



Teräspuiskisillat

Suunnitteluohje

Teräspankksillat

Suunnitteluohje v. 1.04 (31.12.2009)

Suunnitteluvaiheen ohjaus

Tiehallinto

Helsinki 2008

Kansikuva: Siltarekisteri

ISBN 978-951-803-935-1
TIEH 2100054-07

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/sillat)

ISBN 987-951-803-934-4
TIEH 2100054-v-07

Edita Prima Oy
Helsinki 2008

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

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

VASTAANOTTAJA

Tiepiirit

Konsultit

SÄÄDÖSPERUSTA

Maantielaki 109 §

Korvaa

Aallotetut teräsputket (TIEL 2172501, 1997)

KOHDISTUVUUS

Tiehallinto

Voimassa

1.11.2008 - TOISTAISEKSI

ASIASANAT

Ohjeet, sillansuunnittelu, putkisillat

Teräsputkisillat, suunnitteluohje, TIEH 2100054-v-07

Tämä ohje korvaa aikaisemman "Aallotetut teräsputket" ohjeen. Ohjeen uudistamistarve on syntynyt mitoitusmenetelmien ja hankintakäytäntöjen kehittymisen vuoksi.

Julkaisu on laadittu Tiehallinnon, Ratahallintokeskuksen, Kaitos Oy:n, Rumtec Oy:n ja Oy ViaPipe Ab:n yhteistyönä. Konsulttina on toiminut Destia Konsulttipalvelut.

Teräsputkisilltojen ohjeet on jaettu kolmeen osaan:

suunnitteluohje

TIEH 2100054-v-07

rakentamisen laatuvaatimukset

TIEH 2200050-v-07

korjausohje

SILKO 2.341

Suunnitteluohjeessa esitetään putkisilltojen toimivuusvaatimukset, uudistuneet suunnitteluperusteet ja suunnitteluohjeet.

Yksikön päällikkö

Tekniset palvelut



Matti Piispanen

Kehittämispäällikkö

Siltatekniikka, suunnittelu



Olli Niskanen

LISÄTIETOJA

Markku Nousiainen

Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut

Puh. 0204 22 2386

ESIPUHE

Julkaisu Aallotetut teräspanket vuodelta 1997 käsittelee aallotettujen teräspankien kokoaluetta 2–5 m ja siinä on annettu ohjeet suunnittelua, rakentamista ja kunnossapitoa varten. Asiakirjan uusimista aloitettaessa päätettiin jakaa asiakirja kolmeksi erilliseksi julkaisuksi: suunnitteluohje, rakentamisen laatuvaatimukset ja korjausohje. Korjausohje on laadittu Siltojen korjausohjeiden työkohtaisina laatuvaatimuksina.

Tässä uudessa asiakirjassa esitetään yleiset laatuvaatimukset ja ohjeet aallotettujen teräspankisiltojen suunnittelua varten. Oleellimmat suunnittelua koskevat muutokset edelliseen julkaisuun verrattuna ovat mitoitusohjeiden uusiminen ja laatuvaatimusten tarkentaminen.

Tämän asiakirjan laatimista on ohjannut asiantuntijaryhmä, jonka puheenjohtajana on ollut tieinsinööri Markku Nousiainen Tiehallinnon Asiantuntijapalveluista. Työryhmän jäseninä ovat olleet

- kehittämispäällikkö Olli Niskanen, Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut
- kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut
- geoasiantuntija Pentti Salo, Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut
- DI Ilkka Sinisalo, Oy VR-Rata Ab (RHK:n edustajana)
- tuotepäällikkö Pauli Kukkonen, Oy ViaPipe Ab
- toimitusjohtaja Peter Brandt, Oy ViaPipe Ab
- osastopäällikkö Jouko Selkämaa, Rumtec Oy
- toimitusjohtaja Olli Böök, Kaitos Oy
- tuotepäällikkö Perttu Juntunen, Kaitos Oy.

Asiakirja on laadittu Destian Konsulttipalveluissa, jossa työhön ovat osallistuneet tekn. lis. Torsten Lunabba, DI Antti Rämet, DI Panu Tolla ja DI Antti Jussila.

Helsingissä lokakuussa 2008

Tiehallinto
Siltatekniikka

Sisältö

1	YLEISTÄ	9
1.1	Ohjeen tarkoitus ja soveltamisalue	9
1.2	Määritelmät	9
2	TOIMIVUUSVAATIMUKSET	10
2.1	Ulkonäkö ja sopivuus ympäristöön	10
2.2	Liikenne ja vedenkulku	10
2.3	Rakenteen kantavuus	10
2.4	Rakenteen käyttöikä	10
3	SUUNNITTELUN PERUSTEET	11
3.1	Teräsputkityypit	11
3.1.1	Putken muoto	11
3.1.2	Putken rakenne	14
3.2	Putken valinta	14
3.2.1	Käyttötarkoitus	14
3.2.2	Hydraulinen mitoitus	15
3.2.3	Pohjasuhteet	15
3.3	Rakenteen kantavuusvaatimukset	16
3.4	Materiaalivaatimukset	16
3.4.1	Betoni	16
3.4.2	Levymateriaali ja ruuvit	16
3.4.3	Metalliset pinnoitteet	16
3.4.4	Ei-metalliset pinnoitteet	18
3.5	Ympäristönsuojelulliset näkökohdat	18
4	SUUNNITTELU	19
4.1	Rakenteellinen mitoitus	19
4.1.1	Putkeen kohdistuvat kuormat	19
4.1.2	Voimasuureiden laskeminen	23
4.1.3	Mitoitus	25
4.1.4	Rakenteen varmuus	30
4.1.5	Sallitut mittapoikkeamat	32
4.2	Käyttöikämitoitus	32
4.2.1	Yleistä	32
4.2.2	Veden laadun vaikutus	32
4.2.3	Olosuhdeluokat	33
4.2.4	Teräsputken käyttöikään vaikuttavat tekijät	34
4.2.5	Lisäsuojaus	35
4.2.6	Yksinkertaistettu käyttöikämitoitus	36
4.3	Putken viiste ja suuntakulma	38

4.4	Putken pituus	39
4.5	Vierekkäiset putket	40
4.6	Perustaminen	41
4.6.1	Yleistä	41
4.6.2	Sillan painuma	42
4.6.3	Perustamistavat	44
4.7	Teräspankeen liittyvät muut rakenteet ja varusteet	45
4.7.1	Siirtymäkiila	45
4.7.2	Verhoukset	45
4.7.3	Tukimuurit	45
4.7.4	Kuivatus	45
4.7.5	Valaistulaitteet ja kiinnikkeet	45
4.7.6	Tarkkailutapit	46
4.7.7	Alikulkukäytävän päädyn suojaus	46
4.7.8	Kaiteet	47
5	VIITELUETTELO	48
6	LIITTEET	50

LIITE A Aallotettujen teräspankien perustietoja

LIITE B Perustamistapojen ohjeelliset mallikuvat

LIITE C Mitoitusesimerkki

1 YLEISTÄ

1.1 Ohjeen tarkoitus ja soveltamisalue

Aallotettuja teräspuikia käytetään tierakenteissa siltoina ja rumpuina. Rautatiesiltana aallotettua teräspuikkea voidaan käyttää vain Ratahallintokeskuksen antamalla suunnitteluperusteisiin kirjatulla hankekohtaisella luvalla.

Tässä asiakirjassa esitetään ohjeet ja yleiset laatuvaatimukset vesistösiltoina ja alikulkukäytävinä käytettävien vapaa-aukoltaan vähintään 2-metrinen aallotettujen teräspuikien suunnittelua varten. Rautatiesiltana toimivan aallotetun teräspuikun vapaa-aukko saa olla enintään 8 metriä.

Teräspuikisillan rakentamista varten on aina tehtävä mitoitusskalkelmat ja laadittava rakennussuunnitelma. Skalkelmat toimitetaan tilaajalle rakennussuunnitelman mukana.

1.2 Määritelmät

Aallotettu teräspuik

Vesistössä ja alikulkukäytävänä käytettävä puikrakenne, joka on valmistettu aallotetusta teräslevystä tai teräsnauhasta.

Aallotus

Teräslevyn tai -nauhan aaltomainen muoto. Aallotus ilmoitetaan profiiliin aallon pituutena ja korkeutena.

Kierresaumattu puik

Putkirakenne, joka on valmistettu teräsnauhasta joko saumaamalla tai hitsaamalla.

Monilevyrakenne

Putkirakenne, joka on valmistettu aallotetuista teräslevyistä kokoamalla.

Peitesyvyys

Putken laen pienin pystysuora etäisyys tien pinnasta tai radan kv:stä.

Putken halkaisija

Pyöreän putken sisäpuolinen halkaisija (d).

Putken leveys ja korkeus

Putken suurin sisäpuolinen leveys (b) ja korkeus (h).

Suuntakulma

Väylän keskilinjän ja putken keskilinjän välinen kulma väylien keskilinjasta myötäpäivään mitattuna.

Viiste

Putken pään kalteva osa, joka on usein tieluiskan kaltevuudessa.

2 TOIMIVUUSVAATIMUKSET

2.1 Ulkonäkö ja sopivuus ympäristöön

Teräsputkisillan soveltuvuus on arvioitava siltapaikkakohtaisesti ja suunnittelun perusteeksi on määritettävä ympäristöön sopivuuden asettamat vaatimukset aukon koolle ja muodolle, rakennetyypille, pintakäsittelylle ja putken päiden verhoukselle.

2.2 Liikenne ja vedenkulku

Rakenteen on täytettävä asetetut aukkovaatimukset ja mahdollistettava veden esteetön virtaus putken läpi. Aukkovaatimuksesta on hankittava alueellisen ympäristökeskuksen lausunto suunnittelun lähtötiedoksi.

2.3 Rakenteen kantavuus

Rakenteen kokonaisuudessaan, perustaminen ja ympäristäytöt huomioon ottaen, on kestävä tiesilloissa Tiehallinnon ja rautatiesilloissa Ratahallintokeskuksen ohjeiden edellyttämällä varmuudella suunnittelukuormia vastaavat liikennekuormat ja muut rakenteeseen kohdistuvat kuormat.

2.4 Rakenteen käyttöikä

Tiehallinnon siltojen ylläpidon toimintalinjojen mukaan teräsputkisillan normaali suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. Ratahallintokeskuksen siltojen ylläpidon toimintalinjojen mukaan teräsputkisillan suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta.

Suunnittelukäyttöiän saavuttamisen edellytyksenä on sillan kantavien päärakenneosien laatuvaatimusten mukainen rakentaminen sekä hyvällä hoidolla ja ylläpidolla varmistettu säilyvyys. Muita rakenneosia voidaan korjata ja uusia useitakin kertoja.

Siltakohtaisesti rakenteelle voidaan asettaa haluttu tavoiteikä, joka olosuhdeluokan ohella vaikuttaa putken suojausmenetelmän määrittämiseen. Normaalisti suunnittelukäyttöiästä poikkeava tavoiteikä on aina ilmoitettava suunnitelmassa.

Jos tavoiteikä ei ole käyttöikämitoituksen perusteella saavutettavissa, aukkomittoihin on lisättävä 200 mm, jotta suojusmenetelmän käyttö olisi tarvittaessa mahdollinen korjausmenetelmä tulevaisuudessa.

3 SUUNNITTELUN PERUSTEET

3.1 Teräsputkityypit

3.1.1 Putken muoto

Aallotetut teräsputket jaetaan muodoltaan seuraaviin ryhmiin:

- pyöreä
- matalarakenteinen
- alikulkukäytävätyyppi
- elliptinen ja vaakaelliptinen
- teräsholvi.

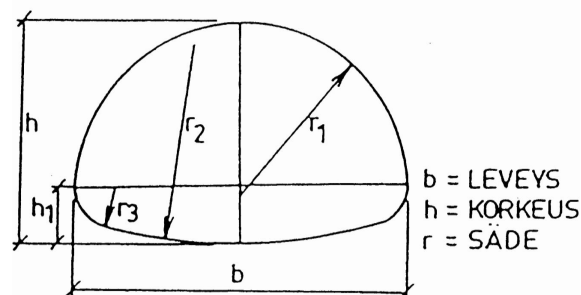
Mainittuja putkityyppejä käytetään sekä vesistösiltoina että alikulkukäytävinä. Putken muoto on harkittava kussakin tapauksessa erikseen paikalliset olosuhteet ja erityisnäkökohdat huomioon ottaen. Teräsholvi luetaan putkisillaksi erilaisesta rakenteestaan huolimatta.

Pyöreä putki soveltuu rautatiesiltoihin, vesistösiltoihin sekä ulkoilua tai maataloutta palveleviin alikulkukäytäviin.

Matalarakenteinen putki soveltuu alikulkukäytäviin sekä matalan penkerein alla oleviin vesistösiltoihin. Matalarakenteinen putki voi tietyllä vesisyvyydellä johtaa jopa 50 % enemmän vettä kuin samalle syvyydelle perustettu korkeudeltaan yhtä suuri pyöreä putki.

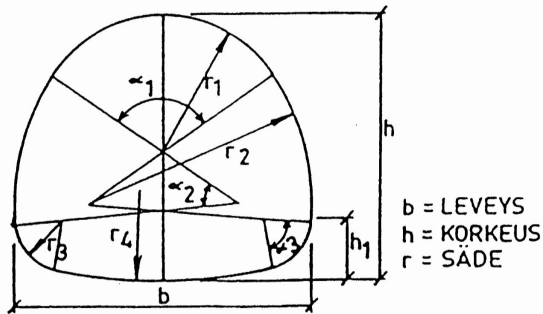
Matalarakenteisen putken käyttöä rajoittaa putken alanurkkien kohdalle syntyvä suuri pohjarasitus, mikä asettaa erityisiä vaatimuksia pohjamaan kantavuudelle. Matalarakenteisen putken sijasta voidaan käyttää esimerkiksi vierekkäisiä pyöreitä putkia.

Matalarakenteisia putkia on useita tyyppejä, joissa alanurkan kaarevuussäde on erilainen.



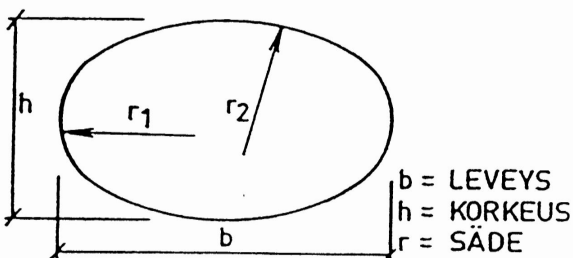
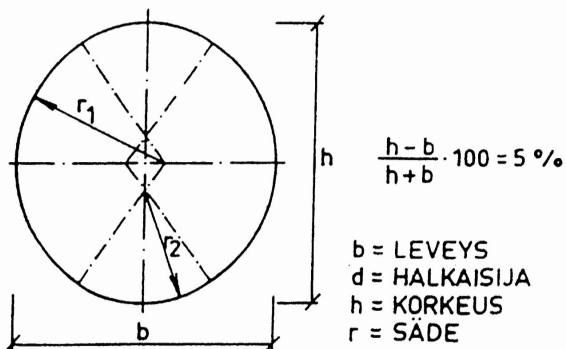
Kuva 1. Matalarakenteisen putken poikkileikkaus.

Alikulkukäytävätyyppiä käytetään nimensä mukaisesti pääasiassa alikulkukäytävänä. Suurta alikulkukorkeutta tarvittaessa alikulkukäytävä- ja elliptinen muoto ovat toistensa vaihtoehtoja.



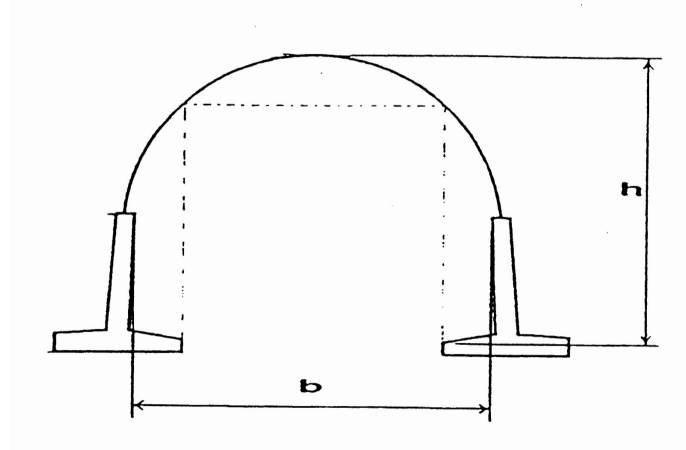
Kuva 2. Alikulkukäytävätyyppisen putken poikkileikkaus.

Elliptinen putki (elliptisyys pystysuunnassa 5 %) on vaihtoehtoinen rakenne pyöreälle putkelle tai alikulkukäytävätyypille. **Vaakaelliptinen** putki (elliptisyys vaakasuunnassa 15 %) soveltuu käytettäväksi matalarakenteisen putken vaihtoehtona.



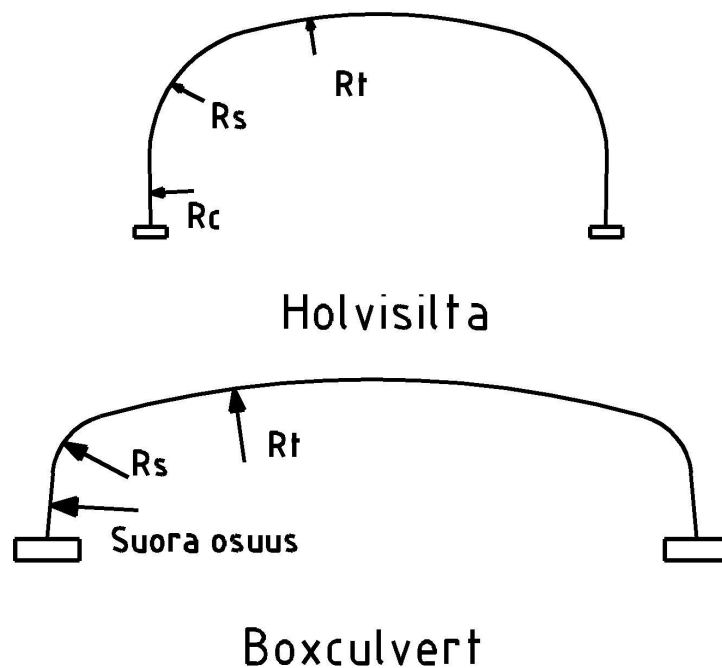
Kuva 3. Elliptisen ja vaakaelliptisen putken poikkileikkaus.

Teräsholvi on rakenne, jolla on erilliset perustukset, yleensä teräsbetonian-
turat. Sen pääasiallisia käyttökohteita ovat kantavalle perusmaalle rakennet-
tavat alikulkukäytävät, alikäytävät ja vesistösiljat. Vesistösiljan uoma säilyy
tällöin maapohjaisena.



Kuva 4. Teräsholvin poikkileikkaus.

Edellä mainittujen teräspanki- ja teräsholvisiltatyypin lisäksi ruotsalaisessa
mitoitushjeessa /7/ on kuvattu kahta muuta tyyppiä, jotka ovat **holvisilta** ja
boxculvert silta. Holvisilta muodostuu kolmesta eri kaarreosasta ja se sovel-
tuu hyvin alikulkukäytäviin. Kehämallinen boxculvert silta on holvisillan ta-
paan alikulkukäytävän tapainen silta mutta se soveltuu myös risteyslaitoihin.
Tämä ohje kattaa myös näiden siltojen suunnittelun, joskin Suomessa näitä
siltatyyppejä on hyväksytty toistaiseksi vain hankekohtaisesti.



Kuva 5. Holvisilta ja boxculvert silta /7/.

3.1.2 Putken rakenne

Aallotetut teräspanket jaetaan rakenteeltaan seuraaviin ryhmiin:

- monilevyrakenne
- kierresaumaputki
- teräsholvi.

3.2 Putken valinta

Putken koon, muodon ja rakennetyypin valinta tehdään rakennuspaikan olosuhteiden ja rakenteellisen mitoituksen perusteella vaihtoehtoja vertailemalla. Vertailussa otetaan huomioon mm. seuraavat tekijät:

- käyttötarkoitus
- ulkonäkö
- hydraulinen mitoitus
- pengerkorkeus
- pohjaolosuhteet
- veden ja maan laatu
- kustannukset.

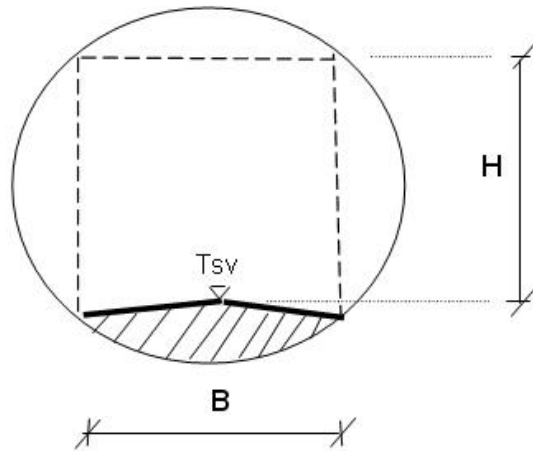
3.2.1 Käyttötarkoitus

Vesistö sillan tyyppi valitaan lähinnä vaaditun aukon koon ja kunnossapitönäkökohtien perusteella. Käyttötarkoituksen kannalta tyyppin valintaan vaikuttava tekijä on veneliikenne.

Alikulkukäytävän tyyppin valintaan käyttötarkoituksen kannalta vaikuttavia tekijöitä ovat kevyt liikenne, maatalous ja ulkoilu. Aukon koko mitoitetaan alikulkevan liikenteen ja kunnossapitokaluston vaatiman tilan mukaan.

Liikenteen vaatiman aukon mitat määritetään yleensä tien rakennussuunnitelmassa. Jos aukkovaatimusta ei ole annettu, alikulkukäytävien suorakaitteen muotoisen vapaan liikennetilan leveyden ja korkeuden vähimmäismitat ovat (kuva 6):

- Koneellisesti kunnossapidettävissä alikulkukäytävissä
 - leveys $B \geq 3,5 \text{ m}$
 - korkeus $H \geq 3,0 \text{ m}$.
- Luontopoluilla ja eläinten kulkua varten rakennettavissa tunneleissa, joissa ei ole koneellista kunnossapittoa
 - leveys $B \geq 2,0 \text{ m}$
 - korkeus $H \geq 2,5 \text{ m}$.



Kuva 6. Alikulkukäytävän vapaan liikennetilan vähimmäismitat.

Kun teräsputkisilta toimii risteyssiltana, vapaan liikennetilan korkeuteen on lisättävä 0,5 metrin törmäysriskivara.

Sillan rakennussuunnitelmassa on aina esitettävä vaaditut liikennetekniset mitat, joita rakennustyössä ei saa alittaa.

3.2.2 Hydraulinen mitoitus

Vesistösillan aukkovaatimus määritetään yleensä alueellisen ympäristökeskuksen lausunnossa, jolloin hydraulista mitoitusta ei tarvitse tehdä. Tarvittaessa hydraulinen mitoitus vesiaukon koon ja putken pohjan korkeusaseman määrittämiseksi voidaan tehdä Tielaitoksen julkaisun *Teiden suunnittelu IV. Kuivatus* kohdan 4.46 mukaisesti [1].

Putken aukon kokoa ja muotoa määritettäessä otetaan vaihtoehtoina huomioon erimuotoiset yksittäiset putket sekä myös mahdollisuus käyttää kahta tai useampaa putkea rinnakkain. Kaksoisputken tai useampienkin putkien käyttö voi tulla kyseeseen, jos virtaama on suuri ja korkeutta on vähän käytettävissä. Putket voivat olla myös erikokoisia.

3.2.3 Pohjasuhteet

Sillan pohjasuhteet selvitetään Tiehallinnon ohjeessa *Sillan geotekniset suunnitteluperusteet* [2] annettujen vaatimusten mukaisesti. Osana pohjatutkimuksia selvitetään pohjamaan ja veden korroosio-olosuhteet.

Vaihtelevissa pohjaolosuhteissa on yleensä tarkoituksenmukaista selvittää pohjasuhteet siltapaikan alueella sellaisessa laajuudessa, että silta voidaan sijoittaa mahdollisimman edulliseen paikkaan.

3.3 Rakenteen kantavuusvaatimukset

Tiessä olevan rakenteen on kestävä Tiehallinnon suunnitteluohjeessa *Siltojen kuormat /3/* ja radassa olevan rakenteen on kestävä Ratahallintokeskuksen suunnitteluohjeessa *Rautatiesiltojen suunnitteluohjeet /4/* määritellyt suunnittelukuormat siinä esitetyillä varmuusperusteilla. Rakenteella ja sen perustuksilla tulee olla riittävä varmuus murtoon nähden eri murtotavat huomioon ottaen eikä niihin saa syntyä haitallisia muodonmuutoksia.

Tiehallinnon ohjeen *Sillan geotekniset suunnitteluperusteet /2/* mukaisesti sillan suunnittelija määrittää sillan sallitun painuman ja painumaeron. Sillan perustaminen suunnitellaan siten, että tämä vaatimus täyttyy. Rakenteen mitoitus tehdään luvussa 4 esitetyillä menetelmillä.

3.4 Materiaalivaatimukset

3.4.1 Betoni

Teräsholvin anturoissa käytetään säilyvyyden varmistamiseksi siltabetonia, jonka lujuusluokka ja pakkasenkestävyysvaatimus määritetään *Betonirakennusohjeiden /5/* mukaisesti ottaen huomioon sillan tavoitekäyttöikä.

3.4.2 Levymateriaali ja ruuvit

Monilevyrakenteen levymateriaalin tulee täyttää standardin SFS-EN 10025 *Kuumavalssatut rakenneteräkset* luokan S235 JR vaatimukset.

Kierresaumatun rakenteen levymateriaalin tulee täyttää standardin SFS-EN 10326 *Jatkuvatoimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut ohutlevyrakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot* tai standardin SFS-EN 10327 *Jatkuvatoimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut muovattavat ohutlevyteräkset. Tekniset toimitusehdot* vaatimukset.

Ruuvien myötölujuuden (R_{eL}) on oltava vähintään 320 MPa. Ruuvityypin on oltava putken toimittajan hyväksymä.

3.4.3 Metalliset pinnoitteet

Monilevyrakenteen kuumasinkityksen tulee täyttää standardin SFS-EN ISO 1461 *Teräs- ja valurautatuotteiden kuumasinkkipinnoitteet kappaletavaroille. Erittelyt ja koestusmenetelmät* vaatimukset. Standardissa määritellään keskimääräinen kerrospaksuus ja paikallinen vähimmäispaksuus. Vähimmäisvaatimukset sinkkikerroksen paksuudelle ovat taulukossa 1.

Taulukko 1. Monilevyrakenteen kuumasinkkipinnoitteen vähimmäispaksuuden vaatimukset.

Teräksen ainevahvuus (t)	Keskimääräinen kerrospaksuus (minimi) [μm]	Paikallinen kerrospaksuus (minimi) [μm]
$t \geq 6 \text{ mm}$	85	70
$3 \leq t < 6 \text{ mm}$	70	55
$1,5 \leq t < 3 \text{ mm}$	55	45

Kierresaumatun rakenteen kuumasinkityksen tulee täyttää standardin SFS-EN 10326 *Jatkuvatoimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut ohutlevyrakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot* tai standardin SFS-EN 10327 *Jatkuvatoimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut muovattavat ohutlevyteräkset. Tekniset toimitusehdot* vaatimukset. Standardit koskevat sekä sinkki- että alusinkkituotteita.

Standardeissa määritellään pinnoitteen massa molempien puolien yhteenlaskettuna arvona. Massan perusteella on taulukkoon 2 laskettu pinnoitteen paksuuden keskiarvo ja yhden mittausalueen vähimmäisarvo.

Taulukko 2. Sinkityksen paksuuden määrittäminen kierresaumatulle rakenteelle.

Sinkitys	Massa [g/m^2] (molemmat puolet yhteensä)		Paksuus [μm]	
	Kolmen ko- keen kes- kiarvo	Yhden ko- keen arvo	Molempien puolien keskiarvo	Yhden mitta- usalueen vä- himmäisarvo
Kuumasinkitys Z600	600	510	42	32
Kuumasinkitys Z840	840	714	60	46
Kuumasinkitys Z1000	1000	850	70	53
Kuumasinkitys Z1200	1200	1020	85	65

Pinnoitteet Z1000 ja Z1200 eivät vielä sisälly edellä mainittuihin jatkuvatoimisen kuumaupotusmenetelmän standardeihin. Niiden todentaminen tapahtuu kappaletavarastandardin SFS-EN ISO 1461 mukaan.

Sinkityksen paksuus ja lisäsuojauksen tarve määritetään käyttöikämitoituksessa.

Ruuvien ja muttereiden tulee olla kuumasinkittyjä ja sinkkikerroksen paksuuden 45 µm. Ruuvien väljyys on valittava siten, ettei sen sinkitys vaurioidu kiristettäessä.

3.4.4 Ei-metalliset pinnoitteet

Ei-metallisia pinnoitteita ovat maalit sekä polymeeripinnoitteet, kuten epoksi, polyuretaani tai polyeteeni. Nämä pinnoitteet ovat sinkityn teräspinnan lisäsuojausmenetelmiä.

Ei-metallisten pinnoitteiden osalta noudatetaan seuraavia standardeja:

- SFS-EN ISO 12944-1...8 *Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä.*
- SFS-EN 10169-1 *Orgaanisilla aineilla pinnoitetut (muovipinnoitetut) ohutlevyteräkset. Osa 1: Yleiset tiedot (määritelmät, materiaalit, toleranssit, koemenetelmät).*
- ASTM A742M *Specification for Steel Sheet, Metallic-coated, and Polymer Precoated for Corrugated Steel Pipe.*

3.5 Ympäristönsuojelulliset näkökohdat

Tämän ohjeen mukaisesti suunnitellut teräspuutkissat eivät aiheuta rakenteista johtuvia ympäristöhaittoja. Pintakäsittelyt tulee tehdä maalaamo-olosuhteissa ja sinkitys ja lisäsuojauksena käytettävät maalit ja muut pinnoitteet kuluavat niin hitaasti ja pieninä pitoisuuksina, ettei niistä ole vaaraa ympäristölle.

4 SUUNNITTELU

4.1 Rakenteellinen mitoitus

4.1.1 Putkeen kohdistuvat kuormat

Suunnittelukuormat ovat Tiehallinnon tai Ratahallintokeskuksen voimassa-olevien suunnitteluohjeiden mukaiset /3, 4 ja 6/.

Maan paino

Putkeen kohdistuvasta ympäristäytöstä ja rakennekerroksista aiheutuva pystysuora paine määritetään kaavalla

$$p_m = \gamma * h_c, \text{ jossa} \quad (1)$$

γ = maan tilavuuspaino [kN/m³]

h_c = peitesyvyys [m] (pystysuora etäisyys maan pinnasta putken pintaan).

Laskelmissa teoreettinen peittosyvyys h_c tulee korvata ruotsalaisen mitoitushjeen mukaisella redusoidulla korkeudella $h_{c,red}$, joka on putken todellinen peittosyvyys kun täyttötöiden jälkeinen nousu on otettu huomioon.

Maan tilavuuspainona käytetään taulukon 5 mukaisia arvoja riippumatta pohjavedenpinnan tasosta.

Peitesyvyyden vähimmäisarvo on tiesilloissa 500 mm. Rautatiesilloissa peitesyvyyden vähimmäisarvo on radan korkeusviivasta (kv) mitattuna 1400 mm.

Liikennekuorma

Putkisiltojen kantavuuslaskennassa liikennekuorman jakaantuminen maassa ja kuormien kohdistuminen putkiprofiilille lasketaan käytettävän menetelmän mukaan. Kantavuuslaskentaa tehtäessä ruotsalaisen mitoitushjeen mukaan /7/ kuorman intensiteetti σ_v akselikuormista syvyydellä z lasketaan Boussinesqin kaavalla ja muutetaan sen jälkeen ekvivalentiksi viivakuormaksi syvyydellä z kaavan (2) mukaan.

$$p_{trafik} = \pi * h_c * \sigma_v / 2 \quad (2)$$

Ekvivalentti viivakuorma ei kuvaa todellista liikennekuormaa vaan se on laskennallinen tietä vastaan kohtisuorassa oleva viivakuorma [kN/m], jota käytetään putkisiltaan tulevien normaalivoimien ja taivutusmomenttien laskentaan.

Akselikuormien kanssa samanaikainen tasainen pintakuorma otetaan sellaiseen huomioon erikseen.

Rautatiesilloilla ekvivalenttia liikennekuormaa p_{trafik} laskettaessa peitesyvyytenä käytetään ratapölkkyjen alapinnasta mitattua peitesyvyyttä. Muussa laskennassa kuten esimerkiksi pysyvän kuorman vaikutuksen ja radan lii-

kennekuorman sysäyslisän laskennassa käytetään todellista peittosyvyyttä $h_{c,red}$. Rautatiesillat mitoitetaan suurimmalle taivuttavalle momentille ja vastaavalle normaalivoimalle sekä erikseen suurimmalle normaalivoimalle ja vastaavalle taivutusmomentille seuraavia laskentasääntöjä soveltaen:

1. Suurin taivuttava momentti:

Kuormana on kuormakaavion LM71-35 akselikuormat sysäyslisineen. Pohjapaine σ_v lasketaan akselikuormien keskipisteestä. Mikäli raiteita on useita, pohjapaine σ_v lasketaan määrävän raiteen akselikuormien keskipisteestä.

2. Suurin normaalivoima:

Silta mitoitetaan kuormakaavioille LM71-35 sysäyslisineen.

Kuormakaavion nauhakuorma voidaan korvata tasaisella pintakuormalla (kuva 8), jonka suuruus on

$$q = 120 \text{ kN/m} / (B + h_r) \quad (3)$$

Kuormakaavion akselikuormat voidaan korvata tasaisella ekvivalentilla pintakuormalla, jonka suuruus on

$$q' = 111 \text{ kN/m} / (B + h_r) \quad (4)$$

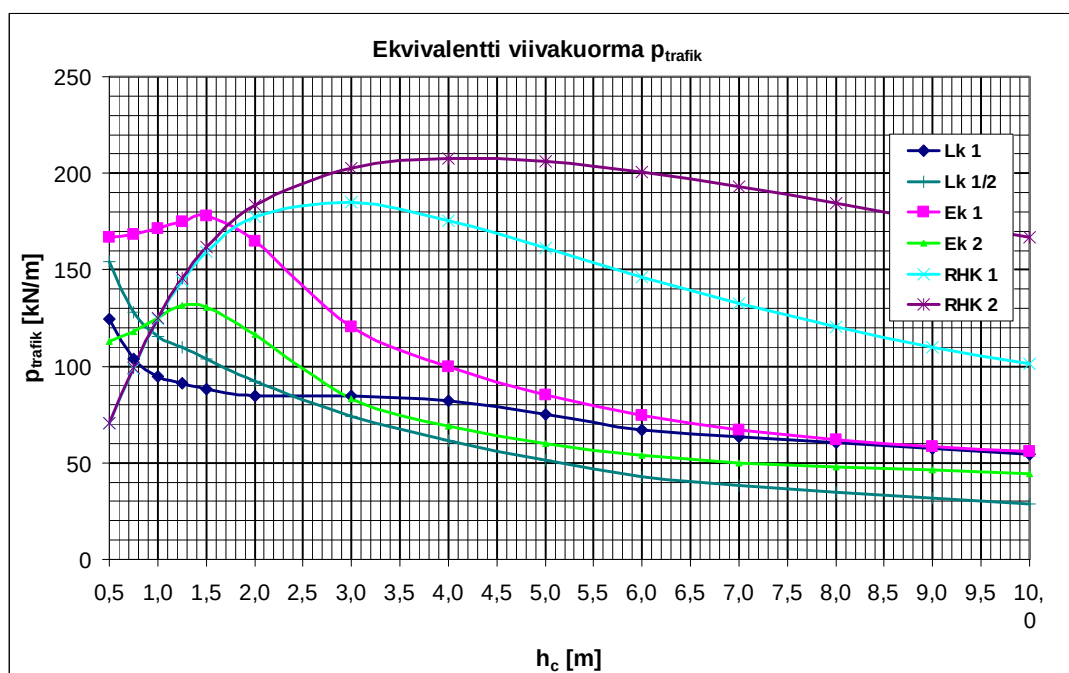
Kuormat q ja vaikutukset q' lasketaan yhteen. Koska pinta-alakuorma q' vaikuttaa 6,4 m:n pituudella, sen vaikutus voidaan ottaa huomioon erillisenä ekvivalenttina liikennekuormaa p_{trafik} samalla tavalla kuin akselikuormat kohdassa 1. Pohjapaine σ_v' lasketaan raiteen keskikohdalta ja sen suuruus on

$$\sigma_v' = 0,48 * \sigma_v. \quad (5)$$

Mikäli raiteita on useita, muiden kuin määrävän raiteen akselikuormat otetaan huomioon vastaavalla tavalla kuin kohdassa 1. Mikäli usean raiteen kuvan 8 mukaiset kuormitusalueet peittävät toisensa siten, että niiden kokonaisvaikutus suurenee, pintakuorma q lasketaan yhteenlasketun arvon mukaan.

Kuvassa 7 on valmiiksi laskettu ekvivalentti viivakuorma p_{trafik} tavanomaisille kuormitustapauksille, jotka ovat:

1. Lk1, Tiehallinnon kuormaohjeen /3/ mukaiset Lk1:n kuormakaavion 1 akselikuormat ($3 \cdot 210$ kN) kahdella kaistalla.
2. Lk1/2, Tiehallinnon kuormaohjeen /3/ mukainen Lk1:n kuormakaavion 2 akselikuorma (260 kN) kahdella kaistalla.
3. Ek1, Tiehallinnon kuormaohjeen /3/ mukaiset kuormaluokan 1 teli-kuormat saman ohjeen mukaisine sysäyslisineen.
4. Ek2, Tiehallinnon kuormaohjeen /3/ mukaiset kuormaluokan 2 teli-kuormat saman ohjeen mukaisine sysäyslisineen.
5. RHK1, Ratahallintokeskuksen suunnitteluohjeiden RSO /4/ osan 2 mukaisen kuormakaavion LM71-35 akselikuormat yhdeltä raiteelta ilman sysäyslisää.
6. RHK2, kohdan 5 mukainen Ratahallintokeskuksen suunnitteluohjeiden mukaiset akselikuormat kahdelta raiteelta ilman sysäyslisää. Raitteiden keskiöetäisyys on 4,5 m.



Kuva 7. Ekvivalentti viivakuorma.

Kuormiin Lk1 ja Lk1/2 sisältyy dynaaminen lisä. Peitesyvyyden kasvaessa yli 2 metriin dynaaminen lisä voidaan pienentää /7/ kaavojen (6) mukaisella kertoimella r_d seuraavasti:

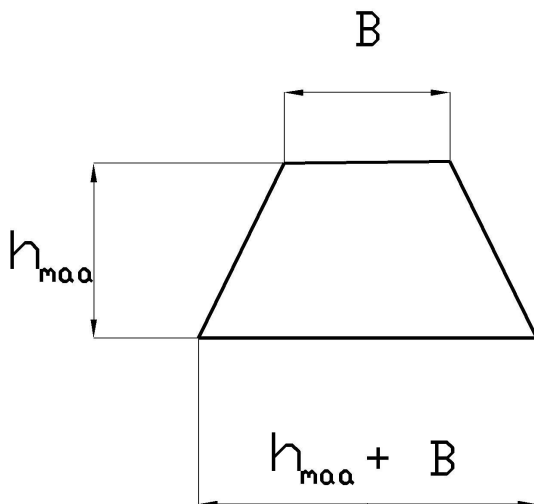
$$\begin{aligned} r_d &= 1 & \text{kun} & \quad h_{c,\text{red}} < 2 \text{ m} \\ r_d &= 1,1 - 0,05 \cdot h_{c,\text{red}} & \text{kun} & \quad 2 \text{ m} \leq h_{c,\text{red}} \leq 6 \text{ m} \\ r_d &= 0,8 & \text{kun} & \quad h_{c,\text{red}} > 6 \text{ m} \end{aligned} \quad (6)$$

Tämä pienennys on otettu huomioon Lk1:n ja Lk1/2:n kuvaajissa kuvassa 7. Vastaavia vähennyksiä ei tehdä kuormista Ek1 ja Ek2. Kuvassa 7 on kuor-

mien Ek1 ja Ek2 sysäyslisät eri peitesyvyyksillä laskettu Tiehallinnon kuormaohjeen /3/ mukaan.

Toisin kuin tieliikennekuormissa, junakuormien sysäyslisä lisätään kuvasta 7 saatuihin arvoihin. Sysäyslišan suuruus riippuu peitesyvyydestä h_c ja putken vaakamitasta D . Junakuorman sysäyslisä Δ_2 määritetään RSO 2 /4/ mukaan käyttäen nimellisen jännemitan arvoa $L\phi = D$.

Putkisiltojen kantavuutta laskettaessa FEM- tai vastaavilla menetelmillä pyöräkuormien jakaantuminen määritetään ko. menetelmän mukaisesti siten, että pyörien kuormituspinnot ovat ohjeen *Siltojen kuormat* /3/ mukaiset. Laskelmien yksinkertaistamiseksi FEM laskenta voidaan suorittaa tasotapauksena. Kuormien jakautumisen tien poikkisuuntaan voidaan olettaa olevan kuvan 8 mukainen.



B = pyörä- tai telikuorman leveys tai rautatiesilloilla ratapölkyn leveys ($B = 2,6$ m betonipölkylle)

h_{maa} = peitesyvyys tieliikennekuormien kohdalla = h_c

h_{maa} = peitesyvyys pölkyn alapinnasta junakuormien kohdalla

Kuva 8. Pyörä- tai muun pintakuorman jakautuminen tien poikkisuunnassa.

FEM-menetelmän käyttö siltojen mitoituksessa tulee kysymykseen vain tapauskohtaisesti. Tällöin on sovittava tilaajan kanssa mm.,

- millä testeillä laskentamenetelmän sopivuus maan ja teräksen yhteistoiminnalle varmistetaan
- mitä maaparametreja ja osavarmuuskertoimia tulee käyttää käyttö- ja murtorajatilassa
- tuleeko laskennan ja työsuorituksen varmistamiseksi tehdä siltojen koe-kuormituksia todellisen kantavuuden varmentamiseksi
- millä putken ja maan välisen kitkan arvoilla laskentoja tehdään.

4.1.2 Voimasuureiden laskeminen

Ruotsalaista mitoitushjetta /7/ voidaan soveltaa jäljempänä mainituin muutoksiin, kun tien pituuskaltevuus on enintään 10 %. Mitoitushjeen käyttö edellyttää myös, että täyttäjien laajuus, poikkileikkauksen kaarevuussäteiden suhteet, rakenteen jäykkyys jne. täyttävät saman ohjeen vaatimukset.

Ruotsalaisen ohjeen /7/ kaavat on laadittu etupäässä tapaukselle, missä putkisilta on sijoitettu kaivantoon. Putkisilta voidaan tulkita kaivantoon sijoitukseksi myös silloin, kun sillan kohdalla on penger edellyttäen, että joku ehdoista 1–3 täyttyy:

1. Putken korkeudesta 2/3-osaa on ympäröivän maanpinnan alapuolella.
2. Tie- tai ratapenkereen yläosan leveys on vähintään 2 kertaa suurempi kuin putken suurin vaakamitta D.
3. Tienpenkereen luiskakaltevuus putken kohdalla on vähintään 1:1,75.

Tapauksissa, missä yllä mainitut ehdot eivät täyty, sillan päällä olevan maan holvivaikutusta ei oteta huomioon mitoituksessa ($S_{ar} = 1$, käsikirja /7/).

Lukuun ottamatta liikennekuormasta aiheutuvaa taivutusmomenttia voimasuureet lasketaan erikseen maan omalle painolle ja liikennekuormalle ruotsalaisen mitoitushjeen /7/ mukaan.

Täyttötyötä tehtäessä putken laki nousee ja se pienentää tehollista peittösyvyyttä, mikä pitää ottaa huomioon laskelmissa. Laen nousun suuruus on laskettava ja merkittävä suunnitelmapiirustuksiin.

Normaalivoima

Normaalivoiman oletetaan vaikuttavan samansuuruisena koko putken kehällä.

Maanpainosta aiheutuvaa normaalivoimaa laskettaessa otetaan huomioon maan holvaantuminen putken yläpuolella suurilla täyttösyvyyksillä.

Momentti

Liikennekuorman aiheuttama taivutusmomentti lasketaan kaavojen 7...10 mukaan. Menetelmä poikkeaa ruotsalaisessa ohjeessa esitetystä.

$$M_t = f_4' \cdot f_4'' \cdot f_4''' \cdot f_4^{IV} \cdot D \cdot p_{trafik} + S_{ar} \cdot (R_t/R_s)^{0,75} \cdot f_1 \cdot f_{2,överf} \cdot q \cdot D^2 \geq 0 \quad (7)$$

Kertoimet f_4'' , f_4^{IV} , D, S_{ar} , f_1 , $f_{2,överf}$ ja q ovat samat kuin ruotsalaisessa ohjeessa /7/.

Kertoimen f_4' arvo saadaan kaavasta (8) ja kertoimen f_4''' arvo kuvasta 9 tai kaavasta (9).

$$f_4' = 1 - 0,20 * \log_{10}(\lambda_f) \quad (8)$$

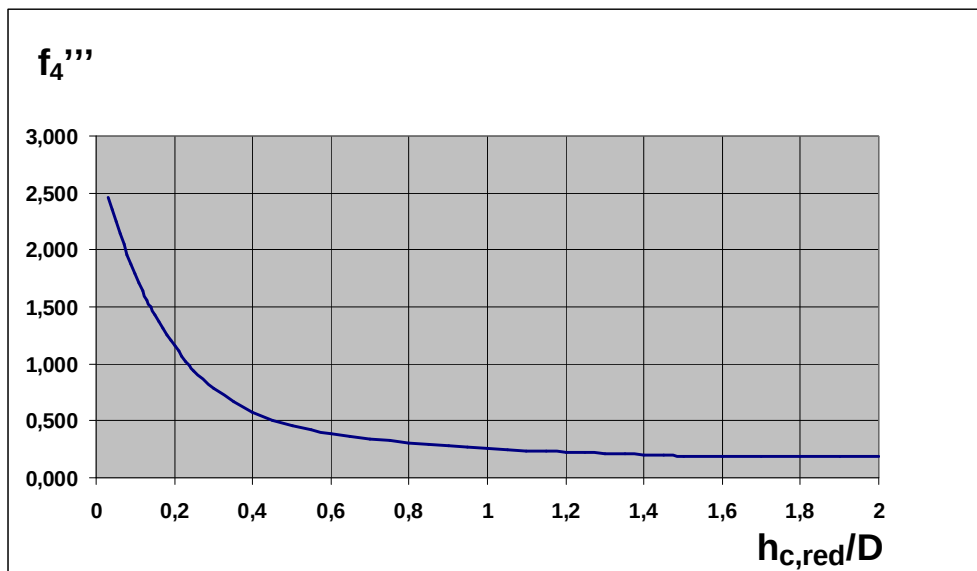
$$f_4''' = (0,3494k^6 - 2,405k^5 + 6,7051k^4 - 9,7382k^3 + 7,8598k^2 - 3,4532k + 0,7502) / 0,265 \quad (9)$$

Kaavassa (9) käytettävä muuttuja k:

$$k = \min \{ h_{c,red}/D ; 1,5 \} \quad (10)$$

Mitoittava momentti putken laessa kehittyy kolmessa vaiheessa:

- Kun täyttötyö saavuttaa putken laen, putken katossa on työnaikainen negatiivinen momentti suurimmillaan.
- Kun täyttötyö on valmis, putken laessa on täysi pysyvien kuormien aiheuttama momentti. Momentti on pienillä täyttösyvyyksillä negatiivinen, muuten positiivinen.
- Kun täyttötyö on valmis ja putkea kuormittaa liikennekuorma, putken laen momentti on täysin kehittynyt. Tämä momentti on usein positiivinen.



Kuva 9. Kerroin f_4''' .

Putkille, joissa säteiden suhde $R_t/R_s \geq 1$, voidaan putken sivualueella vaikuttava momentti laskea seuraavilla ohjeilla:

- omanpainon aiheuttama momentti on -2/3 putken laessa vaikuttavasta momentista
- liikennekuorman aiheuttama momentti on -1/3 putken laessa vaikuttavasta momentista

sivualueella liikennekuorman aiheuttama momentti käyttörajatilassa laskeaan aina kaavalla $M_{td.s.sivu} = -\Psi\gamma_{trafik.s} * M_t/3$.

4.1.3 Mitoitus

Tiesilloilla pienin sallittu levypaksuus on 3 mm, kun putken halkaisija on $\geq 2,5$ m, ja 2,5 mm, kun putken halkaisija on $< 2,5$ m.

Rautatiesilloilla pienin sallittu levypaksuus on $0,001 \cdot \text{halkaisija}$ mutta vähintään 4 mm, kun putken halkaisija on $\geq 2,5$ m, ja vähintään 3,5 mm, kun putken halkaisija on $< 2,5$ m.

Ellei tilaaja ole toisin ilmoittanut, uudet teräsputki- ja teräsholvisillat suunnitellaan siten, että teräslevyn paksuus ja pulttiliitosten lujuus on sama koko poikkileikkauksessa. Tällä tavalla ennakoidaan putkisillan pohjaosan voimakkaampi syöpyminen. Putkisiltojen kantavuustarkasteluja tehtäessä todelliset levypaksuudet, pulttiliitosten lujuudet ja rasiutusten todellinen jakautuminen voidaan ottaa kantokykyä arvioitaessa huomioon.

Teräksen myötöraja määräytyy Tiehallinnon *Teräsrakenneohjeiden* /8/ mukaan. Kun kierresaumattuja putkiprofiileja tehdään kylmämuokkaamalla matalarakenteisiksi putkisilloiksi, teräksen myötöraja on jaettava ylimääräisellä varmuuskertoimella $\gamma = 1,15$.

Poikkileikkauksen paikallinen lommahtaminen lasketaan ruotsalaisen ohjeen /7/ liitteen 1 tai Suomen rakentamismääräyskokoelman teräsrakenneohjeen B7 /9/ mukaisesti. Mikäli putkiprofiili on pienen taivutussäteen vuoksi aallotettu myös poikittain, myötömomentti on ruotsalaisen ohjeen mukaisesti rajoitettava 60 prosenttiin aallottamattomasta arvosta. Samansuuruinen vähennys on tehtävä myös rakenteen taivutusjäykkyydestä. Tämä koskee vain yli 5 mm:n paksuisia levyjä. Alle 5 mm:n paksuisissa levyissä taivutuskapasiteetin pienennys on laskettava erikseen.

Teräsputkisillan nurjahtaminen, riittävä jäykkyys asennusaikana ja maanpaineen ylittyminen elliptisen sillan alanurkassa tarkistetaan tekemällä ruotsalaisen ohjeen /7/ mukaiset tarkastelut ja varmistamalla, että putkisillan jäykkyyssarvot ja poikkileikkausosien taivutussäteiden suhteet sekä rakenteen jäykkyyksiluvut täyttävät saman ohjeen mukaiset vaatimukset.

Putkisillan valmistajan tulee käyttää liitoksissa yleensä ennalta testattuja ja hyväksytyjä erikoispultteja. Pultin kannan ja mutterin terästä vastaan tulevien kosketuspintojen tulee olla kartiomaisia tai vastaavalla tavalla muotoiltuja, jolloin kosketus aaltomaista teräspintaa vastaan saadaan tiukaksi ja kitkaa lisääväksi. Testauksessa on varmistettava, että erikoispulteilla on sama murto- ja väsymislujuus kuin ohjeen B7 standardin mukaisella pultilla. Pulttien lujuus voidaan edellä mainittujen ehtojen ja alla olevien lisäehtojen täyttyessä staattisessa mitoituksessa laskea ohjeen B7 mukaan käyttäen sekä veto- että leikkauslujuudelle 0,85-kertaisia lujuusarvoja (ks. ohje B7 /9/ kohta 5.1):

- pultin kestävyys on riittävä, kun poikkileikkausala huomioidaan sekä veto- että leikkaustarkastelussa pelkästään pultin jännityspoikkileikkausala
- reiän koko on enintään 4 mm pultin nimellishalkaisijaa suurempi
- pultin koko on vähintään M20
- jännityspinta-ala on vähintään $A_{\text{eff}} = 0,78 \times \text{bruttopinta-ala}$
- pultin kannat ja mutterit ovat niin muotoiltuja, ettei murtumista tapahdu

pultin tai levyteräksen kosketuspinnassa kun pulttia vedetään murtolujuuteen saakka reikää vasten, jonka suuruus on vähintään 4 mm pultin nimellishalkaisijaa suurempi

- pultin kannat ja mutterit ovat niin kestäviä, että murtuminen sekä veto-että väsymistestissä tapahtuu aina pultin varren eikä pultin kannan tai mutterin kohdalta; testausolosuhteiden tulee vastata putkisillan päittäisliitosta
- pulttien kiristys on InfraRYL:n /10/ kohdan 42040.3.5 taulukon 2 mukainen
- levyjen päittäisliitoksissa pultit on sijoitettu vähintään kahteen riviin ja pulttien vähimmäismäärä on yksi pultti jokaisen aallon harjalla ja pohjassa vuorotellen (kuva 10, vasen kuva)
- mitta a on vähintään 50 mm (kuva 10)
- ruuviliitos mitoitetaan yksileikkeisenä.

Mikäli pultin laskennallinen leikkauskestävyys ei ole vähintään 25 % suurempi kuin ohjeen B7 /9/ mukaan laskettu kestävyys reunarepeämää vastaan, leikkauslujuutta on vastaavasti alennettava. Kestävyys sekä reunarepeämää että leikkausta vastaan lasketaan pultin jännityspinta-alan tai sitä vastaavan pultin halkaisijan mukaan.

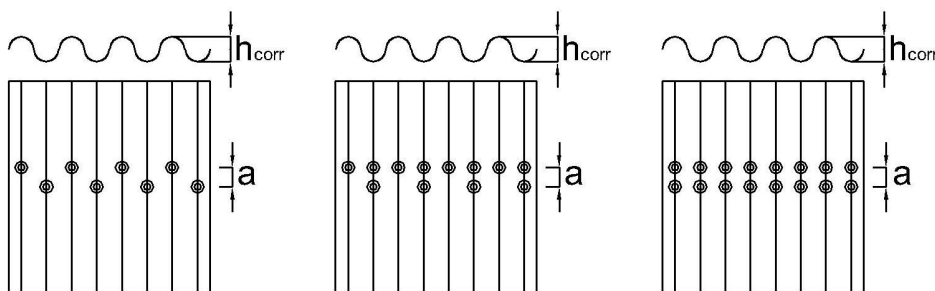
Pultin läpileikkautumislujuus on:

$$F_{Rp} < 0.6 * f_{yd} * t * \pi * D_b \quad (11)$$

t = jatkettavan teräksen ainespaksuus

D_b = mutterin tai pultin pään ulkohalkaisija.

Levyyn tehtyjen pultinreikien ei katsota vaikuttavan heikentävästi teräksen lujuuteen, kun pultit on asetettu kuvan 10 mukaisesti vähintään kahteen riviin ja pultteja on yhdessä rivissä enintään yksi per aallon harja tai pohja.



Kuva 10. Reikien vaikutus teräksen kestävyys.

Putken pituussuunnassa levyjen limityksen tulee olla vähintään puolen aallon pituinen. Limityskohtaan tulevien pulttien välinen etäisyys saa olla enintään 250 mm.

Mikäli pulttiliitos on rakenteellisesti suunniteltu siten, että liitettävät levyt eivät asetu tiiviisti toisiaan vasten, pultin leikkauslujuutta ei oteta huomioon (kuva 11). Suurimpana sallittuna rakona levyjen välissä pidetään pultin varren nimellishalkaisijan yhtä kymmenesosaa.



Kuva 11. Pultti, jolla ei ole leikkauslujuutta.

Putkisillan ja ruuviliitosten väsymiskestävyys määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman teräsrakenneohjeen /9/ luvun 7 mukaan ottaen huomioon putkisillan tavanomaista siltaa pienempi suunniteltu käyttöikä (tiesillat 50 vuotta, rautatiesillat 100 vuotta). Kuormasykliä lukumäärä on tiesilloilla $1 \cdot 10^6$ yleisemmin käytetyn arvon $2 \cdot 10^6$ sijasta. Rakenneluokka on tieliikenteen silloissa 2, kun aukkomitta D on enintään 5 m, ja muussa tapauksessa 1. Rautatiesilloissa rakenneluokka on aina 1.

Pultin varren väsymiskestävyyttä laskettaessa nimellislujuuksina käytetään euronormeissa annettuja arvoja, jotka ovat taulukossa 3.

Taulukko 3. Teräksen väsymislujuudet.

	$2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
Veto, Δf_{ekv}	50	63
Leikkaus, Δf_{vekv}	100	126
Leikkaus, redusoitu $\Delta f'_{vekv}$	32	40

Koska edellä leikkaukselle annettu arvo Δf_{vekv} koskee vain tapausta, missä leikkautuminen tapahtuu pultin sillä osalla, missä ei ole kierrettä, nimellislujuutena käytetään kuitenkin redusoitua arvoa $\Delta f'_{vekv} = 32$ tai 40 N/mm^2 .

Väsymisrajan laskenta-arvo Δf_d saadaan jakamalla ominaisvärähtelyraja Δf_k osavarmuuskertoimella, joka on tiesilloilla $\gamma_m = 1,4$ vapaan aukon ollessa alle 5 m ja muulloin $\gamma_m = 1,6$. Ratasilloilla väsymisen osavarmuuseroin on aina $\gamma_m = 1,6$. Väsymislujuuden laskenta-arvo saadaan taulukosta 3. Väsymismitoitusta ei tehdä erikoiskuormille (Ek1 ja Ek2) eikä Lk1/2 kuormalle eikä myöskään pulttiliitoksissa teräksen reunarepeämälle eikä läpileikkautumiselle.

Lopulliset mitoituksessa käytettävät väsymiskestävyysarvot on annettu taulukossa 4.

Taulukko 4. Väsymisrajan laskenta-arvot.

Tarkasteltava osa	Tiesillat $D \leq 5,0$ m ($\gamma = 1,4$) Δf_d [N/mm ²]	Tiesillat $D > 5,0$ m ($\gamma = 1,6$) Δf_d [N/mm ²]	Rautatiesillat ($\gamma = 1,6$) Δf_d [N/mm ²]
Teräsännitys aallon suunnassa	107	93	74
Poikittain aallotettu profiili	84	73	58
Ruuvien leikkaus	28	24	19
Ruuvien veto	45	39	31

Teräksen jännitysvaihtelu lasketaan liikennekuorman normaalivoimalle ja taivutusmomentille ruotsalaista mitoitusohjetta /7/ käytettäessä. Liikennekuorman tai junakuorman aiheuttaman taivutuksen vaihtelu on $1,5 \cdot \Psi \cdot |M_t|$. Pulttiliitoksen väsymistä laskettaessa vastaava vaihtelu on $\Psi \cdot |M_t|$.

Väsymistä laskettaessa muualla kuin putken lakipisteessä taivutusmomentin suurinta arvoa voidaan redusoida peitesyvyyden paksuuden lisääntyessä tai sivupeltien alueella ruotsalaisen ohjeen /7/ mukaisesti. Mikäli pulttiliitos sijaitsee laki- ja sivupellin rajapinnassa, taivutusmomenttina voidaan käyttää alueiden maksimimomenttien itseisarvojen keskiarvoa.

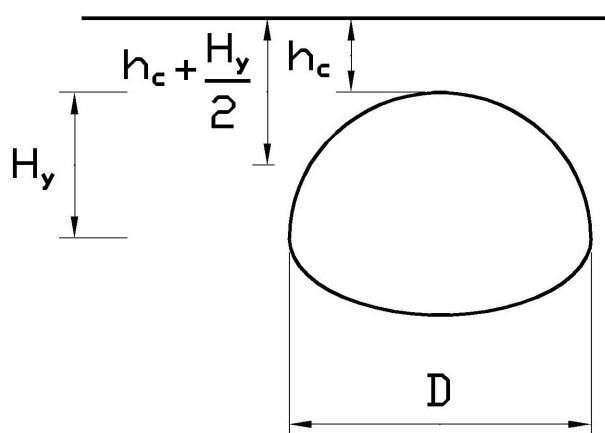
Teräsputkisillan alus- ja ympärystäytön maaparametreina käytetään taulukossa 5 ja kuvassa 13 esitettyjä arvoja, kun alus- ja ympärystäytöt täyttävät teräsputkisilltojen rakentamisen laatuvaatimuksissa /11/ esitetyt materiaali- ja tiiviyksvaatimukset. Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.

Taulukko 5. Alus- ja ympäristötäytön maaparametrit.

	Kantavan tai jakavan kerroksen materiaali (murske G _p 0/63)	Jakavan kerroksen materiaali (luonnonsora)
Tangenttimoduuli (MPa) kun $h_c + H_y/2 = 1$ m	48	38
Tangenttimoduuli (MPa) kun $h_c + H_y/2 = 10$ m	65	55
Sisäinen kitkakulma ϕ_k (°)	45	40
Tilavuuspaino γ (kN/m ³)	21	20

h_c = täyttösyvyys (m)

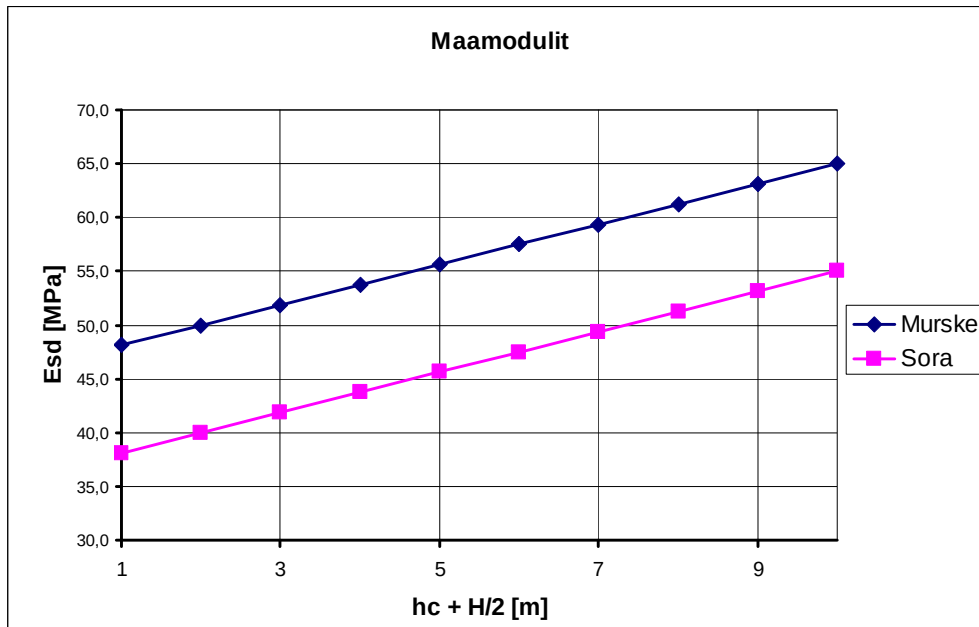
H_y = putken yläosan korkeus (m), mitataan putken uloimmista pisteistä putken lakipisteeseen.



Kuva 12. Maamoduulin tarkastelusyvyys.

Suunnittelijan tulee ilmoittaa mitoituksessa käyttämänsä täyttömaalajit ja maaparametrit sekä laskelmissa että piirustuksissa. Mikäli maalajit rakennustyön aikana muutetaan, asia käsitellään suunnitelmanmuutoksena.

Mikäli rakentamistyössä ei saavuteta alus- ja ympäristäytölle vaatimukseksi asetettua tiiviysastetta 95% parannetulla proctorkokeella määritetystä maksimi kuivairtotilavuuspainosta, on taulukossa 5 tai kuvassa 13 esitetyjä moduularvoja redusoitava. Mikäli saavutettu tiiviysaste on 92 %, kerrotaan moduularvot kertoimella 0,65. Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.



Kuva 13. Maamoduuli eri syvyyksillä (95% parannettu Proctor)

4.1.4 Rakenteen varmuus

Rakenteiden voimasuureet voidaan laskea ruotsalaisen ohjeen *Dimensionering av rörbroar* /7/ mukaan käyttäen suomalaisten ohjeiden mukaisia kuorma- ja materiaaliosavarmuuskertoimia. Taulukon 6 kuormien ja materiaalien osavarmuuskertoimet ovat taulukossa mainituin poikkeuksin Tiehallinnon ohjeiden *Siltojen kuormat* /3/ ja *Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa* /12/ mukaiset.

Yläpuolisen ja ympäristäytön ominaisuuksien vaihtelut otetaan huomioon kerrosten kuormavarmuuskertoimien avulla. Ympäristäytön ja yläpuolisen oman painon kuormavarmuuskertoimet tulee valita sen mukaan, miten saadaan epäedullisin vaikutus. Samalle maamateriaalille ei kuitenkaan tarvitse asettaa eri varmuuskertoimia, kun sitä käytetään sekä yläpuolisessa että ympäristäytössä.

Taulukko 6. Varmuuskertoimet.

Kuormakertoimet		
Pysyvä kuorma, käyttörajatila	$\Psi_{\gamma_{jord.s}}$	1
Pysyvä kuorma, murtorajatila max	$\Psi_{\gamma_{jord.u.max}}$	1.2 tai 0.9
Tiesillat:		
- Liikennekuorma, käyttörajatila	$\Psi_{\gamma_{trafik.s}}$	1.0 tai 0
- Liikennekuorma, murtorajatila	$\Psi_{\gamma_{trafik.u}}$	1.8 tai 0
- Raskas erikoiskuorma, murtorajatila	$\Psi_{\gamma_{trafik.u}}$	1.4 tai 0
- Liikennekuorma, väsytyksrajatila	$\Psi_{\gamma_{trafik.f}}$	$0.4-0.02 \cdot D \geq 0.25$
Rautatiesillat:		
- Junakuorma, käyttörajatila	$\Psi_{\gamma_{trafik.s}}$	1.0 tai 0
- Junakuorma, murtorajatila	$\Psi_{\gamma_{trafik.u}}$	1.6 tai 0
- Junakuorma, väsytyksrajatila	$\Psi_{\gamma_{trafik.f}}$	$0.8-0.5 \cdot [\log_{10}(D)-0.3]$
Materiaalikertoimet		
Teräs, käyttörajatila	$\gamma_{n.s.stål}$	1.0
Tiesillat:		
- Teräs, murtorajatila	$\gamma_{n.u.stål}$	1.0 kun $D \leq 3$ m $1+0.05 \cdot (D-3)/m$ kun $3 \text{ m} < D < 5 \text{ m}$ 1.1 kun $D > 5 \text{ m}$
- Teräs, väsytyksrajatila	$\gamma_{n.f}$	1.4 kun $D \leq 5 \text{ m}$ 1.6 kun $D > 5 \text{ m}$
Rautatiesillat:		
- Teräs, murtorajatila	$\gamma_{n.u.stål}$	1.1
- Teräs, väsytyksrajatila	$\gamma_{n.f}$	1.6
Geotekniset varmuuskertoimet		
Kitkakulman varmuus, käyttörajatila	$\gamma_{k.\phi}$	1.00
Tangenttimoduulin varmuus, käyttörajatila	$\gamma_{k.E}$	1.00
Kitkakulman varmuus, murtorajatila	$\gamma_{m.\phi}$	1.25
Tangenttimoduulin varmuus, murtorajatila	$\gamma_{m.E}$	1.25

4.1.5 Sallitut mittapoikkeamat

Putken suunnittelumitoissa tulee ottaa huomioon rakentamista koskevat valmiin rakenteen laatuvaatimukset ja toleranssit /11/, erityisesti seuraavat putken lopulliseen valintaan liittyvät vaatimukset: Sillan vapaa-aukon sallittu poikkeama sillan rakennussuunnitelmassa esitetystä mitasta on $\pm 2,5$ % ja putken korkeuden ± 2 % vapaa-aukon mitasta laskettuna. Rakennussuunnitelmassa esitetyt liikennetekniset mitat ja peitesyvyyden vähimmäisarvo (tiesilloissa 500 mm, rautatiesilloissa 1400 mm) eivät saa alittua.

Suunnitelmissa on esitettävä aukon vapaan sisätilan mitat tai kuvan 5 mukaiset aukon liikennetekniset mitat, joita ei saa alittaa. Rakennussuunnitelma on päivitettävä vapaa-aukon ja korkeuden mittojen osalta, kun lopullinen putkityyppi on valittu.

Ilman uutta mitoitusta putken korkeus- ja/tai leveysmittoja saa muuttaa korkeintaan $0,01 \cdot D$, kuitenkin enintään 50 mm ja vain siten, että muotopoikkeama säilyy em. suuruisena ja kaikkialla samansuuntaisena poikkileikkauksen kaikissa osissa. Putken teräsmateriaalin lujuutta tai aallotetun levyn jäykkyyttä, taivutusvastusta, pinta-alaa tai muita levyn lujuuteen ja jäykkyyteen vaikuttavia arvoja ei saa alentaa.

4.2 Käyttöikämitoitus

4.2.1 Yleistä

Käyttöikämitoituksella pyritään varmistamaan putken säilyvyys suunnitteluikänsä tai erikseen asetetun tavoiteikänsä saavuttamiseksi.

Teräsputken ja sen eri osien käyttöolosuhteet selvitetään ja niiden perusteella määritetään tarvittavat lisäsuojaustoimenpiteet, joilla tavoitteena oleva käyttöikä saavutetaan. Selvityksessä käytetään hyväksi olosuhdeluokitusta ja mitoitus tehdään kohdan 4.2.6 mukaisesti. Menettelyn avulla lasketut käyttöiät eivät ole tarkkoja mutta ne osoittavat käyttöiän suuruusluokan ja niitä voidaan käyttää eri vaihtoehtojen vertailussa.

4.2.2 Veden laadun vaikutus

Veden laadulla ja jatkuvalla virtausnopeudella on ratkaiseva merkitys putkityypin ja lisäsuojauksen valinnassa. Ilman lisäsuojausta teräsputken korroosio voi tietyissä olosuhteissa olla nopeaa.

Korroosio vedessä riippuu useista eri tekijöistä. Vesi voi sisältää syövyttäviä aineita joko liuenneena tai hiukkasina. Virtaava vesi ja siinä olevat maa-ainekset aiheuttavat putken suojauskerrosten kulumista.

Suunnittelun lähtötiedoiksi ja olosuhdeluokan määrittämiseksi tarvitaan veden pH-arvo ja virtausnopeus. Veden pH-arvo on mitattava siltapaikkatutkimuksissa. Vanhaa putkisiltaa uusittaessa voidaan käyttää Siltarekisterin tarkastustiedoissa olevaa pH-arvoa, jos sen päivitys on enintään 5 vuotta vanha. Mitoitusvirtausnopeus lasketaan uoman keskiylivirtaamasta, jonka arvo

saadaan Ympäristökeskuksen aukkolausunnossa mainitusta ylivirtaamasta (HQ_{20}) ja vastaavasta uoman poikkipinta-alasta vedenkorkeudella HW_{20} kertomalla näin saatu virtausnopeus luvulla 0,65.

4.2.3 Olosuhdeluokat

Putken eri osat luokitellaan käyttöolosuhteiden perusteella olosuhdeluokkiin 1–4. Olosuhdeluokat on aina ilmoitettava suunnitelmassa.

Olosuhdekerroin k_i ($i = 1–4$) liittyy olosuhdeluokkaan ja ilmoittaa putken ja sen suojakerrosten kulumisnopeuden olosuhdeluokkaan 1 verrattuna.

Mitoitusvirtausnopeutena olosuhdeluokissa käytetään keskimäärin kahden vuoden aikana uomassa esiintyvää keskimääräistä virtausnopeutta v_{HW} [m/s] yliveden HW tai ylivirtaaman HQ aikana.

Putken eri osat kuuluvat olosuhdeluokkiin 1–4 seuraavasti:

Olosuhdeluokka 1, olosuhdekerroin $k_1 = 1$

Alikulkukäytävä tai alikäytävä, kun sen paremmin yli- kuin alikulkevaakaan tietä ei suolata:

- koko putki lukuun ottamatta putken sisäpuolen reunaosia 0,5 metrin korkeudelta maanpinnan ylä- ja alapuolella

Vesistösilta:

- putken sisäpuolen yläosa 0,5 m keskivedenpinnan (MW) yläpuolelta
- putken ulkopuoli, kun ylikulkevaa tietä ei suolata

Olosuhdeluokka 2, olosuhdekerroin $k_2 = 1,5$

Alikulkukäytävä:

- putken sisäpuolen reunaosat 0,5 metrin korkeudelta maanpinnan ylä- ja alapuolella

Alikulkukäytävä tai alikäytävä, kun alikulkevaa tietä suolataan tai putki toimii karjatunnelina:

- putken sisäpuolen alaosa, ulottuen 0,5 m maanpinnan yläpuolelle.

Alikulkukäytävä ja vesistösilta, kun ylikulkevaa tietä suolataan eikä ympäristäyttyöön putken päälle ole rakennettu vedenpitävää suojausta:

- putken ulkopuoli kokonaan

Olosuhdeluokka 3, olosuhdekerroin $k_3 = 2,5$

Vesistösilta:

- putken sisäpuolen alaosa ulottuen 0,5 m keskivedenpinnan (MW) yläpuolelle, kun
 - veden pH on > 4 tai
 - lievästi hiova virtaus, hiekkapohja
 - mitoitusvirtausnopeus $< 1,5$ m/s ja $< 1,2 + \ln(h_{HW})/4$ [m/s], jossa h_{HW} on vastaava vedensyvyys [m]

Olosuhdeluokka 4, olosuhdekerroin $k_4 = 4$

Vesistösilta:

- putken sisäpuolen alaosa ulottuen 0,5 m keskivedenpinnan (MW) yläpuolelle, kun
 - veden pH on 3–4 tai
 - kohtuullisen hiova virtaus, hiekka- tai sorapohja
 - mitoitusvirtausnopeus $< 4,5$ m/s ja $< 3,1 + \ln(h_{Hw})$ [m/s], jossa h_{Hw} on vastaava vedensyvyys [m].

Olosuhdeluokitusta ei käytetä, vaan kohde suunnitellaan erikoistapauksena, kun

- veden pH on < 3 tai
- virtausnopeus $> 4,5$ m/s.

4.2.4 Teräsputken käyttöikään vaikuttavat tekijät

Teräsputken kestävyys korroosiota vastaan vaikuttavat levypaksuus, sinkitys ja lisäsuojaus.

Levypaksuus

Rakenteen säilyvyyteen ja muodonmuutosten välttämiseen perustuvat teräslevyn minimiainepaksuudet on esitetty kohdassa 4.1.3.

Käyttöikälaskelmissa voidaan syöpmisvaraksi laskea 20 % putken levypaksuudesta. Levypaksuuden osuus T1 putken käyttöiässä on siis $0,2 \times$ levypaksuus jaettuna syöpymisnopeudella. Lisäämällä levypaksuutta voidaan putken mitoitusikä lisätä, joskin keino on kallis ja tehoton.

Käyttöikämitoituksessa käytettävät teräsputken levypaksuuden syöpymisnopeudet eri olosuhdeluokissa on esitetty taulukossa 7.

Sinkitys

Sinkkikerroksen paksuutena käyttöikälaskelmissa käytetään taulukoiden 1 ja 2 keskimääräisen kerrospaksuuden arvoja. Sinkkikerroksen kestoajan osuus T2 putken käyttöiässä on sinkkikerroksen paksuus jaettuna syöpymisnopeudella.

Käyttöikämitoituksessa käytettävät sinkkikerroksen syöpymisnopeudet eri olosuhdeluokissa on esitetty taulukossa 7. Alusinkkikerros syöpyy vain 30 % sinkkikerroksen arvoista.

Lisäsuojaus maalaamalla tai pinnoittamalla

Sinkityksen ja epoksimaalauksen muodostama yhdistelmäpinnoitus on kestoältään 1,5-kertainen verrattuna osakerrosten yhteenlaskettuun kestoikään erillisinä kerroksina. Lisäsuojauksen kestoajan osuus T3 putken käyttöiässä on suojauksen kerrospaksuus jaettuna kulumisnopeudella.

Käyttöikämitoituksessa käytettävät maalausjärjestelmillä sekä muulla poly-

meeripinnoitteella tehtyjen lisäsuojauksen kulumisnopeudet eri olosuhde-
luokissa on esitetty taulukossa 7.

*Taulukko 7. Käyttöikämitoituksessa käytettävät syöpymis- ja kulumisnopeudet eri-
olosuhdeluokissa, $\mu\text{m}/\text{v}$.*

Materiaali	Olosuhde- luokka 1	Olosuhde- luokka 2	Olosuhde- luokka 3	Olosuhde- luokka 4
Levyypaksuus	30	45	75	120
Sinkitys	2	3	5	8
Epoksipiki- tai epoksitervamaali	4	6	10	15
Hartsimodifioitu epoksimaali	3	5	8	12
Muu polymeeri- pinnoite	2,5	3,5	6	9,5

4.2.5 Lisäsuojaus

Teräsputken lisäsuojaukseen tarvitaan sinkkipinnoitteen lisäksi vaativissa olo-
suhteissa ja erityisesti vesistöputken alaosaan, jossa vedenkorkeuden vaihtelu-
alue on vaurioitumisriskin. Lisäsuojaukseen tarvitaan yleensä, kun

- veden virtaus on voimakasta
- veden pH on alhainen
- putki asennetaan veteen ja täyttömateriaali on murskattua kiviainesta
- veneily tai muu liikenne saattaa aiheuttaa sinkitykseen vaurioita
- putken pääasiallinen käyttötarkoitus on karjatunneli
- ulkonäköseikoille asetetaan erityisiä vaatimuksia.

Lisäsuojausmenetelmänä tulevat kyseeseen

- maalaus
- muu polymeeripinnoitus
- suodatinkangas
- ruiskubetonointi
- katodinen suojaus.

Sinkin ja maalauksen muodostaman yhdistelmäpinnoitteen kestoikä on pi-
tempi kuin sinkki- ja maalikerrosten yhteenlasketut kestoiät. Lisäsuojauksen
käyttöikää lisäävä vaikutus lasketaan käyttöikämitoituksessa (kohta 4.2.6).

Maalaus- pinnoitustyössä sekä pintakäsittelysuunnitelman laatimisessa nou-
datetaan soveltuvin osin InfraRYL:n /10/ luvun 42050 ja SILKO-ohjeen 2.354
/13/ laatuvaatimuksia ja ohjeita.

Maalausjärjestelmät ja pinnoitus

Olosuhdeluokassa 1 lisäsuojausta ei yleensä tarvita vaan sinkitys on riittävä korroosiosuoja. Jos alikulkukäytävän näkyvään sisäpintaan halutaan tehdä lisäsuojaus ulkonäkösyistä, voidaan käyttää epoksi-polyuretaani maalausjärjestelmää EPPUR 160/3-FeZnSaS (TIEL 4.20), jolloin värisävyjä on valittavissa runsaasti.

Olosuhdeluokissa 1–3 käytettäviä lisäsuojausmenetelmiä ovat

- epoksipiki- tai epoksitervamaali CTE 120/2-FeZnSaS tai CTE 240/2-FeZnSaS (≈ TIEL 4.3)
- hartsimodifioitu epoksimaali (R)EP 120/2-FeZnSaS tai (R)EP 240/2-FeZnSaS (≈ TIEL 4.4)
- muu polymeeripinnoitus ≥ 250 µm.

Olosuhdeluokassa 4 käytettäviä lisäsuojausmenetelmiä ovat

- epoksipiki- tai epoksitervamaali CTE 240/2-FeZnSaS (≈ TIEL 4.3)
- hartsimodifioitu epoksimaali (R)EP 240/2-FeZnSaS (≈ TIEL 4.4)
- epoksipinnoitus EP 400/1-FeZnSaS.
- muu polymeeripinnoitus ≥ 250 µm (ks. kohta 3.4.4).

Jos mainittujen maalausjärjestelmien kerrospaksuus ei käyttöikämitoitusta tehtäessä riitä, sitä voidaan lisätä yhdellä 70 µm:n maalauskerroksella.

Suodatinkangas soveltuu käytettäväksi putken ulkopuolen sinkityksen ja lisäsuojauksen suojaamiseen rakentamisen aikana syntyviltä vaurioilta. Kun ympäristäytössä käytetään murskattua kiviainesta, suodatinkankaan käyttö lisäsuojaukseksi tehdyn maalauksen suojaamiseksi on välttämätöntä, pelkän sinkkipinnoitteen suojaamiseksi suositeltavaa. Suodatinkankaan käyttöluokan tulee olla N3. Rautatiesilloissa suodatinkangasta ei saa käyttää.

Ruiskubetonointia voidaan käyttää vesistöputkien pohjalevyjen suojaamiseen voimakkaan virtauksen aiheuttamaa kulumista vastaan. Yleensä ruiskubetonointia käytetään vain käyttöiän jatkamiseksi tarkoitettuna korjausmenetelmänä /14/.

Katodinen suojaus on mahdollinen vaihtoehto lisäsuojaukseksi olosuhdeluokissa 3 ja 4. Suojausta varten tarvitaan erikoisasiantuntijan tekemä silta-kohtainen suunnitelma ja jatkuva huoltosopimus. Yleensä katodinen suojaus tulee harkittavaksi vain käyttöiän jatkamiseksi tarkoitettuna korjausmenetelmänä.

4.2.6 Yksinkertaistettu käyttöikämitoitus

Käyttöikämitoitus tehdään erikseen kuhunkin olosuhdeluokkaan kuuluville putken osille.

1. Määritetään putken eri rasitusolosuhteissa olevien osien olosuhdeluokat (1, 2, 3 tai 4).

2. Lasketaan putken mitoituskäyttöikä KI seuraavista kaavoista:

a) sinkitty putki ilman lisäsuojausta

$$KI = T1 + T2$$

b) sinkitty putki lisäsuojattuna

$$KI = T1 + 1,5 * (T2 + T3)$$

joissa T1 = levypaksuuden osuus mitoituskäyttöiässä
T2 = sinkityskerroksen kestoikä
T3 = lisäsuojauksen kestoikä

Kestoikien T1, T2 ja T3 laskennassa tarvittavat tiedot ovat kohdassa 4.2.4.

3. Verrataan mitoituskäyttöikää suunnittelukäyttöikään tai asetettuun tavoitekäyttöikään ja sovitetaan osatekijät sellaisiksi, että mitoituskäyttöikä ylittää sen.

Tällä menettelyllä laskettu käyttöikä ei ole tarkka, joten verrattaessa laskettua mitoituskäyttöikää tavoitekäyttöikään sallitaan toleranssi –2 vuotta.

Esimerkki 1: Alikulkukäytävä, yli- ja alikulkevaa tietä kumpaakaan ei suolata. Levypaksuus 3,0 mm, sinkityksen paksuus 70 µm. Suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta.

Ulkopuoli ja sisäpuolen ylä- ja alaosa, olosuhdeluokka 1:

- $KI = T1 + T2 = 0,2 * 3000 \text{ µm} / 30 \text{ µm} + 70 \text{ µm} / 2 \text{ µm} = 20,0 + 35,0 = 55,0 \text{ v}$, joka on > 50 v.

Sisäpuolen reunaosat, olosuhdeluokka 2:

- $KI = T1 + T2 = 0,2 * 3000 \text{ µm} / 45 \text{ µm} + 70 \text{ µm} / 3 \text{ µm} = 13,3 + 23,3 = 36,6 \text{ v}$, joka on < 50 v.
- ➔ Lisäsuojaus, epoksipikimaali 120 µm, jolloin:
- $KI = T1 + 1,5 * (T2 + T3) = 0,2 * 3000 \text{ µm} / 45 \text{ µm} + 1,5 * (70 \text{ µm} / 3 \text{ µm} + 120 \text{ µm} / 6 \text{ µm}) = 13,3 + 1,5 * (23,3 + 20,0) = 78,3 \text{ v}$, joka on > 50 v.

Esimerkki 2: Vesistöputki, ylikulkevaa tietä suolataan, veden pH 3,5, virtausnopeus 2,5 m/s. Levypaksuus 3,5 mm, sinkityksen paksuus 70 µm. Suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta.

Sisäpuolen yläosa, olosuhdeluokka 1:

- $KI = T1 + T2 = 0,2 * 3500 \text{ µm} / 30 \text{ µm} + 70 \text{ µm} / 2 \text{ µm} = 23,3 + 35,0 = 58,3 \text{ v}$, joka on > 50 v.

Ulkopuoli, olosuhdeluokka 2:

- $KI = T1 + T2 = 0,2 * 3500 \text{ µm} / 45 \text{ µm} + 70 \text{ µm} / 3 \text{ µm} = 15,6 + 23,3 = 38,9 \text{ v}$, joka on < 50 v.
- ➔ Lisäsuojaus, epoksipikimaali 120 µm, jolloin:
- $KI = T1 + 1,5 * (T2 + T3) = 0,2 * 3500 \text{ µm} / 45 \text{ µm} + 1,5 * (70 \text{ µm} / 3 \text{ µm} + 120 \text{ µm} / 6 \text{ µm}) = 15,6 + 1,5 * (23,3 + 20,0) = 80,6 \text{ v}$, joka on > 50 v.

Sisäpuolen alaosa, olosuhdeluokka 4:

$$- KI = T1 + T2 = 0,2 * 3500 \mu\text{m} / 120 \mu\text{m} + 70 \mu\text{m} / 8 \mu\text{m} = 5,8 + 8,8 = 14,6 \text{ v, joka on } < 50 \text{ v.}$$

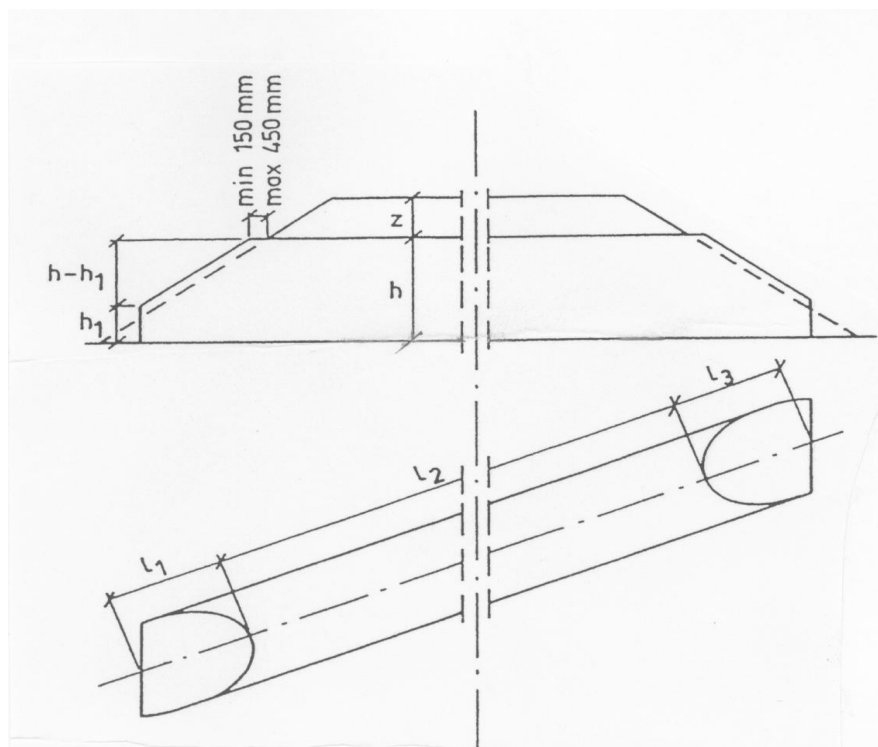
➔ Lisäsuojaus, hartsimodifioitu epoksimaali 240 μm , jolloin:

$$- KI = T1 + 1,5 * (T2 + T3) = 0,2 * 3500 \mu\text{m} / 120 \mu\text{m} + 1,5 * (70 \mu\text{m} / 8 \mu\text{m} + 240 \mu\text{m} / 12 \mu\text{m}) = 5,8 + 1,5 * (8,8 + 20,0) = 49,0 \text{ v, joka on sallitun toleranssin perusteella hyväksyttävä.}$$

4.3 Putken viiste ja suuntakulma

Putken päät viistetään yleensä luiskan kaltevuuteen. Viiste aloitetaan määräkorkeudesta, joka on kolmasosa putken korkeudesta. Tämä vastaa matalarakenteisilla putkilla alanurkkalevyn yläreunan korkeutta. Viistesuhde määritetään kuvassa 14 esitetyllä tavalla. Putken päiden viistämisessä on otettava huomioon myös putken suuntakulma.

Putken viisteosan taipuma sisäänpäin ei saa aiheuttaa sillan vapaan aukon alituksia eikä poikkileikkauksen kaventumista enempää kuin $D/150$. Loivissa luiskissa putken viistettyä osaa joudutaan vahvistamaan lisäjäykisteellä. Lisäjäykisteet ovat tarpeen myös putkissa, joiden vinous on huomattava. Myös lujitamaan käyttö viisteeseen tulevien maanpaineiden pienentämiseksi voi tulla kysymykseen käyttöikämitoitus huomioon ottaen.



Pituus:

$$- \text{alapituus} = l_1 + l_2 + l_3$$

$$- \text{lakipituus} = l_2$$

Huom. Tarkistettava, että $l_2 \geq l_1 + l_3$

Viiste:

$$- \text{viisteen alkamiskorkeus } h_1 = h/3$$

$$- \text{viistesuhde} = (h - h_1) / l_1$$

z = peitesyvyys

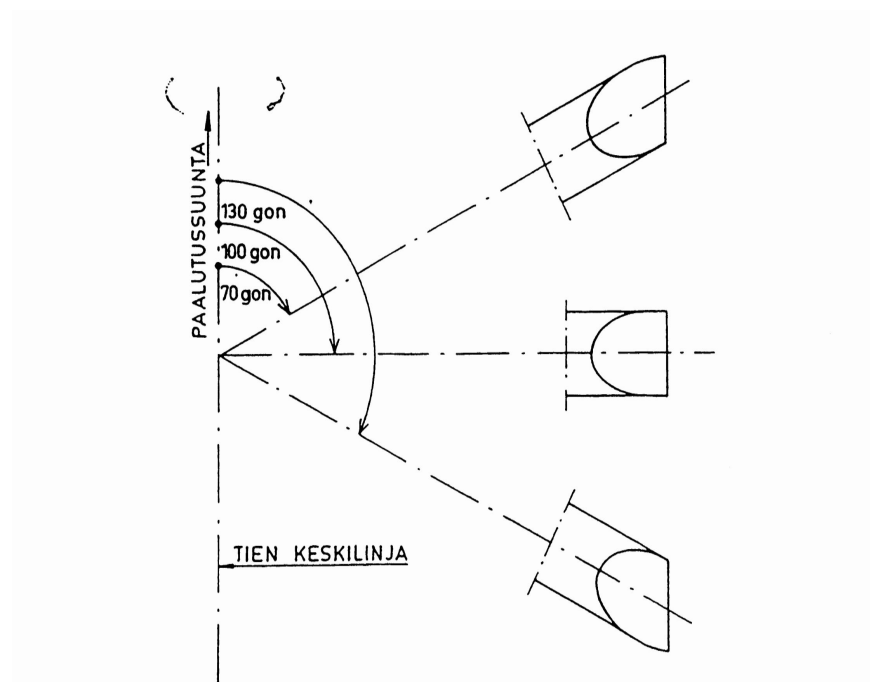
Kuva 14. Putken pituuden ja viistesuhteen määrittäminen.

Putki pyritään ensisijaisesti sijoittamaan kohtisuoraan tien alitse. Putki voidaan sijoittaa tien keskilinjaan nähden vinoon, jos

- putki asennetaan uomaan, jota ei ole tarkoituksenmukaista siirtää
- alittavan tien linjaus edellyttää vinoa risteämistä
- putki saadaan näin kokonaisuudessaan kantavan pohjamaan varaan.

Vinoon sijoitetun putken pää voi olla tien suuntainen (kuva 14) tai siitä poikkeava, myös kohtisuora.

Tiesilloissa suuntakulman suositusarvot ovat välillä 70–130 gon (kuva 15). Rautatiesilta tulee sijoittaa kohtisuoraan radan alitse.



Kuva 15. Suuntakulma.

4.4 Putken pituus

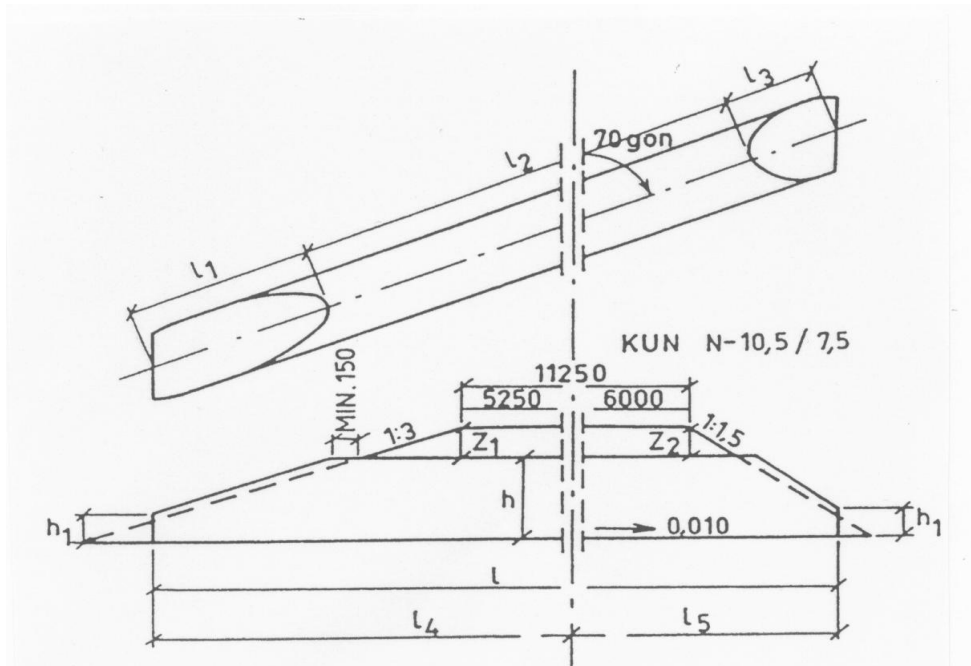
Putken pituudella voidaan tarkoittaa sekä putken laen keskilinjaan pituutta (lakipituus) että putken pohjan keskilinjaan pituutta (alapituus) (kuva 14). Silta-arekisteriin kirjataan vain lakipituus.

Putken lakipituus määräytyy tien poikkileikkauksen ja peitesyvyyden perusteella. Jos putken pää on viistetty, putken yläpinnan on ulottuttava vähintään 150 mm ja enintään 450 mm tieluiskan ulkopuolelle. Rataluiskien leveydessä huomioidaan raiteen nosto (200 mm).

Putken alapituus määritetään viistetyissä putkissa lakipituuden, luiskan kaltevuuden, viisteen alkamiskorkeuden ja suuntakulman perusteella (kuva 16). Alapituutta voidaan kasvattaa lasketusta pituudesta siten, että putken suuntainen levyjako menee tasan, kuitenkin enintään 600 mm / pääty.

Jos putken pää on suora, putken pituus määritetään yleensä siten, että noin kolmasosa putken korkeudesta jää tieluiskan sisään. Jos putki on tätä lyhyempi, putken pääte on tuettava kovalla verhouksella tai tukimuurilla.

Putken pituutta määritettäessä myös ulkonäköseikat on otettava huomioon. Suora pää ei yleensä ole esteettinen.



Putki: pituuskaltevuus 1%, peitesyvyydet: $z_1 = 600$, $z_2 = 720$, korkeus $h = 1800$, viisteen alkamiskorkeus $h_1 = 600$.

Lakipituus: Määritetään tien poikkileikkauksen, suuntakulman ja peitesyvyyden perusteella, lisättynä minimiylityksellä $2 * 150$ mm. Kun suuntakulma on 70° , vinoudesta aiheutuva pidentymäkerroin on $1/\sin 70^\circ = 1,12$.

$$l_2 = (11250 + 3 * 600 + 1,5 * 720 + 2 * 150) * 1,12 = 16160.$$

Alapituus: Määritetään lakipituuden ja viisteiden perusteella.

$$l = l_2 + l_1 + l_3 = 16160 + (3 * 1200 + 1,5 * 1200) * 1,12 = 22210.$$

Lisäksi määritetään pituudet l_4 ja l_5 : $l_4 = 12095$, $l_5 = 10115$.

Kuva 16. Putken pituuden määrittäminen, esimerkki.

4.5 Vierekkäiset putket

Jos rajoitetun pengerkorkeuden tai muiden syiden takia käytetään vierekkäisiä putkia, putkien välisen etäisyyden on oltava vähintään taulukon 8 mukainen riittävän maan sivupaineen kehittymiseksi putkien välissä.

Taulukko 8. Vierekkäisten putkien vähimmäisetäisyys.

Putken leveys	Vähimmäisetäisyys
$D \leq 3 \text{ m}$	1,0 m
$3 < D \leq 9 \text{ m}$	$D / 3$
$D > 9 \text{ m}$	3,0 m

4.6 Perustaminen

4.6.1 Yleistä

Teräspankisillan perustaminen suunnitellaan ohjetta *Sillan geotekniset suunnitteluperusteet /2/* noudattaen. Roudan vaikutus otetaan huomioon saman suunnitteluohjeen mukaisesti. Suunnittelu on tehtävä siten, että

- maapohjan ja rakenteen varmuudet murtumista vastaan ovat riittävän suuret sekä rakennusaikana että rakenteen käyttöaikana
- rakenteen painumat, siirtymät, kiertymät ja muodonmuutokset pysyvät niin pieninä, etteivät ne haittaa rakenteen käyttöä eivätkä niiden aiheuttamat rasitukset kasva liian suuriksi
- rakentamisen vaikutus pohjaveteen ja rakentamisen vaatimien täyttöjen vaikutus otetaan huomioon.

Teräspankisilta perustetaan aina kaivannon pohjalle tai yhtenäisen paalulaa-tan päälle sorasta tai murskeesta rakennettavan tiivistetyn alustäytön va-raan. Teräsholvisillan teräsbetonianturat voidaan perustaa ympärystäytön toiminta huomioon ottaen myös suoraan paalujen varaan.

Alus- ja ympärystäyttömateriaalin tulee täyttää julkaisussa *InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, osa 1 Väylät ja alueet /15/* esite-tyt jakavan tai kantavan kerroksen materiaalin laatuvaatimukset eikä se saa sisältää läpimitaltaan yli 63 mm kiviä. Suunnittelija määrittää sillan raken-nussuunnitelmassa sekä alus- että ympärystäytölle tiiviysvaatimuksen kui-vairtotilavuuspainona, joka voi olla joko 92 % tai 95 % parannetulla proctor-kokeella määritetystä maksimi kuivairtotilavuuspainosta.

Alustäyttö on ulotettava putken pituussuunnassa vähintään paksuutensa verran putken päiden ulkopuolelle. Alustäytön paksuus suunnitellaan ta-pauskohtaisesti ottaen huomioon pohjamaan kantavuus ja routasuojaustar-ve. Vähimmäispaksuus on 300 mm. Alustäytön alaosaan tehdään tarvittaes-sa 100–200 mm paksuinen suodatinkerros tai käytetään suodatinkangasta. Alustäyttöä ei kuivateta alikulkukäytävää rakennettaessa.

Teräsputkisiltojen suunnittelussa on lisäksi otettava erityisesti huomioon

- tulopenkereiden liittyminen viereisiin tie- ja pohjarakenteisiin
- kuivatuksen kokonaisjärjestelyt
- veden luonnollinen virtaus vesistöissä
- alikulkevan tien tarkoituksenmukainen sijainti liikenteen kannalta.

Sillan tulopenkereet suunnitellaan ohjeen *Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet /16/* mukaan. Ohjeessa on esitetty vaatimukset muun muassa vakavuudelle ja sallitulle painumalle.

4.6.2 Sillan painuma

Teräsputkisillan ja teräsholvisillan alusrakenteiden sallitun painuman, kiertymän tai painumaeron määrittää aina suunnittelija. Sillan painuman arvioinnissa huomioidaan mm.

- tiepenkereestä ja muista maarakenteista muodostuva pohjamaan lisäkuormitus
- sillan ympärystäytöstä muodostuva pohjamaan lisäkuormitus
- pohjaveden pinnan aleneminen.

Rautatiesillat suunnitellaan siten, ettei painumista ole haittaa junaliikenteelle eikä rakenteelle.

Teräsputkisillan keskikohta painuu homogeenisissa pohjaolosuhteissa pengerkuorman vaikutuksesta enemmän kuin putken päät. Tasaaisessa koko putken pituudella tapahtuvassa putken taipumassa taipuneen putken taivutussäteen pitää olla $\geq 200 \cdot H_k$ (H_k on putken kokonaiskorkeus). Eri putkipituuksille laskettuna tästä saadaan putken sallitun taipuman enimmäisarvoiksi seuraavat:

Putken alapinnan pituus (m)	Sallittu taipuma (mm)
10	60 / H_k
15	140 / H_k
20	250 / H_k
30	560 / H_k
60	1250 / H_k

H_k = putken kokonaiskorkeus (m).

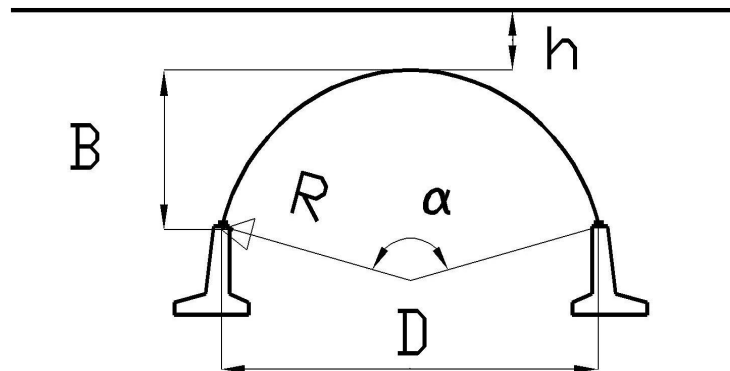
Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.

Putken tasaista painumaa voidaan kompensoida esikoroituksella, joka saa olla enintään 50 % lasketusta taipumasta. Korotuksen suuruus ei saa ylittää putken valmistajan sallimaa enimmäiskorotusta.

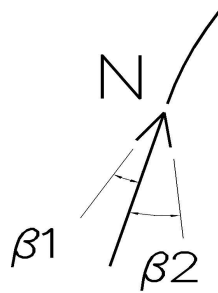
Putken pituussuuntainen paikallinen painumaero saa olla enintään $H_k / 250$. Painumaeroa tarkastettaessa mittausvälin tulee olla $\leq 2 \cdot H_k$.

Putken pituusakseliin nähden poikittainen painumaero saa aiheuttaa enintään 1 %:n kallistuman.

Teräsholvisilta tuetaan perustuksiin kiinnitettyihin U-muotoisiin teräsprofiliin siten, että tuentaan ei tule taivutusta. Tukipisteeseen tuleva normaali-voima voidaan laskea ruotsalaisen mitoitusohjeen mukaan /7/.



Kuva 17. Teräsholvisillan olennaiset mitat.



Kuva 18. Teräsholvisillan tukireaktiot.

Ellei muita hyväksyttäviä laskelmia tehdä, sillan perustukset tulee mitoittaa laskelmista saatavalle normaalivoimalle ottaen huomioon kussakin kuormitustapauksessa normaalivoiman suuntapoikkeamat β_1 ja β_2 tangentin suunnasta (taulukko 9).

Taulukon 9 arvoja voidaan soveltaa vain teräsholvisilloille, joiden poikkileikkaus on ympyränmuotoinen, kaaren kulma välillä $\alpha = 150\text{--}180^\circ$, kaaren säde välillä $R = 2\text{--}3\text{ m}$ ja aallon korkeus $150\text{--}160\text{ mm}$.

Taulukossa 9 annettujen arvojen h , α ja R väliin sattuvat β_1 ja β_2 arvot voidaan laskea suoraviivaisesti interpoloimalla.

Taulukko 9 on laskettu kuormalle Lk1. Mikäli erikoiskuorma Ek_1 on määräävä, kuormitustapausta $N_{\max}$ vastaavaa β_1 :n arvoa on korotettava 30 %. Rautatiesiltojen suunnitteluun taulukkoa 9 ei pidä soveltaa.

Taulukko 9. Normaalivoiman suuntaoikeamat (kuormituksena Lk1).

		R = 2 m		R = 3 m	
Kuormitustapaus	h	β_1	β_2	β_1	β_2
Oma paino	0,5	0	3	0	3
Nmax		7	0	3	0
Nmin		0	7	0	5
Oma paino	1	0	2	0	1
Nmax		6	0	2,5	0
Nmin		0	4	0	5
Oma paino	2	2	0	0	1
Nmax		4	0	2	0
Nmin		1	1	0	1
Oma paino	5	3	0	0,5	0
Nmax		4	0	2	0
Nmin		2,4	0	1	0
Oma paino	10	3,1	0	2	0
Nmax		3,5	0	2	0
Nmin		3	0	2	0

Perustusta mitoitettaessa otetaan huomioon ennakoitunut painumat perustuksen pituussuunnassa. Perustuksen vakavuus on suunniteltava siten, ettei sen yläreuna holvin tuentapisteen kohdalla siirry liikkuvasta kuormasta vaakasuunnassa enempää kuin $0,003 \cdot (H_k + h)$ tai enintään 20 mm. Siirtymiä laskettaessa holvin vaakavoimia estävää vaikutusta ei oteta huomioon.

4.6.3 Perustamistavat

Teräsputkien eri olosuhteissa tyypillisten perustamistapojen ohjeelliset mallikuvat on esitetty liitteessä B.

Siltapaikan sijaitessa kantavalla maaperällä putki perustetaan kaivannon pohjalle rakennettavan tiivistetyn alustäytön varaan (perustamistavat A ja B).

Routivalle pohjamaalle rakennettava putki perustetaan tiivistetylle alustäytölle routimattomaan perustamissyvyyteen ulottuvan routimattoman massanvaihdon varaan tai putki on routasuojattava (perustamistapa C).

Mikäli maaperä on huonosti kantavaa mutta edellytykset putkisillan rakentamiseksi maanvaraisena täyttyvät, voidaan alustäytön alla käyttää lavarakennetta, jotta täyttö voidaan tiivistää pehmeällä ja häiriintymisherkällä pohjamaalla. Lavan rakenteesta tehdään yksityiskohtaiset geotekniset ja rakennepiirustukset. Lava voidaan tehdä myös teräksisenä poimulevyrakenteena tai lujiterakenteena, jotka on suunniteltava tapauskohtaisesti (perustamistapa D).

Jos sillan peruskaivanto tehdään tuetussa kaivannossa, tehdään kaivanto-suunnitelma joko osana rakennussuunnitelmaa tai rakennustyöhön liittyvänä työsuunnitelmana. Kaivantosuunnitelmassa esitetään tuennan geotekninen ja rakennetekninen mitoitus ja rakenteet sekä pohjaveden hallinta yksityiskohtaisesti työvaiheittain (perustamistapa E).

4.7 Teräspankeen liittävät muut rakenteet ja varusteet

4.7.1 Siirtymäkiila

Siirtymäkiila tehdään putken yhteyteen väylän alusrakenteen routivuus- ja kantavuuserojen tasaamiseksi sekä niistä aiheutuvien epätasaisten routimismousujen ja painumien aiheuttamien haittojen pienentämiseksi. Kevyen liikenteen väylillä siirtymäkiilojen tarve harkitaan siltakohtaisesti. Siirtymäkiilat suunnitellaan ohjeen *Tierakenteen suunnittelu* kohdan 3.5 mukaisesti /17/.

Rautatiesillan siirtymäkiilat suunnitellaan noudattaen InfraRYL:n /15/ määräyksiä ja ohjeita.

4.7.2 Verhoukset

Jos virtaavan veden, aallokon, jään tai muun kuluttavan voiman aiheuttama eroosio on voimakasta, putken päätyyn on tehtävä verhous. Verhous suojaa rakennetta eroosiovaurioilta ja parantaa sen ulkonäköä.

Pengerluiskiin tehdään samanlainen verhous kuin väylän muillakin osilla, yleensä nurmi- tai turveverhous. Putken päädyt on verhottava kestävämmiin, jolloin on käytettävä kovia verhousmateriaaleja. Verhouksen suunnittelussa voidaan käyttää apuna verhousten rakentamista käsitteleviä SILKO-ohjeita /18/.

4.7.3 Tukimuurit

Tukimuuria käytetään putken päädyssä silloin, kun pääty joudutaan tekemään kaltevuudeltaan jyrkemmäksi kuin 1:1. Pienehköissä kohteissa voidaan tulla toimeen palkkiverhouksella (kerroskivirakenne) tai louhelaatikolla. Vaativimmissa kohteissa tukimuuuri tehdään teräsbetonista tai kivitörmästä siltakohtaisen suunnitelman mukaisesti.

4.7.4 Kuivatus

Alikulkukäytävien yhteydessä on suunniteltava pintavesien poisjohtaminen pintavesikouruilla tai -putkilla tai tarvittaessa kokonaisvaltaisella sadevesijärjestelmällä.

4.7.5 Valaistusrakenteet ja kiinnikkeet

Alikulkukäytäviin joudutaan usein kiinnittämään valaisimia ja kaapelikiskoja. Valaisimien tulee olla iskunkestävää tyyppiä. Valaistus toteutetaan tilaajalla hyväksyttävän valaistussuunnitelman mukaisesti.

Vetotanko on suunniteltava vesistösiltoihin, joista tulee päästä läpi veneellä ja jotka ovat niin pieniä, että vene on vedettävä putken läpi. Vetotanko auttaa myös sillantarkastajaa ja lisää tarkastustyön turvallisuutta. Vetotanko asennetaan putken molemmille sivuille, käyttötarkoitusta ajatellen sopivalle

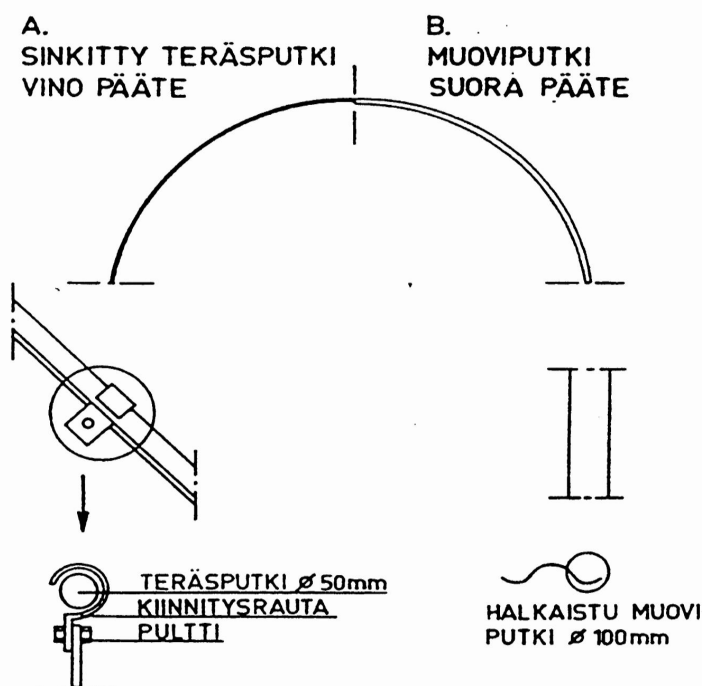
korkeudelle HW-pinnan yläpuolelle. Vetotanko tehdään sinkitystä vesijohtoputkesta, joka kiinnitetään putkisillan toimittajan asentamiin kiinnityspultteihin.

4.7.6 Tarkkailutapit

Teräsputkisiltaan asennetaan kolme tarkkailutappia suuntakulman oikeellisuuden mittausta ja myöhempiä muodonmittauksia varten. Tarkkailutapit ovat kuumasinkittyjä pultteja M10x20, jotka kiinnitetään putken keskilinjalle putken lakeen porattuun reikään Ø 12 mm siten, että pultin kanta on putken sisäpuolella aallon harjalla ja mutteri putken päällä aallon pohjassa. Putken pituussuunnassa tarkkailutapit sijoitetaan putken kumpaakin päätä ja lakipituuden keskikohtaa lähinnä olevan yläpuolisen aallon pohjaan.

4.7.7 Alikulkukäytävän päädyn suojaus

Alikulkukäytävän päädyn suojaus on tarpeellinen varsinkin pienissä putkissa. Suojaus voidaan tehdä esimerkiksi kuvassa 19 esitetyllä tavalla tai tarkoitukseen erityisesti kehitetyillä kumiprofiileilla.



Kuva 19. Alikulkukäytävän päädyn suojaus.

4.7.8 Kaiteet

Teräspankisillan ylittävän väylän kaiteena on käytettävä törmäyskestävyysluokan H2 vaatimukset täyttävää korkeaa sillankaidetta, kun putoamiskorkeus alittavalle väylälle tai uomaan on ≥ 3 m. Kaide on kiinnitettävä pulttikiinnityksellä ylittävän tien reunoihin tapauskohtaisesti suunniteltavaan tyyppipiirustuksen R15/DK H2-21 mukaiseen betonirakenteeseen. Korkean kaiteen vähimmäispituus on $L \geq D + 4 \text{ m} + \text{viisteet}$.

Kun putoamiskorkeus on < 3 m, voidaan käyttää törmäystestattua tiekaidetta (esim. piirustus Ty 3/51) tihennetyllä kahden metrin pylväsjäolla /19/. Pienillä peitesyvyyksillä tulee ottaa huomioon kaidepylvään vaadittu upotussyvyys 1,5 m ja tarvittaessa kaiteen kiinnitys on suunniteltava tapauskohtaisesti, esimerkiksi ylittävän tien reunoihin suunniteltavaan betonirakenteeseen. Kun sillalla on merkittävää kevyttä liikennettä ja aina kevyen liikenteen väylällä, sillan aukon kohdalla tiekaiteessa käytetään korotusosaa (esimerkiksi sovellus tyyppipiirustuksesta R15/DK 2-5), jonka pituuden tulee olla vähintään 8 metriä.

Auraussuojaverkkoa käytetään alikulkukäytävissä, jos putken kulkuaukon etäisyys ylittävän tien reunasta ei ole riittävän suuri estämään auraslumen putoamista putken läpi kulkevalle väylälle.

5 VIITELUETTELO

/1/ Teiden suunnittelu IV. Kuivatus. Helsinki. Tielaitos 1993. TIEL 2140005.

/2/ Sillan geotekniset suunnitteluperusteet. Helsinki. Tiehallinto 2007. ISBN 978-951-803-896-5. TIEH 2100053-07.

/3/ Siltojen kuormat. Helsinki. Tiehallinto 1999. ISBN 951-726-538-2. TIEL 2172072-99.

/4/ Rautatiesiltojen suunnitteluohjeet RSO 21.5.2002. Helsinki. Ratahallintokeskus.

/5/ Betonirakenneohjeet 2006. Helsinki. Tiehallinto 2006. ISBN 951-803-580-6. TIEH 2100037-v-06.

/6/ Ratatekniset ohjeet. Osa 3: Radan rakenne. Ratahallintokeskus 2002, päivitetty 2005.

/7/ Dimensionering av rörbroar, Lars Pettersson, Håkan Sundqvist. KTH Arkitektur och samhällsbyggnad. ISSN 1103-4289. ISSN/KTH/BKN/R--8--SE. Brobyggnad 2000, utgåva 3, 2006

/8/ Teräsrakenneohjeet, Helsinki. Tiehallinto 2000. ISBN 951-726-610-3. TIEL 2173449-2000.

/9/ B7 Teräsrakenteet. Ohjeet 1996, liite 2/2001. Suomen rakentamismääräyskokoelma.

/10/ InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. (RT 14-10920). Helsinki. Rakennustieto Oy 2008.

/11/ Teräsputkisillat. Rakentamisen laatuvaatimukset. Helsinki. Tiehallinto 2008. ISBN 978-951-803-939-9. TIEH 2200050-07.

/12/ Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa. ISBN 951-726-583-2. TIEL 2172068-99.

/13/ Teräsrakenteet. Vanhan ja uuden sinkkipinnoitteen maalaus. Helsinki. Tiehallinto 2005. SILKO 2.354. TIEH 2230096–2.354.

/14/ Teräsrakenteet. Teräsputkisillan korjaaminen. Helsinki. Tiehallinto 2006. SILKO 2.341. TIEH 2230096–2.341.

/15/ InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, osa 1 Väylät ja alueet. Helsinki. Rakennustieto Oy 2006. ISBN 951-682-801-9.

/16/ Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki. Tiehallinto 2001. ISBN 951-726-743-6. TIEH 2100002-01.

/17/ Tierakenteen suunnittelu. Helsinki. Tiehallinto 2004. ISBN 951-803-402-8. TIEH 2100029-04.

/18/ Siltojen korjausohjeet – SILKO. Tiehallinto. TIEH 2230096.

- SILKO 2.911 Kiviheitokeverhouksen teko
- SILKO 2.912 Kivilaattaverhouksen teko
- SILKO 2.913 Betonilaattaverhouksen teko
- SILKO 2.914 Betonikiviverhouksen teko
- SILKO 2.918 Kenttäkiviverhouksen teko
- SILKO 2.919 Kivikorirakenteiden teko

/19/ Siltojen kaiteet. Helsinki. Tiehallinto 2006. ISBN 951-803-691-8. TIEH 2100046-06.

6 LIITTEET

Liite A. Aallotettujen teräspuikien perustietoja

Liite B. Perustamistapojen ohjeelliset mallikuvat

Liite C. Mitoitusesimerkki

LIITE A. AALLOTETTUJEN TERÄSPUTKIEN PERUSTIETOJA

A1. Rakenteiden tunnuksset ja poikkileikkaukset

Esimerkkejä halkaisijaltaan yli 2 metrin teräsputkissa käytettävistä rakenteista kirjaintunnuksineen on esitetty taulukossa A1. Muitakin profiilirakenteita on käytettävissä.

Taulukko A1. Tunnuksia putkirakenteille ja niiden aallotuksille.

Rakenne	Aallotus ¹⁾
A12 Monilevyrakenne	150 x 50 (Gävle)
A2 Monilevyrakenne	200 x 55
C3 Kierresaumattu rakenne	125 x 26, 260 x 20/90
C5 Kierresaumattu rakenne	210 x 50/70

1) Merkinnäissä ilmoitetaan profiilin aallon pituus ja aallon korkeus sekä aallon harjan leveys, jos profiili on tasaharjainen.

Rakenteiden poikkileikkausarvot ja aallotuksen periaatepiirros on esitetty kohdassa A2. Uusi profiili voidaan sijoittaa luokkiin A tai C taivutusvastuksen perusteella, jolloin taulukon A3 arvoja pidetään luokan alarajana.

A2. Aallotettujen putkien poikkileikkausarvoja

Taulukko A2. Profiilin poikkileikkauksen pinta-ala.

Levyypaksuus [mm]	Pinta-ala [cm ² /m]			
	Rakenne			
	A12	A2	C3	C5
2,5	31,5	29,6	27,7	37,2
3,0	37,7	35,5	33,2	44,6
3,5	44,0	41,4	38,8	52,0
4,0	50,4	47,3	44,3	59,4
4,6	56,7	53,3		
5,0	63,0	59,2		
5,5	69,4	65,1		
6,0	75,7	71,1		
6,5	82,1	77,0		
7,0	88,5	82,9		

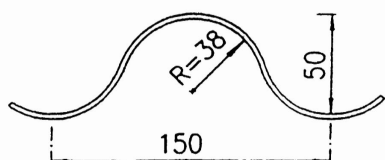
Väliarvot voidaan interpoloida suoraviivaisesti.

Taulukko A3. Profiilin poikkileikkauksen taivutusvastus.

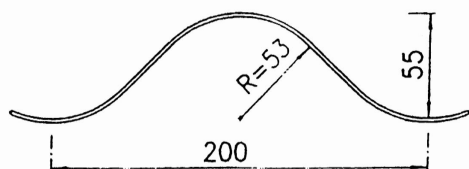
Levyypaksuus [mm]	Taivutusvastus [cm ³ /m]			
	Rakenne			
	A12	A2	C3	C5
2,5	37,2	39,7	16,7	48,0
3,0	44,4	46,8	19,7	57,0
3,5	51,5	54,0	23,0	66,1
4,0	58,6	61,4	26,3	75,5
4,6	65,6	68,6		
5,0	72,6	75,7		
5,5	79,5	82,8		
6,0	86,3	89,7		
6,5	93,2	96,6		
7,0	100,0	103,5		

Väliarvot voidaan interpoloida suoraviivaisesti.

A12, 150x50 (Gävle)

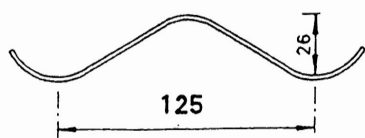


A2, 200x55

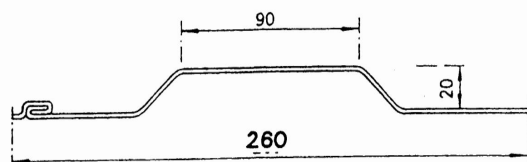


Kuva A1. Monilevyrakenteen aallotuksia (rakennetunnus A).

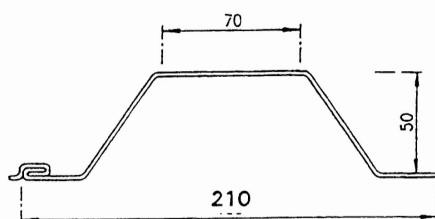
C3, 125x26



C3, 260x20/90

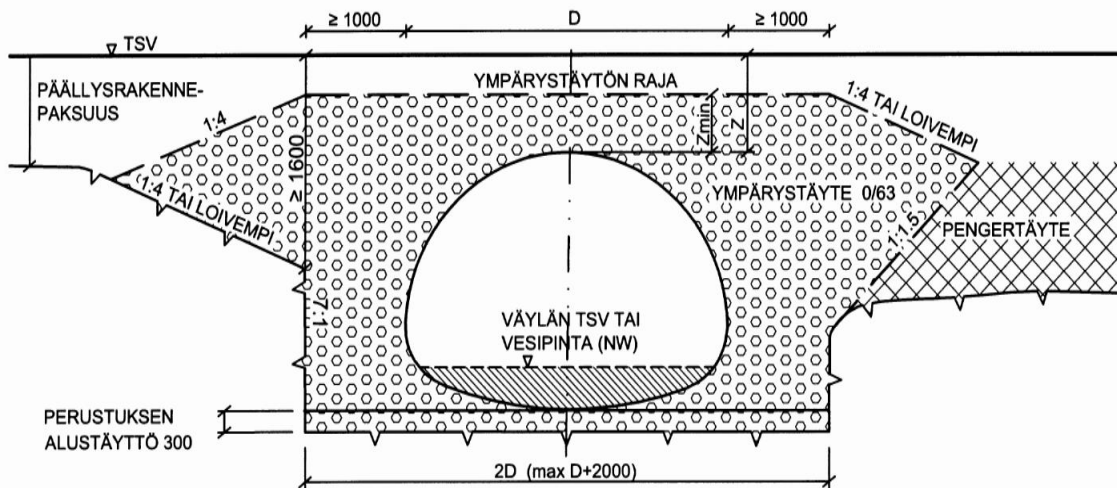


C5, 210x50/70



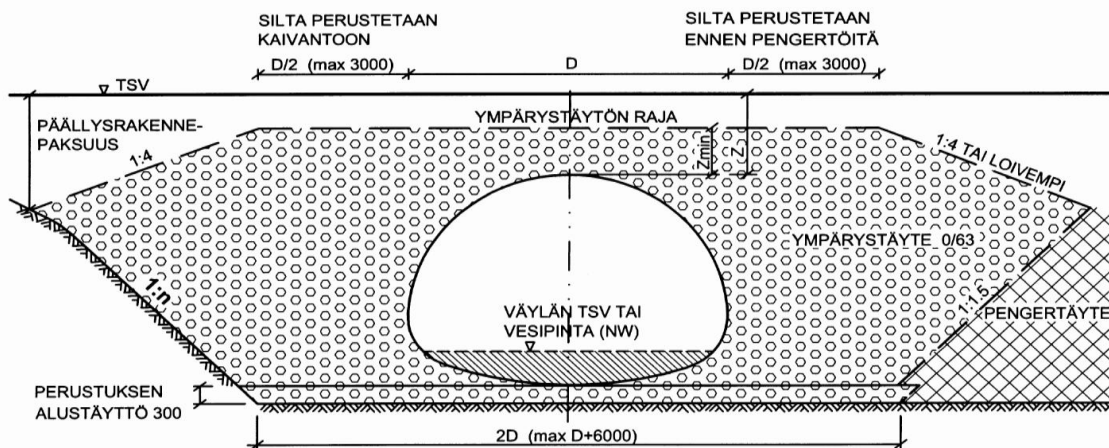
Kuva A2. Kierresaumatun rakenteen aallotuksia (rakennetunnus C).

LIITE B. PERUSTAMISTAPOJEN OHJEELLISET MALLIKUVAT



Z_{min} = MINIMIPEITESYVYYS = 500 mm

Kuva B1. Perustamistapa A. Putken perustaminen kalliolle.

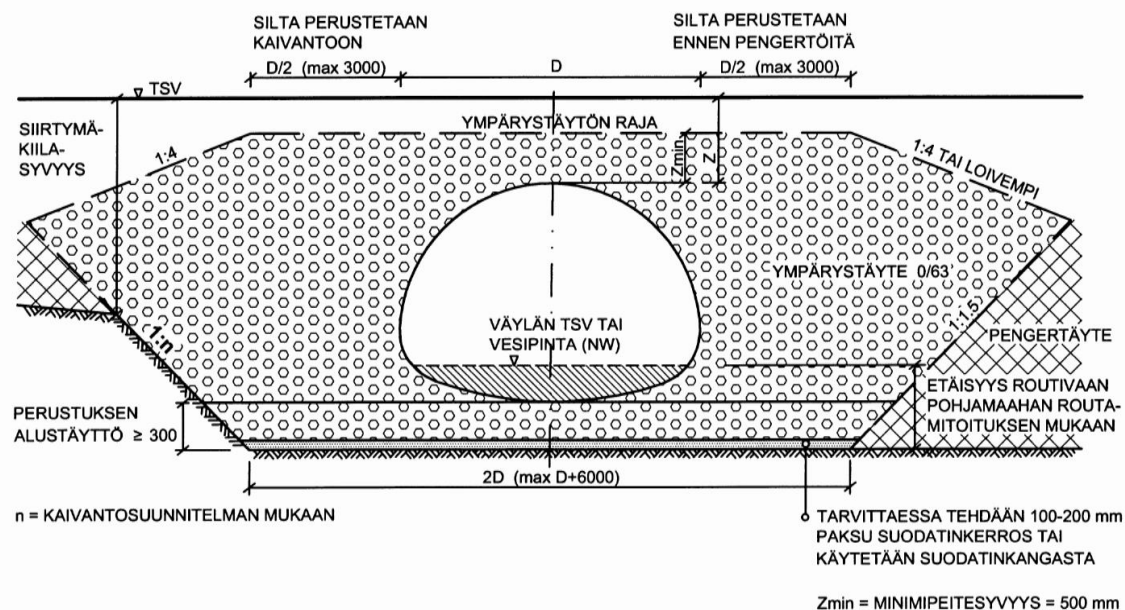


n = KAIVANTOSUUNNITELMAN MUKAAN

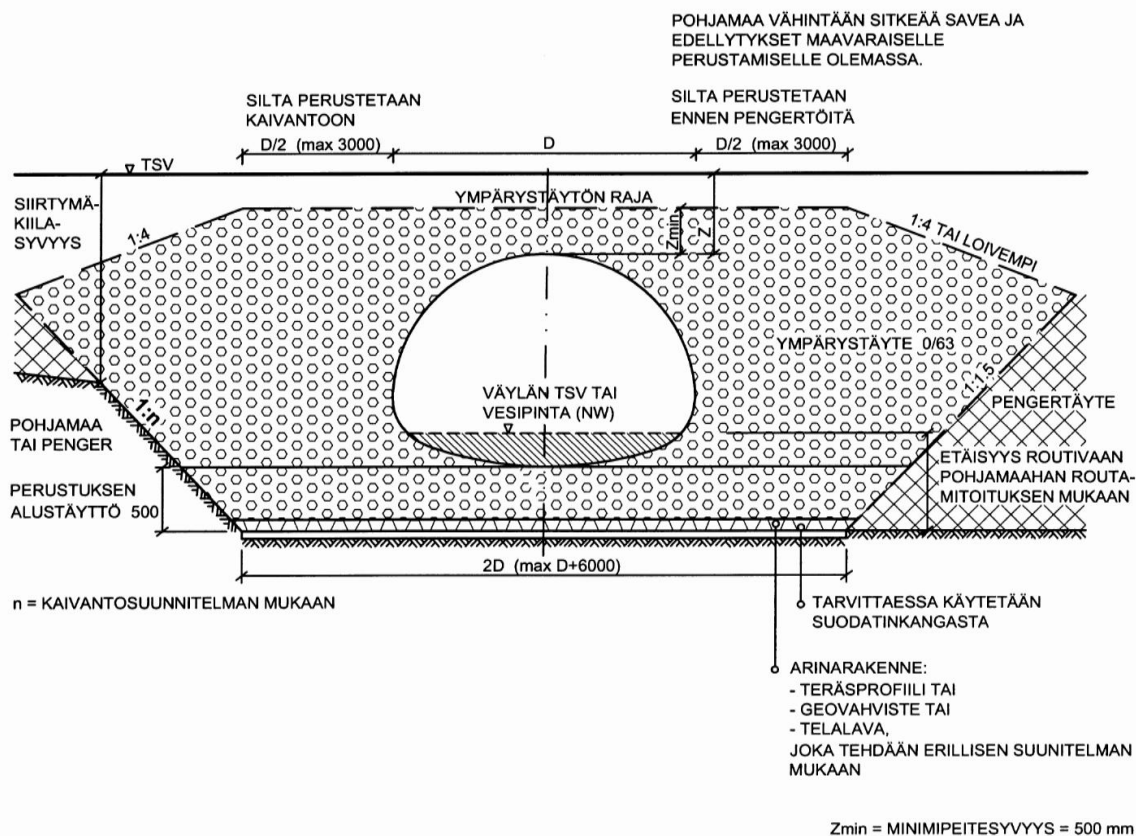
HUOM. JOS POHJAMAAN TÄYTTÄÄ PERUSTUKSEN ALUSTÄYTTÖÖN ASETETUT VAATIMUKSET, VOIDAAN PUTKI PERUSTAA TIIVISTETYN POHJAMAAN VARAAN.

Z_{min} = MINIMIPEITESYVYYS = 500 mm

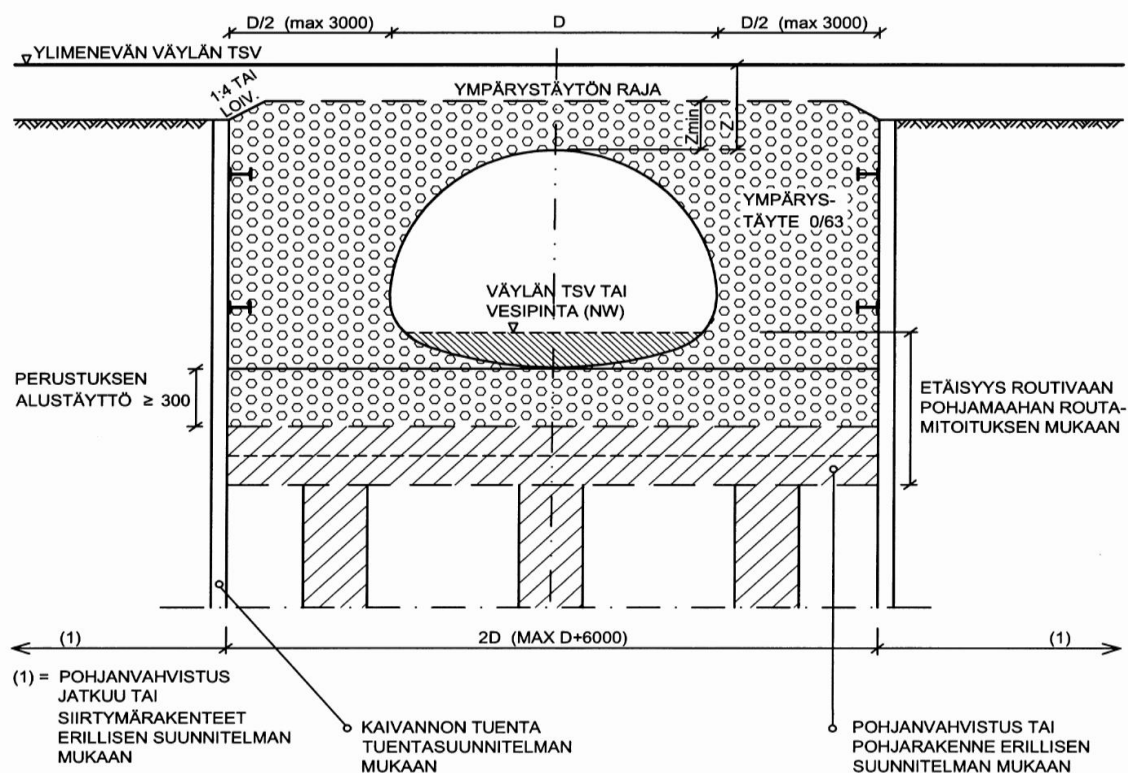
Kuva B2. Perustamistapa B. Putken perustaminen routimattoman pohjaan tai penkereen varaan.



Kuva B3. Perustamistapa C. Putken perustaminen routivalle pohjamaalle.



Kuva B4. Perustamistapa D. Putken perustaminen pehmeikölle.



Kuva B5. Perustamistapa E. Putken perustaminen tuetussa kaivannossa.

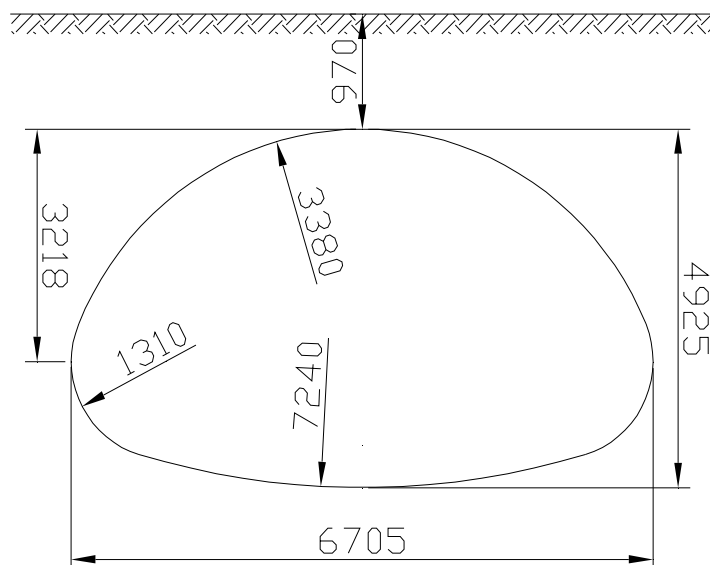
LIITE C. MITOITUSESIMERKKI

1 Mitoituksen lähtötiedot

Taulukko C1. Esimerkissä käytetyt lähtötiedot.

Laskennassa tarvittavat lähtötiedot	Esimerkissä
Asennuspaikka (Penger / Kaivanto)	Kaivanto
Ympäristäyttö (Sora / Murske)	Sora
Täyttösyvyys	970mm
Putken poikkileikkaus (Ympyrä / Muu)	Muu
Putken leveys	6705mm
Putken katon korkeus	3218mm
Putken yläosan säde	3380mm
Putken sivun säde	3380mm
Levypaksuus	4.5mm
Taivutusvastus	71.1mm ³ /mm
Hitausmomentti	2083.4mm ⁴ /mm
Poikkipinta-ala	5.34mm ² /mm
Teräksen lujuuden ominaisarvo	275MPa
Teräksen kimmomoduuli	210GPa

Lisäksi lähtötietoina tarvitaan kuormitustiedot. Tässä esimerkissä kuormituksena on liikennekuorma (Lk1). Kuormitus annetaan ekvivalenttina viivakuormana. Lisäksi pitää huomioida mahdollisesti samaan aikaan vaikuttava jakautunut kuorma ja sysäyksiät.



Kuva C1. Esimerkissä käytetyn putken mitat.

2 Voimasuureet

Kuormitus: (Lk1 sisältäen sysäyslisät)

$$p_{\text{trafik}} = 96.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.1 Tehollinen peitesyvyys

$$E_{jd} := \frac{E_j}{\gamma_{n,geo} \cdot \gamma_{m,E}}$$

$$E_{jd} = 32.786 \text{ MPa}$$

$$\lambda_f := \frac{E_{jd} \cdot D^3}{E_s \cdot I_y}$$

$$\lambda_f = 22588.8$$

$$\delta_{hj\ddot{a}ssa} := 0.013 \frac{\gamma_{m,kringf} \rho_1 \cdot D^2}{E_j} \cdot \left(\frac{H}{D} \right)^{2.8} \cdot \lambda_f^{0.56 - 0.2 \cdot \ln \left(\frac{H}{D} \right)}$$

$$\delta_{hj\ddot{a}ssa} = 43.642 \text{ mm}$$

$$h_{c,red} := h_c - \delta_{hj\ddot{a}ssa}$$

$$h_{c,red} = 0.926 \text{ m}$$

2.2 Normaalivoimat

Normaalivoima maan painosta

$$\phi_{kd} := \text{atan} \left(\frac{\tan(\phi_k)}{\gamma_{n,geo} \cdot \gamma_{m,\phi}} \right)$$

$$\phi_{kd} = 33.873 \text{ deg}$$

$$S_v := \frac{0.8 \tan(\phi_{kd})}{\left(\sqrt{1 + \tan(\phi_{kd})^2} + 0.45 \tan(\phi_{kd}) \right)^2}$$

$$S_v = 0.237$$

$$\kappa := 2 \cdot S_v \cdot \frac{h_{c,red}}{D}$$

$$\kappa = 0.065$$

$$S_{ar,kaivanto} := \frac{1 - e^{-\kappa}}{\kappa}$$

$$S_{ar,kaivanto} = 0.968$$

$$S_{ar} := \text{if}(\text{Asennus} = 2, 1, S_{ar,kaivanto})$$

$$S_{ar} = 0.968$$

$$D_d := \text{if}(D > 1.05 \cdot 2 \cdot R_s, 2 \cdot R_s, D)$$

$$D_d = 6.705 \text{ m}$$

$$N_j := 0.2 \cdot \frac{H}{D_d} \cdot \gamma_{m,kringf} \rho_1 \cdot D_d^2 + S_{ar} \cdot \left(0.9 \frac{h_{c,red}}{D} - 0.5 \frac{h_{c,red}}{D} \cdot \frac{H}{D} \right) \gamma_{m,\ddot{o}verf} \rho_{\ddot{o}} \cdot D^2$$

$$N_j = 165.676 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Normaalivoima liikennekuormasta

$$N_t := \begin{cases} p_{\text{trafik}} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_1 & \text{if } \left(\frac{h_{c,\text{red}}}{D}\right) \leq 0.25 \\ \left(1.25 - \frac{h_{c,\text{red}}}{D}\right) \cdot p_{\text{trafik}} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_1 & \text{if } 0.25 < \left(\frac{h_{c,\text{red}}}{D}\right) \leq 0.75 \\ 0.5 \cdot p_{\text{trafik}} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_1 & \text{if } 0.75 < \frac{h_{c,\text{red}}}{D} \end{cases} \quad \left(\frac{h_{c,\text{red}}}{D}\right) = 0.138$$

$$N_t = 106.558 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Mitoittava normaalivoima

Käyttörajatila:

$$N_{d,s} := \Psi \gamma_{\text{jord},s} \cdot N_{j,KRT} + \Psi \gamma_{\text{trafik},s} \cdot N_{t,KRT} \quad N_{d,s} = 271.594 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Murtorajatila:

$$N_{d,u} := \Psi \gamma_{\text{jord},u,\text{max}} \cdot N_j + \Psi \gamma_{\text{trafik},u} \cdot N_t \quad N_{d,u} = 390.614 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Väsytyksrajatila:

$$\Delta N_{d,f} := \Psi \gamma_{\text{trafik},f} \cdot N_{t,KRT} \quad \Delta N_{d,f} = 28.334 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.3 Taivutusmomenttien määrittäminen

Taivutusmomentti maanpainosta

Apusuureet:

$$f_1 := \begin{cases} 0.67 + 0.87 \cdot \left(\frac{H}{D} - 0.2\right) & \text{if } 0.2 < \left(\frac{H}{D}\right) \leq 0.35 \\ 0.8 + 1.33 \cdot \left(\frac{H}{D} - 0.35\right) & \text{if } 0.35 < \left(\frac{H}{D}\right) \leq 0.5 \\ 2 \cdot \left(\frac{H}{D}\right) & \text{if } 0.5 < \left(\frac{H}{D}\right) \leq 0.6 \end{cases} \quad \left(\frac{H}{D}\right) = 0.48$$

$$f_1 = 0.973$$

$$f_{2,\text{kringf}} := \begin{cases} 0.0046 - 0.0010 \log(\lambda_f) & \text{if } \lambda_f \leq 5000 \\ 0.0009 & \text{if } \lambda_f > 5000 \end{cases} \quad f_{2,\text{kringf}} = 9 \times 10^{-4}$$

$$f_{2,\text{överf}} := \begin{cases} 0.018 - 0.004 \log(\lambda_f) & \text{if } \lambda_f \leq 5000 \\ 0.0032 & \text{if } \lambda_f > 5000 \end{cases} \quad f_{2,\text{överf}} = 3.2 \times 10^{-3}$$

$$f_3 := 6.67 \cdot \frac{H}{D} - 1.33 \quad f_3 = 1.871$$

$$M_{j,alku} := \gamma_{m,kringf} \rho_1 \cdot D^3 \cdot (-f_1 \cdot f_3 \cdot f_{2,kringf}) \quad M_{j,alku} = -9.877 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_j := \gamma_{m,kringf} \rho_1 \cdot D^3 \cdot \left[-f_1 \cdot f_3 \cdot f_{2,kringf} + S_{ar} \cdot \frac{\gamma_{m,överf} \rho_0}{\gamma_{m,kringf} \rho_1} \cdot \frac{h_{c,red}}{D} \cdot \left(\frac{R_t}{R_s} \right)^{0.75} \cdot f_1 \cdot f_{2,överf} \right]$$

$$M_j = -7.367 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Taivutusmomentti liikennekuormasta

Apusuureet:

$$f_{4i} := (1 - 0.2 \log(\lambda_f)) \quad f_{4i} = 0.129$$

$$f_{4ii} := \begin{cases} 0.120(1 - 0.15 \log(\lambda_f)) & \text{if } \lambda_f \leq 100000 \\ 0.030 & \text{if } \lambda_f > 100000 \end{cases} \quad f_{4ii} = 0.042$$

$$f_{4iii} := \frac{0.3494 \left(\frac{h_{c,red}}{D} \right)^6 - 2.405 \left(\frac{h_{c,red}}{D} \right)^5 + 6.7051 \left(\frac{h_{c,red}}{D} \right)^4 - 9.7382 \left(\frac{h_{c,red}}{D} \right)^3 + 7.8598 \left(\frac{h_{c,red}}{D} \right)^2 - 3.4532 \left(\frac{h_{c,red}}{D} \right) + 0.7502}{0.26}$$

$$f_{4iii} = 1.538$$

(Kaava ei näy kokonaan)

$$f_{4iv} := \left(\frac{R_t}{R_s} \right)^{0.25} \quad f_{4iv} = 1$$

$$M_t := f_{4i} f_{4iii} f_{4ii} f_{4iv} \cdot D \cdot p_{trafik} + S_{ar} \cdot \left(\frac{R_t}{R_s} \right)^{0.75} \cdot f_1 \cdot f_{2,överf} \cdot q_1 \cdot D^2$$

$$M_t = 5.758 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Mitoittava taivutusmomentti putken laella

Käyttöraja

$$M_{td,s,max} := \Psi \gamma_{trafik,s} M_{t,KRT} \quad M_{td,s,min} := \Psi \gamma_{trafik,s} \cdot \left(\frac{-M_{t,KRT}}{2} \right)$$

$$M_{d,s,max} := \Psi \gamma_{jord,s} M_{j,KRT} + M_{td,s,max} \quad M_{d,s,min} := \Psi \gamma_{jord,s} M_{j,KRT} + M_{td,s,min}$$

$$M_{d,s,max} = -2.58 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad M_{d,s,min} = -9.76 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{d,s} = -9.76 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Murtorajatila

Lopullinen tilanne:

$$M_{d,u,loppu} := \Psi \gamma_{jord,u} \cdot M_j + \Psi \gamma_{trafik,u} \cdot M_t$$

$$M_{d,u,loppu} = 3.735 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{d,u} = -11.852 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Työnaikainen tilanne:

$$M_{d,u,alku} := \Psi \gamma_{jord,u,max} M_{j,alku}$$

$$M_{d,u,alku} = -11.852 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Väsyysrajatila

$$\Delta M_{d,f} := 1.5 \Psi \gamma_{trafik,f} \cdot |M_{t,KRT}|$$

$$\Delta M_{d,f} = 1.909 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

3 Mitoitus

3.1 Pienimmät sallitut mitat

Peitesyvyys

$$h_{c,red} \geq 0.5\text{m}$$

$$h_{c,red} = 0.926\text{m}$$

Putken poikkileikkaus

$$D \geq 2.0\text{m}$$

$$D = 6.705\text{m}$$

$$100 \leq \lambda_f \leq 10000$$

$$\lambda_f = 22588.813$$

Täytöt

$$a_1 > 0.2\text{m}$$

$$a_1 = 0.5\text{m}$$

$$a_2 > 0.3\text{m}$$

$$a_2 = 0.5\text{m}$$

$$a_3 \geq \min\left(3.0\text{m}, \frac{D}{2}\right)$$

$$a_3 = 3\text{m}$$

$$a_4 \geq 0.5\text{m}$$

$$a_4 = 0.6\text{m}$$

3.2 Sallittu liikennekuormien aiheuttama taivutus

$$f_{4I} \cdot f_{4III} < 1.0$$

$$f_{4I} \cdot f_{4III} = 0.199$$

3.3 Putkisillan mitoitus käyttörajatilassa / putken yläosa

$$f_{yd,s} := \frac{f_{yk}}{\gamma_{n.s.stål}} \quad f_{yd,s} = 275 \text{ MPa}$$

$$\frac{N_{d,s}}{A_y} + \frac{|M|}{W_y} \geq f_{yd,s} \quad \frac{N_{d,s}}{A_y} + \frac{|M_{d,s}|}{W_y} = 188.135 \text{ MPa}$$

3.4 Putkisillan mitoitus murtorajatilassa / putken yläosa

Apusuureet:

$$\kappa_2 := \frac{h_{c,red}}{R_t} \quad \kappa_2 = 0.274$$

$$\xi_N := \begin{cases} \sqrt{\kappa_2} & \text{if } \sqrt{\kappa_2} \leq 1.0 \\ 1 & \text{if } \sqrt{\kappa_2} > 1.0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Vain normaalivoima } \xi_N = 0.524 \\ \text{Normaalivoima + momentti } \xi_{NM} := 1.0 \end{array}$$

$$\eta_j := 1 - \left(\frac{1}{1 + \kappa_2} \right)^2 \quad \eta_j = 0.384$$

$$\mu := \left[1.22 + 1.95 \left(\frac{E_s \cdot I_y}{\eta_j \cdot E_j \cdot R_t^3} \right)^{0.25} \right]^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{\eta_j}} \quad \mu = 3.825$$

$$N_{cr,el} := \frac{3\xi_N}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{E_j \cdot E_s \cdot I_y}{R_t}} \quad N_{cr,el} = 945.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{cr,el,NM} = 1806.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_{yd,u} := \frac{f_{yk}}{\gamma_{n.u.stål}} \quad f_{yd,u} = 250 \text{ MPa}$$

$$N_u := f_{yd,u} \cdot A_y \quad N_u = 1335 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{cr} := \begin{cases} N_{cr,el} & \text{if } \left(\frac{N_{cr,el}}{N_u} \right) \leq 0.5 \\ N_u \cdot \left(1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{N_u}{N_{cr,el}} \right) & \text{if } \left(\frac{N_{cr,el}}{N_u} \right) > 0.5 \end{cases} \quad \frac{N_{cr,el}}{N_u} = 0.708$$

$$N_{cr} = 863.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{cr,NM} = 1088.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\omega := \begin{cases} \frac{N_{cr}}{N_u} & \text{if } \left(\frac{N_{cr,el}}{N_u} \right) \leq 0.5 \\ 1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{N_u}{N_{cr,el}} & \text{if } \left(\frac{N_{cr,el}}{N_u} \right) > 0.5 \end{cases}$$

$$\omega = 0.647$$

$$\omega_{NM} = 0.815$$

$$Z := \text{"Plastinen taivutusvastus"}$$

$$\eta := \frac{Z}{W}$$

$$\eta := 1.35$$

$$\alpha_c := \begin{cases} \eta^2 \cdot \omega & \text{if } (\eta^2 \cdot \omega) \geq 0.8 \\ 0.8 & \text{if } (\eta^2 \cdot \omega) < 0.8 \end{cases}$$

$$\eta^2 \cdot \omega = 1.179$$

$$\alpha_c = 1.179$$

$$\eta^2 \cdot \omega_{NM} = 1.486$$

$$\alpha_{c,NM} = 1.486$$

$$M_u := 1.35 W_y \cdot f_{yd,u}$$

$$M_u = 23.996 \text{ kN}$$

Tarkistus yhdistetyille rasituksille

$$\beta_{NM} \leq 1.0$$

$$\beta_{NM} := \left(\frac{N_{d,u}}{\omega_{NM} \cdot f_{yd,u} \cdot A_y} \right)^{\alpha_{c,NM}} + \frac{|M_{d,u}|}{M_u}$$

$$\beta_{NM} = 0.712$$

Tarkistus normaalivoimalle

$$\beta_N \leq 1.0$$

$$\beta_N := \left(\frac{N_{d,u}}{\omega \cdot f_{yd,u} \cdot A_y} \right)^{\alpha_c}$$

$$\beta_N = 0.392$$

3.5 Putkisillan mitoitus murtorajatilassa / putken alaosa

$$\xi_a := 1 \quad \mu_a := 1.22$$

$$N_{cr,el,a} := \frac{3\xi_a}{\mu_a} \cdot \sqrt{\frac{E_j \cdot E_s \cdot I_a}{R_b}}$$

$$N_{cr,el,a} = 3869.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{u,a} := f_{yd,u} \cdot A_a$$

$$N_{u,a} = 1335 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{cr,a} := \begin{cases} N_{cr,el,a} & \text{if } \left(\frac{N_{cr,el,a}}{N_{u,a}} \right) \leq 0.5 \\ N_{u,a} \cdot \left(1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{N_{u,a}}{N_{cr,el,a}} \right) & \text{if } \left(\frac{N_{cr,el,a}}{N_{u,a}} \right) > 0.5 \end{cases}$$

$$\frac{N_{cr,el,a}}{N_{u,a}} = 2.899$$

$$N_{cr,a} = 1219.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d,u} \leq N_{cr,a}$$

3.6 Pulttiliitoksen mitoitus

Pultit M20 Lujuus 8.8

$$d_b := 20\text{mm}$$

$$f_{bk} := 800\text{MPa}$$

Pulttien lukumäärä (kpl/m):

$$n_b := 10 \cdot \frac{1}{m}$$

Pultin tehokas poikkileikkausala:

$$A_{\text{eff}} := 0.78 \pi \cdot \frac{d_b^2}{4} \quad A_{\text{eff}} = 245.044\text{mm}^2$$

Pultin kannan halkaisija:

$$D_b := 34\text{mm}$$

3.6.1 Mitoitus murtorajatilassa

$$f_{bd} := 0.8 f_{bk}$$

$$f_{bd} = 640\text{MPa}$$

Pultin vetolujuuden laskenta-arvo:

$$f_{\text{Rtd}} := 0.85 \cdot 0.8 \cdot \frac{f_{bd}}{\gamma_{\text{n.u.stål}}}$$

$$f_{\text{Rtd}} = 395.636\text{MPa}$$

Pultin leikkauslujuuden laskenta-arvo:

$$f_{\text{Rvd}} := 0.85 \cdot 0.6 \cdot \frac{f_{bd}}{\gamma_{\text{n.u.stål}}}$$

$$f_{\text{Rvd}} = 296.727\text{MPa}$$

Pultin leikkausvoimakestävyys

$$F_{\text{Rv}} := 0.9 \cdot n_b \cdot f_{\text{Rvd}} \cdot A_{\text{eff}}$$

$$F_{\text{Rv}} = 654.402 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{\text{d,u}} < F_{\text{Rv}}$$

$$N_{\text{d,u}} = 390.614 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pultin varren suuntainen vetovoimakestävyys

Pultin murtuminen

$$F_{\text{Rt1}} := \frac{n_b}{2} \cdot f_{\text{Rtd}} \cdot A_{\text{eff}}$$

$$F_{\text{Rt1}} = 484.742 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pultin kannan läpileikkautuminen

$$F_{\text{Rp}} := 0.6 \cdot \frac{n_b}{2} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{\text{n.u.stål}}} \cdot t_y \cdot \pi \cdot D_b$$

$$F_{\text{Rp}} = 360.498 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{\text{Rt}} := \min(F_{\text{Rt1}}, F_{\text{Rp}})$$

$$F_{\text{Rt}} = 360.498 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pulttien etäisyys aallon suunnassa:

$$e_2 := 85\text{mm}$$

Putken laella: $F_{top} := \frac{|M_{d,u}|}{e_2}$ $F_{top} = 139.439 \frac{kN}{m}$

$$F_{Rt} \geq F_{top}$$

Reunapuristus- ja reunarepeytymiskestävyys

$$f_{d2} := 0.9 \min \left(\frac{f_{bd}}{\gamma_{n.u.stål}}, \frac{f_{yk}}{\gamma_{n.u.stål}} \right) \quad e_1 := 60 \text{ mm} \quad f_{d2} = 225 \text{ MPa}$$

$$k_2 := \frac{e_1}{d_b} - 0.5 \quad k_2 = 2.5 \quad d_{eff} := \sqrt{\frac{4A_{eff}}{\pi}}$$

$$F_{Rh1} := n_b \cdot k_2 \cdot d_{eff} \cdot t_y \cdot f_{d2} \quad F_{Rh1} = 447.108 \frac{kN}{m} \quad d_{eff} = 17.664 \text{ mm}$$

$$F_{Rh} := \begin{cases} F_{Rh1} & \text{if } \frac{F_{Rv}}{F_{Rh1}} > 1.25 \\ \frac{F_{Rv}}{1.25} & \text{if } \frac{F_{Rv}}{F_{Rh1}} \leq 1.25 \end{cases} \quad \frac{F_{Rv}}{F_{Rh1}} = 1.464 \quad F_{Rh} = 447.108 \frac{kN}{m}$$

$$F_{Rh} \geq N_{d,u} \quad N_{d,u} = 390.614 \frac{kN}{m}$$

Pultin yhdistetty veto- ja leikkausvoimakestävyys

Putken laella: $\left(\frac{F_{top}}{F_{Rt}} \right)^2 + \left(\frac{N_{d,u}}{F_{Rv}} \right)^2 = 0.506$

3.6.2 Mitoitus väsytyksrajatilassa

Pultin leikkausvoimakestävyys

$$\Delta f_{d,v} = 24 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_{ekv,v} \leq \Delta f_{d,v}$$

$$\Delta \sigma_{ekv,v} := \Psi \gamma_{trafik.f} \frac{N_{t.KRT}}{n_b \cdot A_{eff}} \quad \Delta \sigma_{ekv,v} = 11.563 \text{ MPa}$$

Pultin varren suuntainen vetovoimakestävyys

$$\Delta f_{d,t} = 39 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_{ekv,t} \leq \Delta f_{d,t}$$

Putken laella: $\Delta \sigma_{ekv,t.top} := \Psi \gamma_{trafik.f} \frac{M_{t.KRT}}{e_2} \cdot \frac{2}{n_b \cdot A_{eff}}$

$$\Delta \sigma_{ekv,t.top} = 12.221 \text{ MPa}$$

Pultin yhdistetty leikkaus ja vetovoimakestävyys

$$\Delta\sigma_{ekv} \leq 1.0$$

Putken laella:
$$\Delta\sigma_{ekv.top} := 0.9 \sqrt{\left(\frac{\Delta\sigma_{ekv.v}}{\Delta f_{d.v}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\sigma_{ekv.t.top}}{\Delta f_{d.t}}\right)^2}$$

$$\Delta\sigma_{ekv.top} = 0.51$$

3.7 Asennusaikainen jäykkyys

$$Raja = 0.2 \frac{m}{kN}$$

$$\frac{D^2}{E_s \cdot I_y} = 0.103 \frac{m}{kN}$$

$$\frac{D^2}{E_s \cdot I_y} < Raja$$

3.8 Putkisillan väsytyksimitoitus

$$\frac{\Delta N_{d.f}}{A_y} + \frac{\Delta M}{W_y} \leq \Delta f_{d.r}$$

$$\Delta f_{d.r} = 94 \text{ MPa}$$

Normaalivoiman aiheuttama jännitys sama ylä- ja alapinnassa

$$\sigma_N := \frac{\Delta N_{d.f}}{A_y} \quad \sigma_N = 5.306 \text{ MPa}$$

Momentin aiheuttama jännitys kun kuorma on keskellä putkea

$$\sigma_{M.y.p}(\Delta M) := \frac{\frac{\Delta M}{1.5}}{W_y} \quad \sigma_{M.y.p}(\Delta M_{d.f}) = 17.901 \text{ MPa}$$

Momentin aiheuttama jännitys kun kuorma on putken sivulla

$$\sigma_{M.ap}(\Delta M) := 0.5 \frac{\frac{\Delta M}{1.5}}{W_y} \quad \sigma_{M.ap}(\Delta M_{d.f}) = 8.95 \text{ MPa}$$

Suurin ja pienin jännitys profiilin sisäpinnassa

$$\sigma_{NM.y.p1}(\Delta M) := -\sigma_N - \sigma_{M.ap}(\Delta M) \quad \sigma_{NM.y.p1}(\Delta M_{d.f}) = -14.256 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{NM.y.p2}(\Delta M) := -\sigma_N + \sigma_{M.y.p}(\Delta M) \quad \sigma_{NM.y.p2}(\Delta M_{d.f}) = 12.595 \text{ MPa}$$

Jännitysvaihtelu profiilin sisäpinnassa (sama kuin ulkopinnassa)

$$\sigma_{rd}(\Delta M) := |\sigma_{NM.y.p1}(\Delta M)| + |\sigma_{NM.y.p2}(\Delta M)|$$

$$\sigma_{rd}(\Delta M_{d.f}) = 26.851 \text{ MPa}$$

