Kiinnitys perustukseen

Rakenne on tapauksesta riippuen joko a) nivelkantainen tai b) kimmoisesti perustukseen kiinnittyvä.

Tapauksessa b voidaan rakenteen voimasuureita laskettaessa kiinnitysas-teen otaksua olevan jäykän kiinnityksen ja nivelkiinnityksen välissä. Maanva-raisessa perustuksessa kiinnityksen jäykkyysluvun voidaan otaksua olevan $k = k_0 \cdot B^2$, missä $k_0 = 10 \text{ MN/m}^2$. B on anturan leveys. Jäykkyysluku vastaa taivutusmomenttia, joka tarvitaan antamaan peruslaatalle kulmanmuutos = 1 radiaani. Kuitenkin jalan kiinnitysteräokset peruslaattaan mitoitetaan vastaa-maan täyttä kiinnitystä.

2.2 Rakenteen ja maan yhteistoiminta

Vaakasuurien toispuoleisten kuormien vaikuttaessa rakenne siirtyy maata vastaan. Maa vastustaa liikettä. Tämä maassa kehittyvä reaktiopaine voi-daan ottaa huomioon seuraavasti:

Reaktiopaineen voidaan otaksua olevan tasan jakautunut koko jalan korkeu-delle ja sen suuruuden olevan suoraan verrannollinen jalan yläpään vaaka-liikkeen suuruuteen. Jalan yläpään 5 mm:n liikettä vastaa reaktiopaine 20 kN/m².

Kehän jäykkyys voidaan arvioida käyttäen betonille kimmomodulia $E_c = 30\,000 \text{ MN/m}^2$.

2.3 Jalan jäykkyys kehän reunalla

Ylimenevän tien suuntainen tai vino siipimuuri jäykistää jalkaa ja aiheuttaa tukimomentin kertymistä kehän reunalle. Siipeen ja reunapalkkiin aiheutuva vetorasitus arvioidaan ja otetaan huomioon reunapalkin raudoituksessa.

2.4 Vino kehä

Vinossa kehässä otetaan huomioon voimapari, joka kiertää kehää vaaka-tasossa pystysuoran akselin ympäri.

2.5 Rengaskehä

Laskettaessa pohjapaineen jakautumista rengaskehän peruslaatatassa on otettava huomioon pohjalaatan ja maan välinen vuorovaikutus. Peruslaatan toimintaa voidaan mallintaa käyttämällä erilaisia jousivakioita sen eri osilla.

LIITE 3.5 PÄÄLLYSRAKENTEEN VÄHIMMÄIS- RAUDOITUS

1. Yleistä

Siltojen päällysrakenteen betonisien rakenneosien kaikissa pinnoissa tulee olla pintarauditus, joka varmistaa rakenteen sitkeyden ja estää rakenteen säilyvyyden ja ulkonäön kannalta haitallisten halkeamien syntymisen.

Murto- ja halkeamarajatilan vaatimusten lisäksi rakenteen tarvittavan pintaraudituksen määrittämisessä on otettava huomioon myös sellaiset rakenteen sisäisistä pakkomuodonmuutoksista johtuvat rasitukset, joita ei huomioida normaaleissa murtorajatilan kapasiteetilaskelmissa ja käyttörajatilan halkeamakotarkasteluissa. Tällaisia ovat mm. rakenteen sisäisten lämpötilaerojen ja epätasaisen kutistuman aiheuttamat sisäiset jännitykset sekä jänteiden ankkurialueille syntyvät jännitysten häiriöalueet.

Pintojen vähimmäisraudoituksen määrittämisessä betonipinnat jaetaan kahden luokkaan:

Pintaluokka A: Käyttörajatilan lyhytaikaisen kuormayhdistelmän tai työnaikaisten kuormien betonijännitykset I-tilassa tarkasteltavan raudituksen suunnassa ovat vetoa.

Pintaluokka B: Käyttörajatilan lyhytaikaisen kuormayhdistelmän betonijännitykset I-tilassa tarkasteltavan raudituksen suunnassa ovat puristusta.

Pintaluokassa A betonipinnan vähimmäisraudoitus määritetään kohdan 2 mukaan ja pintaluokassa B kohdan 3 mukaan. Lisäksi molemmissa pintaluokissa noudatetaan kohdassa 4 eri rakennetyypeille esitettyjä vaatimuksia.

2. Vähimmäisraudoitusvaatimukset pintaluokassa A

2.1 Rakenteen sitkeyden takaamiseksi on varmistettava, että poikkileikkauksen pintateräkset pystyvät muodossa ottamaan betonin vetolujuutta f_{ctk} vastaavan halkeamamomentin eli

$$A_{s\min} \geq M_r / (z_s f_{yk}), \text{ missä}$$

M_r = betonin vetolujuuden f_{ctk} mukaan laskettu poikkileikkauksen halkeamamomentti, kun esijännityksen vaikutus jätetään huomioon ottamatta,
 z_s = poikkileikkauksen raudituksen sisäinen momenttivarssi.

Esimerkiksi suorakaidepoikkileikkaukselle teräsbetoni- ja jännitettyissä rakenteissa raudoitteelle saadaan ehto

$$A_{s\min} \geq (bh^2 / 6) f_{ctk} / (0.9 df_{yk}).$$

Pintaraudoituksen halkaisijan tulee olla 500 mm:n paksuisissa tai sitä ohuemmissa rakenneosissa vähintään 12 mm ja paksummissa rakenneosissa vähintään 16 mm. Suurin sallittu tankojako on 200 mm ja enintään 0,75 h, missä h on tarkasteltavan rakenneosan paksuus.

Hakateräksen vähimmäishalkaisija on 10 mm paitsi reunapalkeissa 8 mm.

3. Vähimmäisraudoitusvaatimukset pintaluokassa B

Pintaraudoituksen halkaisijan tulee olla 500 mm:n paksuisissa tai sitä ohuemmissa rakenneosissa vähintään 12 mm ja tankojaon 300 mm sekä paksummissa rakenneosissa vähintään 16 mm tankojaolla 300 mm tai 12 mm tankojaolla 200 mm. Suurin sallittu tankojako on kuitenkin enintään h, missä h on tarkasteltavan rakenneosan paksuus.

Hakateräksen vähimmäishalkaisija on 10 mm paitsi reunapalkissa 8 mm.

4. Rakennetyyppejä koskevat erityisvaatimukset

4.1 Laatat

Laattojen raudoituksen tulee täyttää julkaisussa RakMKB4 esitetyt vähimmäis-vaatimukset niihin Tiehallinnon Betonirakenneohjeissa ja tässä ohjeessa esitetyin täsmennyksin.

Laattojen jakoraudoitemäärän tulee olla vähintään 20% pääraudoitteen määrästä.

Liittopalkkisiltojen kansilaattojen sillan pituussuuntaisten ten vähimmäisvaatimukset on esitetty liittorakenteita koskevissa erillisissä ohjeissa.

4.2 Palkit

4.2.1 Yleistä

Palkkien raudoituksen tulee täyttää julkaisussa RakMKB4 esitetyt vähimmäis-vaatimukset niihin Tiehallinnon Betonirakenneohjeissa esitetyin täsmennyksin.

4.2.2 Laatta- ja kotelopalkit

Yhdistettyjen levymäisten rakenneosien (kuten laatta- ja kotelopalkkien uuman ja laippojen) välisissä leikkauksissa tulee olla laipan leikkautumisen varalle molempiin pintoihin jaettuna poikittaista raudoitusta, jonka suhteellinen raudoitepinta-ala on yhteensä vähintään

$$A_{svf} / A_c = 0,25 f_{ctk} / f_{yk}$$

Palkkiin nähden poikittaisen taivutuksen vaatimaa raudoitemäärää ei oteta huomioon tähän raudoitepinta-alaan.

Raudoitetankojaon tulee olla molemmissa pinnoissa enintään 200 mm ja teräksen halkaisijan vähintään 12 mm. Kotelopalkeissa nämä vaatimukset koskevat myös pystyteräksiä (hakoja).

4.2.3 Reunapalkit

Reunapalkkiin asennetaan aina umpihaat, joiden halkaisija on vähintään 8 mm ja keskiöväli enintään 200 mm.

Ellei suurempi pituussuuntainen raudoitemäärä ole konstruktiivisesti tarpeen (esim. tukialueella), on reunapalkin pituussuuntaisten raudoitteen täytettävä seuraavat ehdot:

- Raudoitteen halkaisija on vähintään 16 mm
- Reunapalkin yläpinnassa on vähintään 4 tankoa, joiden keskiöväli on enintään 150 mm
- Reunapalkin muissa pinnoissa tankojen keskiöväli on enintään 200 mm
- Reunapalkkihaan kaikissa nurkissa on pituussuuntainen tanko.

Jos reunapalkki suunnitellaan valettavaksi jälkivaluna, otetaan sen teräksissä huomioon kansilaatan ja reunapalkin kutistumaero.

Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet

1 YLEISTÄ

Tässä julkaisussa esitetään kannen pintarakenteen valintaan liittyviä yleisperiaatteita. Lopullinen pintarakenteen valinta tehdään aina sillan laatuvaatimusten laadinnan yhteydessä yhteistyössä tilaajan kanssa.

Tavanomaiset pintarakenneratkaisut on esitetty kohdassa 7.1.

2 KANNEN PINTARAKENTEEN VALINTA JA ESITTÄMINEN SUUNNITELMASSA

2.1 Pintarakenteen valinta eri vaihtoehtoista

Kermieristys on yleisimmin käytetty eristysmenetelmä. Sen haittana on ollut kupliminen hellekausina. Perussyitä kuplimiseen ovat kansirakennebetonis- sa oleva kosteus ennen eristystä ja työvirheet itse eristystyössä. Kermieris- tyksen kuplimisongelmat estetään valitsemalla ja merkitsemällä suunnitel- maan eristysalustan käsittelyksi epoksitiivistys tai valitsemalla aluskermiksi paineentasauskermi tai kermien suojakerrokseksi suojabetoni. Pääteiden silloilla eristysalustan epoksitiivistystä pidetään perusratkaisuna. Suojabeto- nia ei tulisi valita suolattavien teiden silloille.

Mastiksieristys ei aseta yhtä suuria vaatimuksia eristettävälle pinnalle kuin kermieristys. Mastiksieristys on altis työvirheille ja sen vedenpitävyydestä pitkällä aikavälillä (>20 v.) ei olla täysin varmoja. Useissa Euroopan maissa sen käyttöä on vähennetty tai jopa kokonaan luovuttu siitä. Mastiksieristeen käyttöä tulee välttää liittopalkkisilloilla.

Siveltävät tai ruiskutettavat eristysmassat ovat oikein tehtyinä luotettavia, mutta kalliita eristeitä. Ruiskutettavat ja siveltävät eristysmassat soveltuvat kaikille silloille. Vanhimmat polyuretaanieristykset Tiehallinnon silloilla ovat vuodelta 1985.

Suunnittelijan on ratkaistava millä materiaalilla silta eristetään. Ratkaisuun täytyy saada tilaajan hyväksyntä. Jos suunnitteluvaiheessa tiedetään, että silta tullaan eristämään myöhään syksyllä, eikä urakoitsijalle aseteta velvoi- tetta sääsuojan käytöstä elokuun jälkeen, on mastiksieristys varmin tapa saada onnistunut lopputulos. Muuna ajankohtana eristettäessä eri materiaa- lit ovat samalla lähtöviivalla. Perusratkaisuna tällöin pidetään kermieristystä. Kohdissa 3 ja 4 on esitetty tarkemmin eristysalustan käsittelyn ja eristyksen eri vaihtoehtoja.

Päällyste valitaan yhteistyössä tiesuunnittelijan kanssa. Siltapäällysteen tu- lee olla ajo-ominaisuuksiltaan vähintään yhtä hyvä kuin tiepäällyste sillan molemmin puolin. Asfalttibetonipäällyste soveltuu kaikille silloille. Valuasfaltti soveltuu vilkkaasti liikennöidyille silloille. Kumin käyttö molemmissa päällys- teissä lisää päällysteen kimmoisia ominaisuuksia ja vähentää pinnan hal- keilua ja deformatumista, mutta lisää päällysteen hintaa. Betonipäällysteen käyttö edellyttää, ettei tien liukkauden estoon käytetä suolaa.

Päällysteen valintaan vaikuttaa myös se, tehdäänkö sillan päällyste tien päällystämisen yhteydessä. Jos näin menetellään, valitaan päällyste tavallisesti samaksi kuin tiellä.

2.2 Pintarakenteen esittäminen suunnitelmassa

Sillan yleispiirustuksessa määritellään pintarakenteen eri kerrosten laatu ja paksuus käyttäen tässä ohjeessa ja Sillanrakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa (SYL) osassa 6, Kannen pintarakenteet, annettuja nimityksiä.

Kannen mittapiirustuksessa esitetään aina:

- pintarakennetyypikuva /eristysmateriaali yksilöitynä (kohta 7.1)
- ajoneuvomäärästä riippuva käyttöluokka (kohta 7.2)
- eristysalustalle vaadittavat käsittelyt kohdan 3 mukaisesti (epoksitiivistys, kumibitumiliuossively, jokin muu)
- paineentasauskermirakenne, jos sellainen on valittu, ja paineentasausputkien paikat (kohta 7.3) sekä huomautus molemmille reunoille asennettava normaalisti metrin levyisestä aluskermikaistasta
- eristyksen suojakerros (kohta 7.2)
- päällystetyyppi (kohta 5)
- päällysteen saumaus (kohta 5)

3 ERISTYSALUSTAN KÄSITTELYJEN VALINTA

3.1 Epoksitiivistys

Eristysalusta tiivistetään epoksilla (estämään höyrystyvien kaasujen aiheuttama kupliminen) betonikannen rakennepaksuuden ollessa > 400 mm

- päätteiden ja niiden ramppien (so. valtatie, moottoriliikennetiet ja moottoritiet) silloilla
- silloilla, joilla ajoneuvoliikenteen määrä (KVL) on > 3000 ajon/vrk sillalla joka sijaitsee liikennevalojen läheisyydessä
- kun sillan kaltevuus on $> 4\%$

Muissa tapauksissa kannen rakennepaksuuden ollessa > 400 mm, käytetään paineentasauskermiä ja eristysalusta käsitellään kumibitumiliuoksella.

Kun kannen rakennepaksuus on alle 400 mm, eristysalusta käsitellään kohdan 3.2 tai 3.3 mukaisesti.

3.2 Kumibitumiliuossively

Kumibitumiliuossively tehdään betonikansille niille osin, joille ei ole laitettu epoksitiivistystä. Sively tehdään SYL 6:n kohtien 6.2.3.3 ja 6.2.4.2 mukaisesti.

3.3 Jokin muu tartuke

Tuotekohtaisesti eristysalustalle on voitu eristysmateriaalin hyväksynnän yhteydessä hyväksyä edellä mainittujen tuotteitten lisäksi jokin muu materiaali, jota on käytettävä kyseisen eristysmateriaalin kanssa samanaikaisesti. Tällöin on noudatettava tuotekohtaista ohjetta. Tätä ei tarvitse mainita erikseen suunnitelmassa.

4 ERISTYSMATERIAALIN JA ERISTYKSEN SUOJAKERROKSEN VALINTA

4.1 Kermieristys

4.1.1 Eristys kauttaaltaan kiinni alustassaan

Kermieristys asennetaan niin, että aluskermi (tyyppiä K-MS) tarttuu kauttaaltaan kiinni alustaansa. Asennus voidaan tehdä joko liimaamalla aluskermi sulalla kumibitumilla kannen yläpintaan tai käyttämällä ns. kuumentamalla kiinnitettäviä, hitsattuja, kermiä (tyyppiä K-MS hits.), jolloin kermin alapinnassa oleva tartuntabitumi sulatetaan puhalluslampulla kermiä auki rullattaessa. Epätasaisille pinnoille eristettäessä liimaamalla kiinnitys on kokemusten mukaan varmempi tapa.

4.1.2 Paineentasauskermi aluskerminä

Paineentasauskermiä (tyyppiä K-TMS) käytetään aluskerminä niiden siltojen kansilaatoissa, joissa kohdan 3.1 mukaan ei käytetä epoksitiivistystä kansilaatan rakennepaksuuden ollessa yli 400 mm.

Kun kannen poikkileikkaus on massiivilaatta, asennetaan ensiksi sillan molemmille reunoille normaali aluskermi (K-MS; yhden metrin kaista) kauttaaltaan kiinni alustaansa koko sillan pituudelle. Seuraavat kermikaistat tehdään paineentasauskermillä siten, että kermin alapinnassa oleva kumibitumikaista kuumennetaan ja kermi liimataan siltä osin kiinni kansilaattaan. Muilta osin kermi jää irti alustastaan. Vastaavasti palkkisilloilla paineentasauskermi asennetaan aina palkkien kohdille ja palkkien ulkopuolella vähintään sille alueelle, jossa kansilaatan paksuus on yli 400 mm.

Paineentasauskermillisen sillan kansilaatta varustetaan liitteen 3 mukaisesti paineentasausputkillä. Paineentasausputkien paikat esitetään aina suunnitelmassa.

4.2 Mastiksieristys

Suunnitelmassa on esitettävä paineentasausputkien sijainti kannella (liite 4) sekä mainittava eristysalustan tiivistys epoksilla vilkkaasti liikennöityjen teiden silloilla. Sillan pituuskaltevuuden ylittäessä 4% tulee mastiksieristystä välttää. Mastiksin haittana on sen herkkyyys valmistus- ja työvirheille.

4.3 Ruiskutettava tai siveltävä eristysmassa

Ruiskutettavat eristysmassat ovat siinä mielessä ideaalisia sillan eristeitä, että ne ulottuvat reunapalkin ulkoreunasta toiseen reunaan ilman saumoja. Eristysmassojen haittana on ollut niiden korkeahko hinta ja joissakin tapauksissa päällysteen tarttuvuus eristeeseen.

4.4 Eristyksen suojakerrokset

Pääperiaatteena on, että eristys suojataan aina tavalla tai toisella. Poikkeuksen muodostavat kevyenliikenteen sillat, joilla käytetään kermieristystä. Eristyksen suojaustapa esitetään aina piirustuksessa. Eri suojaustavat on esitetty kohdassa 7.2 ja SYL 6:n taulukossa 3.

Suojaustavan lisäksi piirustukseen merkitään myös kannen sisäreunan ja eristyksen päälle 250 mm leveydeltä tehtävät tiivistyssivelyt SYL- 6 kohtien 6.2.3.3 ja 6.2.3.4 mukaisesti.

5 PÄÄLLYSTE JA SEN SAUMAT

Päällystekerrokset valitaan tämän ohjeen ja SYL 6:n kohdan 6.4 mukaisesti. Suunnitelman laatuvaatimukseen merkitään aina myös eristyksen tai suojakerroksen päälle tulevan alimmaisen asfalttikerroksen minimipaksuus seuraavasti:

- AB 12/70 paksuus keskimäärin 30 mm ja joka kohdassa vähintään 20 mm
- AB 20/100 paksuus keskimäärin 40 mm ja joka kohdassa vähintään 30 mm

Päällysteen saumat ja saumausmassa esitetään aina suunnitelmassa.

Asfaltti- ja valuasfalttipäällysteen saumoja ovat:

- päällysteen kulutuskerroksen saumat (saumapinnat: asfaltti - asfaltti tai valuasfaltti - valuasfaltti)
- päällysteen ja reunapalkin välinen sauma (saumapinnat: päällyste-epoksiterva tai kumibitumi korkealla reunapalkilla ja päällyste - betoni matalalla reunapalkilla)
- päällysteen liikuntaaumalaitteen tukikaistan välinen sauma (saumapinnat: päällyste - kumibitumi)
- päällysteen ja jalkakäytäväkorokkeen välinen sauma (saumapinnat: päällyste - betoni tai kivi)
- päällysteen ja teräsosien, putkien yms. väliset saumat

Betonipäällysteen saumoja ovat:

- betonipäällysteen saumat (saumapinnat: betoni - betoni)
- betonipäällysteen ja reunapalkin sisäreunan välinen sauma (saumapinnat: betoni - kumibitumi tai epoksiterva)

Asfalttipäällysteeseen sauma tehdään reunapalkin reunoihin ja yli 8 m leveillä, kaksipuolisesti kaltevilla kansilla lisäksi sillan keskelle.

Valuasfalttipäälysteillä tehdään edellä mainitun lisäksi sauma sillan poikkisuunnassa tukien kohdille ja n. 5 m etäisyydelle tuen molemmin puolin sekä sen jälkeen n. 15 m välein.

Kumiasfaltti- ja kumivaluasfalttipäälysteillä tehdään saumat vain sillan reunoille, paitsi teräskantisilla tai puukantisilla silloilla, joissa tehdään myös poikkisaumat n. 20 m välein.

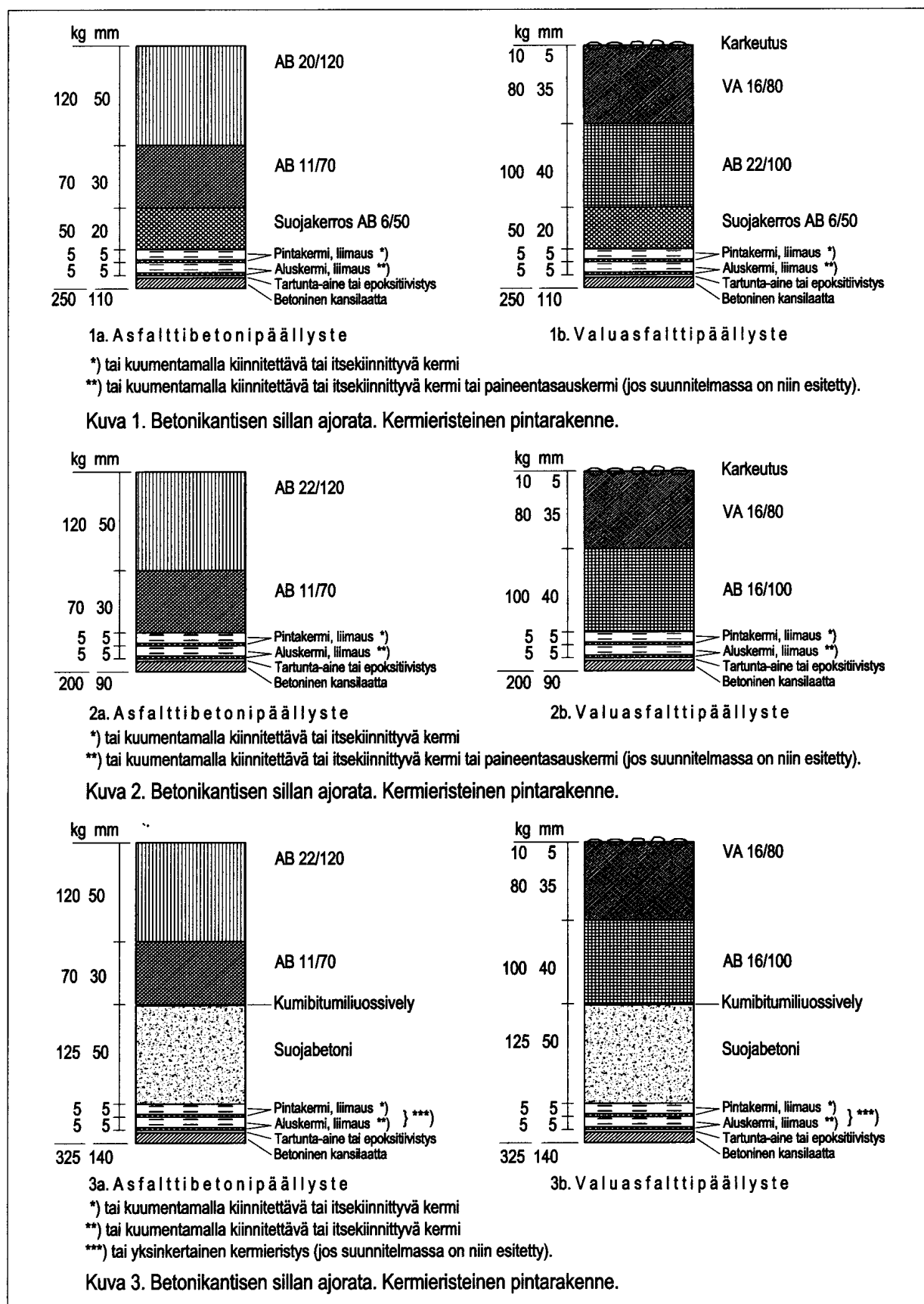
Betonipäälysteellä saumat tehdään sillan reunoille. Muita saumoja ei tehdä, jos massana on teräskuitubetoni. Muulloin sauma tehdään myös sillan keskelle ja n. 5 m välein sillan poikkisuunnassa.

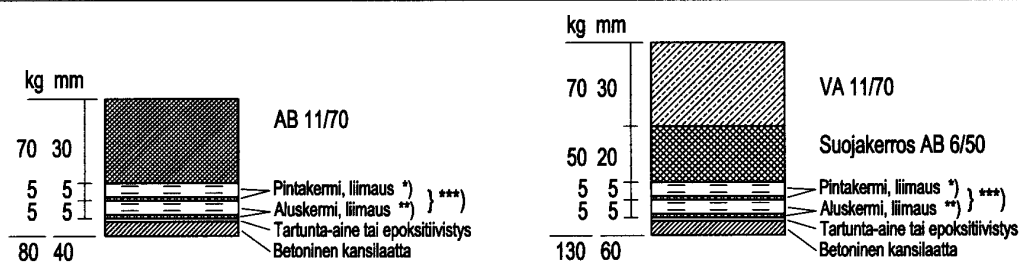
6 VAIHTOEHTOISEN RAKENNERATKAISUN ESITTÄMINEN JA HYVÄKSYMINEN RAKENNUSVAIHEESSA

Jos urakoitsija esittää tarjouksessaan tai työn kuluessa suunnitelmassa esitetyn eristysratkaisun tilalle jotain muuta ratkaisua, on esitys käsiteltävä suunnitelman muutoksena ja asiassa meneteltävä kuten urakka-asiakirjoissa on määrätty muutostöistä. Jos urakoitsija esittää SR (KVU)- suunnitelmassa tästä ohjeesta poikkeavia rakenneratkaisuja, on ratkaisuille saatava ensin tilaajan hyväksyntä.

7 TÄYDENTÄVÄ AINEISTO

7.1 Sillan pintarakenteet





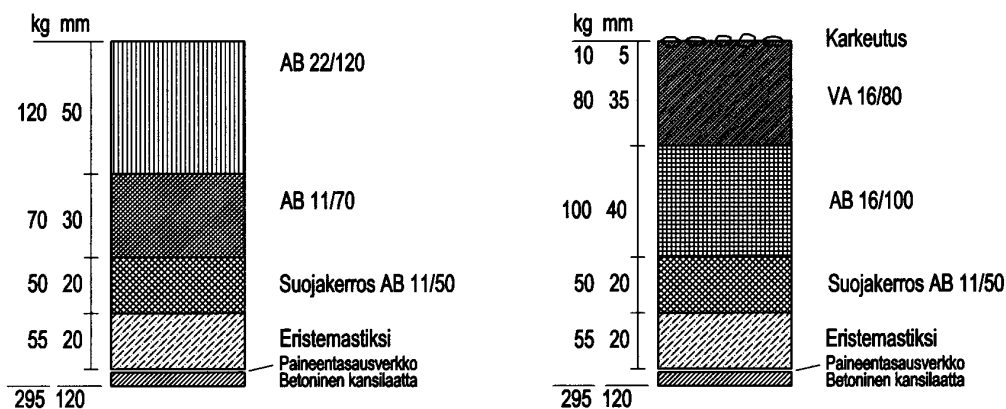
4a. Asfalttibetonipäälyste

*) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

**) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

***) tai yksinkertainen kermieristys (jos suunnitelmassa on niin esitetty).

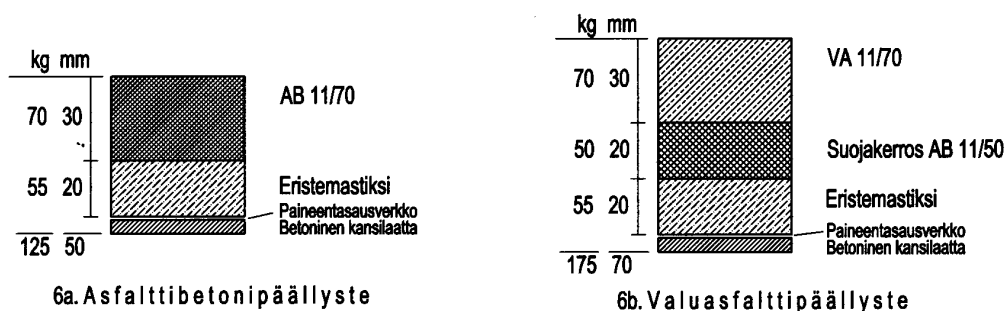
Kuva 4. Kevyen liikenteen betonikantiset sillat. Kermieristeinen pintarakenne.



5a. Asfalttibetonipäälyste

5b. Valuasfalttipäälyste

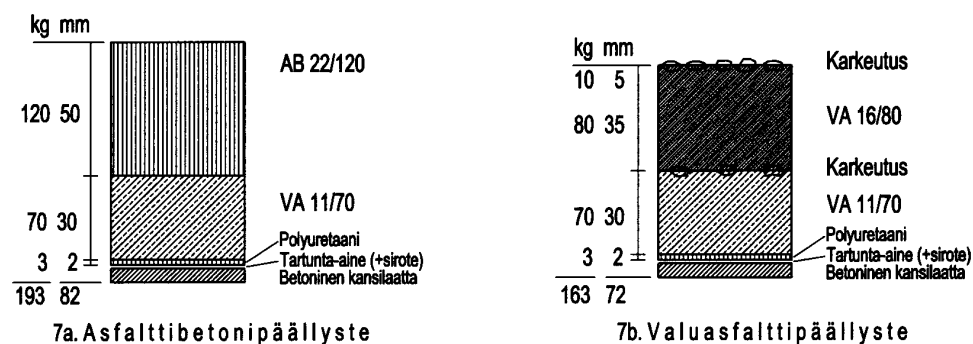
Kuva 5. Betonikantisen sillan ajorata. Mastiksieristeinen pintarakenne.



6a. Asfalttibetonipäälyste

6b. Valuasfalttipäälyste

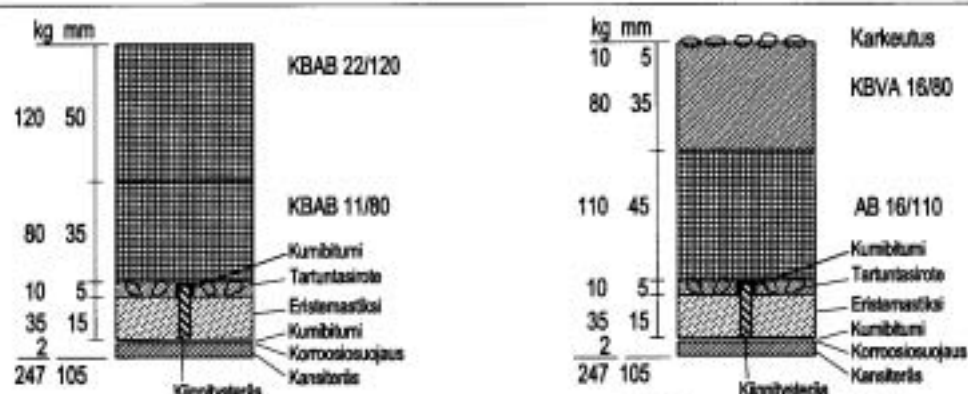
Kuva 6. Kevyen liikenteen betonikantiset sillat. Mastiksieristeinen pintarakenne.



7a. Asfalttibetonipäälyste

7b. Valuasfalttipäälyste

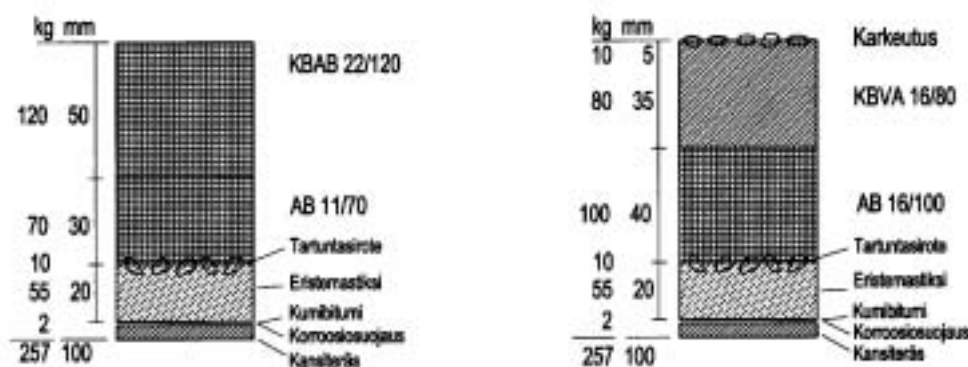
Kuva 7. Betonikantisen sillan ajorata. Polyuretaanieristeinen pintarakenne.



8a. Asfalttibetonipäälyste

8b. Valuasfalttipäälyste

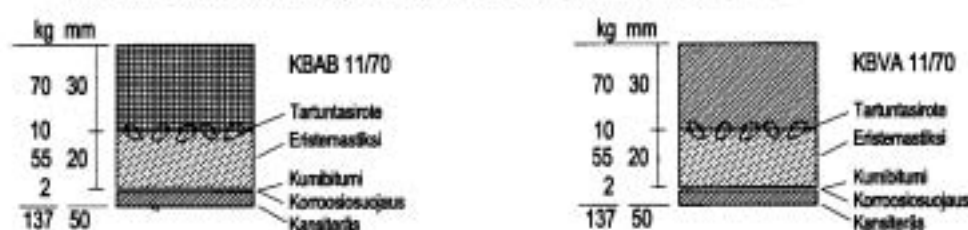
Kuva 8. Kiinnitysteräksillä varustetun teräskantisen sillan ajoradan pintarakenne.



9a. Asfalttibetonipäälyste

9b. Valuasfalttipäälyste

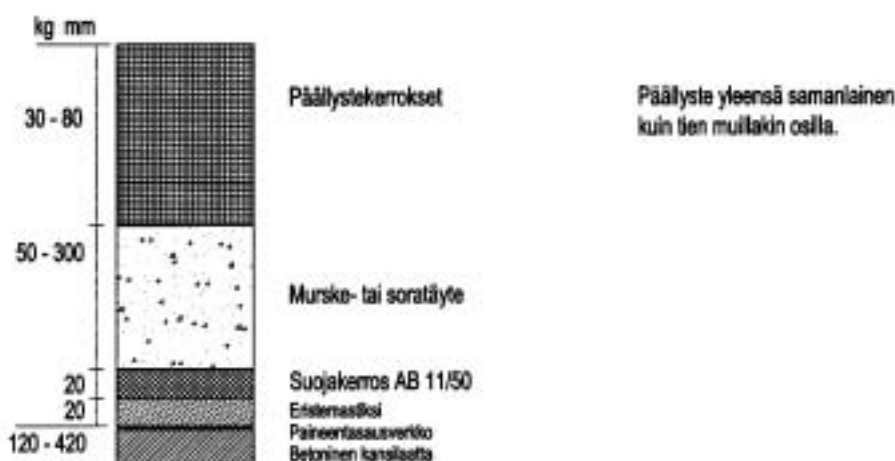
Kuva 9. Teräskantisen sillan ajoradan pintarakenne ilman kiinnitysteräksiä.



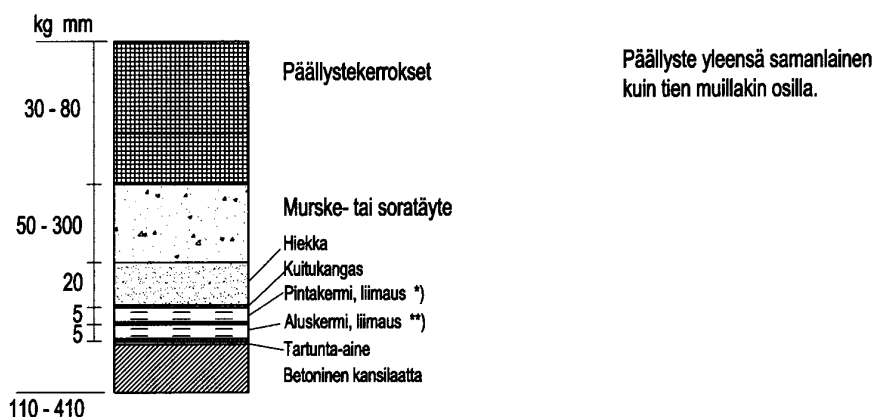
10a. Asfalttibetonipäälyste

10b. Valuasfalttipäälyste

Kuva 10. Teräskantisen kevyen liikenteen sillan pintarakenne ilman kiinnitysteräksiä.



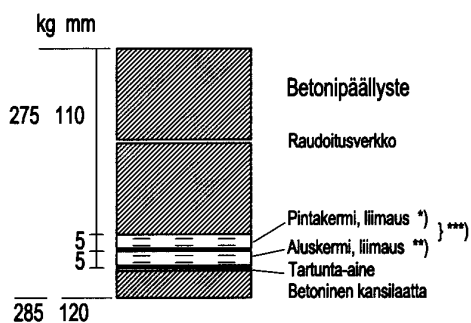
Kuva 11. Murske- tai soratäytteinen sillan mastiksieristeinen pintarakenne.



*) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

**) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi tai paineentasaus kermi (jos suunnitelmassa niin on esitetty)

Kuva 12. Murske- tai soratäytteinen sillan kermieristeinen pintarakenne.



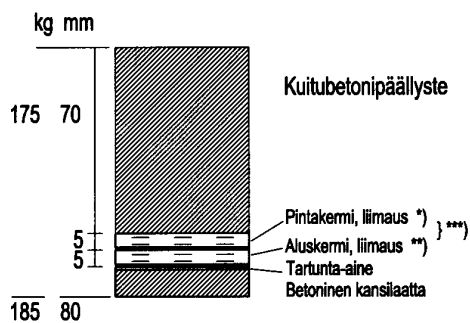
13a. Betonipäälyste

*) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

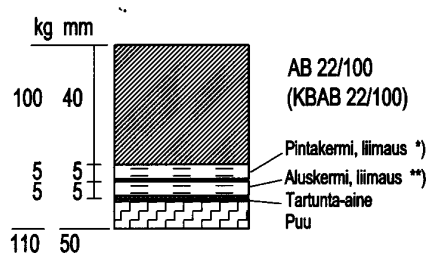
**) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi tai paineentasaus kermi (jos suunnitelmassa niin on esitetty).

***) tai yksinkertainen kermieristys (jos suunnitelmassa niin on esitetty).

Kuva 13. Betonipäälysteisen sillan kermieristeinen pintarakenne.

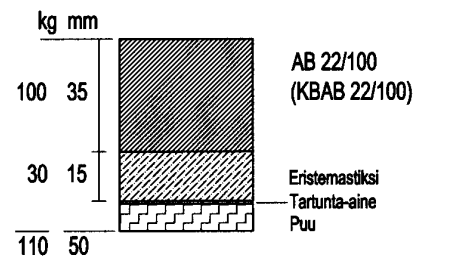


13b. Kuitubetonipäälyste



14a. Kermieristeinen pintarakenne

Kuva 14. Puukantisen sillan ajorata.



14b. Mastiksieristeinen pintarakenne



Kuva 15. Betoni-, teräs- tai puukantisen sillan ohutkerospäälyste.

7.2. Kermien käyttötilan mukainen luokittelu

Kermierstysrakenteiden jako käyttöluokkiin

A. Ajoneuvoliikenteen sillat

KÄYTTÖLUOKKA 1.

(Kermieristysrakenne luokan 1 laatuvaatimukset täyttävä)

Sillat joiden ajoneuvoliikenne > 3000 autoa/vrk:

Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.

Suojakerroksena asfalttibetoni AB 6/50.

KÄYTTÖLUOKKA 2

(Kermieristysrakenne vähintään luokan 2 laatuvaatimukset täyttävä)

Sillat joiden ajoneuvoliikenne < 3000 autoa/vrk:

Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.

Suojakerroksena asfalttibetoni AB 6/50 tai suojabetoni.

Maakantiset sillat:

Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.

Suojakerroksena kuitukangas ja hiekka tai suojabetoni.

KÄYTTÖLUOKKA 3

(Kermieristysrakenne luokan 3 laatuvaatimukset täyttävä)

Yksikerroskermieristyksen kermin on täytettävä lisäksi tuoteluokan BTL 1 mukaiset pintakermin vaatimukset.

Sillat joiden ajoneuvoliikenne < 500 autoa/vrk:

Yksikerroskermieristys suojakerroksella.

Suojakerroksena suojabetoni.

Maakantiset sillat:

Yksikerroskermieristys suojakerroksella.

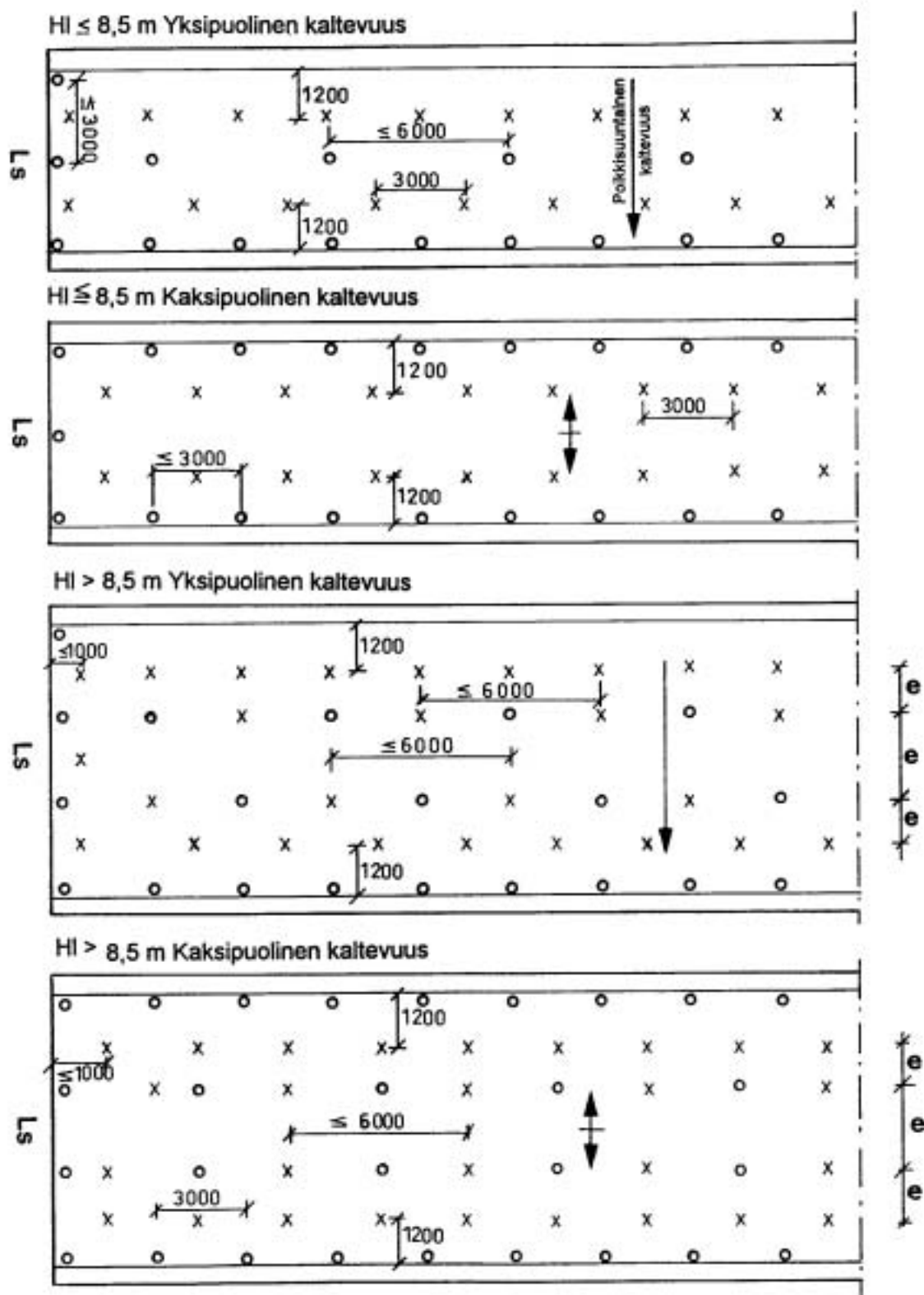
Suojakerroksena kuitukangas ja hiekka tai suojabetoni.

B. Kevyen liikenteen sillat

Kevyenliikenteen sillat:

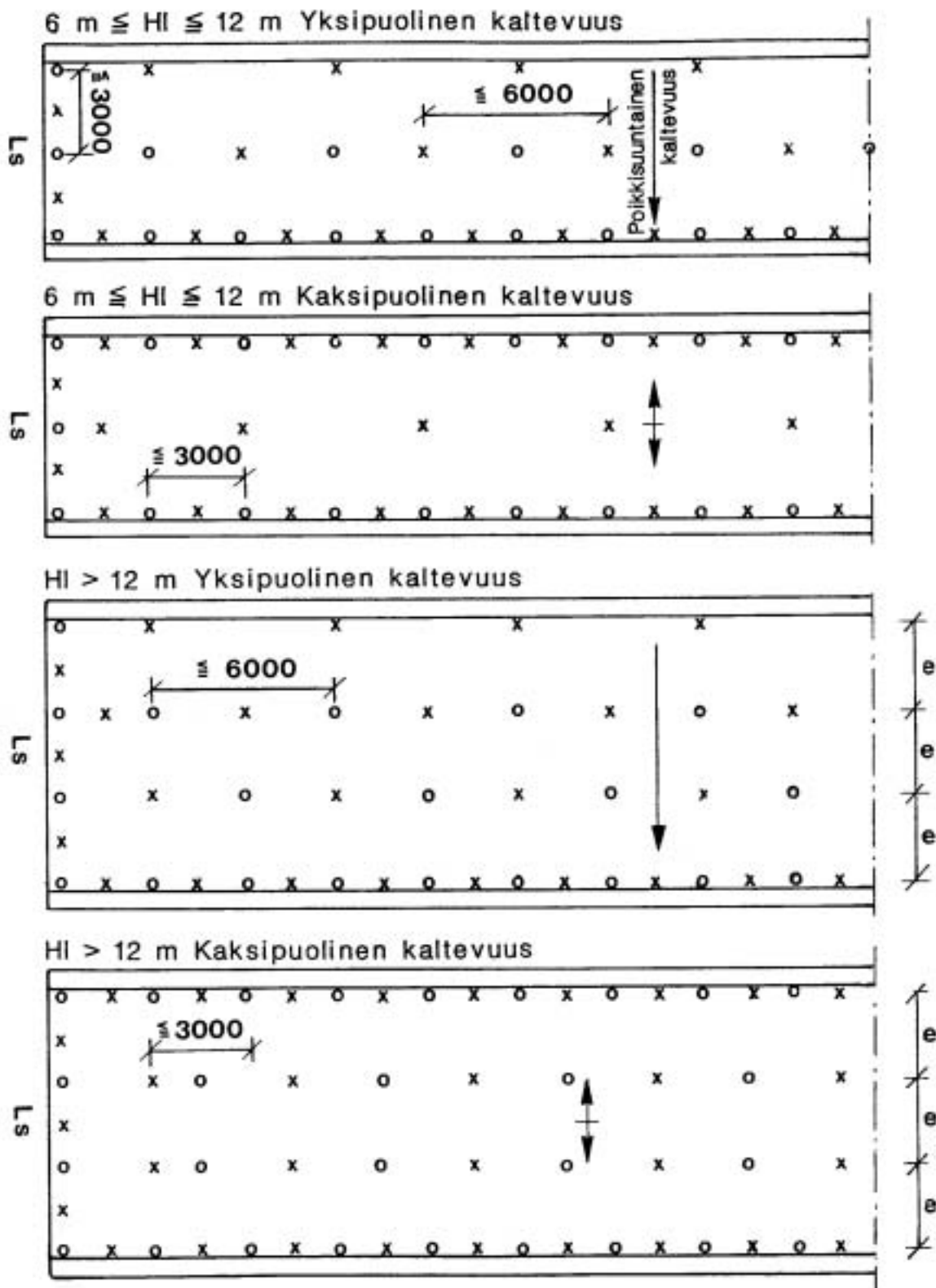
Käyttöluokan 3 yksikerroskermieristys ilman suojakerrosta tai käyttöluokan 2 mukainen kaksikerroskermieristys ilman suojakerrosta.

7.3. Paineentasaus- ja tippuputkien sijoitus, kermieristys



x = paineentasausputki
o = tippuputki
Ls = liikuntasauma
e = (3000...6000) mm

7.4 Paineentasaus- ja tippuputkien sijoitus, mastiksieristys



LIITE 4.2 REUNAPALKIN JA ASFALTIN VÄLINEN SAUMA

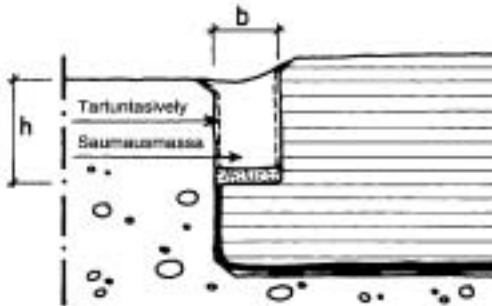
Siltaa päällystettäessä sauma tehdään mieluummin rimalla. Ura voidaan myös leikata. Päällyste ei saa ulottua reunapalkin päälle.

Sauman leveyden (b) ja korkeuden suhde on noin 1:1,5 (kuva 1), mutta mitoitus on tarkistettava tuotekohtaisesta ohjeesta.

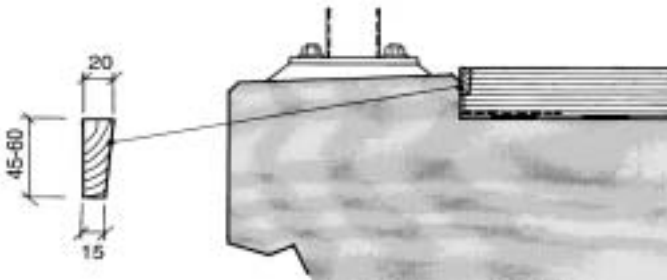
Jos sauma tehdään muotin avulla, käytetään alaspäin kapenevaa rimaa (kuva 2), jonka pintaan sivellään muottiöljy. Muottiöljyn sijasta rimoja voidaan liottaa vedessä vuorokauden ajan ennen päällystämistä, jolloin kuuma asfaltti kuivattaa rimaa, ja se on helposti poistettavissa. Sauman muotoon työstyetty vanerisoiro on myös todettu käyttökelpoiseksi. Muotti poistetaan heti päällysteen jyräyksen jälkeen.

Valuasfaltilla päällystettäessä sauma tehdään levittimeen kiinnitettävällä urantekolistalla. Valuasfaltilla päällystettäessä voidaan käyttää myös betonipintaan liimattavaa kumibitumista saumausnauhaa. Betonipintaan sivellään tartunta-aine nauhan valmistajan ohjeen mukaan. Nauha liimataan välittömästi ennen päällystystöitä kuumentamalla nauhan tartuntapintaa kaasuliekillä.

Koska päällysteen reuna tulee hieman matalaa reunapalkkia korkeammalle, päällysteen särmää on pyrittävä viistämään, jotta se ei murru. Saumaus ei ilman erityistoimia tue päällysteen reunaa, vaan jää alempana olevan betonipinnan tasoon.



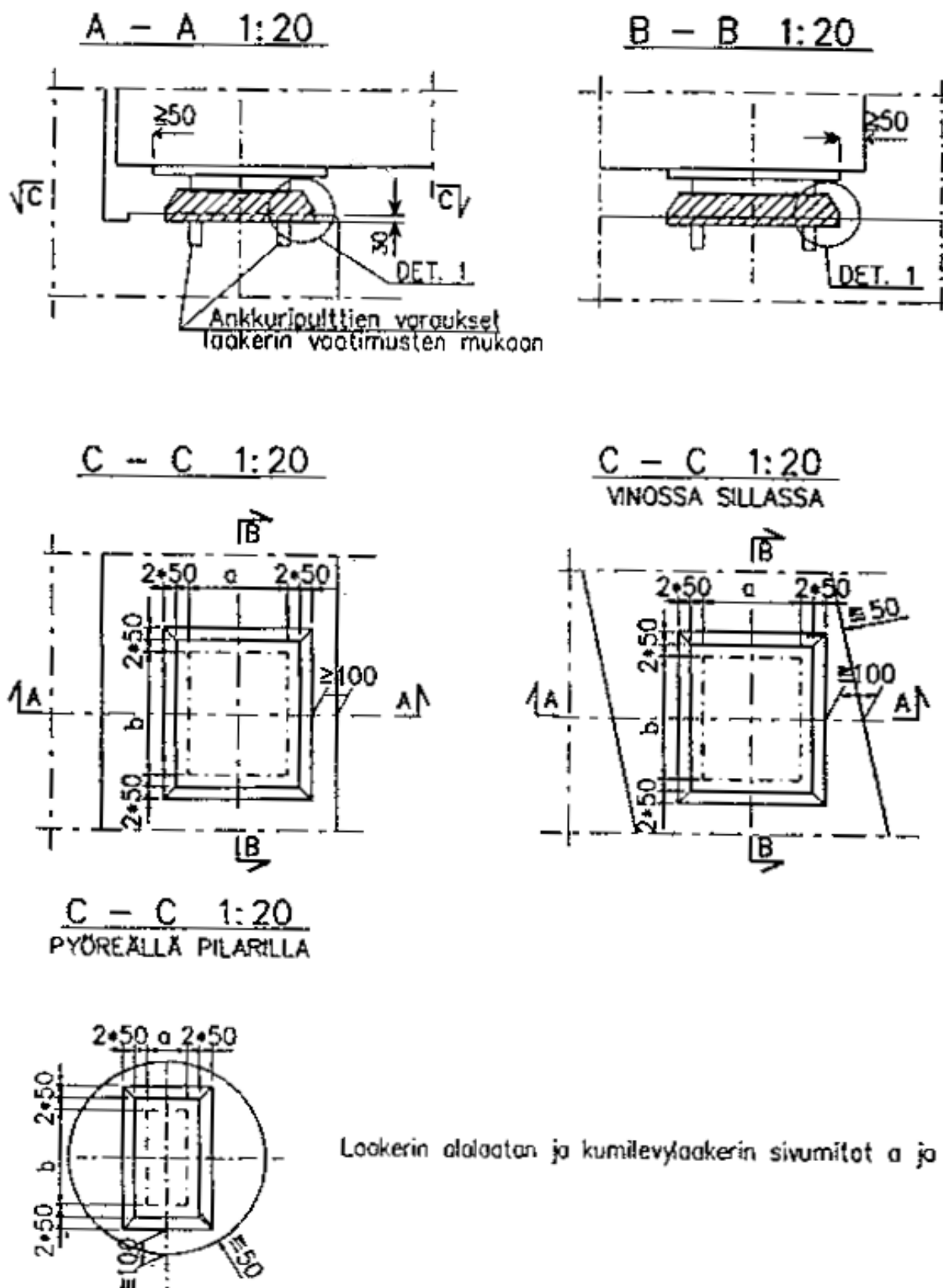
Kuva 1. Sauman rakenne ja mitat

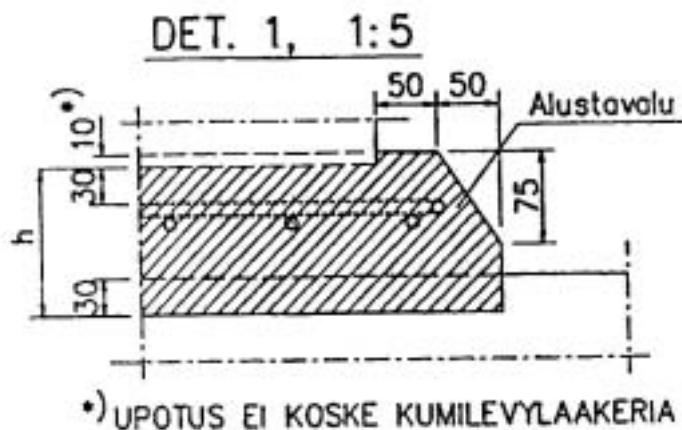


Kuva 2. Sauman muotti

LIITE 5.1 LAAKERIALUSTA.

VÄHIMMÄISMITAT, VÄHIMMÄIS-REUNAETÄISYYDET JA RAUDOITUKSEN PERIAATE

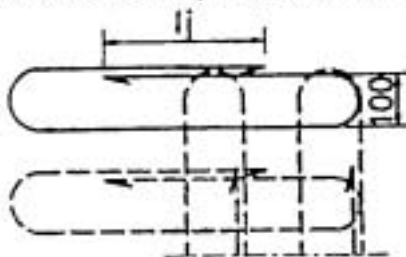




ALUSTAVALUN RAUDOITUSPERIAATE

1. JOS ALUSTAVALUN ALAPINTA ON KÄYTTÖRAJATILASSA PURISTETTU, MÄÄRÄTÄÄN ALUSTAVALUN TERÄSTYS SEURAAVASTI:

- Jos alustavalun korkeus $h < 70$ mm, raudoitusta ei tarvita
- Jos $70 < h \leq 170$, määritetään teräkset oheisen taulukon ja piirroksen mukaan.



N _{max} (MN)	Raudoitus	Jatkospituus l _j
2,5	♠ 8 # 100	250
5,0	♠ 10 # 100	300
7,5	♠ 12 # 100	350
Suuremmilla laakerikuormilla raudoitus määritetään tapauskohtaisesti.		

2. MUULLOIN MÄÄRÄTÄÄN ALUSTAVALUN TERÄKSET JA ANKKUROIINTI ALUSRAKENTEeseen TAPAUSSKOHTAISESTI.

Laakerialustan laatuvaatimukset on esitettävä piirustuksessa.

Jos laakerin yläpuolelle joudutaan tekemään täytevalu, niin se on tehtävä samaan aikaan ja samasta betonista kuin kannen valu. Laakerilevyn reunaetäisyydet ja täytevalun reunaviisteet ovat samat kuin alustavalussa.

Jos täytevalun korkeus on yli 50 mm, niin se on raudoitettava. Raudoitus on muuten sama kuin alustavalussa, mutta teräkset on ankkuroitava kannen betoniin.

Yli 100 mm korkeaa laakerin yläpuolista täytevalua ei saa tehdä.

LIITE 5.2 LAAKERIN ALUSLEVYN MINIMIKOON MÄÄRÄÄMINEN

1. Sovellutusalue

Tätä ohjetta voidaan soveltaa kaikkiin teräsbetonialustalle asennettaviin laakereihin lukuun ottamatta kumilevylaakereita. Niiden suunnittelu tehdään entiseen tapaan asianomaista ohjetta noudattaen.

2. Laskentaperusteet

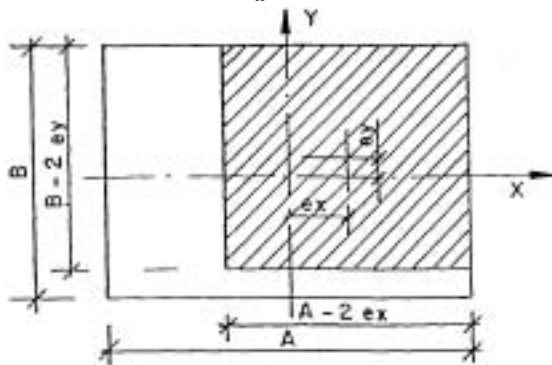
Betonin puristusjännitys laakerilevyn alla lasketaan paikallisena puristuksena ohjetta **"B4, Betonirakenteet"** noudattaen. Jos laakerikuormat ilmoitetaan ominaiskuormina, tehdään mitoitus sallittujen jännitysten laskukaavoja käyttäen. Rajatilamitoitus on myös mahdollinen edellyttäen, että kuormituksena käytetään murtorajatilaa mukaista laskentakuormaa. Kummassakin tapauksessa edellytetään, että paikallisen puristuksen aiheuttama poikittaisjännitys on laskettu ja halkaisuvoima on tarvittaessa otettu teräksillä.

Laatan läpileikkautuminen saattaa myös tulla määrääväksi, jolloin joudutaan käyttämään suurempaa levykokoa kuin paikallinen puristuskestävyys edellyttäisi.

3. Kuormituspinta-ala

Laskennassa kuormituspinta-alana käytetään ns. tehokasta pinta-alaa, jossa kuorman epäkeskisyys ja laakerin liikevara on huomioitu pinta-alaa pienentävänä tekijänä.

Tehokas pinta-ala $A_{eff} (A_{co})$



$$e_x = \frac{\Delta L_x}{2} + \frac{H_x * h}{V}$$

$$e_y = \frac{\Delta L_y}{2} + \frac{H_y * h}{V}$$

ΔL_x = laakerin laskettu kokonaisliikevara pituussuunnassa.

ΔL_y = laakerin laskettu kokonaisliikevara poikkisuunnassa.

V = pystysuora laakerikuorma

H_x = laakerin vaakakuorma pituussuunnassa.

H_y = laakerin vaakakuorma poikkisuunnassa.

h = laakerin korkeus.

Tavanomaisissa kumipesälaakereissa voidaan laakerin korkeusmitta h valita laskentaa varten seuraavasta taulukosta. Muun tyyppisissä laakereissa ja suurissa kumipesälaakereissa käytetään valmistajan ilmoittamaa korkeusmittaa.

Kumilevylaakerin korkeus

V (kN)	h (mm)
1000	100
3000	125
5000	150
7000	175
10000	200

4. Alustavalun vaikutus

Laskennassa käytetään normaalisti betonirakenteen suunnittelulujuutta. Alustavalun suuri lujuus voidaan ottaa huomioon pintarasituksen laskukaavassa (B4 3.10).

$$\sigma_1 \leq k \cdot \sigma_{cc}$$

Reunaetäisyyden huomioonottavassa kaavassa

$$\sigma_1 = \sigma_{cc} \sqrt[2]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$$

käytetään aina rakenteen betonin lujuutta.
($k=3$, kun betonin tiheys = 2400 kg/m^3)

5. Esittäminen suunnitelmassa

Suunnitelmaan kuuluvassa laakerointipiirustuksessa esitetään laakerien ylä- ja alalevyjen minimikoot, sekä minimikoon määrittämisessä käytetyt laakerien korkeudet. Ne merkitään samaan taulukkoon missä muutkin laakeritiedot on esitetty. Lisäksi piirustukseen kirjoitetaan seuraava huomautus: "Jos asennettavan laakerin korkeus on suurempi tai laakerityyppi tai levyjen muoto poikkeaa oletetusta, on otettava yhteys suunnittelijaan".

LASKENTAESIMERKKI

Yhteen suuntaan liikkuva laakeri

Kokonaisliikevara

Laakerin pystykuorma

Vaakakuorma pituussuunnassa

$$\Delta L = 200 \text{ mm}$$

$$V = 4,07 \text{ MN}$$

$$H_x = 0,12 \text{ MN}$$

$$(H_x = \mu V_{\text{pysyvä}})$$

Vaakakuorma poikkisuunnassa

Laakerin korkeus

Kansilaatan betoni

Tuen betoni

$$H_y = 0,15 \text{ MN}$$

$$h = 135 \text{ mm (Taulukossa)}$$

$$K40-1; \sigma_{cc} = 14 \text{ MN/m}^2$$

$$K35-1; \sigma_{cc} = 12 \text{ MN/m}^2$$

1. YLÄLEVY

Ratkaistaan tehokas pinta-ala kaavasta

$$\sigma_1 = \sigma_{cc} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \quad \sigma_1 = \frac{V}{A_{c0}}$$

$$\frac{V}{A_{c0}} = \sigma_{cc} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$$

$$A_{c0} = \frac{V^2}{\sigma_{cc}^2 \times A_{c1}}$$

A_{c1} :den määrittämiseksi lasketaan kuormituksen epäkeskisyys ja otaksutaan A_{c0} :lle pienin mahdollinen arvo.

$$A_{c0} = \frac{V}{k \times \sigma_{cc}} = \frac{4,07}{3 \times 14} = 0,097 \text{ m}^2$$

$$e_x = \frac{200}{2} + \frac{0,12 \times 135}{4,07} = 104 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,15 \times 135}{4,07} = 5 \text{ mm}$$

Tällöin saadaan $A_{c1} = 0,63 \text{ m}^2$ (Ks: kuorman jakaantuminen)

$$A_{c0} = \frac{4,07}{14^2 \times 0,63} = 0,134 \text{ m}^2$$

Koska saatu pinta-ala on suurempi kuin aluksi otaksuttu ($0,097 m^2$), on vaadittu tehokas pinta-ala $A_{eff}(A_{C0}) \geq 0,134 m^2$.

$$A = B + \Delta L$$

Ratkaistaan sivumitat yhtälöparista

$$(A - 2e_x)(B - 2e_y) = A_{eff}$$

$$A = B + \Delta L$$

$$B^2 + B(\Delta L - 2e_y - 2e_x) - 2Le_y + 4e_x e_y - A_{eff} = 0$$

$$B^2 - 18B - 133920 = 0$$

$$B = -\left(-\frac{18}{2}\right) + \sqrt{\frac{18}{4} - (-133920)}$$

$$B = 9 + 366 = 375 mm$$

$$A = 375 + 200 = 575 mm$$

ALALEVY

$$\text{Otaksutaan että } A_{co} = \frac{V}{3x\sigma_{cc}} = \frac{4,07}{36} = 0,113 m^2$$

Lasketaan kuormituksen epäkeskisyys

$$e_x = \frac{H_x X h}{V} = \frac{0,12 \times 135}{4,07} = 4 mm$$

$$e_y = \frac{H_y X h}{V} = \frac{0,15 \times 135}{4,07} = 5 mm$$

$$A_{cl} = 1,44 m^2 \text{ (ks. liitepiirustus)}$$

$$A_{co} = \frac{V^2}{\sigma_{co}^2 \times A_{cl}} = \frac{4,07^2}{12^2 \times 1,44} = 0,080 m^2$$

Koska saatu pinta-ala on pienempi kuin aluksi otaksuttu pienin mahdollinen on alalevyn tehokas pinta-ala $A_{eff}(A_{co}) \geq 0,113 m^2$

Oletetaan, että levy on neliö, jonka sivumitta on B.

Ratkaistaan sivumitta yhtälöstä

$$(B - 2e_x)(B - 2e_y) = A_{eff}$$

$$B^2 - B(2e_y + 2e_x) + 4e_x e_y - A_{eff} = 0$$

$$B^2 - 18B - 112920 = 0$$

$$B = 345 mm \text{ (} \phi 389 mm \text{)}$$

SAMA ESIMERKKI RAJATILAMITOITUKSENA

LASKENTAKUORMA $V = 6,02 \text{ MN}$ ($1,2g + 1,8q_{k1} + 1,6q_{k2} + 0,8q_{ki}$)

$$H_x = 0,14 \text{ MN}$$

$$H_y = 0,12 \text{ MN}$$

$$K40-1, f_{cd} = 20,7 \text{ MN/m}^2$$

$$K35-1, f_{cd} = 18,1 \text{ MN/m}^2$$

1. YLÄLAATTA

Ratkaistaan tehokas pinta-ala kaavasta

$$F_u = A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_{cl}}{A_{co}}} \quad F_u = V$$

$$A_{co} = \frac{V^2}{f_{cd}^2 \times A_{co}}$$

A_{cl} : den määrittämiseksi lasketaan kuormituksen epäkeskisyyden ja otaksutaan A_{co} :lle pienin mahdollinen arvo.

$$A_{co} = \frac{V}{k \times f_{cd}} = \frac{6,02}{3 \times 20,7} = 0,097 \text{ m}^2$$

$$e_x = \frac{200}{2} + \frac{0,14 \times 135}{6,02} = 103 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,12 \times 135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

$$A_{cl} = 0,63 \text{ m}^2 \text{ (Ks : kuorman jakaantuminen)}$$

$$A_{co} = \frac{6,02^2}{20,7^2 \times 0,63} = 0,134 \text{ m}^2$$

Pinta-ala on suurempi kuin minimiarvo joten ylälevyn tehokas pinta-ala

$$A_{eff}(A_{co}) \geq 0,134 \text{ m}^2$$

2 ALALEVY

$$\text{Otaksutaan että } A_{co} = \frac{V}{k \times f_{cd}} = \frac{6,02}{3 \times 18,1} = 0,111 \text{ m}^2$$

Lasketaan epäkeskeisyys

$$e_x = \frac{0,14 \times 135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,12 \times 135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

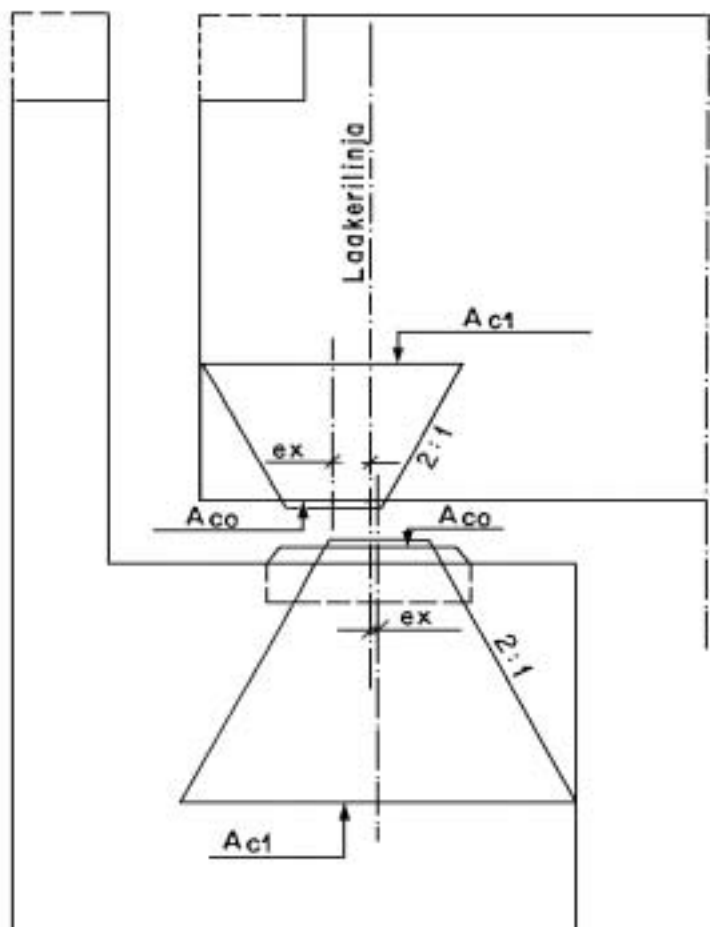
$$A_{cl} = 1,44 \text{ m}^2 \text{ (Ks : Kuormanjakaantuminen)}$$

$$A_{co} = \frac{6,02^2}{18,1^2 \times 1,44} = 0,077 \text{ m}^2$$

Laskettu pinta-ala on pienempi kuin minimivaatimus, joten alalevyn tehokas pinta-ala $A_{eff} (A_{co}) \geq 0,111 \text{ m}^2$.

Levyjen koot lasketaan kuten edellä sallittujen jännitysten mukaisessa esimerkissä.

Kuorman jakaantuminen



LIITE 5.3 KUMILEVYLAAKERIN SUUNNITTELU

1 SOVELTAMISALUE

Tämä ohje koskee silloissa käytettäviä, pääasiassa pystysuoran kuorman vastaanottamiseksi tarkoitettuja suorakaiteen muotoisia kumilevylaakereita.

Tässä ohjeessa esitetyt vaatimukset täyttäviä kumilevylaakereita voidaan käyttää koko maassa. Laakerien toimintakyvyn säilyttämiseksi linjan Kemi-Oulu-Kajaani pohjois- ja itäpuolella ei tule käyttää sellaista kumiainetta, jonka liukumoduli kasvaa yli 50 % kumin lämpötilan aletessa + 20° C:sta -30° C:een.

2 MERKINNÄT

a, b	laakerin sivumitat ($a \leq b$)
d	nettokorkeus ($d = nt + 2 t_u$)
h	kokonaiskorkeus ($h = d + (n+1) t_s$)
k_v, k'_v	sivusuhteesta a/b riippuvia taulukossa 3 annettuja kertoimia
k_ϕ, k'_ϕ, k_w	
k_M, k'_M	
n	sisempien kumilevyjen lukumäärä
t	sisempien kumilevyjen paksuus
t_u	uloimpien kumilevyjen paksuus
t_s	teräslevyjen paksuus
u (u')	laakerin yläpinnan siirtymä alapintaan nähden sivun a (b) suunnassa
w	laakerin keskimääräinen kokoonpuristuma pystysuunnassa
G	kumiaineen liukumoduli
H (H')	vaakavoima sivun a (b) suunnassa
H_{res}	resultoiva vaakavoima
M (M')	kulmakiertymän ϕ (ϕ') aiheuttama momentti
V	pystykuorma
γ	liukukulma kumissa
μ	kitkakerroin
ϕ (ϕ')	laakerin yläpinnan kiertymä alapintaan nähden kiertymisen tapahtuessa sivun b (a) suuntaisen akselin ympäri
σ	keskimääräinen puristusjännitys laakerin alla
T (T')	kumin leikkausjännitys sivun a (b) suunnassa

3 KUMILEVYLAAKERILLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET

Laakerin on toimittava moitteettomasti olosuhteissa, joiden alaiseksi se rakenteessa joutuu. Sen tehtävänä voi olla

- siirtää pystykuormia
- mahdollistaa liittyvien rakenneosien keskinäiset liikkeet
- siirtää vaakavoimia rakenteesta toiseen.

Laakerin tulee kestää pitkään ilmaston vaikutusta ja säilyttää toimintakykynsä vielä -40°C lämpötilassa.

Laakeri muodostuu kumilevyistä ja niiden välissä olevista tasapaksuista teräslevyistä. Kumilevyt kiinnittyvät teräslevyihin vulkanoimalla. Laakerien sivupintoihin on lisäksi vulkanoitu vähintään 2 mm paksu kumikerros. Käytettäessä ruostumattomia teräslevyjä sivupintojen kumikerros voi puuttua.

Laakeriin käytettävän kumiaineen tulee täyttää kohdan 7 laatuvaatimukset. Uloimpien kumilevyjen paksuuden on oltava vähintään 2,5 mm. Sisimpien kumilevyjen tulee olla keskenään saman paksuisia ja paksuudeltaan 5..12 mm. Laakerin kumikerrosten yhteenlasketun paksuuden tulee olla vähintään 1/10 ja enintään 1/5 laakerin pienemmästä sivumitasta.

Teräslevyjen on oltava vähintään laatua S 235 JR ja paksuudeltaan vähintään 2 mm. Levyjen särmien on oltava pyöristettyjä kumin irtaantumisen välttämiseksi.

4 SUUNNITTELUA KOSKEVIA OHJEITA

Sillan rakennussuunnitelmassa esitetään tiedot laakerista: koko, käyttöalue, laakeripiirustuksen numero ja kyseistä kokoa olevien laakerien lukumäärä, esim. Kumilevylaakeri 200x400x52 PS, piir. nro ..., 3kpl. Käyttöaluetta koskevalla tunnuksella ilmoitetaan onko laakeri tarkoitettu käytettäväksi koko maassa (PS) tai ainoastaan Etelä-Suomen olosuhteissa, Kemi-Oulu-Kajaani -linjan eteläpuolella (ES).

Sillan kumilevylaakerien valinnassa on pyrittävä käyttämään kohdassa 8 esitettyjä vakiokokoisia laakereita, joista on tyyppipiirustus R15/DB 52.

Näistä poikkeavista laakereista esitetään piirustus, jossa esitetään laakerin valmistamiseksi tarvittavat tiedot.

Laskelmissa esitetään tiedot laakerin mitoista ja mitoitusarvoista sekä tehdään varmuustarkastelut. Laakeriin liittyvien rakenteiden mitoitusta varten esitetään tarvittaessa myös laakerin kautta siirtyvät tai sen muodonmuutoksista aiheutuvat voimat ja momentit sekä laakerin kokoonpuristuma ja siirtymät.

Tarkastelut suoritetaan yleensä vain laakerin sen sivun suunnassa, jossa jännitykset ovat suurimmat. Jos kuitenkin jännitykset ja muodonmuutokset molempien sivujen suunnissa ovat suuria, eikä vaarallisempaa suuntaa voida osoittaa, on tarkastelut tehtävä molemmissa suunnissa.

Eri tarkasteluissa on käsiteltävä sellaiset kuormayhdistelmät, jotka ovat vaikutukseltaan määrääviä. Yleensä kuitenkin riittää, että laakeri tutkitaan yhdistelmille, joilla vuorollaan kullakin osakuormalla on ääriarvo. Tutkittavien kuormayhdistelmien määrän rajoittamiseksi, voidaan usein

menetellä siten, että tarkastelut suoritetaan edellä mainittujen osakuormien ääriarvojen yhdistelmälle. Tutkittavien kuormayhdistelmien koostumus esitetään.

Ulkoilman lämpötila laakereita asennettaessa otaksutaan samaksi ohjeiden määrittelemän päällysrakenteen valu tai asennuslämpötilan kanssa jos todellista lämpötilaa ei ole tiedossa.

Jos laakeri voidaan tarvittaessa vaihtaa, otaksutaan alusrakenteen liikkumisesta johtuvaksi vaakasuoraksi liikkeeksi laakeritasolla laakerilinjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa ± 10 mm. Jos vaihtomahdollisuutta ei ole, otaksutaan kyseiseksi liikkeeksi paaluperustuksissa ± 20 mm ja muilla perustamistavoilla ± 10 mm. Välituilla kyseiseksi liikkeeksi otaksutaan ± 5 mm.

Jos teräslevyn paksuus on pienempi kuin 1/5 sisemmän kumilevyn paksuudesta, on teräslevyn jännitykset tarkastettava erikseen.

Laakerit on suunniteltava vaakasuoriksi, ellei erityisistä syistä muuta johdu.

Kumilevylaaakereita voi tarvittaessa käyttää rinnakkain. Rinnakkaisten laakerien välille tulee jättää riittävä rako (≥ 10 mm) kumikerrosten laajenemisen mahdollistamiseksi. Rinnakkaisten laakerien varmuustarkastelut tulee suorittaa laakerin kummankin sivun suunnassa.

Kumilevylaaakereita ja muita laakereita ei saa käyttää samalla tuella.

5 VARMUUSTARKASTELUT

5.1 Yleistä

Laakerin luotettavuuden osoittamiseksi tehdään seuraavat tarkastelut:

- jännitystarkastelu
- muodonmuutostarkastelu
- liukuvarmuustarkastelu.

Jännitystarkasteluun, jolla osoitetaan, että laakerilla on riittävä varmuus murtoon nähden, kuuluu puristusjännitystarkastelu ja leikkausjännitystarkastelu. Muodonmuutostarkasteluun, jolla osoitetaan, etteivät laakerin muodonmuutokset tule haitalliseksi laakerin toiminnalle, kuuluu siirtymätarkastelu ja kokoonpuristumatarkastelu. Liukuvarmuustarkastelulla osoitetaan, että laakeri pysyy liukumatta paikallaan riittävällä varmuudella.

Laakerissa syntyvät jännitykset ja muodonmuutokset lasketaan tarkasteluissa luvussa 6 esitetyjä kaavoja, kertoimia ja materiaalivakioita käyttäen.

Tässä luvussa esitettyjen sallittujen arvojen käyttö edellyttää, että laakeri täyttää tämän ohjeen vaatimukset.

5.2 Leikkausjännitystarkastelu

Leikkausjännitystarkastelussa osoitetaan, ettei kumin suurin leikkausjännitys ylitä sallittua arvoa $3,5 \text{ MN/m}^2$.

5.3 Puristusjännitystarkastelu

Puristusjännitystarkastelussa osoitetaan, ettei keskimääräinen puristusjännityslaakerin alla ylitä taulukossa 1 annettuja arvoja.

Taulukko 1. Keskimääräisen puristusjännityksen sallitut arvot

Laakerin pienempi sivumitta a mm	σ sall MN/m ²
200	10
250	11
300	12
350	13
400	14

5.4 Siirtymätarkastelu

Siirtymätarkastelussa osoitetaan, ettei liukukulman tangentti kummassakaan suunnassa ylitä arvoa 0,7. Kun alusrakenteen liikkeet otetaan huomioon, sallitaan kuitenkin arvo 1,0, mutta silloinkaan muiden kuormien yhteisvaikutuksesta syntyvä liukukulman tangentti ei saa ylittää arvoa 0,7.

5.5 Kokoonpuristumatarkastelu

Kokoonpuristumatarkastelussa osoitetaan, ettei laakeri keskimmäisen kolmanneksen alueellaan irtoa alustastaan ts. ehdon

$$w \geq \frac{a|\varphi| + |\varphi'|}{6} \quad (1)$$

tulee olla voimassa.

5.6 Liukuvarmuustarkastelu

Vaakavoimien katsotaan siirtyvän päällysrakenteen sekä laakerin ja alusrakenteen välillä kitkan avulla. Jotta riittävä varmuus liukumista vastaan saavutetaan, tulee resultoivan horisontaalivoiman H_{res} , joka aiheutuu sekä välittömästi laakeriin kohdistuvista vaakavoimista, että laakerin ylä- ja alapinnan siirtymäerosta, täyttää kaikilla kuormayhdistelmillä ehto

$$H_{res} = \sqrt{H^2 + H'^2} \leq \mu V \quad (2)$$

Jos ehto ei ole täytetty, on laakeri ankkuroitava.

Suurin sallittu kitkakerroin μ riippuu kuormayhdistelmästä ja keskimääräisestä puristusjännityksestä taulukossa 2 esitetyllä tavalla. Taulukossa annetut arvot ovat voimassa kumilevylaakerin ollessa kahden betonipinnan välissä. Jos toinen tai molemmat pinnoista ovat terästä, on sallittavan kitkakertoimen arvot pienennettävä puoleen.

Taulukko 2. Sallitut kitkakertoimen arvot.

Kuormayhdistelmän muodostavat kuormat	Kitkakerroin μ		
	$\sigma = 2 \text{ MN/m}^2$	$\sigma = 10 \text{ MN/m}^2$	$\sigma = 14 \text{ MN/m}^2$
Jarru-, keskipako-, sivu- sysäys- ja tuulikuormat	0,30	0,14	0,10
Kaikki mahdolliset kuormat	0,46	0,30	0,22

Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti

6 LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT ARVOT

6.1 Leikkausjännitys

Kumilevylaakeria kuormitettaessa syntyy kumilevyihin leikkausjännityksiä, joiden suuruus ei riipu ainoastaan kuormituksen suuruudesta ja kumilevyjen koosta vaan myös kumilevyjen muodosta. Leikkausjännityksillä on olennainen merkitys arvosteltaessa kumilevylaakerin kantokykyä.

Suurimmat leikkausjännitykset syntyvät laakerin ulkopinnoissa sivujen keskellä. Eri tekijöistä aiheutuvat suurimmat leikkausjännitykset voidaan laskea kaavoista 3...6

Leikkausjännitys pystykuormasta V

$$T_v = \frac{k_v t |V|}{a^2 b} \quad (3) \quad T'_v = k'_v T_v \quad (3')$$

Leikkausjännitys vaakavoimista H ja H' ja laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisestä siirtymäeroista u ja u'

$$T_H = \left| \frac{H}{ab} + \frac{Gu}{d} \right| \quad (4) \quad T'_H = \left| \frac{H'}{ab} + \frac{Gu'}{d} \right| \quad (4')$$

Leikkausjännitys laakerin ylä- ja alapinnan välisestä kulmakiertymästä φ ja φ'

$$T_\varphi = \frac{k_\varphi a^2 G |\varphi|}{dt} \quad (5) \quad T'_\varphi = \frac{k'_\varphi a^2 G |\varphi'|}{dt} \quad (5')$$

Suurimmat leikkausjännitykset

$$T = T_v + T_H + T_\varphi \quad (6) \quad T' = T'_v + T'_H + T'_\varphi \quad (6')$$

6.2 Puristusjännitys

Keskimääräinen puristusjännitys lasketaan lausekkeesta

$$\sigma = \frac{V}{ab} \quad (7)$$

6.3 Liukukulman tangentti

Vaakavoimista H ja H' sekä laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisestä siirtymäerosta u ja u' kumiin siirtyvän liukukulman tangentti lasketaan lausekkeista

$$\tan_{\gamma} = \left| \frac{H}{abG} + \frac{u}{d} \right| \quad (8) \qquad \tan_{\gamma}' = \left| \frac{H'}{abG} + \frac{u'}{d} \right| \quad (8')$$

Jos H (H') ja u (u') vaikuttavat samaan suuntaan ovat kaavoissa (8) ja (8') voimassa ylemmät merkit.

6.4 Kokoonpuristuma

$$w = \frac{k_w (nt^3 + 2t_u^3) V}{a^3 b G} \quad (9)$$

6.5 Siirtymistä aiheutuvat vaakavoimat

Laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisistä siirtymäeroista u ja u' aiheutuvat vaakavoimat voidaan laskea lausekkeista

$$H = \frac{abGu}{d} \quad (10) \qquad H' = \frac{abGu'}{d} \quad (10')$$

6.6 Kulmakiertymistä aiheutuvat momentit

Kulmakiertymistä ja aiheutuvat momentit voidaan laskea lausekkeista

$$M = \frac{k_m a^5 b G \varphi}{nt^3 + 2t_u^3} \quad (11) \qquad M' = \frac{k'_m a^5 b G \varphi'}{nt^3 + 2t_u^3} \quad (11')$$

6.7 Kaavojen kertoimet

Taulukko 3. Kertoimien k riippuvuus sivusuhteesta a/b

a/b	k_v	k'_v	k_ϕ	k'_ϕ	k_w	k_M	k'_M
0	3,00	0,740	0,500	0	1,00	0,0167	0
0,10	3,20	0,741	0,500	0,104	1,07	0,0168	0,0007
0,20	3,43	0,742	0,500	0,192	1,14	0,0157	0,0022
0,30	3,67	0,748	0,500	0,266	1,23	0,0151	0,0041
0,40	3,88	0,766	0,499	0,326	1,34	0,0146	0,0058
0,50	4,07	0,795	0,499	0,371	1,46	0,0141	0,0073
0,52	4,10	0,802	0,498	0,379	1,48	0,0140	0,0076
0,54	4,13	0,809	0,498	0,386	1,51	0,0139	0,0078
0,56	4,17	0,816	0,497	0,393	1,54	0,0138	0,0081
0,58	4,20	0,824	0,497	0,400	1,57	0,0137	0,0083
0,60	4,23	0,832	0,496	0,406	1,60	0,0136	0,0086
0,62	4,26	0,840	0,496	0,411	1,63	0,0135	0,0088
0,64	4,29	0,848	0,495	0,417	1,66	0,0134	0,0090
0,66	4,32	0,856	0,494	0,422	1,69	0,0133	0,0092
0,68	4,35	0,864	0,494	0,427	1,72	0,0132	0,0094
0,70	4,38	0,873	0,493	0,431	1,76	0,0131	0,0096
0,72	4,41	0,881	0,492	0,435	1,79	0,0130	0,0098
0,74	4,43	0,890	0,491	0,439	1,83	0,0129	0,0099
0,76	4,46	0,899	0,490	0,443	1,87	0,0128	0,0101
0,78	4,49	0,907	0,489	0,446	1,90	0,0127	0,0102
0,80	4,52	0,916	0,488	0,450	1,94	0,0126	0,0104
0,82	4,55	0,925	0,486	0,453	1,98	0,0125	0,0105
0,84	4,58	0,933	0,485	0,456	2,02	0,0124	0,0107
0,86	4,60	0,942	0,484	0,458	2,06	0,0123	0,0108
0,88	4,63	0,950	0,482	0,461	2,10	0,0122	0,0109
0,90	4,66	0,959	0,481	0,463	2,15	0,0121	0,0111
0,92	4,69	0,967	0,480	0,466	2,19	0,0120	0,0112
0,94	4,72	0,975	0,478	0,468	2,23	0,0119	0,0113
0,96	4,75	0,984	0,476	0,470	2,28	0,0118	0,0114
0,98	4,77	0,992	0,475	0,471	2,32	0,0117	0,0115
1,00	4,8	1,000	0,473	0,473	2,37	0,0116	0,0116

Vakiokokoisille laakereille kertoimien arvot on laskettu valmiiksi ja merkitty näkyviin taulukossa 4.

6.8 Liukumoduli

Kumin liukumodulin suuruus riippuu kumin laadusta, kovuudesta, lämpötilasta sekä kuorman vaikutusajasta ja kumiaineen vanhenemisesta. Tiehallinnon silloissa hyväksytään käytettäväksi laakereita, joiden kumin liukumoduli $+20^\circ\text{C}$:ssa voi olla välillä $0,6\ldots 1,2\text{ N/mm}^2$. Jos liukumodulin suuruudella mainittujen rajojen puitteissa ei ole merkitystä laakerin toiminnalle, voidaan leikkausjännityksen laskennassa käyttää vakioarvoa $1,0\text{ N/mm}^2$ kohdassa 4.2 mainitun sallitun arvon yhteydessä 1).

Liukumodulin suuruudelle -30°C :ssa suhteessa liukumodulin arvoon $+20^\circ\text{C}$:ssa on asetettu vaatimus laakerin käyttöalueen (koko maa tai Etelä-Suomi) mukaan (ks. luku 7).

Laskettaessa siirtymäsuureita tai laakerista siirtyviä voimia käytetään tarvittaessa liukumodulin alarajan tai ylärajan arvoja sen mukaan kumpi arvoista antaa määräävän vaikutuksen sekä otetaan huomioon liukumodulin lämpötilan muutoksesta aiheutuva liukumodulin muutos.

Tarvittaessa erityistapauksessa voidaan määrätä käytettäväksi laakeria, jonka liukumoduli on tarkoin etukäteen määrätty. Asia ilmoitetaan näissä tapauksissa laakeria koskevissa piirustuksissa ja siltakohtaisissa laatuvaatimuksissa.

7 AINEIDEN LAATU

Kumilevylaakereihin käytettävän kumin on oltava sellaista, että se sietää pitkään ilmaston vaikutusta ja säänvaihteluita sekä säilyttää toimintakykynsä vielä -40° C:n lämpötilassa.

Kumiaineen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

Ominaisuus	Vaatus	Koestus-menetelmä
Kovuus ¹⁾	50...65° IRH	SIS 162-201
Liukumoduli + 20°C:ssa	0,6...1,2 N/mm ²	Kumilevylaakerien tyyppihyväksyntä/ TIEL
Liukumoduli -30° C:ssa		
-Kumilevylaakeri PS:	Enintään 1,50-kertainen	
Soveltuu käytettäväksi +20° C arvoon verrattuna koko maassa		
-Kumilevylaakeri ES:	Enintään 2,0 kertainen	
Soveltuu käytettäväksi Kemi-Oulu-Kajaani linjan eteläpuolella	+20° C arvoon verrattuna	
Vetomurtolujuus	Vähintään 14 N/mm ²	SIS 162202
Murtovenymä	Vähintään 300 %	SIS 162202
Jäännöspuristuma +70° C lämpötilassa	Enintään 40 %	SIS 162204
Muutokset vanhennettaessa		SIS 162205
-kovuuden muutos	Enintään 10° IRH	
-vetomurtolujuuden muutos	Enintään 25 %	
-murtovenymän muutos	Enintään 40 %	
Otsoninkestävyys ²⁾ koekappaleen ollessa 20 % venytyksessä 168 h		SIS 162210
50 pphm:n ³⁾ otsonipitoisuudessa	Koekappaleeseen ei saa syntyä silmin havaittavia halkeamia	

¹⁾ Yleensä käytetään kumia, jonka kovuus on 60° IRH (International Rubber Hardness)

²⁾ Otsoninkestävyysvaatimus koskee vain laakerin pintakumia

³⁾ pphm = parts per hundredmillion (sadasmiljoonasosa)

8 VAKIOKOKOISET KUMILEVYLAAKERIT

Kumilevyllaakerien vakioykoot on esitetty taulukossa 4.

Leveys a [mm]	Pituus b [mm]	Kokonais- korkeus h [mm]	Netto- korkeus d [mm]	Sisemmät kumilevyt		Teräslevyt		k_v k'_v	k_ϕ k_ϕ k_w	k_M k'_M
				Paksuus t [mm]	Määrä [kpl]	Paksuus t_s [mm]	Määrä [kpl]			
200	250	30	21	8	2	3	3	4,52	0,488	0,0126
		41	29	8	3	3	4	0,916	0,450	0,0104
		52	37	8	4	3	5		1,94	
200	300	30	21	8	2	3	3	4,33	0,494	0,0133
		41	29	8	3	3	4	0,859	0,424	0,0093
		52	37	8	4	3	5		1,46	
200	400	30	21	8	2	3	3	4,07	0,496	0,0141
		41	29	8	3	3	4	0,795	0,413	0,0073
		52	37	8	4	3	5		1,64	
250	400	41	29	8	3	3	4	4,27	0,496	0,0135
		52	37	8	4	3	5	0,842	0,413	0,0088
		63	45	8	5	3	6		1,64	
300	400	52	37	8	4	3	5	4,45	0,490	0,0129
		63	45	8	5	3	6	0,849	0,441	0,0100
		74	53	8	6	3	7		1,85	
		85	61		7		8			
350	450	54	38	11	3	4	4	4,49	0,489	0,0127
		69	49	11	4	4	5	0,906	0,446	0,0102
		84	60	11	5	4	6		1,90	
		99	71	11	6	4	7			

LIIITE 5.4 LIIKEVARA JA ENNAKKO LAAKEREISSA JA LIIKUNTASAUMALAITTEISSA

1. Liikettä aiheuttavat tekijät

Laskettaessa liikkuvaa laakeria ja liikuntasaumalaitetta otetaan huomioon yleensä seuraavat liikettä aiheuttavat tekijät:

- lämpötilan muutos
- kutistuminen ja viruminen
- omapaino
- pystysuora liikennekuorma
- jarrukuorma
- tukien siirtyminen

Liikkeen suuruus lasketaan kuormien ominaisarvoilla, jotka on annettu ohjeessa Siltojen kuormat TIEL 2172072.

Lämpötilan otaksutaan voivan vaihdella rakenteen ylimmän ja alimman keskilämpötilan välillä.

Kutistuman ja viruman vaikutusta laskettaessa otaksutaan rakenteen iäksi jännitettäessä 14 vrk ja saumalaitetta asennettaessa 42 vrk.

Omasta painosta aiheutuvat muodonmuutokset vaikuttavat yleensä laakereihin, mutta eivät liikuntasaumalaitteeseen. Päälysrakenteen tukikiertymästä voi aiheutua merkittäviä liikkeitä.

Tukien siirtymiä laskettaessa otaksutaan:

- kalliolle perustettu tuki ei liiku
- maanvarainen tuki siirtyy + 10 mm/tuki, päätytuki vain aukkoon päin
- paalutetut tuet laskelmien mukaan (siirtymä ja kiertymä)

2. Kokonaisliikemäärä

Kokonaisliikemäärä lasketaan eri tekijöiden vaikutusten summana ilman varmuus- tai vähennyskertoimia.

3. Asennusennakko

Laitteen asennusta varten määritetään liikkuvien osien keskinäinen asento (asennusennakko, -väli) asennuslämpötilan mukaan siten, että toistuva liike tapahtuu keskeisesti kokonaisliikkeeseen nähden. Tukien siirtymiä pidetään toistuvana liikkeenä.

Kumilevylaakereille ei voida asettaa asennusennakkoa.

Ellei tarkempaa tietoa ole saatavissa käytetään seuraavia asennuslämpötiloja:

Laakeria asennettaessa			Saumalaitetta asennettaessa	
Vuoden-aika	Paikalla valettu	Muut sillat	Vuoden-aika	Kaikki sillat
Kesä	+30°C	+20°C	Kesä	+20°C
Talvi	+20°C	-10°C	Talvi	-10°C

Laskelmat ja piirustus

Laskelmissa esitetään eri tekijöiden aiheuttamat liikemäärät ja kokonaisliikemäärä sekä asennusennakko asennuslämpötilan funktiona.

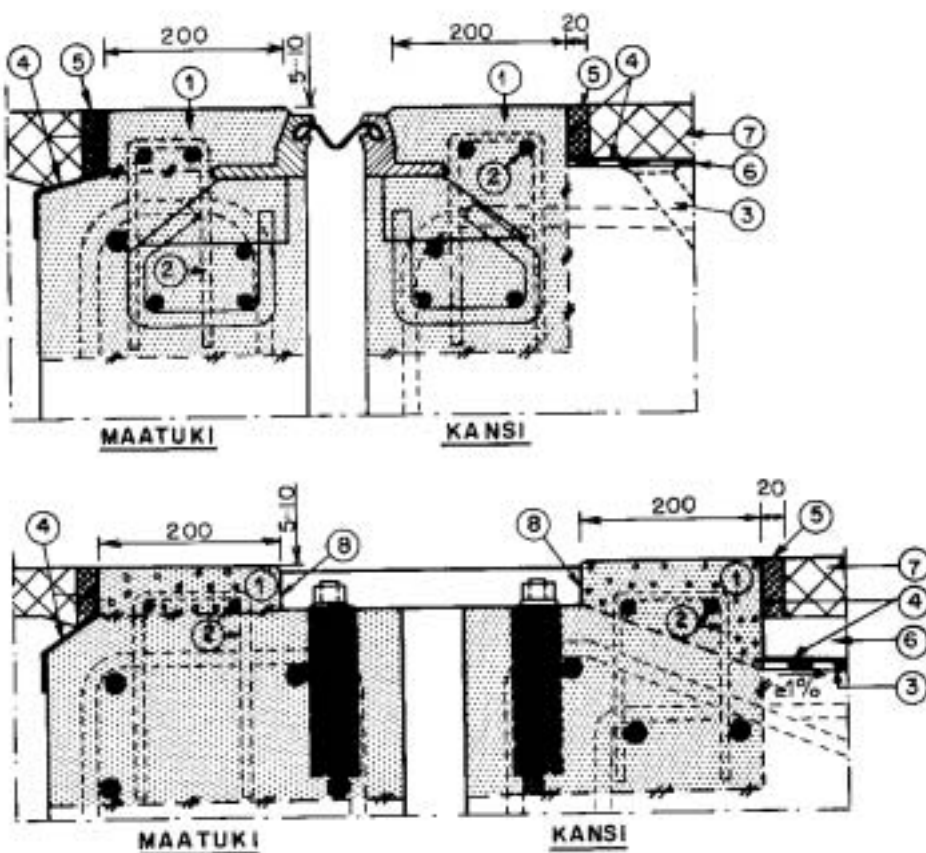
Piirustukseen merkitään tarvittava kokonaisliikemäärä ja asennusennakko tai asennusväli muuttuvan asennuslämpötilan mukaan ($\Delta T = 5^\circ \text{C}$) taulukoituna.

Lämpötilanvaihtelun merkitys on usein ennakon suuruuteen vähäinen ja laakerin ylälevyä vastaavasti kasvattamalla voidaan työmaalla vaikeasti tehtävä säätötyö välttää.

LIITE 5.5 BETONIMUOVISTA TAI POLYMEERIBETONISTA TEHTÄVÄN LIIKUNTA SAUMALAITTEEN TUKIKAISTA

Liikuntasaumalaitteen molemmille puolille suunnitellaan tukikaista, jonka leveys on ≥ 200 mm. SYL 7.222 vaihtoehdon B mukaan se voidaan tehdä betonimuovista (PC) tai polymeerisementtibetonista (PCC). Tukikaistan betonin lujuusluokka on K50. Betoni on kutistumatonta ja pakkasenkestävää P50. Massaan sekoitetaan teräskuituja ≥ 30 kg/m³.

Tukikaista ankkuroidaan päällysrakenteeseen riittävästi. Ankkuroinnin periaatepiirros on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Liikuntasaumalaitteen tukikaista

1. Tukikaista, paksuus ≥ 60 mm
2. $2 \phi 8 + \text{haat } \phi 6 \text{ k } 200$
3. Tippuputki sillan päässä
4. 2-kertainen epoksiterva- tai kumibitumisively
5. Kumibitumipohjainen saumamassa + esisively
6. Eriste + suojakerros
7. Asfaltti

LIITE 5.6 SILTOJEN SIIRTYMÄLAATAT

1. Siirtymälaattojen käytön perusteet

Siirtymälaatan käytön tarve aiheutuu sillan ja siihen liittyvän penkereen yhtymäkohtaan syntyvästä painumasta, joka on liikenteelle haitallinen.

Painuman syitä ovat:

- pohjamaan painuminen
- pengermateriaalin tiivistyminen
- penkereen liikkeet
- pintavesien aiheuttama eroosio
- liikenteen rasitus.

Painuman haittoja estetään siirtymälaattalla. Tyypipiirustukset on tehty 3 m:n ja 5 m:n pituisista siirtymälaatoista. Siirtymälaatan pituus mitataan vinossa sillassa sillan keskilinjan suunnassa. Samoin laatan pääraudoitus tehdään yleensä tien suuntaisena.

Siirtymälaattaa käytetään eräitä poikkeuksia lukuun ottamatta aina. Siirtymälaattaa ei tarvitse käyttää alhaisen luokan teiden silloilla, joilla vähäisistä painumista ei ole haittaa. Kalliolle perustettujen tukien yhteydessä, joissa täytteen paksuus kallion päällä on enintään 2 m, ei myöskään tarvita siirtymälaattaa.

2. Siirtymälaatan pituuden valinta

Seuraavissa tapauksissa käytetään 5 m:n pituista siirtymälaattaa:

- silta on perustettu paaluille ja tulopenger massanvaihdon
- silta on perustettu paaluille ja tulopenger hienorakeisten maalajien varaan
- painumisaikaa tai vaiheittain pengerrystä käyttäen
- valta-, kanta- ja maanteillä, kun
 - siirtymälaatan alle jäävän täytteen paksuus on enemmän kuin 3,5 m
 - penger on kevennetty kevytsoraa, tai muuta kokoonpuristuvaa materiaalia käyttäen
 - etuluiska on jyrkempi kuin 1:2 ja maatuki ei toimi tukimuurina.

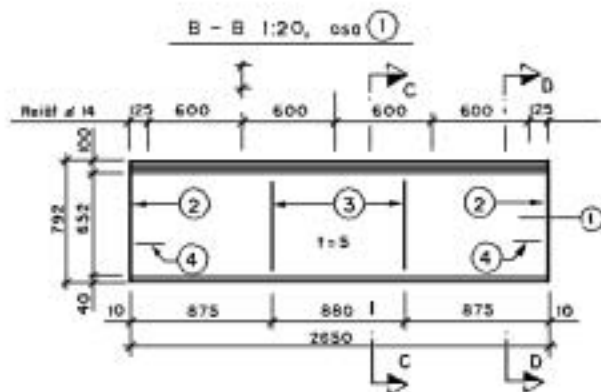
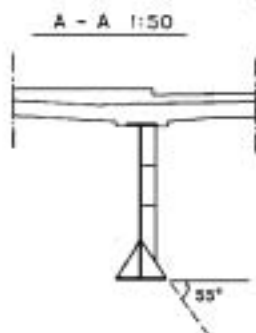
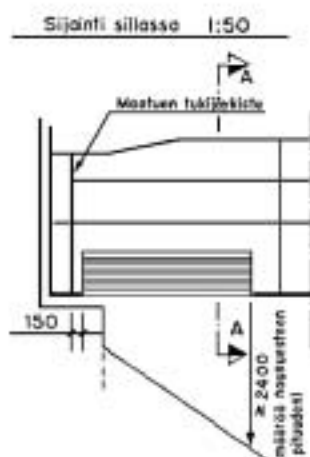
Seuraavissa tapauksissa käytetään 3 m:n pituista siirtymälaattaa:

- valta-, kanta- ja maanteillä muissa kuin edellä esitetyissä tapauksissa
- paikallisteillä ja yksityisteillä
- kevyen liikenteen teillä.

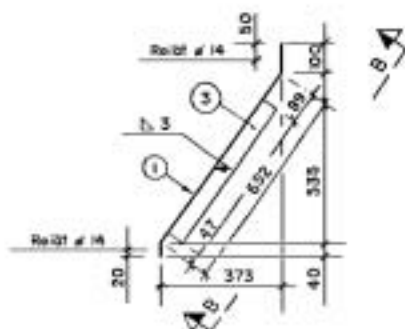
3. Siirtymälaatan korkeusasema

Siirtymälaatan päälle varataan tilaa tierakenteen sitomattomille ja sidotuille kerroksille sekä päällysteelle. Päällysrakenneluokassa 1 näiden paksuus on 400 mm käytettäessä sitomatonta kantavaa kerrosta ja 600 mm käytettäessä sidottua kantavaa kerrosta (esim. maabetonia). Päällysrakenneluokassa 3 vähimmäiskerros paksuus siirtymälaatan päällä on 300 mm. Siirtymälaatan pinnan etäisyys tien pinnasta saa olla enintään 700 mm.

LIITE 5.8 TERÄSPALKKISILTOJEN NOUSUESTE



C - C 1:10



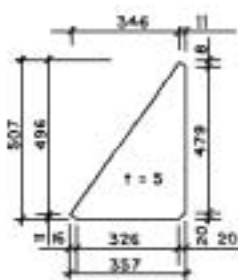
D - D 1:10



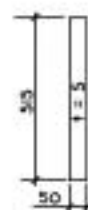
Osaluettelo							
osa	nimitys	mitat mm	määrä	paino kg	yht.paino kg	teräsluokka	huom.
①	levy	- 5 x 792 - 2650	2	62,4	124,8	Fe 37 B	
②	päätyjoyste	- 5 x 11.362 - 514	4	3,8	15,3	-	
③	välijoyste	- 5 x 50 - 516	4	1,0	4,0	-	
④	kulmajoyste	- 5 x 100..200 - 200	4	1,2	4,8	-	
⑤	kruunruuvi	M12 x 40	5			5.8 SFS 2064	huom. kestäv.
⑥	kruunmutteri	M12	5			5.8 SFS 2067	
⑦	alustaletti	13	40			SFS 2042	
⑧	kruunruuvi	M12 x 35	10			5.8 SFS 2064	
yhteensä				186,8			

Sillalle tulee näitä nousuesteitä (755 kpl). Esteen varakkain tulevia levyjen yläreunat parataan levyt yhdessä. Uusien levyjen ja alaparanteiden reitit parataan siihen reikiin kpl. Esteet pistokäsitellään ja maalataan kuten sillan pääpalkit ja osennetaan pääpalkkien maalauksen jälkeen.

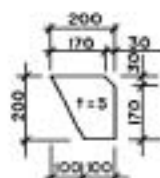
Osa ② 1:10



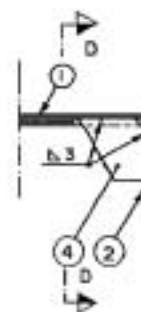
Osa ③ 1:10



Osa ④ 1:10



E - E 1:10



Teräs: Fe 37B
Hitsaus: WB SFS 2379

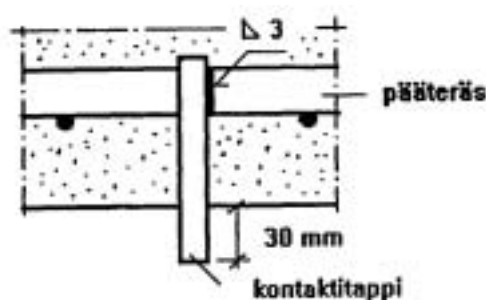
LIITE 5.9 KONTAKTITAPPIEN ESITTÄMINEN SILTASUUNNITELMASSA

1. Kontaktitapit

Betonirakenteisiin asennetaan raudoituksen yhteydessä kontaktitapit sähkökemiallisia mittauksia varten. Ne tulee aina esittää suunnitelmissa. Viittauksia yksinomaan SYL:iin ei hyväksytä.

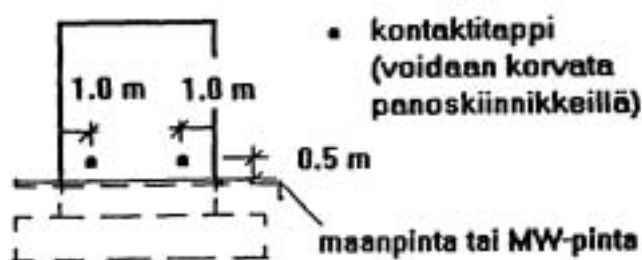
Mittapiirustuksissa esitetään kontaktitappien sijoitus joko piirrettynä tai tekstimuodossa.

Jokaiseen rakenneosaan asennetaan vähintään kaksi kontaktitappia. Tappien suurin sallittu välimatka on 30 metriä. Kontaktitappeina voidaan käyttää myös panoskiinnikkeitä, jos ne on hitsattu pääteräksiin. Määräluettelossa ilmoitetaan tappien kappalemäärä. Tappeina käytetään 12 mm kuumasinkittyä hitsattavaa betonitankoa (A500HW). Tappien ulkonema rakenteen pinnasta on 30 mm. Tapit hitsataan lähinnä pintaa oleviin pääteräksiin. Sinkitys poistetaan tapista hitsausalueelta.

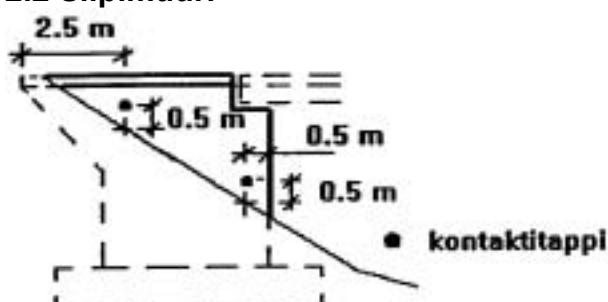


2. Kontaktitappien sijoitus

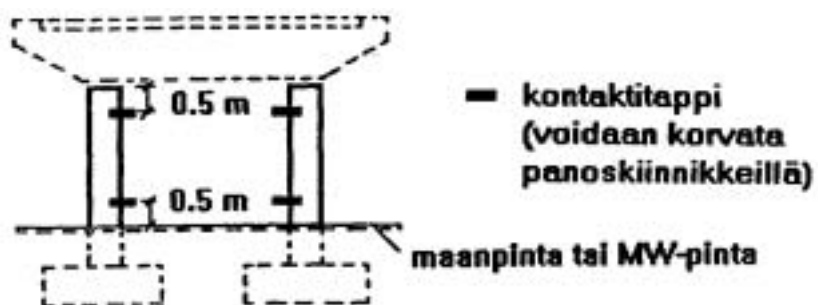
2.1 Maatuen etumuuri, kehän jalka ja seinämäinen välituki



2.2 Siipimuuri

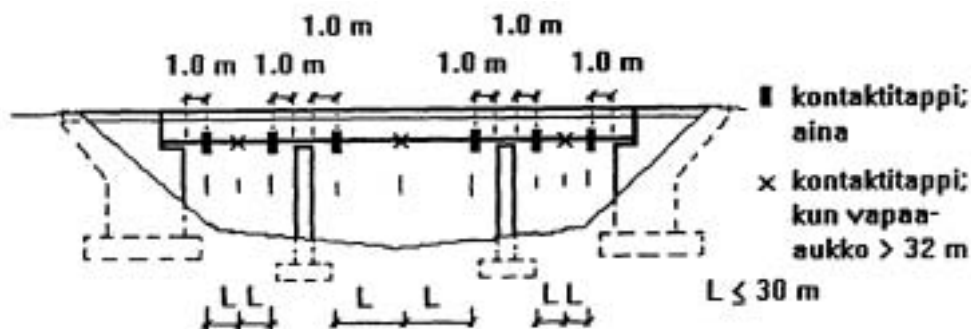


2.3 Pilarituki

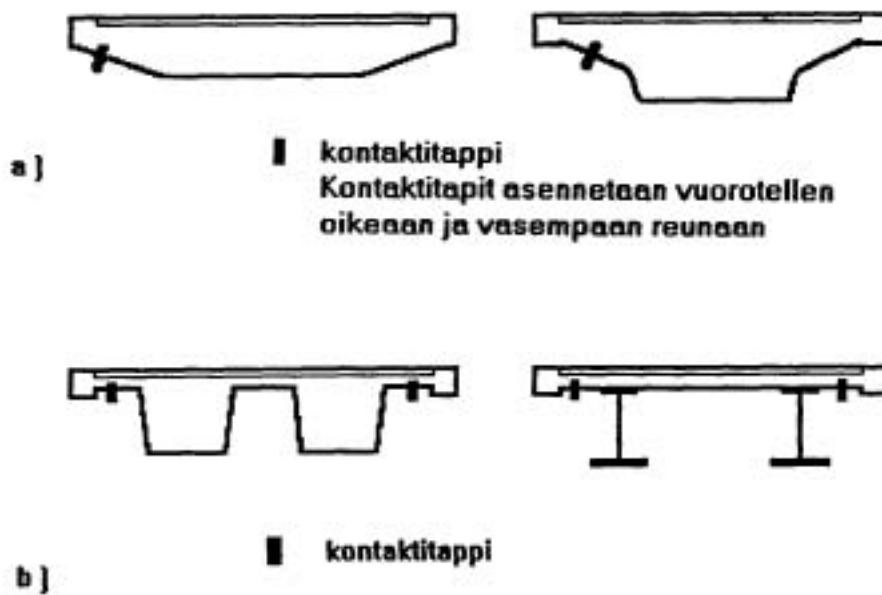


2.4 Päälysrakenne

Sillan pituussuunnassa



Sillan poikkisuunnassa



2.5 Sijoitus päällysrakenteen elementteihin

Elementtirakenteisessa päällysrakenteessa kontaktitapit sijoitetaan reunim-
maisiin elementteihin sillan molemmilla reunoilla sekä sillan keskilinjalla tai
lähellä keskilinjaa oleviin elementteihin. Jako pituussuunnassa kohdan 2.4
mukaan.

Myös kansilaattaan sijoitetaan kontaktitapit kohdan 2.4 a mukaan.

