



Tielaitos

Jännitetty elementtisilta



Siltojen
tyyppiirrustukset

Helsinki 2000

TIEHALLINTO
Siltayksikkö

Jännitetty elementtasilta

Tielaitos
TIEHALLINTO

Helsinki 2000

ISBN 951-726-612-X
TIEL 2160004-2000

Edita Oy
Helsinki 2000

Julkaisua myy
Tielaitos, julkaisumyynti
puheli 0204 44 2053
telefax 0204 44 2652

Tielaitos
TIEHALLINTO
Siltayksikkö
PL 33
0521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 44 150



VASTAANOTTAJA

Tiepiirit
Tuotanto, tuotantoalueet
Tuotannon konsultointi, alueyksiköt

SÄÄDÖSPERUSTA

TL 117 §

KOHDISTUVUUS

Tielaitos

VOIMASSA

1.4.2000 - toistaiseksi

ASIASANAT

Ohjeet, sillat, sillansuunnittelu, elementtisillat

Jännitetty elementtisilta (TIEL 2160004)

Suunnitteluohje jännitetyn elementtisillan suunnittelua varten sisältää tekstiosan sekä liitteinä malli- ja periaatepiirustukset, materiaali-menekkitiedot, suunnitteluperusteet ja mitoitus-esimerkin.

Ohjeen aineiston pohjalta voidaan tehdä elementtisillasta siltasuunnitelma. Rakennussuunnitelma tehdään siltakohtaisten rakennelaskelmien ja tarkemman suunnittelun perusteella käyttäen hyväksi ohjeen perusratkaisuja ja aineistoa.

Apulaisjohtaja
Siltayksikkö

Juhani Vähäaho

Yli-insinööri

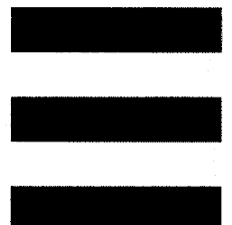
Matti Kuusivaara

LISÄTIETOJA

Matti Piispanen
Tielaitos, Siltayksikkö
Puh.0204442385

JAKELU/MYYNTI

Tielaitos, kirjasto
Puh.0204442053
Telefax 0204 44 2652



JAKELU

Tiepiirit
Tiepiirit, siltainsinöörit
Htl, Hte
Hsi:n tekninen henkilökunta
Tuotantoalueet
Tuotannon sillansuunnittelijat
Kirjasto 2 kpl
TIEL:n ulkopuolinen jakelu / luettelo

LIITE

Jännitetty elementtisilta (TIEL 2160004)

ALKUSANAT

Siltoja varten vakioitiin jännitetyt palkkielementit 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa ja laadittiin myös tyyppipiirustukset jännitetyille elementtisilloille. Perustyyppiksi sillalle valittiin silloin puolielementtisilta, jossa palkit olivat elementtejä ja kansi paikalla valettu. Jännepalkkielementin poikkileikkaus oli käännetty T-poikkileikkaus, jossa alalaippa oli 1000 mm leveä.

Tämä elementtityyppi vanheni teknisesti ja sitä käyttäen tehty elementtisilta menetti vähitellen kilpailukykynsä 1990 luvulla. Elementtitehtaat alkoivat esittää omia ratkaisujaan urakkakilpailuissa yhä useammin. Tämä johti siihen, että vuoden 1998 lopulla käynnistettiin projekti elementtiteollisuuden ja Tielaitoksen yhteistyönä tavoitteena Tielaitoksen jännitettyjen elementtipalkkisiltojen saattaminen teknisesti ja taloudellisesti ajan tasalle sekä elementtisiltojen käyttömahdollisuuksien parantaminen.

Tuloksena valmistui tämä suunnitteluohje piirustuksineen sekä ajoneuvoliikenteen sillasta vastaava ohje. Suunnitteluohjeen aineisto perustuu poikkileikkaukseltaan suorakaide-, puolisuunnikas- ja I-elementeille. Kansivaihtoehtoina ovat paikalla valettu kansi, kuorilaattoja käyttäen valettu kansi ja elementtikansi.

Suunnitteluaineisto poikkeaa aikaisemmista tyyppisiltasarjoista siinä, ettei se sisällä valmiita rakennepiirustuksia. Palkit on mitoitettu alustavasti ja laadittu mitoitusnomogrammit, joista saadaan tarvittava jänneteräsmäärä ja betonin lujuusluokka. Ohjeen aineiston pohjalta voidaan tehdä yleispiirteinen suunnitelma, siltasuunnitelma, jolla voidaan pyytää urakkatarjous. Rakennussuunnitelma tehdään siltakohtaisen suunnittelun ja tarkempien laskelmien perusteella käyttäen hyväksi ohjeen esittämiä perusratkaisuja sekä malli- ja periaatepiirustuksia.

Työtä rahoitti Tielaitoksen lisäksi Rakennustuotetollisuus RTT. Kehittämistyön toteuttamisesta vastasi Suomalainen Insinööritoimisto Oy. Kehittämisen ohjaukseen osallistui edellämainittujen tahojen ohella elementtiteollisuudesta Addtek Research and Development Oy, Parma Betonila Oy ja Lujabetoni Oy, urakoitsijoista YIT-Yhtymä Oy ja Tekra Oy sekä suunnittelutoimisto Fundus Oy.

Helsingissä maaliskuussa 2000

Tiehallinto
Siltayksikkö

SISÄLTÖ

1	YLEISTÄ	9
1.1	Suunnitteluaineiston käyttö	9
1.2	Sillan käyttöalue	9
2	RAKENNEVAIHTOEHDOT	10
2.1	Rakenteet	10
2.1.1	Jännepalkit	10
2.1.2	Kansilaatta	11
2.1.3	Sillan päätyrakenteet	12
2.1.4	Välituki	13
2.1.5	Reunapalkki	14
2.1.6	Sillan laakerointi	14
2.1.7	Liikuntasaumat	14
2.1.8	Viemäröinti	15
2.2	Materiaalit	15
2.2.1	Betoni	15
2.2.2	Jänneteräs	15
3	SUUNNITELMIEN LAADINTA	15
3.1	Siltasuunnitelma	15
3.1.1	Jännepalkkien valinta	16
3.1.2	Mitoitusnomogrammit	19
3.1.3	Törmäyskuorma	23
3.2	Rakennussuunnitelma	23
3.2.1	Piirustukset	23
3.2.2	Laatuvaatimukset	23
3.2.3	Laskelmat	23
LIITE 1. MALLIPIIRUSTUKSET		
LIITE 2. PERIAATEPIIRUSTUKSET		
LIITE 3. MATERIAALIEN MENEKKITIEDOT		
LIITE 4. LASKELMAT		
4.1	Suunnitteluperusteet	
4.1.1	Yleistä	
4.1.2	Jännepalkki	
4.1.3	Kuorilaatta	

1 YLEISTÄ

1.1 Suunnitteluaineiston käyttö

Jännitetyn elementtisillan suunnitteluohje piirustuksineen soveltuu käytettäväksi, kun siltasuunnitelmavaiheessa laaditaan suunnitelma-asiakirjoja. Siltasuunnitelma, joka perustuu ohjeen malli- ja periaatepiirustuksiin sekä menekkitietoihin, voi olla urakkatarjouksen pohjana.

Sillan rakennussuunnitelman laativat yleensä siltasuunnittelija ja urakoitsija yhteistyössä. Tällöin suunnittelussa voidaan ottaa huomioon urakoitsijan ja elementtiteollisuuden esittämät näkökohdat.

Suunnitteluohjeen mallipiirustuksia voidaan käyttää lähinnä yksiaukkoisten siltojen suunnittelussa. Suunnitteluohjeen periaatepiirustuksissa on esitetty erilaisia siltojen alus- ja päällysrakenteeseen liittyviä rakenneratkaisuja. Suunnitteluohje sisältää tekstiosan sekä liitteinä malli- ja periaatepiirustukset, materiaalienekkitiedot, suunnitteluperusteet ja mitoitus esimerkin.

Suunnitteluohje on tarkoitettu alustavaa suunnittelua varten, eivätkä sen menekkitiedot sido rakennuttajaa.

1.2 Sillan käyttöalue

Jännemitta

Silta soveltuu käytettäväksi jännevälialueella $L = 16 \dots 40$ m.

Hyötyleveys

Silta on suunniteltu hyötyleveyksille $Hl = 6,5, 7,5, 8,5, 10,5, 12,5$ ja $14,5$ m. Ohjetta voidaan soveltaa myös muille hyötyleveyksille.

Sillan hoikkuus

Silta on suunniteltu jännemitan ja rakennekorkeuden suhteille $L/H = 15, 20$ ja 24 . Muita hoikkuuksia käytettäessä saadaan tarvittavat tiedot interpoloimalla lasketuista arvoista. Rakennekorkeutena H on käytetty palkin ja laatan yhteenlaskettua korkeutta.

Jännepalkit

Jännepalkkeja on kolmenlaisia. Palkkien poikkileikkauksena voi olla suora-kaide-, puolisuunnikas- tai I-poikkileikkaus.

Palkkiväli

Silta on suunniteltu palkkiväleille $k = 1,8, 2,1, 2,4$ ja $2,7$ m.

Lisäksi on laskettu palkkiväli $k = 1,5$ m, kun sillan hoikkuus on $L/H = 24$. Muita palkkivälejä vastaavat tarvittavat arvot saadaan interpoloimalla.

Kansirakenne

Sillan kansirakennevaihtoehdot ovat kuorilaatta ja sen päälle tuleva jälkivalu, kokonaan paikalla valettu laatta tai elementtilaatta.

Sillan jatkuvuus

Silta voi olla yksiaukkoinen tai moniaukkoinen.

Silta voidaan tehdä välituilla jatkuvaksi joko niin, että palkit ja laatta ovat jatkuvia tai niin, että vain laatta on jatkuva. Jatkuvuus koskee vain laatan valun jälkeisiä kuormitustapauksia.

Kuormat

Silta on suunniteltu kuormitukselle Lk1, Ek1 / TIEL 91.

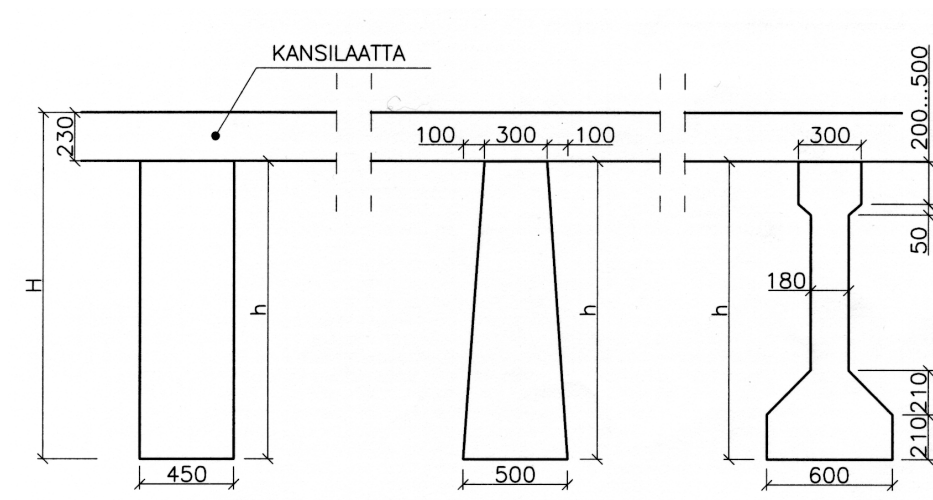
Törmäyskuorman vaikutus on otettava erikseen siltakohtaisesti huomioon.

2 RAKENNEVAIHTOEHDOT

2.1 Rakenteet

2.1.1 Jännepalkit

Jännepalkkien poikkileikkaukset on suunniteltu kuvan 1 poikkileikkausten nimellismittojen mukaisesti. Palkkien mittoja voidaan muuttaa palkkien rakennussuunnitelman ja muottikaluston edellyttämällä tavalla. Esimerkiksi palkkien leveysmittojen 500 ja 600 tilalla voi olla RunkoBES:n mittasuosituksen mukaisesti 480 ja 580. Palkkien poikkileikkaukset pysyvät vakioina koko palkkien pituudelta.



Kuva 1. Jännepalkkien eri elementtityyppien poikkileikkaukset

I-palkin ylälaipan korkeus on yleensä välillä 200...500 mm. Eri korkuisten palkkien uumien muottien korkeuksiksi on suunniteltu 300, 600, 900 ja 1200 mm. Tällöin jännepalkin ja laatan muodostaman rakenteen vastaavat kokonaiskorkeudet ovat 1200, 1500, 1800 ja 2100 mm. Jos punosmäärä ylittää 76, joudutaan alalaipan korkeutta lisäämään.

Jännepalkin I-poikkileikkauksen muotti voidaan tehdä myös käyttämällä poikkileikkaukseltaan puolisuunnikkaan elementin muotissa kevennyskoteloita.

Jännepalkin laakerilinjan etäisyytenä palkin päästä voidaan käyttää 300 mm:ä, jos jännepalkki on tuettu kumilevylaakereihin. Jos palkin pää tukeutuu kauttaaltaan paikkavalettuun betoniin, niin tukipinnan pituus määräytyy sillan rakennussuunnitelman mukaisesti.

Vinossa sillassa jännebetonipalkit voidaan tehdä päistään suoriksi, jos sillan vinous ei ylitä 30° . Sillan rakennussuunnittelussa on otettava huomioon vinouden vaikutus poikkipalkin leveyteen ja mahdollisten laakereiden tarvitsemaan tilaan.

Jos jännepalkki on tuettu kumilevylaakereilla, niin palkin päihin tehdään varaukset laakereita varten, jotta laakerit saadaan vaakasuoraan. Laakerivaraukset tai vaihtoehtoisesti viistetyt teräslevyt tehdään sillan rakennussuunnitelman mukaan.

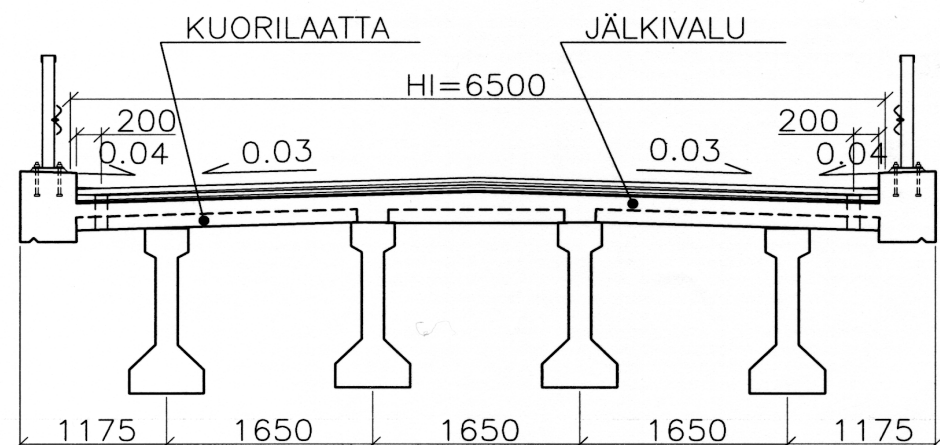
Jännepalkin mallipiirustus on esitetty liitteessä 1.4 ja menekkitiedot liitteessä 3.1.

Jännepalkin alustavaa mitoitus varten on esitetty mitoitusnomogrammit kohdassa 3.1.2.

2.1.2 Kansilaatta

Sillan kansilaatta voi muodostua kuorilaatasta, jonka päälle tulee jälkivalubetoni tai kokonaan paikalla valetusta betonilaatasta tai elementtirakenteisesta kansilaatasta.

Tyypillinen sillan poikkileikkaus, kun kansilaatta muodostuu kuorilaatasta ja jälkivalusta, on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Sillan poikkileikkaus kun kansilaatta muodostuu kuorilaatasta ja jälkivalusta.

Kuorilaatta ja jälkivalu

Jännepalkkien päälle asennetaan kuorilaatat, jotka ovat noin 110 mm paksuja. Kuorilaatat voivat olla jännitettyä betonia tai teräsbetonia. Jos kuorilaatta on ulokkeena reunimmaisen jännepalkin ylitse, kuorilaatassa on oltava varaukset jännepalkista tulevia tartuntoja varten. Jännepalkin tartunnat on ryhmitelty kuorilaatan varausten kohdalle. Reunimmaisen jännepalkin kohdalla tehdään jännepalkin yläpinnan ja kuorilaatan alapinnan välille noin 20 mm paksu juotosvalu. Kuorilaatan ja jälkivaluosan yhteinen vähimmäispaksuus on 230 mm, paitsi ulokkeella reunapalkin vieressä vähimmäispaksuus on 200 mm.

Kuorilaatan ja siihen liittyvän jälkivalettavan laatan raudoitus suunnitellaan yksityiskohtaisesti sillan rakennussuunnittelun yhteydessä.

Kansilaatan raudoituksen mallipiirustus on esitetty yksiaukkoisen sillan tapauksessa liitteessä 1.5.

Kuorilaatan ja siihen liittyvän jälkivalettavan laatan keskimääräiset betoni- ja teräsmenekit yksiaukkoisissa silloissa on esitetty liitteessä 3.2.

Paikalla valettu laatta

Paikalla valetun laatan vähimmäispaksuus on 230 mm, paitsi ulokeosalla laatan paksuus voi olla 200 mm. Laatan muotteina voidaan käyttää puumuottia tai poimulevymuottia. Jos käytetään poimulevymuottia, niin betoniosan pienin paksuus voi olla 200 mm.

Keskimääräiset kansilaattojen betoni- ja teräsmenekit yksiaukkoisissa silloissa on esitetty liitteessä 3.2.

Elementtilaatta

Kansilaatta tehdään (esimerkiksi 2,0 m leveistä) elementeistä, jotka ulottuvat sillan reunasta reunaan kun sillan hyötyleveys on 8,5 m tai pienempi. Kun sillan hyötyleveys on suurempi kuin 8,5 m, kansilaatta tehdään sillan leveys-suunnassa kahdesta elementistä, joiden välissä on jännepalkin kohdalla jälkivalu. Elementeissä on varaukset jännepalkista tulevia tartuntoja varten ja tartunnat ovat ryhmitelty elementtien varausten kohdille. Kansielementtien ja jännepalkkien väliin tulee noin 20 mm paksu juotosvalu. Elementtilaatan vähimmäispaksuudet ovat samat kuin paikalla valetussa laatussa.

Elementtirakenteista kansilaattaa käytetään yksiaukkoisissa silloissa.

Elementtilaatan periaatepiirustus on esitetty liitteessä 2.1.

2.1.3 Sillan päätyrakenteet

Päätyrakenteista yksinkertaisin on suoraan penkereeseen liittyvä sillan pää, jossa sillan siipimuurit muodostavat jännepalkkeja yhdistävän päätypoikkipalkin kanssa yhtenäisen rakenteen. Sillan pään etäisyys liikekeskiöstä saa olla enintään 35 m ja penkereessä liikkuvan päällysrakenteen pään vinous enintään 30°.

Jos sillan päätä ei voida liittää suoraan penkereeseen, niin käytetään sillan päällysrakenteen ja maatuen välissä liikuntasaumaa Tielaitoksen ohjeiden mukaisesti.

Sillan päädyn mallipiirustukset, kun pääty liittyy suoraan penkereeseen, on esitetty liitteissä 1.3 ja 1.6. Periaatepiirustukset sillan päätyvaihtiehdoista on liitteessä 2.3.

2.1.4 Välituki

Jännitetyn elementtirakenteisen sillan päällysrakenteen liittämisessä välitukiin otetaan huomioon sekä koko sillan että alus- ja päällysrakenteen toimintaan liittyvät näkökohdat.

Moniaukkoinen silta voidaan suunnitella välituen kohdalla jatkuvaksi siten, että jännepalkit liitetään toisiinsa jatkuviksi tai niin, että kansilaatta tehdään jatkuvaksi. Jatkuvuus koskee tämän ohjeen mukaisissa ratkaisuissa vain kansilaatan valun jälkeisiä kuormitustapauksia.

Sillan välituen rakenneratkaisujen periaatteita on esitetty liitteessä 2.2.

Jännepalkit ja kansilaatta jatkuvia

Välituen kohdalla valetaan jännepalkkien päihin yhtenäiseksi rakenteeksi jännepalkkeja yhdistävät kansirakenteen poikkipalkit ja kansilaatta sekä välituen poikkipalkki. Jännepalkkien päät kytketään toisiinsa jännepalkkien pituussuuntaisella lenkkiraudoituksella, joka tukeutuu jännepalkkien päissä oleviin reikiin sijoitettuun sillan poikkisuuntaiseen raudoitukseen.

Välituen poikkipalkki, jonka varaan jännepalkit on asennettu, voi olla joko paikalla valettu tai elementtirakenteinen. Välituen poikkipalkin tarkoituksenmukaiseen poikkileikkausmuotoon ja rakennekorkeuteen vaikuttaa oleellisesti poikkipalkin jännemitat ja ulokkeen pituus. Välituen poikkipalkin raudoituksen määräävä kuormitusajankohta on useimmiten rakentamisaikana kun kansilaatta on valettu. Laatan kovettumisen jälkeen välituen poikkipalkki ja kansilaatta sekä jännepalkkeja yhdistävät päätypoikkipalkit muodostavat yhtenäisen liittorakenteen.

Kansilaatta jatkuva

Kun vain kansilaatta tehdään jatkuvaksi, jännepalkit tukeutuvat poikkipalkkiin tai yhtenäiseen välitukeen kumilevylaakereiden välityksellä liitteessä 2.2 esitetyllä tavalla. Sillan kansilaatta tehdään jatkuvaksi kahden tai kolmen siltajänteen osalta. Jatkuvien laattaosien välille tulee Tielaitoksen ohjeiden mukaiset liikuntasaumalaitteet.

Poikkipalkin liittyminen välitukeen

Poikkipalkki voi olla valettu kiinni välitukeen tai laakeroitu esim. kumipesälaakerein. Kun sillan välituet ovat hoikat, on mahdollista joissain tapauksissa päästä edullisiin laakerittomiin välitukiratkaisuihin.

Jos poikkipalkki on elementtirakenteinen ja se valetaan kiinni välitukeen, elementtiin tehdään varaukset välituesta tulevia tartuntateräksiä varten.

Jos elementtirakenteinen poikkipalkki laakeroidaan, elementissä on oltava varaukset laakereiden kiinnittämistä varten. Laakeroitu poikkipalkki on tuettava rakennustyön aikana.

2.1.5 Reunapalkki

Reunapalkki voi olla joko paikalla valettu tai elementtirakenteinen. Jos reunapalkin ulkonäölle asetetaan tavallista suuremmat vaatimukset, on elementtirakenteinen reunapalkki sopiva ratkaisu. Paikalla valettu reunapalkki on osoittautunut tavanomaisissa silloissa käyttökelpoiseksi ratkaisuksi.

Elementtirakenteinen reunapalkki voi muodostua esim. 4,0 m pitkistä erillisistä elementeistä tai se voi olla yhtenäinen jännitetty itsekantava reunapalkkielementti. Itsekantavat reunapalkkielementit ovat käyttökelpoisia, kun sillan jännemitta on noin 20 m tai pienempi. Reunapalkin ulkopinta voi muodostua myös levyelementistä, jota vasten kansilaatta valetaan.

Reunapalkkiratkaisuja ei ole erityisesti kehitetty tässä yhteydessä. Liitteessä 2.4 on esitetty eräitä ideoita elementtien käytöstä reunapalkeissa.

2.1.6 Sillan laakerointi

Sillan laakeroinnissa noudatetaan tavanomaisia sillansuunnittelussa käytettyjä periaatteita ja Tielaitoksen antamia ohjeita.

Kumilevylaakereita käytetään jännepalkkien alla yksiaukkoisissa silloissa ja pienten (2 - 3-aukkoisten) siltojen maatuilla sekä niissä moniaukkoisissa silloissa, joissa vain kansilaatta on tehty välituella jatkuvaksi. Laakerialustat tehdään sillan pituus- ja poikkisuuntaan vaakasuoriksi.

Eräissä tapauksissa silta voidaan tehdä välituella myös laakerittomana kuten paikalla valetuissa silloissa.

Esimerkkejä sillan laakeroinnista on esitetty liitteessä 2.5.

2.1.7 Liikuntasaumamat

Jos sekä jännepalkit että laatta on suunniteltu jatkuviksi sillan välituilla, liikuntasaumamat suunnitellaan kuten paikalla valetuissa silloissa.

Jos sillan päällysrakenne on jaksotettu 2-3:n silta-aukon ryhmiin siten, että vain kansilaatta on välituella jatkuva, yhtenäisien kansilaattaosien välillä on käytettävä Tielaitoksen ohjeiden mukaisia vesitiiviitä, teräsrunkoisia, tartunnoilla varustettuja liikuntasaumalaitteita. Pienissä elementtisilloissa voidaan käyttää Tielaitoksen tyyppipiirustusten mukaisia liikuntasauvoja tai massaliikuntasauvoja.

2.1.8 Viemäröinti

Pintavedet johdetaan pois tavanomaisesti reunapalkin viereen sijoitettavilla pintavesiputkilla. Jos on kyseessä korkea I-palkkielementti, on harkittava ulosheittäjän käyttämistä pintavesiputken alapäässä, jotta roiskevedet eivät kastelisi palkin alalaippaa. Välituen kohdalla voi pintavesiputken sijoittaa poikkipalkkiin ja siitä edelleen välitukea myöten alas. Jos kansilaatta muodostuu kuorilaatasta ja jälkivalusta, voi olla tarkoituksenmukaista sijoittaa pintavesi- ja tippuputket kuorilaattojen saumakohtaan.

Tippuputket sijoitetaan Tielaitoksen ohjeiden mukaisesti.

2.2 Materiaalit

2.2.1 Betoni

Jännepalkkien betonin suunnittelulujuudet ovat K60...K100. Laukaisulujuus määräytyy tapauskohtaisesti. Yleensä laukaisulujuus on 70...80% suunnittelulujuudesta.

Kuorilaattojen betonin suunnittelulujuus on yleensä K50 ja paikalla valetun betonilaatan vähintään K35.

Betonin säänkestävyysvaatimus asetetaan Tielaitoksen ohjeiden mukaan.

2.2.2 Jänneteräs

Kun sillan hoikkuus on $L/H=15$ tai 20 , laskelmissa on käytetty jännepalkkien jänneteräksenä $\phi 12.5$ mm:n punosta. Punoksen teräslaatu on St 1570/1770 ja pinta-ala 93 mm^2 . Jos $\phi 12.5$ mm punoksen asemasta käytetään $\phi 12.9$ mm:n punosta, jonka teräslaatu on St 1630/1860 ja pinta-ala 100 mm^2 , nomogrammeista saatava punosmäärä voidaan jakaa 1,1:llä.

Kun sillan hoikkuus on $L/H=24$, jänneteräksenä on käytetty $\phi 12.9$ mm:n punosta, jonka teräslaatu on St 1630/1860 ja pinta-ala 100 mm^2 .

Kuorilaattojen jänneteräksenä on liitteen 3 kohdan 3.2 menekkilaskelmissa käytetty punosta, jonka teräslaatu on 1570/1770.

3 SUUNNITELMIEN LAADINTA

3.1 Siltasuunnitelma

Siltasuunnitelman laatiminen on tiehankkeen tiesuunnitelmavaiheeseen ja vesistösiltojen lupakäsittelyyn liittyvä suunnitteluvaihe, jolloin laaditaan sillan pääpiirustukset. Tavoitteena on laatia suunnitelma, joka määrittelee liikenteen ja vesistön vaatimukset täyttävän, rakentamis- ja käyttökustannuksiltaan edullisen ja ympäristöön soveltuvan sillan.

Siltasuunnitelmaa käytetään mm. pyydettäessä tarjousta kokonaisvastuurakassa.

3.1.1 Jännepalkkien valinta

Jännepalkkien valinta on optimointitehtävä, joka vaikuttaa koko siltarakenteeseen ja jossa on otettava huomioon tarkoituksenmukaisesti painotettuna erilaisia rakennusteknisiä, taloudellisia ja esteettisiä asioita.

Jännepalkin poikkileikkaus

Jännepalkkien eri elementtityyppien poikkileikkauksina ovat suorakaide-, puolisuunnikas- ja I-poikkileikkaus. Ohjeelliset jännemitta-alueet eri elementtityypeille ovat:

Suorakaide-poikkileikkaus	$L = 16 \dots 34 \text{ m}$
Puolisuunnikas-poikkileikkaus	$L = 16 \dots 38 \text{ m}$
I-poikkileikkaus	$L = 18 \dots 40 \text{ m}$

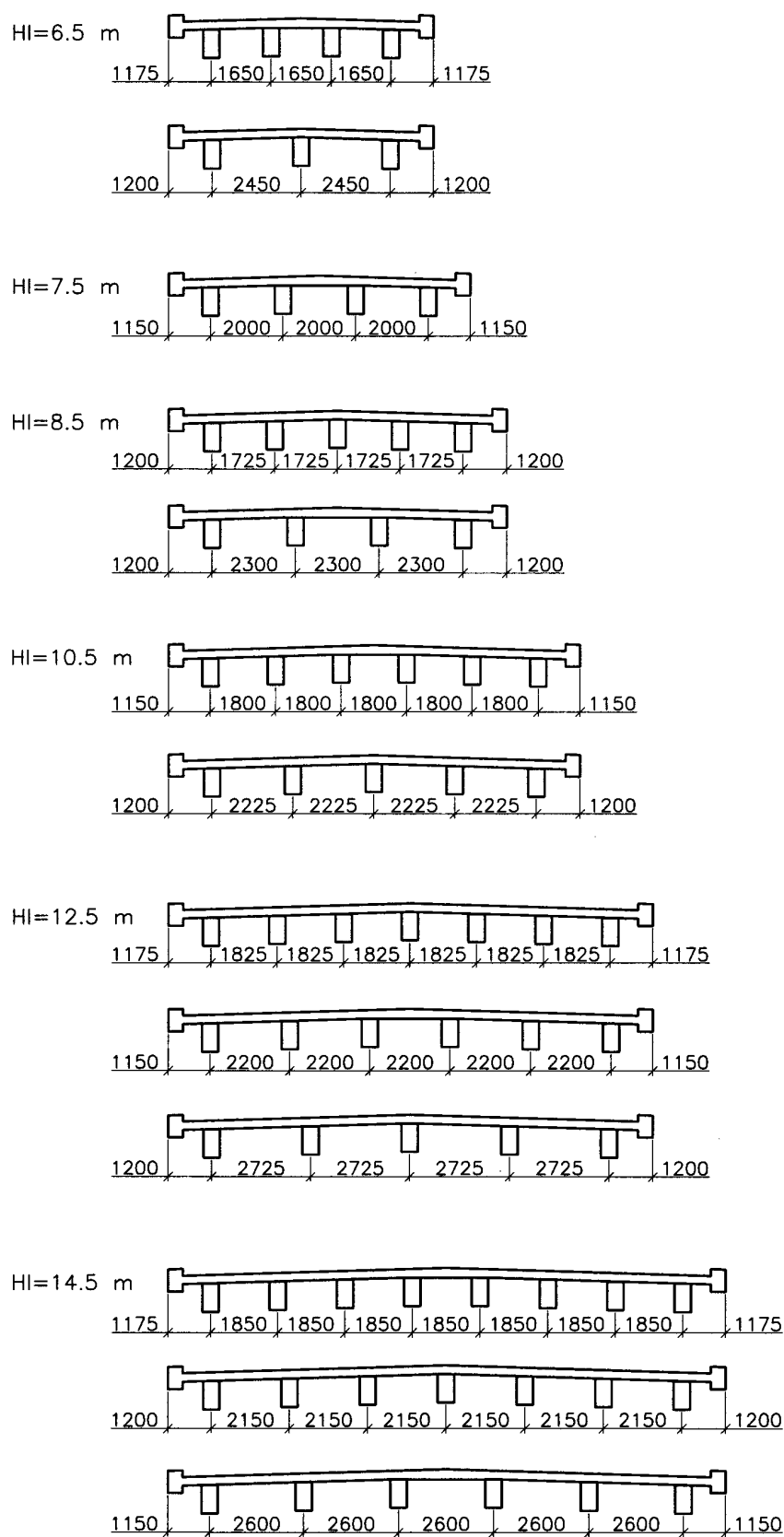
Rakennekorkeus

Rakennekorkeuden valinnalla on suuri vaikutus sillan taloudellisuuteen, ulkonäköön ja rakenneteknisiin ratkaisuihin. Tämä ohje on laadittu jännemitan L ja rakennekorkeuden H suhteille $L/H = 15, 20$ ja 24 . Rakennekorkeutena H on käytetty jännepalkin ja kansilaatan yhteenlaskettua korkeutta. Hoikkuutena tulee yleisemmin kysymykseen $L/H=20$.

Jos sillan hoikkuus on suuri esim. $L/H=24$, tämä asettaa suuret vaatimukset sekä sillan suunnittelulle että rakentamiselle. Pienet erot suunnitteluperusteissa ja mitoituksessa vaikuttavat voimakkaasti hoikan jännepalkin jänneteräsmäärään, betonilujuuteen ja muodonmuutoksiin. Lyhyillä jännemitoilla tämä hoikkuus ei ole mahdollinen tämän suunnitteluohjeen esittämillä palkeilla, koska pelkän jännepalkin hoikkuus tulee silloin liian suureksi.

Sillan poikkileikkaus

Kuvassa 3 on esitetty sopivia palkkijakoja, kun sillan hyötyleveydet vaihtelevat välillä $Hl = 6,5 \dots 14,5 \text{ m}$.



Kuva 3. Jännepalkkien tavanomaiset palkkivälit eri hyötyleveyksillä

Sillan päällysrakenne on laskettu jännepalkkien keskinäisille väleille $k=1,8$, $2,1$, $2,4$, ja $2,7$ m, kun siltarakenteen hoikkuudet ovat $L/H=15$ ja 20 . Kun siltarakenteen hoikkuus on 24 , jännepalkit on mitoitettu palkkivälille $1,5$ ja $1,8$ m.

Reunaulokkeen pituus reunimmaisen palkin keskeltä reunapalkin ulkoreunaan on noin $1,1\ldots 1,2$ m. Tällöin pintavesiputket mahtuvat reunimmaisen jännepalkin ulkopuolelle.

Jos sillan hoikkuus on suuri esim. $L/H=24$ reunimmainen jännepalkki on mitoituksessa selvästi määräävä. Tällöin reunimmaisista jännepalkeista tulee jänneterästen määrän ja betonin lujuuden osalta valmistusteknisesti erilaisia kuin muissa palkeissa.

Jos on tarkoituksenmukaista tehdä kaikista palkeista samanlaisia, ulokkeen pituutta voidaan lyhentää jonkin verran, jolloin kuormat jakaantuvat tasaisemmin palkkien kesken. Tällöin mahdolliset pintavesiputket on vietävä reunimmaisen jännepalkin lävitse tai pintavesiputkessa on käytettävä ulosheitinjää. Reunapalkista reunimmaiselle jännepalkille tulevaa kuormitusta voidaan pienentää myös tekemällä reunapalkki kansilaatan kovettumisen jälkeen jälkivaluna tai elementeistä.

Taloudellisuus

Yleensä sillan päällysrakenne on kustannuksiltaan edullisin, kun jännepalkkeja on mahdollisimman vähän. Pieni jännepalkkimäärä edellyttää vastavasti suurempaa rakennekorkeutta tai suurempaa jänneteräsmäärää ja lujuempaa betonia kuin suurempi palkkimäärä. Jos voidaan käyttää suurta rakennekorkeutta ja palkin korkeus on ulkonäön puolesta sopiva eikä palkin paino muodostu noston kannalta esteeksi, kokonaistaloudellisesti on perusteltua käyttää pientä palkkimäärää ja vastaavasti suurta rakennekorkeutta. Usein on kuitenkin tarkoituksenmukaista valita sillan hoikkuus siten, että suhde L/H on välillä $18\ldots 20$.

Sillan ulkonäkö

Elementtisilloissa on erityisesti kiinnitettävä huomiota poikkipalkkien ja niiden päiden muotoiluun. Päällysrakenteen laakeriton liittäminen alusrakenteeseen antaa mahdollisuuden saumattomiin, ulkonäöltään sopusuhtaisiin ja korkealuokkaisiin elementtisiltoihin.

Reunapalkkeihin on käytettävissä monipuolisia pinta- ja kivimateriaaleja, joilla on mahdollista saada elementille hyvä ulkonäkö ja säänkestävyys. Voidaan käyttää pinnoitusta, kuviointia, urituksia tai erillisiä kuorielementtejä.

Siltojen ulkonäköön liittyviä asioita on käsitelty seuraavissa Tielaitoksen julkaisuissa:

Risteyssiltojen estetiikka	TIEL 2170004
Siltojen betonirakenteiden pinnat	
- Suunnittelu	TIEL 2170012
- Siltakohtaisten laatuvaatimusten ja työtapaehtotusten mallit	TIEL 2170013
Siltojen betonipintojen ulkonäön parantaminen	TIEL 2170011
Silta ja ympäristö	TVH 723443

3.1.2 Mitoitusnomogrammit

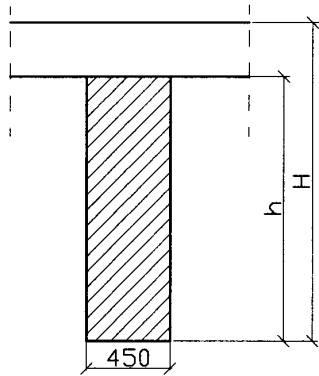
Jännebetonipalkkien alustavaa mitoittamista varten on laadittu nomogrammit elementtityypeille, joiden poikkileikkauksina ovat kuvan 1 mukaiset suorakaide-, puolisuunnikas- ja I-poikkileikkaus, kun rakenteen hoikkuudet ovat $L/H = 15, 20$ ja 24 . Palkkien välit ovat $1,5, 1,8, 2,1, 2,4$, ja $2,7$ m ja laatta- ja laattalokkeen pituus reunimmaisen jännepalkin keskeltä reunapalkin ulkopintaan on $1,2$ m. Jännepalkit ovat vapaasti tuetut.

Kuvien 4, 5 ja 6 mukaisista nomogrammeista voidaan määrittää palkin jänneteräsmäärä ja tarvittava betonin lujuusluokka sekä palkin paino,

Kun rakenteen hoikkuus on $L/H=15$ tai 20 , nomogrammeista saadaan suoraan reunimmaisten jännepalkkien punosmäärä. Sillan poikkileikkauksen muiden jännepalkkien punosmäärä saadaan vähentämällä nomogrammistä saatavasta punosmäärästä $5\ldots 10\%$ kun palkkiväli on $1,8$ m ja n. 5% , kun palkkiväli on $2,1$ m, tai $2,4$ m. Jos sillan poikkileikkaus muodostuu kolmesta jännepalkista kuvan 3 mukaisesti, niin kaikkien palkkien punosmäärä saadaan suoraan nomogrammistä.

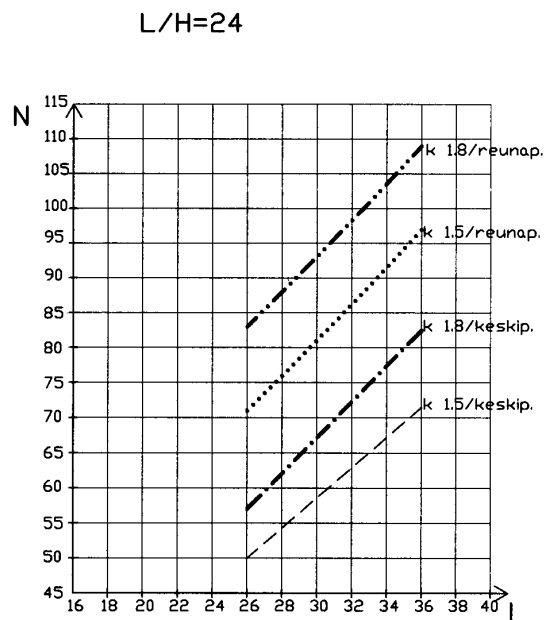
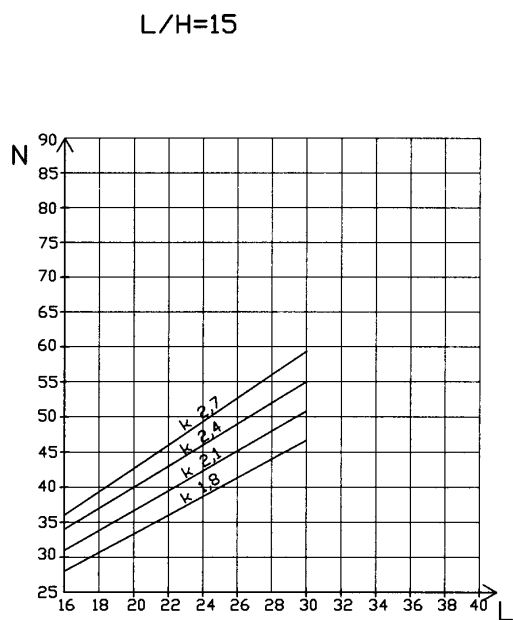
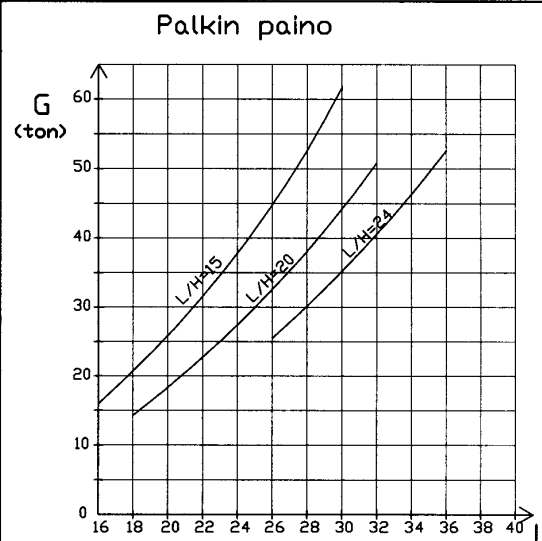
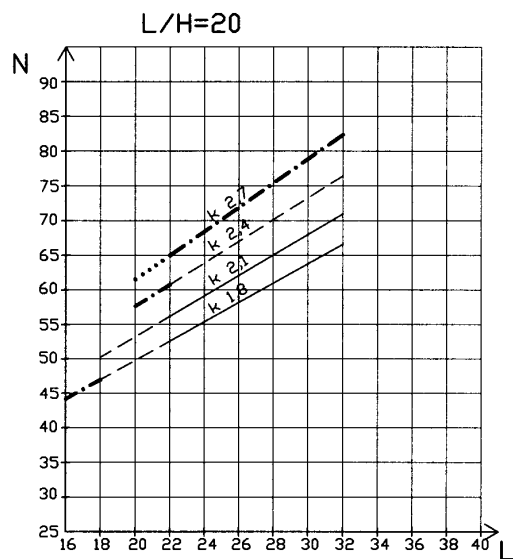
Kun rakenteen hoikkuus on $L/H=24$, nomogrammissa on esitetty sekä reunimmaisen että keskimmäisten jännepalkkien punosmäärät erikseen.

Nomogrammeja laadittaessa on kansilaatan paksuutena käytetty 230 mm. Reunapalkin painona on käytetty $4,8$ kN/m ja pintarakenteiden painona $3,25$ kN/m² sekä lisäpäällysteen painona $1,0$ kN/m².



N=punosmäärä palkkia kohti
G=palkin paino (ton)
L=jännemitta (m)
k=palkkiväli (m)
Betoni:

K60 —————
K70 - - - - -
K80 - · - · - · -
K90 · · · · ·
K100 - · - · - · -



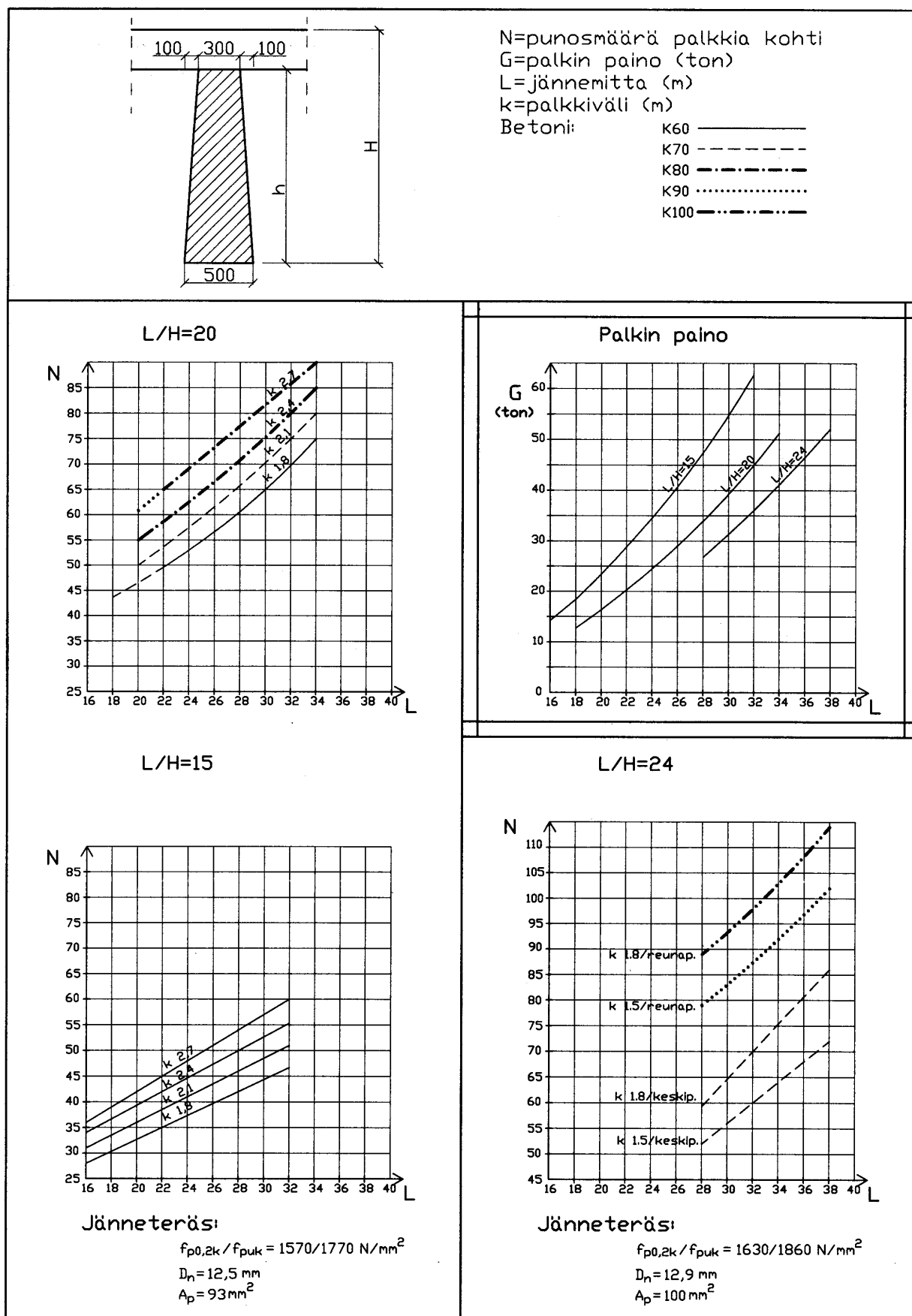
Jänneteräs:

$f_{p0,2k} / f_{puk} = 1570 / 1770 \text{ N/mm}^2$
 $D_n = 12,5 \text{ mm}$
 $A_p = 93 \text{ mm}^2$

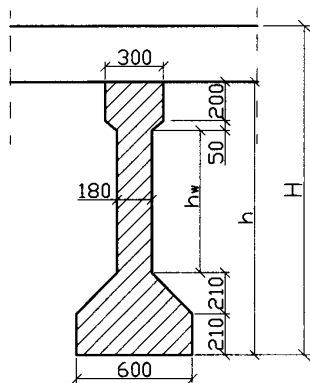
Jänneteräs:

$f_{p0,2k} / f_{puk} = 1630 / 1860 \text{ N/mm}^2$
 $D_n = 12,9 \text{ mm}$
 $A_p = 100 \text{ mm}^2$

Kuva 4. Poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisen elementtityypin mitoitus



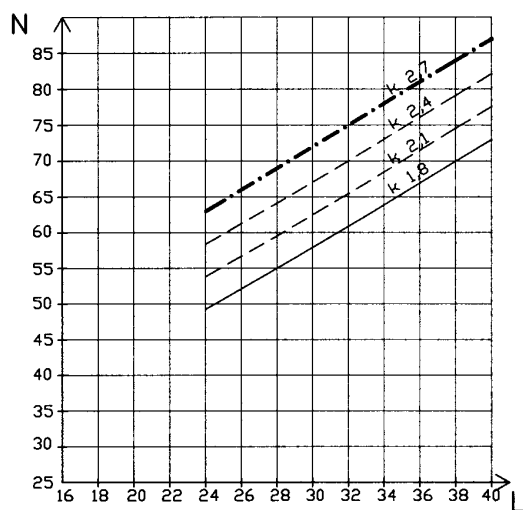
Kuva 5. Poikkileikkaukseltaan puolisuunnikkaan muotoisen elementtityypin mitoitus



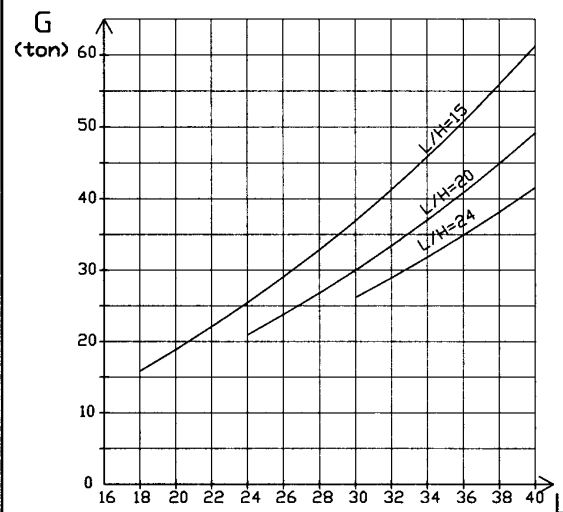
N=punosmäärä palkkia kohti
G=palkin paino (ton)
L=jännemitta (m)
k=palkkiväli (m)
Betoni:

K60 —————
K70 - - - - -
K80 - · - · - · -
K90 · · · · ·
K100 - · - - - -

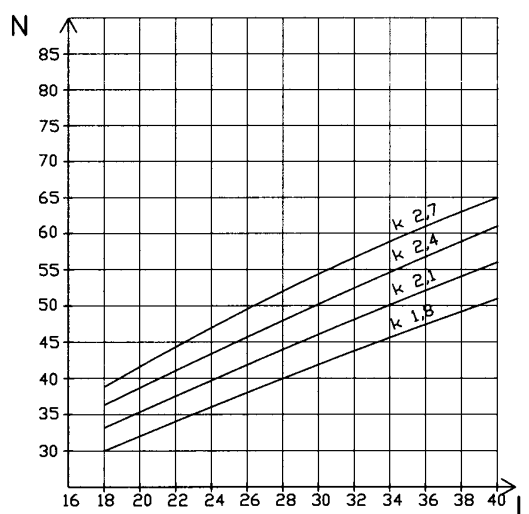
L/H=20



Palkin paino



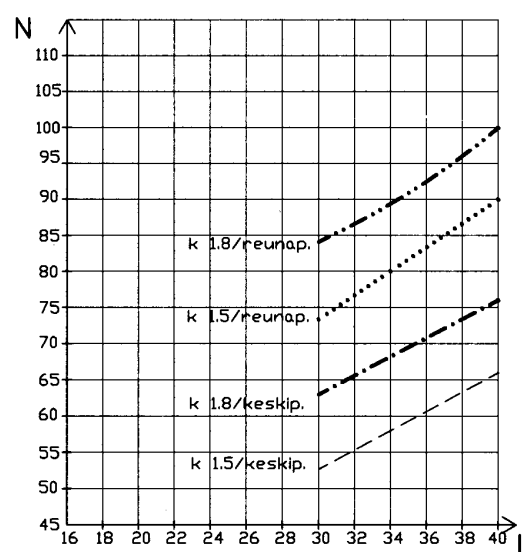
L/H=15



Jänneteräs:

$f_{p0,2k} / f_{puk} = 1570/1770 \text{ N/mm}^2$
 $D_n = 12,5 \text{ mm}$
 $A_p = 93 \text{ mm}^2$

L/H=24



Jänneteräs:

$f_{p0,2k} / f_{puk} = 1630/1860 \text{ N/mm}^2$
 $D_n = 12,9 \text{ mm}$
 $A_p = 100 \text{ mm}^2$

Kuva 6. Poikkileikkaukseltaan I-muotoisen elementtityypin mitoitus

3.1.3 Törmäyskuorma

Päällysrakenne mitoitetaan Tielaitoksen ”Siltojen kuormat” ohjeen mukaan tapauskohtaisen harkinnan perusteella törmäyskuormalle, jonka suuruus on 300 kN ajoneuvoliikenteen tiellä ja 45 kN kevyen liikenteen tiellä. Sillan päällysrakennetta ei tarvitse mitoittaa törmäyskuormalle, jos se sijaitsee vähintään 1 m alitse kulkevalle tielle määritellyn vapaan korkeuden yläpuolella tai jos törmäykseen yltävällä kuljetuksella ei ole mahdollisuutta päästä silta-aukkoon.

Törmäyskuormaa varten voidaan reunimmaisista jännepalkkeja tukea poikkipalkkein tai suunnitella reunimmaisen jännebetonipalkin yhteyteen erillinen teräsbetoninen törmäyspalkki.

Reunimmaisen jännepalkin alareunaan asennetaan tarvittaessa teräksinen kolhaisuvahvike.

3.2 Rakennussuunnitelma

3.2.1 Piirustukset

Sillan rakennussuunnitelman yleis- ja rakennuspiirustukset laaditaan noudattaen liitteiden 1 ja 2 piirustuksissa esitettyjä periaatteita. Liitteen 1.4 mukainen jännepalkin piirustus on esimerkki elementtipiirustuksesta. Piirustuksia laadittaessa otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan elementtien valmistajan ja asentajan esittämät elementtien tuotantoon liittyvät muotteja, jänneteräksiä ja betoniteräksiä tms. koskevat näkökohdat.

3.2.2 Laatuvaatimukset

Laatuvaatimusten osalta noudatetaan Sillanrakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia SYL 1-7. Siltakohtaisissa laatuvaatimuksissa voidaan täydentää tai tarvittaessa muuttaa yleisiä laatuvaatimuksia.

Elementtien kuljetuksia, nostoja ja tukemisia sekä asentamista varten on laadittava tekniset työsuunnitelmat. SYL 1.3.3.3-kohdassa on esitetty teknisessä työsuunnitelmassa huomioon otettavia näkökohtia. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota palkin stabiliteettiin rakennustyön eri vaiheissa.

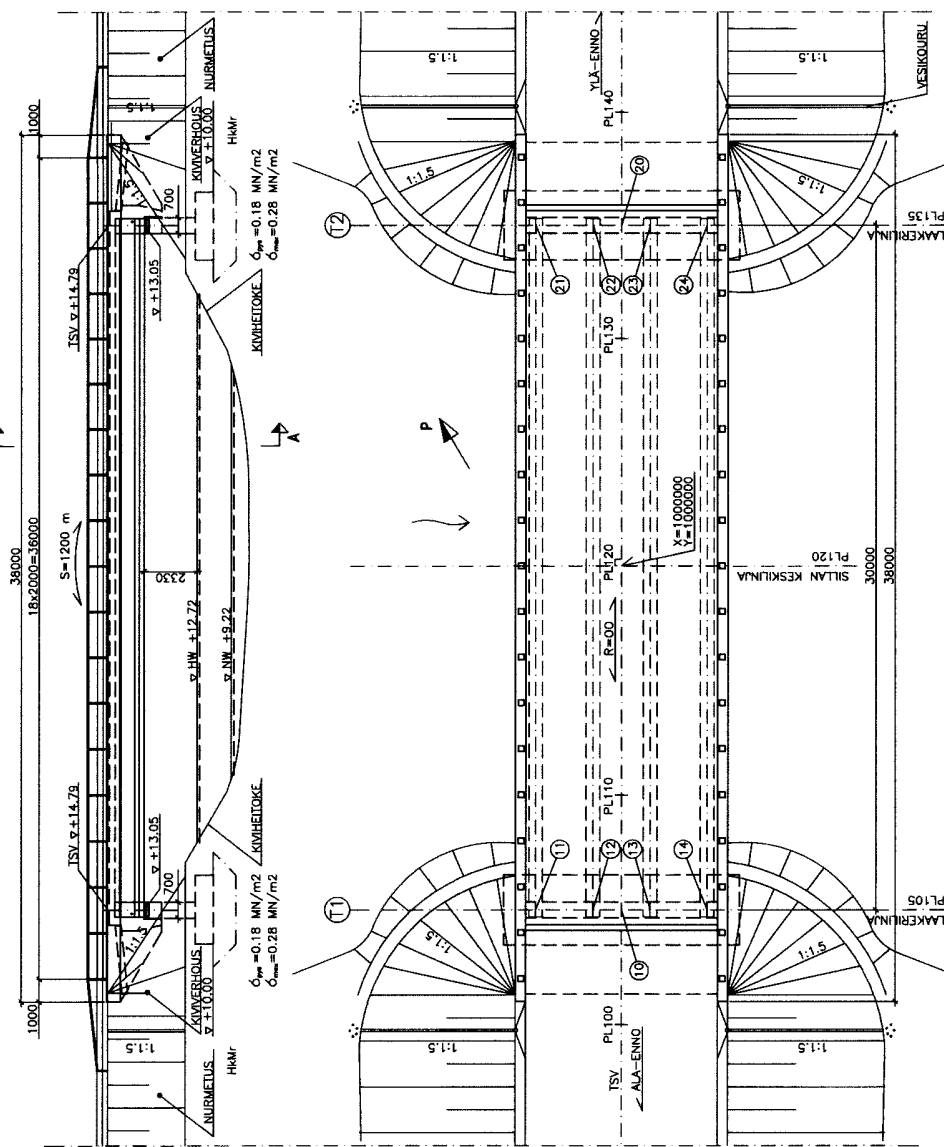
3.2.3 Laskelmat

Sillan laskelmat laaditaan Tielaitoksen ohjeen ”Siltojen rakennelaskelmat”, TIEL 2170002 mukaisesti.

Liitteessä 4 on esitetty jännepalkin laskentaperiaatteet.

LIITE 1 MALLIPIIRUSTUKSET

- 1.1 Yleispiirustus
- 1.2 Päälysrakenteen mittapiirustus
- 1.3 Sillan päädyn mittapiirustus
- 1.4 Jännepalkin mitta- ja raudoituspiirustus
- 1.5 Kansilaatan raudoituspiirustus
- 1.6 Sillan päädyn raudoituspiirustus



Lite 1.1

BETONI:

BETONITERÄS: A500HW
KANNEN PINTARAKENNE:

SYL 6/LITE 1/ KUVA 2a
--AB 20/120 50mm
--AB 12/70 30mm
--2xKERMERISTYS

KUMILEVYLÄÄKKEIT:

400x500x82 mm3
TIHEÄ KORKEA SILLAN KAIDE

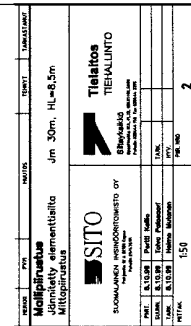
KAITEET: TIEHÄ KORKEA SILLAN KAIDE
PANOSPUTKET: PÄÄTTYILLÄ TIEL:N PANOSTILA

SILTAIPAIKAN KARTTA 1:10000

PÄÄPISTEIDEN KOORDINAATIT		
PISTE	X	Y
10	999985,000	1000000,000
11	999985,000	1000001,750
12	999985,000	1000001,750
13	999985,000	999998,250
14	999985,000	999998,250
20	10000015,000	10000000,000
21	10000015,000	1000001,750
22	10000015,000	1000001,750
23	10000015,000	999998,250
24	10000015,000	999998,250

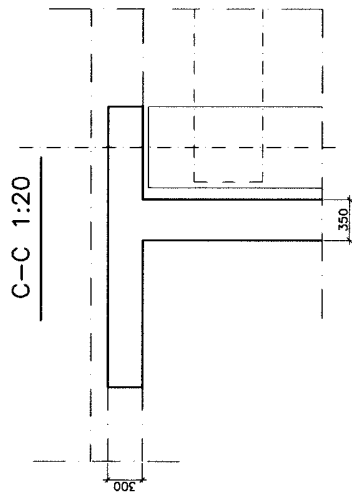
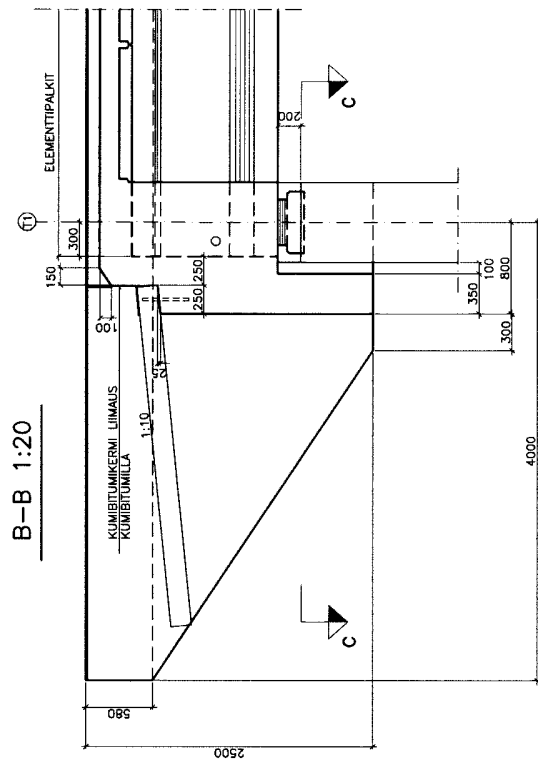
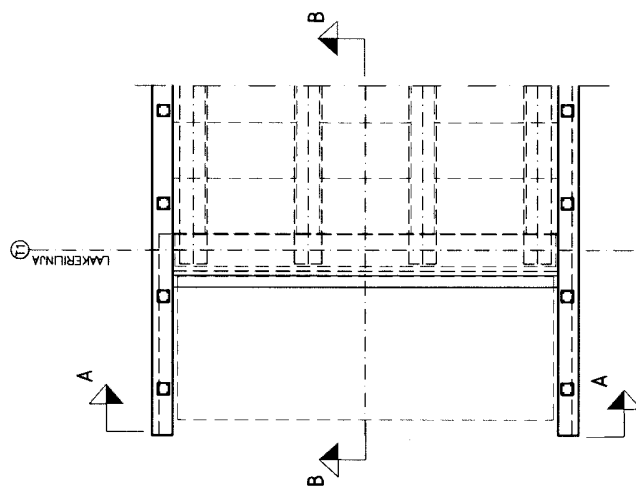
PIIRUSTUSLUETTELO	
1	YLESIPIRUSTUS
2	PÄÄLYSVAIKENTEEN MITTAPIIR.
3	SILLAN PÄÄTÖN MITTA- JA PAUD. PIIR.
4	JÄNNÄLKÄIN MITTA- JA PAUD. PIIR.
5	KANSILAATAN RAUDOITUS PIIR.
6	SILLAN PÄÄTÖN RAUDOITUS PIIR.
	TYYPPIPIIRUSTUKSET:
	R15/DL 1
	SIIRTÄMÄKÄÄLÄ 3m
	KORKEA SILLANKÄDE, TEEH. KAIDE
	R15/DK 1-3
	KORKEA SILLANKÄDE, PÄÄTTÄMINEN
	R15/DK 1-5
	KÄITEEN KINNITTÄS SINKKITYLLÄ RUUVILLA
	R15/DK 1-10
	YLÄOHITTEEN RUUVILITOSTAUKOS
	R15/DK 1-12
	TIIPULIUKKI
	R15/OT 1
	PINTAVESIRUKI
	R15/OS 1
	PINTAVESIN VÄLMÄKORTTI
	R15/OS 3
	SEOSTAMISEN PIIRUSTUKSET:

NUMERO	PVM	MAASTO	TUOTO	TUOTOAJA
Mallipilipustus Jännötetty elementilla Yleispilustus				
Jm 30m, HL=8,5m				
SITO SUOMALAINEN INSINÖÖRITAMSTO OY Suomalainen Insinööritamstojen Liitto Puhelin: 09-251100 Faksi: 09-251101				
Tielaslo TIETALLINTO Siivottävä Suomalainen K. A. S. 00000 Suomalainen K. A. S. 00000 Puhelin: 09-251100 Faksi: 09-251101				
NUMERO	PVM	MAASTO	TUOTO	TUOTOAJA
1001	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1002	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1003	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1004	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1005	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1006	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1007	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1008	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1009	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1010	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1011	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1012	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1013	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1014	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1015	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1016	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1017	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1018	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1019	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1020	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1021	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1022	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1023	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1024	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1025	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1026	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1027	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1028	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1029	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1030	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1031	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1032	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1033	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1034	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1035	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1036	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1037	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1038	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1039	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1040	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1041	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1042	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1043	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1044	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1045	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1046	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1047	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1048	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1049	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1050	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1051	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1052	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1053	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1054	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1055	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1056	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1057	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1058	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1059	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1060	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1061	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1062	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1063	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1064	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1065	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1066	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1067	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1068	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1069	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1070	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1071	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1072	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1073	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1074	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1075	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1076	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1077	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1078	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1079	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1080	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1081	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1082	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1083	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1084	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1085	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1086	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1087	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1088	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1089	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1090	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1091	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1092	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1093	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1094	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1095	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1096	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1097	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1098	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1099	10.10.98	Suomi	Kuopio	
1100	10.10.98	Suomi	Kuopio	



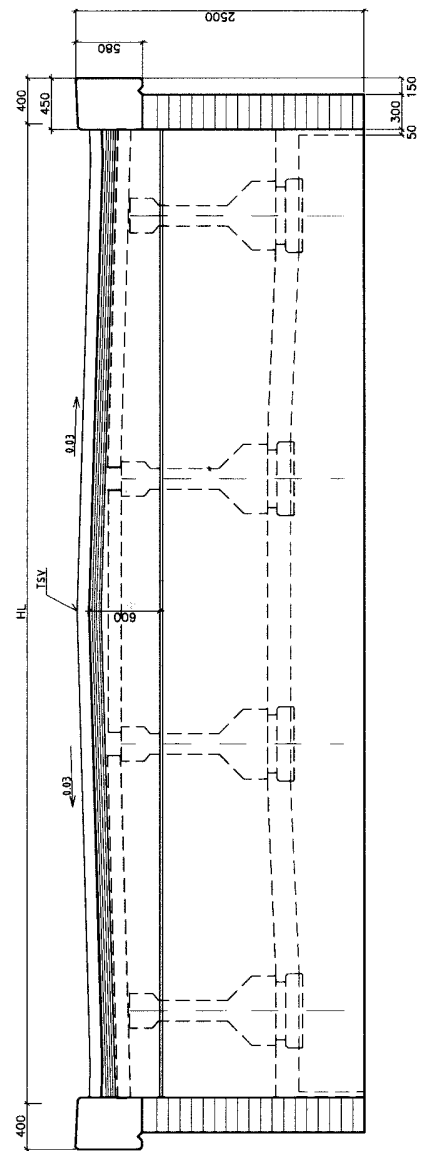
Liite 1.3

TASOKUVA 1:50

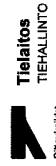


MATERIAALIT: KS. KÄNNEN MITTAPIRUSTUS

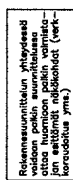
A-A 1:20



KESKUS	PVN	MITTUS	TEHTY	LOUKKAAMIN
Mallipirustus		Jm 30m, Hl=8,5m		
Jännitetty elementtisilta				
Sillan päädyn mittapiirustus				
SITO SUOMENKIVIN SUUNNITTELU- JA KONSULTTITOIMISTO OY Perustustekniikka Perustustekniikka				
PROJ.	8.10.99	Pertti Kallio		
LUOKK.	8.10.99	Timo Pöyhönen		
PAIK.	8.10.99	Nelma Mäkelä		
PISTAK.	150			
				3



Tielaitos
Tiehallinto



TASOKUVA 1:50



Technical drawing of a bridge structure, showing a longitudinal section. The drawing includes various components labeled with numbers and dimensions:

- ① 147d18k200 L9200
- ② 43d12k200
- ③ 43d12k200
- ④ 43+43d18k200, TULLA
- ⑤ 115d12 k200 L9200
- ⑥ 16+16d18k200 L9200

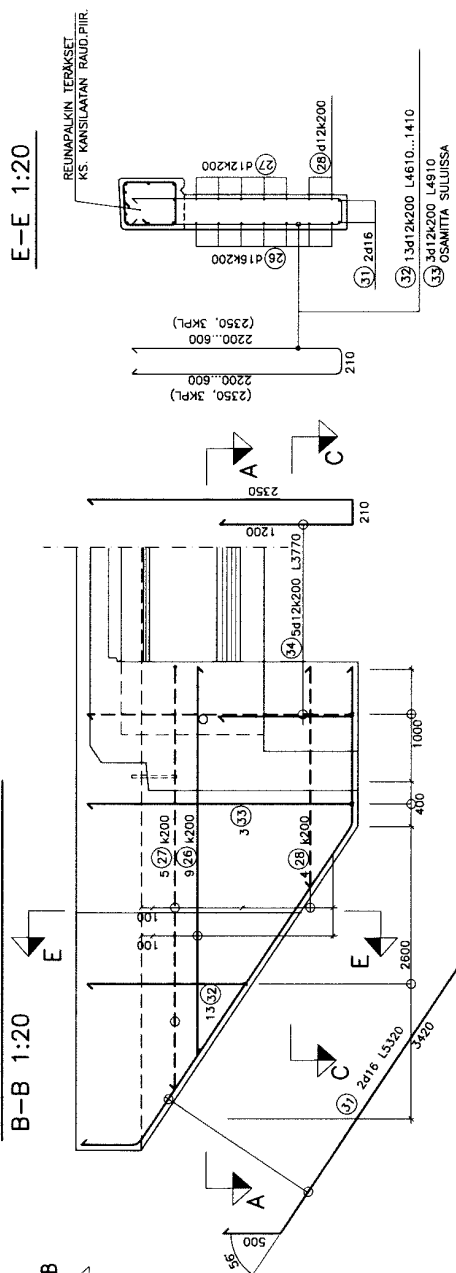
The drawing also shows a cross-section of the bridge deck and the supporting structure, with a vertical axis labeled 'y'.

[illegible]

TERÄS: A500 HW
BETONITEITE: 35mm, REUNAPAKKISSA 40mm
ALAPINNAN RAUDOITUS SUOJETAAN 25 mm:n ETÄISYYDELLE
KUORILAATAN YLÄPINNASTA

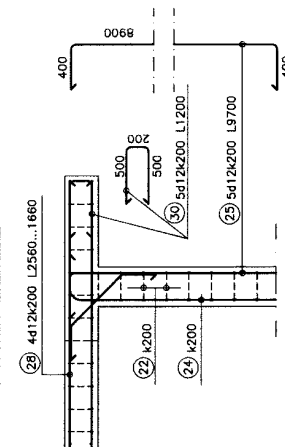
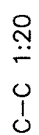
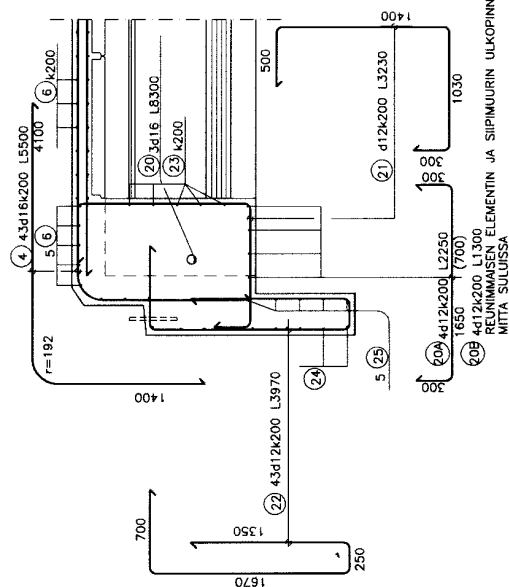
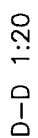
KEMOS	PAIN	PHOTOS	TEWNT	EMAKSTANT
Möllipilvustus Jännetty elementtilta Konsolaation raudotuspilvustus Jm 30m, Hl=6,5m				
SITO SUOMALAISEN INSINÖÖRIMESTO OY Puhelin 010-32111 Faksi 010-32112				
Tielatolito TIEHALLINTO Shaykasko Puhelin 010-32111 Faksi 010-32112				
PÄIT.	6.10.98	Päättö Päättö	LÄRK	
SUUNN.	6.10.98	Tuoto Päättö	NYT	
TARK.	6.10.98	Huolto Määntö		
MITAL.	1,20			5

SIIPIMUURIN RAUDOITUS 1:20



E-E 1:20

TERÄS: A500 HW
BETONIPEITE: 35mm, RE
BETONIPEITE KOSKEE MY
RAUDOITUS ON SUUNNITE
PÄÄTYPÄLKKI
SIIPIMUURIN

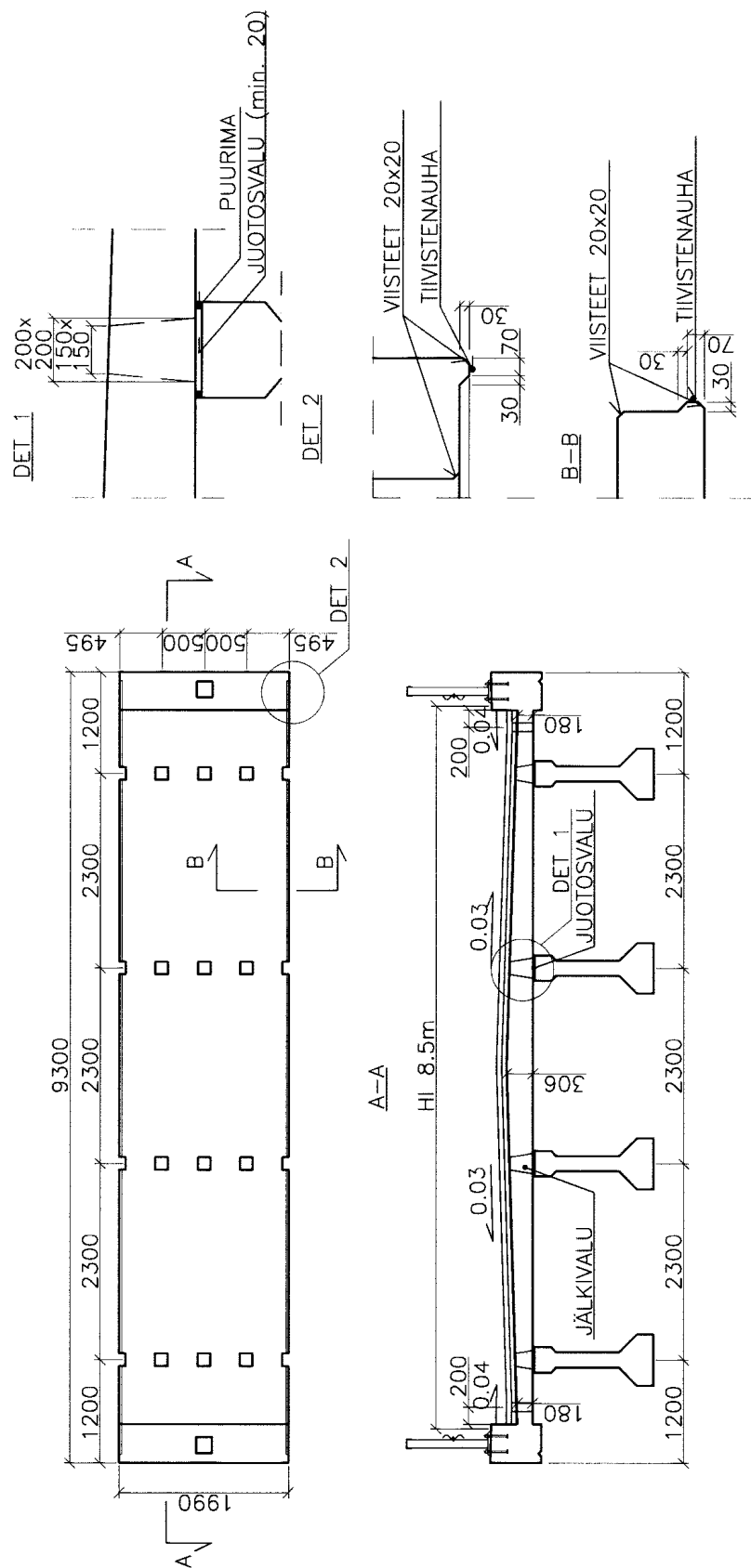


HEIKKILÄ	FINN	MASTO	TYÖNTE	TÄHÄNASTI
Mallipirustus jännitetyt elementit Silan päädyn raudotus Jm 30m, Hl=8,5m				
SITO SUOMALAINEN INSINÖÖRITOIMISTO OY Pääsuunnittelija Pasi Sittler Puh. 09-251100				
Tietalinto Suunnittelija Riikka Kuitila Puh. 09-251100				
RYHÄ	8.10.00	Perust. Kalkk.		
SOVUNN.	8.10.00	Sovun. Pääsuunn.		
LABE.	8.10.00	LABE.		
Helsingin, Malminkatu			HYV.	
1220			PRE.MRS	6
MITTEE				

LIITE 2 PERIAATEPIIRUSTUKSET

2.1	Elementtilaatan mittapiirustus	2
2.2	Sillan välituki	3
2.3	Sillan päätytuki	4
2.4	Reunapalkki	5
2.5	Elementtisillan laakerointi	6

LIITE 2.1 ELEMENTTILAATAN MITTAPIIRUSTUS



TEKOTAPA:

ELEMENTIT ASENNETAAN JÄNNEPALKKIKIEN PÄÄLLÄ OLEVIA PUURIMOJA VARAAN, JOTKA ON KIINNI- NITETTY KONTAKTILIMALLA. ASENNUKSEN JÄLKEEN VALETAAN VALITILA SAUMASBETONILLA VAARNAVA- RAUKSISTA KÄSIIN. VALU ETENEE VARAUKSESTA TOI- SEEN. VALU SAA SIIRTÄÄ SEURAAVAAN VARAUKSEEN, KUN MASSA NÄKYI VARAUKSESTA. VAARNAVARAU- KSET VALETAAN SAMASSA YHTYEDISSÄ.

LIITE 2.2 SILLAN VÄLITUKI

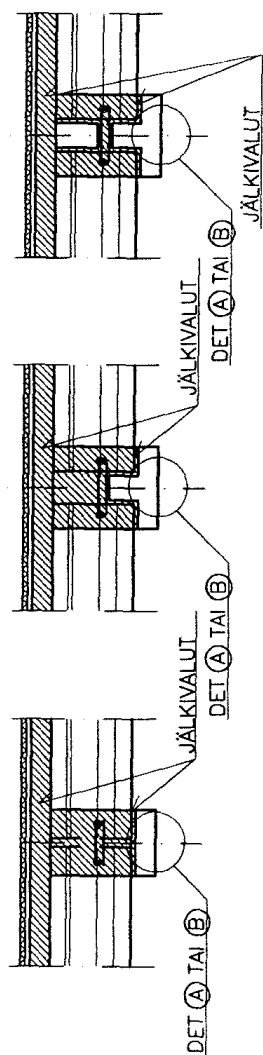
VAIHTOEHTOISIA RATKAISUJA VÄLITUELLA

PALKKI JA LAATTA JATKUVIA

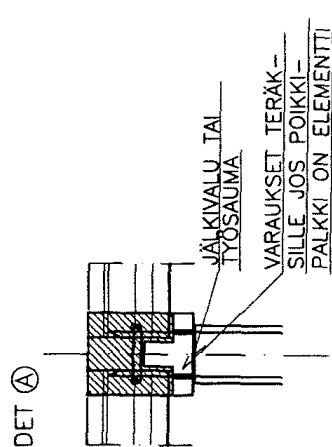
VAIHTOEHTO ①

VAIHTOEHTO ②

VAIHTOEHTO ③



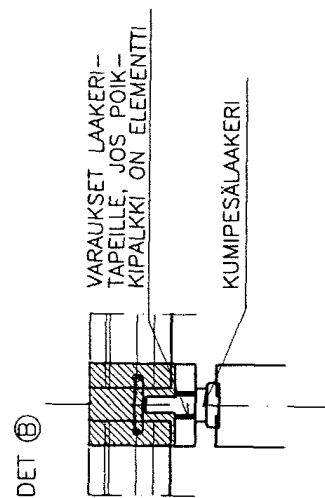
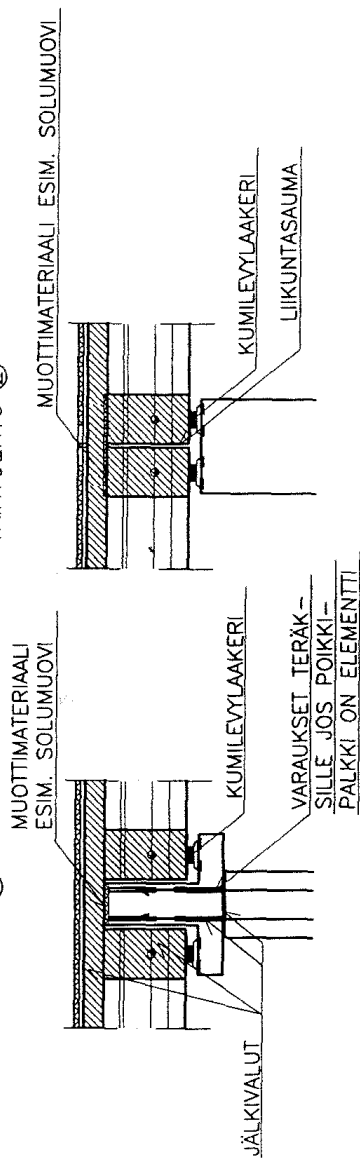
PÄÄLLYSRAKENTEEN LIITTYMINEN ALUS- RAKENTEeseen



LAATTA JATKUVA

VAIHTOEHTO ①

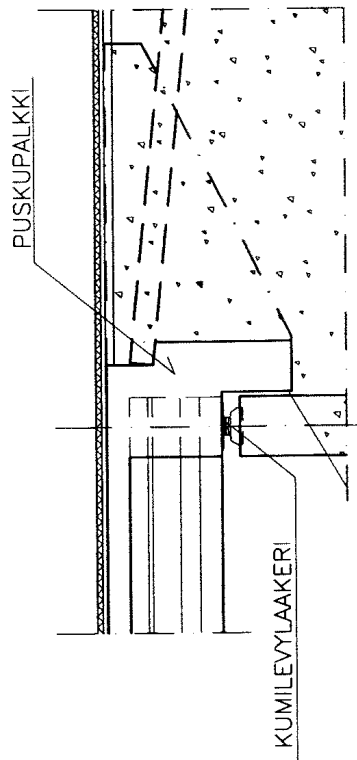
VAIHTOEHTO ②



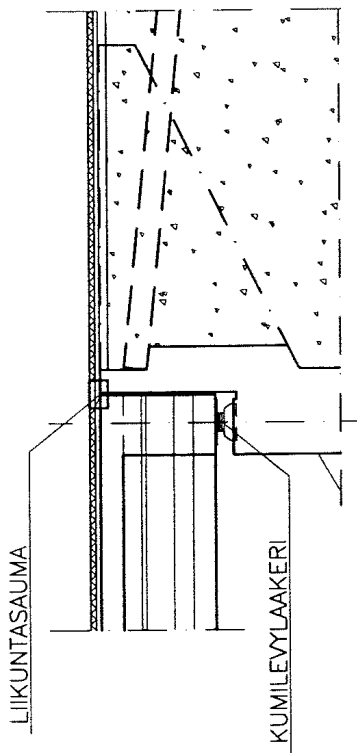
LIITE 2.3 SILLAN PÄÄTYTUKI

SILLAN PÄÄTYVAIHTOEHTOJA

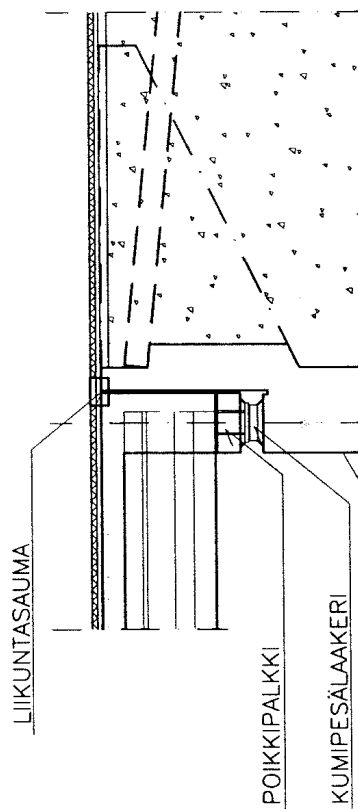
PÄÄTYTUKI 1



PÄÄTYTUKI 2



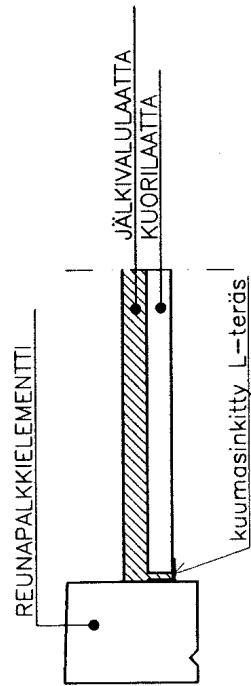
PÄÄTYTUKI 3



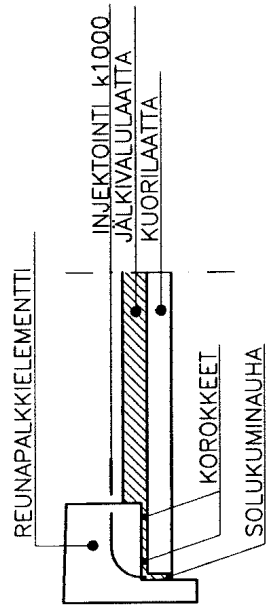
LIITE 2.4 REUNAPALKKI

REUNAPALKKIVAIHTOEHTOJA

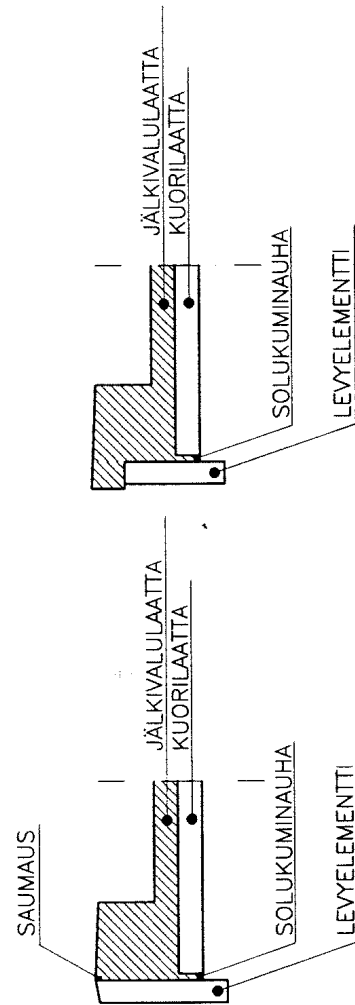
1. YHTENÄINEN ITSEKANTAVA ELEMENTTI ($L \leq 20\text{m}$)



2. ELEMENTTI (4m)



3. LEVELEMENTIT



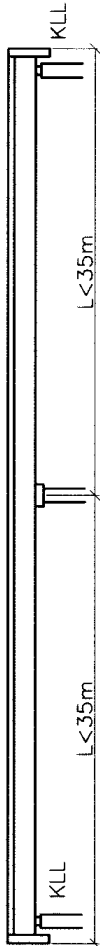
LIITE 2.5 ELEMENTTISILLAN LAAKEROINTI

VÄLITUEN KOHDALLA OVAT
JÄNNEPALKIT JA KANSILAATTA
JATKUVIA

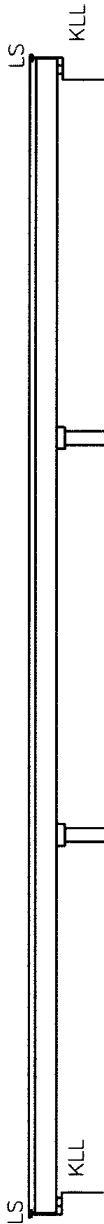


1. AUKKOINEN

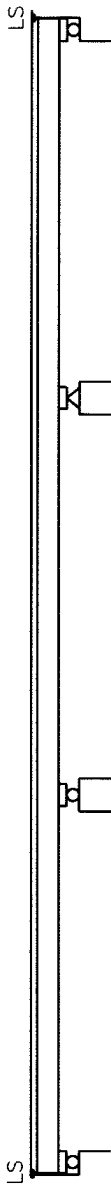
KLL=KUMILEVYLAAKERI
Δ=KIINTEÄ KUMIPESÄLAAKERI
○=LIIKKUVA KUMIPESÄLAAKERI
LS=LIIKUNTASAUMA



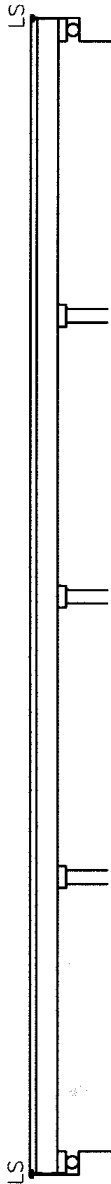
2. AUKKOINEN



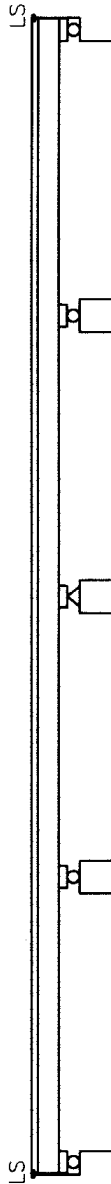
3. AUKKOINEN
(hoikat välipilarit)



3. AUKKOINEN
(jäykät välipilarit)



4. AUKKOINEN
(hoikat välipilarit)

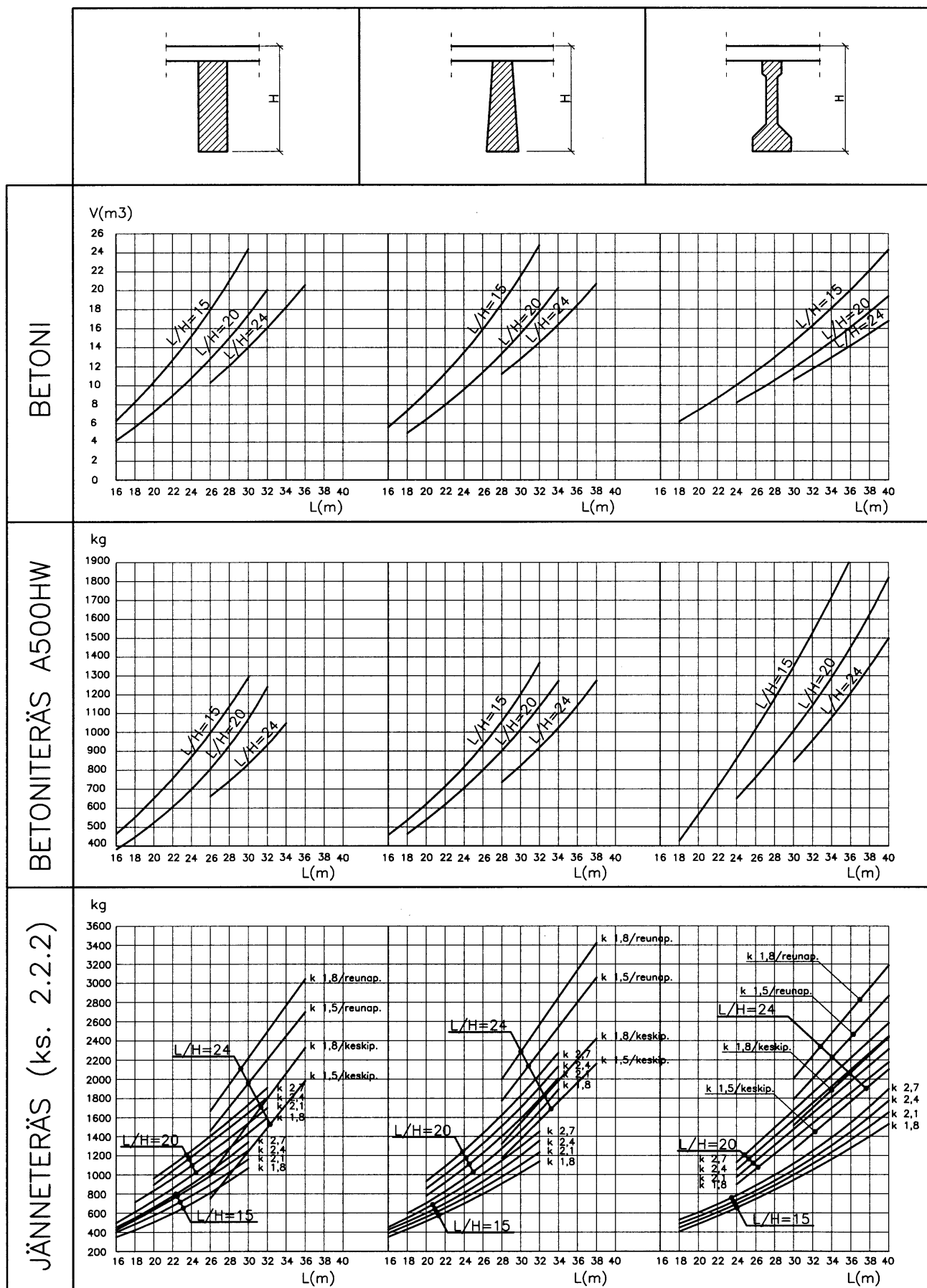


4. AUKKOINEN
(jäykät välipilarit)

LIITE 3. MATERIAALIEN MENEKKITIEDOT

3.1. Jännepalkin menekit	2
3.2. Kansilaatan menekit	3

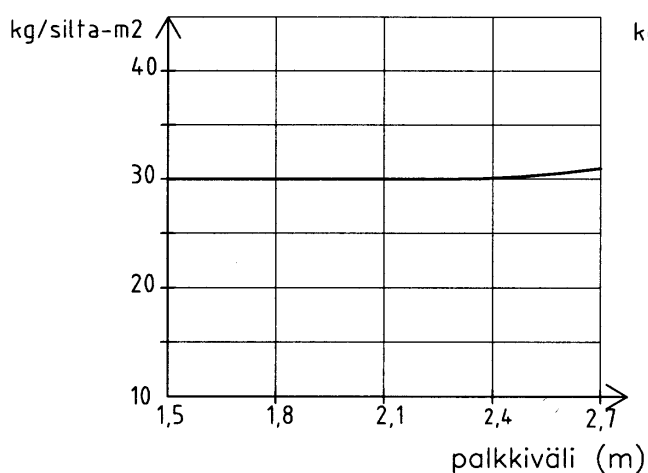
3.1 Jännepalkin menekit



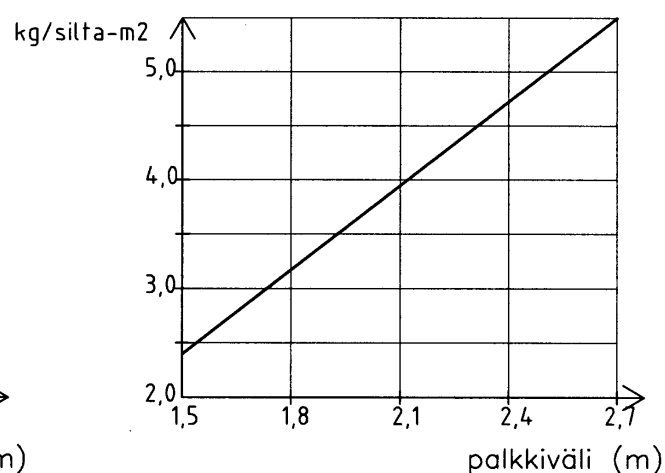
3.2 Kansilaatan menekit

Kansilaatan rakenne on joko jännitetty kuorilaatta ($h=110\text{mm}$) ja sen päälle tuleva jälkivalu ($h=120$) tai kokonaan paikalla valettu laatta ($h=230\text{mm}$). Betoniteräsmäärä ei sisällä päätytukien eikä jatkuvan sillan tukialueen lisäraudoitusta.

Kansilaatan betoniteräs-
määrä kg/siltaneliö



Kuorilaatan jänneteräs-
määrä kg/siltaneliö



LIITE 4 LASKELMAT

4.1	Suunnitteluperusteet	2
4.1.1	Yleistä	2
4.1.2	Jännepalkki	2
4.1.3	Kuorilaatta	5
4.1	Mitoitusesimerkki	8

4.1 Suunnitteluperusteet

4.1.1 Yleistä

Rakenteet suunnitellaan seuraavien ohjeiden mukaisesti ellei jäljempänä ole muuta mainittu:

- Siltojen kuormat 1999 (Tielaitos)
- Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet (Tielaitos)
- Betonirakenneohjeet 2000 (Tielaitos)
- B4 Betonirakenteet (RakMK)
- Suunnittelun sovellusohjeet B4:ään (BY 16)

4.1.2 Jännepalkki

Rakenneosat ja materiaalit

Elementtipalkkien lujuusluokka on K60-1...K100-1. Kuorilaatan lujuusluokka on K50-1 ja paikalla valetun laatan vähintään K35-1.

Suurin sallittu puristusjännitys laukaisuhetkellä on 50% laukaisulujuudesta. Laukaisulujuudeksi on otaksuttu 80% nimellislujuudesta. Siten nimellislujuuden tulee olla vähintään 2,5 kertaa suurin laukaisuhetken puristusjännitys, laukaisulujuuden ollessa yleensä 70-80% nimellislujuudesta.

Elementin suurin sallittu puristusjännitys rakennustyön aikana on 50% nimellislujuudesta.

Kun sillan hoikkuus $L/H = 15$ tai 20 , niin jänneteräksenä on käytetty punosta, jonka teräslaatu on St 1570/ 1770 ja poikkipinta-ala on 93 mm^2 .

Kun sillan hoikkuus $L/H = 24$, niin jänneteräksenä on käytetty punosta, jonka teräslaatu on St 1630/1860 ja poikkipinta-ala on 100 mm^2 .

Sillan kansi jäykistetään poikittaisjäykistein törmäyskuormalle.

Pysyvät kuormat

- Elementtipalkkien paino
- Kuorilaattojen paino
- Jälkivaletun laatan paino
- Pintarakenne $3,25 + 1,0 \text{ kN/m}^2$
- Reunapalkki $4,8 \text{ kN/m}$
- Palkin ja laatan kutistumaero ($t=\infty$)
- Virumaero ($t=\infty$)

Kutistuma lasketaan ohjeen B4 mukaan käyttäen perusarvona Tielaitoksen Betonirakenneohjeiden mukaista arvoa.

Viruman arvoa laskettaessa lujuusluokissa K70-K100 voidaan käyttää Tielaitoksen Betonirakenneohjeissa ilmoitettuja pienennyskertoimia.

Kutistuman ja viruman laskennassa voidaan ottaa huomioon raudoituksen suhteellinen osuus ohjeen B4 puristettua rakennetta koskevalla kaavalla

Arvioitaessa kutistumisen ja virumisen kehittyminen ajan mukana otetaan huomioon Tielaitoksen Betonirakenneohjeiden täydennys ohjeeseen B4.

Muuttuvat kuormat

- Liikennekuorma Lkl
- Erikoiskuorma Ek1
- Jarrukuorma
- Sivukuorma
- Lämpötilaero (jatkuvat sillat)
- Lämpötilan muutos
- Tuulikuorma
- Törmäyskuorma $F=300\text{kN}$

Aikatekijät

Elementtejä mitoitettaessa on otaksuttu kuormien vaikutuskohdat seuraavasti:

- Laukaisu 1 vrk
- Palkkien ja kuorilaattojen asennus 2 vk
- Paikalla valu 1 kk
- Pintarakenteen rakentaminen 2 kk
- Liikennekuorma 2 kk

Laatan ja palkin omapaino kuormittaa vain palkkia. Pintarakenteelle ja liikennekuormalle rakenne toimii liittorakenteena.

Palkin taivutuskestävyys

Palkin taivutusjäykkyyttä laskettaessa otaksutaan betoni halkeilemattomaksi. Taivutuskestävyyttä laskettaessa palkin vääntöjäykkyyttä ei oteta rakennemallissa huomioon. Laatta oletetaan haljenneeksi, jolloin sen taivutusjäykkyys on puolet halkeilemattoman betonin jäykkydestä.

Palkin yläreunan normaalijännitystä laskettaessa voidaan ottaa huomioon korkeilla puristusjännityksillä betonin jännityksen ja muodonmuutoksen välinen epälineaarisuus.

Palkin vääntökestävyys

Vääntökestävyyttä laskettaessa palkin ja laatan vääntöjäykkyys otetaan rakennemallissa huomioon halkeilemattomana poikkileikkauksena. Palkkien haat mitoitetaan leikkauksen lisäksi väännölle. Kansi-laatan ja palkin väliset tartunnat mitoitetaan poikittaiselle taivutukselle, väännölle ja työntövoimalle.

Palkin taipuma

Sopiva esikohotus saadaan aikaan punosten alkujännityksen ja tartunnattomien jänteiden määrän sopivalla valitsemisella.

Laatta oletetaan haljenneeksi. Taivutusjäykkyys on puolet halkeilemattoman laatan jäykkyydestä. Palkilla ei ole vääntöjäykkyyttä.

Aikatekijät kuten viruminen ja kutistuminen vaikuttavat merkittävästi taipuman suuruksiin. Palkin optisena kohotuksena käytetään 10 ... 30mm.

Laatan voimasuureiden laskeminen

Laatan voimasuureet lasketaan rakennemallilla, jossa taivutusjäykkyys on puolet ja vääntöjäykkyys kolmasosa halkeilemattoman poikkileikkauksen arvoista.

4.1.3 Kuorilaatta

Poikkileikkauksen mitoitus

Laskettaessa poikkileikkauksen raudoitusta negatiiviselle taivutukselle kuorilaatan betonin sallitussa puristusjännityksessä tulee ottaa huomioon jännittämisestä aiheutuva jännitys.

Leikkauskestävyyden laskennassa voidaan ottaa huomioon kuorilaatan jännittämisestä aiheutuva akselin suuntainen puristus ohjeen B4 kaavasta 2.34. Nollavenyämomentti määritetään kaavasta

$$M_o = P_{\infty} \cdot \frac{W_{AB}}{A_A} + P_{\infty} \cdot e_p + M \cdot \left(1 - \frac{W_{AB}}{W_A} \right) \quad , \text{jossa}$$

P_{∞} on jännevoima häviöiden jälkeen kerrottuna pysyvän kuorman osavarmuuskertoimella $\gamma = 0,9$

A_A on kuorilaatan poikkileikkauksen pinta-ala,

W_A on kuorilaatan taivutusvastus vedetyn reunan suhteen,

W_{AB} on liittorakenteen taivutusvastus vedetyn reunan suhteen,

e_p on jännevoiman epäkeskisyys kuorilaatan painospisteakselin suhteen

M on kuorilaattaa rasittava pysyvän kuorman momentti ennen jälkivalun kovettumista

Edellä esitetty kaava ottaa huomioon kuorilaatan jännitystilän ennen jälkivalun kovettumista.

Työsauman leikkauskestävyys pinta-alayksikköä kohti lasketaan kaavasta

$$V_u = \beta_1 \frac{A_{sv}}{s \cdot b} f_{yd} + \beta_2 \cdot 0.8 \cdot f_{ctd} \geq \frac{V_d}{b \cdot d} \quad ,$$

jossa esiintyvät termit ovat samat kuin ohjeen B4 kaavassa 2.40.

Mitoitettaessa työsauma raudoitettuna tulee työsaumassa olla pystysuoria leikkausteräksiä vähintään

$$\frac{A_{sv}}{A_c} = 0,25 \frac{f_{ctk}}{f_{yk}}$$

Raudoituksen ankkurointi ja jatkokset

Asennus- ja valutilanteessa kuorilaatan ankkurointikestävyys lasketaan ohjeen B4 mukaan. Kuorilaatan tuentapituus palkille tulee olla vähintään 40 mm, johon lisätään kuorilaatan valmistustoleranssi ja urakoitsijan käyttämä pääpalkkien sijaintitoleranssi.

Lopputilanteen ankkurointikestävyys varmistamiseksi kaikille tuille, joissa kuorilaatat eivät ole jatkuvia, tulee sijoittaa ankkurointilisäteräkset, joiden määrä lasketaan kaavasta.

$$A_s \geq 0,5 \cdot \frac{A_{p,1} \cdot f_{pd,1} + A_{s,1} \cdot f_{yd,1}}{f_{yd}} \geq \frac{k_a \cdot V_d}{f_{yd}}, \text{ jossa}$$

$A_{p,1}$ on kuorilaatan jänneterästen nimellinen poikkileikkausala,
 $f_{pd,1}$ on kuorilaatan jänneterästen laskentalujuus,
 $A_{s,1}$ on kuorilaatan betoniterästen nimellinen poikkipinta-ala,
 $f_{yd,1}$ on kuorilaatan betoniterästen laskentalujuus,
 f_{yd} on ankkurointilisäterästen laskentalujuus
 $k_a \cdot V_d$ on ankkuroitava voima ohjeen B4 kohdasta 2.5.1.1.

Ankkurointilisäterästen pituus l_b määrätään seuraavasti

$$l_b = l_{bo} + H_L + 300, \text{ jossa}$$

l_{bo} on joko ankkurointilisäterästen tai kuorilaatan jänneterästen ankkurointipituuden perusarvo laskentalujuutta vastaavalle vetovoimalle ohjeen B4 kaavasta 2.87 riippuen siitä kumpi on suurempi
 H_L on liittolaatan paksuus.

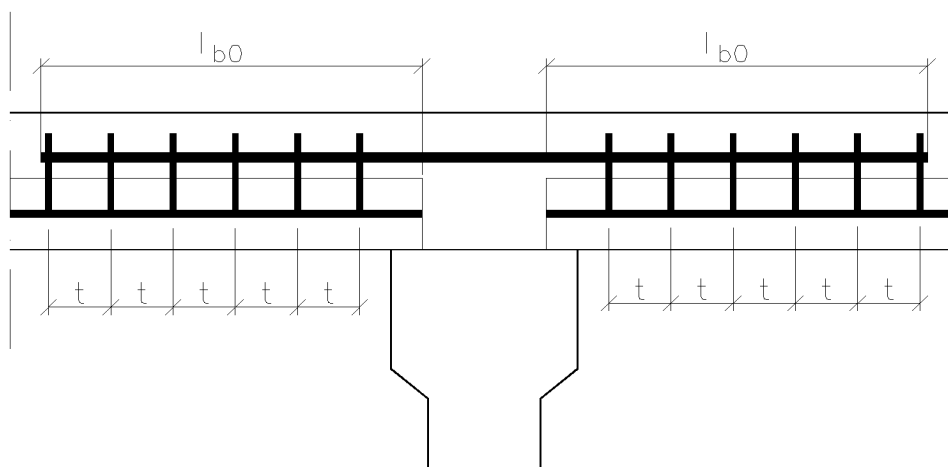
Terästen ankkurointi tulee varmistaa pystysuoralla ripustusraudoituksella.

Ripustusterästen, jotka jaetaan matkalle l_b kuorilaatan päästä, leikkeitten yhteispinta-ala saadaan kaavasta

$$A_{s,c} = \frac{l_b}{t} A \geq \frac{k_a \cdot V_d}{f_{yd}}, \text{ jossa}$$

A_s on ripustusterästen yhdessä rivissä olevien leikkeiden poikkipinta-ala
 t on ripustustankojen välinen etäisyys.

Ripustusterästen suurin etäisyys toisistaan kuorilaatan leveyssuunnassa saa olla korkeintaan 400 mm.



Kuva 1. Kuorilaattaliittorakenteen ankkurointi palkin kohdalla

4.2 Mitoitusesimerkki

Rakennemitat ja materiaaliarvot	9
Poikkileikkausarvot	11
Voimasuureet	13
Laukaisuhetken tarkastelut	16
Jännitykset palkissa ennen laatan valua ($t = 1\text{kk}$)	23
Jännitykset palkissa laatan valun jälkeen ($t = 1\text{kk}$)	27
Jännitykset laatussa ja palkissa ($t = \infty$)	28
Jännitykset pintakuormasta	32
Jännitykset liikennekuormasta	33
Jännitykset kutistumaerosta	34
Jännitykset pysyvistä kuormista	35
Normaalijännitysten yhdistely	36
Käyttötilatarkastelut	37
Taivutusmurtotila	38
Leikkauskestävyydet	39
Väsymismurtorajatila	41
Tukipinta-ala	41
Palkin pään kestävyys	42
Taipuma	44

Jännitetyn betonielementtisillan mitoitus

Lähtöarvot (I-poikkileikkaus):

Rakennemittojen määrittäminen

$$L := 30 \cdot \text{m} \quad H_l := 8.5 \cdot \text{m} \quad H_{\text{ylaippa}} := 0.225 \cdot \text{m} \quad H_{\text{alaippa}} := 0.315 \cdot \text{m}$$

$$B_{\text{ylaippa}} := 0.3 \cdot \text{m} \quad B_{\text{alaippa}} := 0.6 \cdot \text{m} \quad H_{\text{palkki}} := 1.27 \cdot \text{m} \quad B_{\text{laatta}} := 2.35 \cdot \text{m} \quad H_{\text{laatta}} := 0.23 \cdot \text{m}$$

$$B_{\text{uuma}} := 0.18 \cdot \text{m} \quad H_{\text{uuma}} := H_{\text{palkki}} - H_{\text{alaippa}} - H_{\text{ylaippa}} \quad H_{\text{uuma}} = 0.73 \cdot \text{m}$$

Jänteet $d=12.5 \text{ mm}$

$$H_{\text{rak}} := H_{\text{laatta}} + H_{\text{palkki}}$$

$$A_p := 93 \cdot \text{mm}^2 \quad E_p := 200000 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad k_w := 0.13 \quad d_p := 12.5 \cdot \text{mm}$$

Jänteiden lukumäärä ja etäisyys alapinnasta (1=alarivi, 2=toiseksi alin rivi, ...)

$$n_1 := 20 \quad n_2 := 20 \quad n_3 := 16 \quad n_4 := 12 \quad n_5 := 0 \quad \text{ks. s. 11}$$

$$y_1 := 60 \cdot \text{mm} \quad y_2 := 120 \cdot \text{mm} \quad y_3 := 180 \cdot \text{mm} \quad y_4 := 240 \cdot \text{mm} \quad y_5 := 300 \cdot \text{mm}$$

Materiaaliarvot betonille

$$\text{Betonin lujuusluokka (K}_1 \text{ palkille/K}_2 \text{ laatalle)} \quad K_1 := 70 \quad K_2 := 35$$

Kimmomoduulit laukaisuhetkelle ja lyhytaikaiselle kuormalle

$$E_{c,\text{lauk}} := 5000 \cdot \sqrt{0.8 K_1} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad E_{c,\text{lauk}} = 3.74 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

$$E_{c1} := 5000 \cdot \sqrt{K_1} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad E_{c1} = 4.18 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad \alpha_1 := \frac{E_p}{E_{c1}} \quad \alpha_1 = 4.78$$

$$E_{c2} := 5000 \cdot \sqrt{K_2} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad E_{c2} = 2.96 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad \alpha_2 := \frac{E_{c2}}{E_{c1}} \quad \alpha_2 = 0.71$$

Kimmomoduulit, kun $t=00$ pitkäaikaiselle kuormalle

Elementtipalkki

kerroin kv korkealujuusbetonille
Tielaitoksen Betonirakenneohjeet
mukaan/ kr-kertoimessa punokset
ja pehmeät teräkset

$$k_t := 2.5 - 1.5 \cdot 8 \quad k_t = 1.3 \quad k_r := 0.80 \quad \phi_0 := 2 \quad k_{ch} := 0.85 \quad k_v := 0.85 \quad \phi_1 := k_r \cdot k_v \cdot k_t \cdot k_{ch} \cdot \phi_0 = 1.5$$

$$E_{cc1} := \frac{E_{c1}}{(1 + \phi_1)} \quad E_{cc1} = 1.67 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad \alpha_3 := \frac{E_p}{E_{cc1}} \quad \alpha_3 = 11.97$$

Laatta (laatta toimii liittorakenteen osana ajan hetkellä $t=1\text{kk} \dots 00$ laatan valusta)

$$k_t := 1.0 \quad \phi_0 := 2 \quad \phi_2 := k_t \cdot k_{ch} \cdot \phi_0 \quad \phi_2 = 1.7$$

$$E_{cc2} := \frac{E_{c2}}{(1 + \phi_2)} \quad E_{cc2} = 1.1 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad \alpha_4 := \frac{E_{cc2}}{E_{cc1}} \quad \alpha_4 = 0.66$$

Lujuudet (1=palkki/2=laatta)

$$\begin{aligned} f_{c1k} &:= 0.7 \cdot K_1 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{c1k} &= 49 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{c1d} &:= \frac{f_{c1k}}{1.35} & f_{c1d} &= 36.3 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \\ f_{c2k} &:= 0.7 \cdot K_2 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{c2k} &= 24.5 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{c2d} &:= \frac{f_{c2k}}{1.35} & f_{c2d} &= 18.15 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Palkin laukaisulujuus ja laatan valuhetken vaatima lujuus (käyttötila)

$$\begin{aligned} f_{\text{laukaisu.k}} &:= \frac{0.8 \cdot K_1}{2} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{\text{laukaisu.k}} &= 28 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \\ f_{\text{valu.k}} &:= 0.5 \cdot K_1 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{\text{valu.k}} &= 35 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Betonin vetolujuus

$$\begin{aligned} f_{ctk1} &:= 0.2 \cdot K_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{ctk1} &= 3.4 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{ctk2} &:= 0.2 \cdot K_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{ctk2} &= 2.14 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \\ f_{ctd1} &:= \frac{f_{ctk1}}{1.35} & f_{ctd1} &= 2.52 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{ctd2} &:= \frac{f_{ctk2}}{1.35} & f_{ctd2} &= 1.59 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Sallittava jänneteräksen jännitys heti jännittämistyön päätyttyä

$$\begin{aligned} f_{puk} &:= 1770 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{p0.2k} &:= 1570 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{pyd} &:= \frac{f_{p0.2k}}{1.15} & f_{pyd} &= 1.37 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \\ \sigma_{p0} &:= \min \left(\begin{bmatrix} 0.75 \cdot f_{puk} \\ 0.85 \cdot f_{p0.2k} \end{bmatrix} \right) & \sigma_{p0} &= 1.33 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Sallittava jännitys jännittämistyön aikana

$$\sigma_{p0\max} := \min \left(\begin{bmatrix} 0.8 \cdot f_{puk} \\ 0.9 \cdot f_{p0.2k} \end{bmatrix} \right) \quad \sigma_{p0\max} = 1.41 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

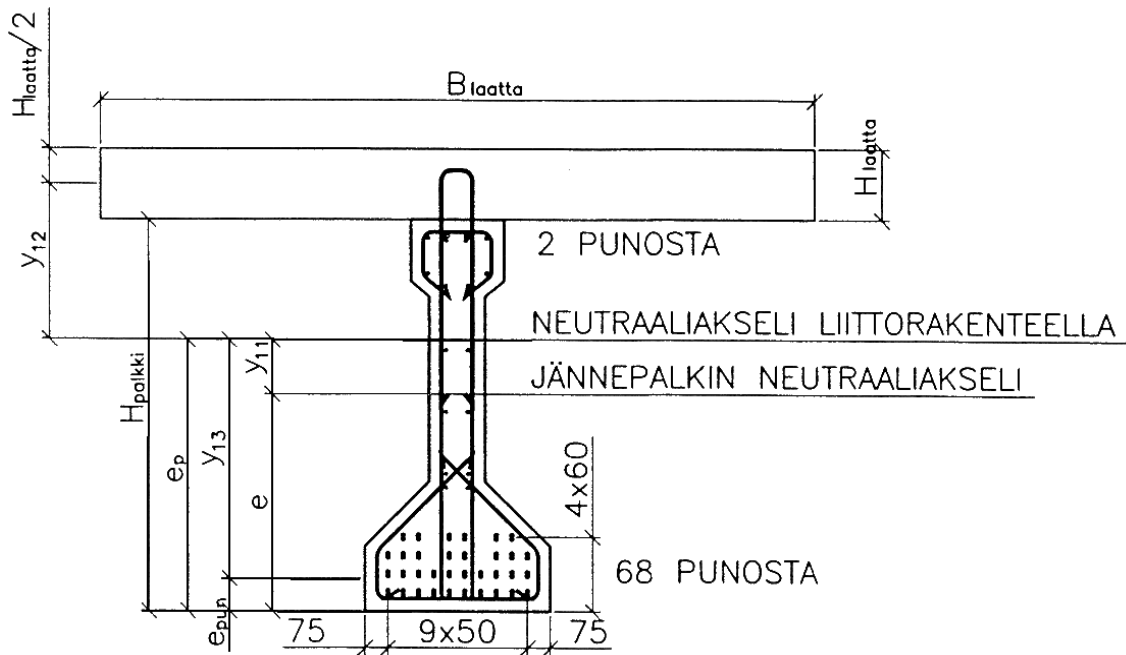
Valitaan alkujännitys ja "sukattomat" osuudet (sukat0 kohdassa x=0 ja 1 x=L/4)

$$\begin{aligned} \sigma_p &:= 1365 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} < \sigma_{p0.\max} & n_{\text{sukat0}} &:= (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) \cdot 0.7 & n_{\text{sukat0}} &= 47.6 \\ & & n_{\text{sukat1}} &:= (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) \cdot 0.9 & n_{\text{sukat1}} &= 61.2 \end{aligned}$$

Betoniteräksen materiaaliarvot

$$\begin{aligned} f_{yk} &:= 500 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & f_{yd} &:= \frac{f_{yk}}{1.1} & f_{yd} &= 454.55 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} & E_s &:= 200000 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Poikkileikkausarvot



Jännepalkin poikkileikkausarvot

Palkin poikkileikkausarvot (ilman jänteitä)

$$A_{\text{palkki}} := (H_{\text{alaippa}} \cdot B_{\text{alaippa}} + H_{\text{uuma}} \cdot B_{\text{uuma}} + H_{\text{ylaippa}} \cdot B_{\text{ylaippa}}) \quad A_{\text{palkki}} = 0.39 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{alaippa}} := B_{\text{alaippa}} \cdot H_{\text{alaippa}} \quad A_{\text{ylaippa}} := B_{\text{ylaippa}} \cdot H_{\text{ylaippa}} \quad A_{\text{uuma}} := B_{\text{uuma}} \cdot H_{\text{uuma}}$$

$$e_{\text{palkki}} := \frac{A_{\text{alaippa}} \cdot \frac{H_{\text{alaippa}}}{2} + A_{\text{uuma}} \cdot \left(H_{\text{alaippa}} + \frac{H_{\text{uuma}}}{2} \right) + A_{\text{ylaippa}} \cdot \left(H_{\text{palkki}} - \frac{H_{\text{ylaippa}}}{2} \right)}{A_{\text{palkki}}}$$

$$e_{\text{palkki}} = 0.51 \text{ m}$$

$$I_{\text{uuma}} := \frac{B_{\text{uuma}} \cdot H_{\text{uuma}}^3}{12} + A_{\text{uuma}} \cdot \left(e_{\text{palkki}} - H_{\text{alaippa}} - \frac{H_{\text{uuma}}}{2} \right)^2 \quad I_{\text{uuma}} = 9.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_{\text{ylaippa}} := \frac{B_{\text{ylaippa}} \cdot H_{\text{ylaippa}}^3}{12} + \left(H_{\text{palkki}} - \frac{H_{\text{ylaippa}}}{2} - e_{\text{palkki}} \right)^2 \cdot A_{\text{ylaippa}} \quad I_{\text{ylaippa}} = 0.029 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{alaippa}} := \frac{B_{\text{alaippa}} \cdot H_{\text{alaippa}}^3}{12} + A_{\text{alaippa}} \cdot \left(e_{\text{palkki}} - \frac{H_{\text{alaippa}}}{2} \right)^2 \quad I_{\text{alaippa}} = 0.025 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{palkki}} := I_{\text{uuma}} + I_{\text{ylaippa}} + I_{\text{alaippa}} \quad I_{\text{palkki}} = 0.063 \text{ m}^4$$

Jännepunosten suhteellinen poikkiala ja painopiste palkin alapinnasta

$$A_{\text{pun}} := (\alpha_1 - 1) \cdot (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) \cdot A_p \quad A_{\text{pun}} = 0.02 \text{ m}^2$$

$$e_{\text{pun}} := \frac{n_1 \cdot y_1 + n_2 \cdot y_2 + n_3 \cdot y_3 + n_4 \cdot y_4 + n_5 \cdot y_5}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5} \quad e_{\text{pun}} = 0.14 \text{ m}$$

Laatan poikkileikkausarvot (laskettu reunimmaista palkkia vast. toimivalla leveydellä)

$$A_{\text{laatta}} := B_{\text{laatta}} \cdot H_{\text{laatta}} \quad A_{\text{laatta}} = 0.54 \text{ m}^2$$

$$I_{\text{laatta}} := \frac{B_{\text{laatta}} \cdot H_{\text{laatta}}^3}{12} \quad I_{\text{laatta}} = 2.38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

paikalla valettu reunapalkki! (ei vähennystä toimivaan leveyteen)

Jännebetonipalkki poikkileikkaus (palkin ja laatan omalle painolle / jännevoima)

$$e := \frac{A_{\text{palkki}} \cdot e_{\text{palkki}} + A_{\text{pun}} \cdot e_{\text{pun}}}{A_{\text{palkki}} + A_{\text{pun}}} \quad e = 0.49 \text{ m}$$

$$A_{\text{jpalkki}} := A_{\text{palkki}} + A_{\text{pun}} \quad A_{\text{jpalkki}} = 0.41 \text{ m}^2$$

$$I_{\text{jpalkki}} := I_{\text{palkki}} + A_{\text{pun}} \cdot (e - e_{\text{pun}})^2 + A_{\text{palkki}} \cdot (e_{\text{palkki}} - e)^2 \quad I_{\text{jpalkki}} = 0.066 \text{ m}^4$$

Liittorakenteen poikkileikkausarvot

$$A_{\text{liitto}} := A_{\text{palkki}} + \alpha_2 \cdot A_{\text{laatta}} + A_{\text{pun}} \quad A_{\text{liitto}} = 0.79 \text{ m}^2$$

$$e_p := \frac{A_{\text{palkki}} \cdot e_{\text{palkki}} + \alpha_2 \cdot A_{\text{laatta}} \cdot \left(H_{\text{palkki}} + \frac{H_{\text{laatta}}}{2} \right) + A_{\text{pun}} \cdot e_{\text{pun}}}{A_{\text{liitto}}} \quad e_p = 0.92 \text{ m}$$

$$y_{11} := e_p - e_{\text{palkki}} \quad y_{12} := \left(H_{\text{palkki}} + \frac{H_{\text{laatta}}}{2} - e_p \right) \quad y_{13} := (e_p - e_{\text{pun}})$$

$$I_{\text{liitto}} := I_{\text{palkki}} + \alpha_2 \cdot I_{\text{laatta}} + A_{\text{palkki}} \cdot (y_{11})^2 + \alpha_2 \cdot A_{\text{laatta}} \cdot y_{12}^2 + A_{\text{pun}} \cdot y_{13}^2$$

$$I_{\text{liitto}} = 0.23 \text{ m}^4$$

Voimasuureet

Pysyvät kuormat (x=0)

Leikkausvoima betonin omasta painosta (reunapalkin paino mukana)

$$g_{c.k} := 0.025 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^3} \cdot \left[(B_{\text{laatta}} - 0.45 \cdot \text{m}) \cdot H_{\text{laatta}} + A_{\text{palkki}} \right] + 4.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad g_{c.k} = 25.42 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{c.k} := \frac{g_{c.k} \cdot (L - H_{\text{palkki}} - H_{\text{laatta}} + e_{\text{pun}})}{2} \quad V_{c.k} = 0.36 \cdot \text{MN}$$

$$V_{c.d} := 1.2 \cdot V_{c.k} \quad V_{c.d} = 0.44 \cdot \text{MN}$$

Leikkausvoima pintarakenteen painosta (3,25+1 kN/m²)

$$g_{p1.k} := 0.00325 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cdot (B_{\text{laatta}} - 0.45 \cdot \text{m}) \quad g_{p1.k} = 6.17 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$g_{p2.k} := 0.001 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cdot (B_{\text{laatta}} - 0.45 \cdot \text{m}) \quad g_{p2.k} = 1.9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$g_{p.k} := g_{p1.k} + g_{p2.k} \quad g_{p.k} = 8.08 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$V_{p.k} := \frac{g_{p.k} \cdot (L - H_{\text{palkki}} - H_{\text{laatta}} + e_{\text{pun}})}{2} \quad V_{p.k} = 0.12 \cdot \text{MN}$$

$$V_{p.d} := 1.2 \cdot V_{p.k} \quad V_{p.d} = 0.14 \cdot \text{MN}$$

Voimasuureet (x=L/4)

Palkin omapaino

$$g_{\text{palkki.k}} := 0.025 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^3} \cdot A_{\text{palkki}} \quad g_{\text{palkki.k}} = 9.7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{palkki1.k}} := \frac{3 \cdot g_{\text{palkki.k}} \cdot L^2}{32} \quad M_{\text{palkki1.k}} = 0.82 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{palkki1.d}} := 1.2 \cdot M_{\text{palkki1.k}} \quad M_{\text{palkki1.d}} = 0.98 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Betonin oma paino

$$M_{c1.k} := \frac{3 \cdot g_{c.k} \cdot L^2}{32} \quad M_{c1.k} = 2.15 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c1.d} := 1.2 \cdot M_{c1.k} \quad M_{c1.d} = 2.57 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Pintarakenteen paino (3,25+1 kN/m²)

$$M_{p1.k} := \frac{3 \cdot g_{p.k} \cdot L^2}{32}$$

$$M_{p1.k} = 0.68 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p1.d} := 1.2 \cdot M_{p1.k}$$

$$M_{p1.d} = 0.82 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Voimasuureet (x=L/2)

Palkin omapaino

$$g_{palkki.k} := 0.025 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^3} \cdot A_{palkki}$$

$$g_{palkki.k} = 9.7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$M_{palkki2.k} := \frac{g_{palkki.k} \cdot L^2}{8}$$

$$M_{palkki2.k} = 1.09 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{palkki2.d} := 1.2 \cdot M_{palkki2.k}$$

$$M_{palkki2.d} = 1.31 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Betonin oma paino

$$M_{c2.k} := \frac{g_{c.k} \cdot L^2}{8}$$

$$M_{c2.k} = 2.86 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c2.d} := 1.2 \cdot M_{c2.k}$$

$$M_{c2.d} = 3.43 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Pintarakenteen paino (3,25+1 kN/m²)

$$M_{p2.k} := \frac{g_{p.k} \cdot L^2}{8}$$

$$M_{p2.k} = 0.91 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p2.d} := 1.2 \cdot M_{p2.k}$$

$$M_{p2.d} = 1.09 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Virumaluvut, kun t=1kk ja t=1kk-oo

Virumaluku, kun t=1kk

$$k_c := 0.35 \quad \phi_{1kk} := k_c \cdot \phi_1$$

$$\phi_{1kk} = 0.53$$

ks. kc-kerroin by16 sivun 39 taulukosta 2.5.

Virumaluku, kun t=1kk-oo

$$\phi_{oo} := \phi_1 - \phi_{1kk}$$

$$\phi_{oo} = 0.98$$

Kutistumaero

Betonilaatan valamishetkellä tapahtunut elementtipalkin kutistuma
(1 kk elementtipalkin valusta)

$$\varepsilon_{cs0} := 0.4 \cdot 10^{-3} \quad \text{ks. Tielaitoksen betonirakenneohje}$$

$$h_{e,palkki} := \frac{A_{palkki}}{(B_{ylaippa} + B_{alaippa} + H_{palkki} - B_{uuma})} \quad h_{e,palkki} = 195 \text{ mm}$$

$$h_{e,laatta} := \frac{A_{laatta}}{B_{laatta} + H_{laatta}} \quad h_{e,laatta} = 209 \text{ mm}$$

$$k_{sh} := 0.80 \quad k_r = 0.8$$

$$\varepsilon_{cs} := k_{sh} \cdot k_r \cdot \varepsilon_{cs0} \quad \varepsilon_{cs} = 2.56 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{cs1} := 0.25 \cdot k_{sh} \cdot k_r \cdot \varepsilon_{cs0} \quad \varepsilon_{cs1} = 6.4 \cdot 10^{-5} \quad (\text{palkin kutistuma hetkeen } t=1\text{kk})$$

$$\varepsilon_{cs} - \varepsilon_{cs1} = 1.92 \cdot 10^{-4} \quad (\text{palkin kutistuma hetkestä } t=1\text{kk hetkeen } t=\infty)$$

Laatan kutistuma

$$\varepsilon_{cs,laatta} := \varepsilon_{cs}$$

Kutistumaero, kun $t=\infty$

$$\varepsilon_{\Delta cs} := \varepsilon_{cs,laatta} - (\varepsilon_{cs} - \varepsilon_{cs1}) \quad \varepsilon_{\Delta cs} = 6.4 \cdot 10^{-5}$$

Muuttuvat kuormat

Voimasuureet ja taipuma liikennekuormasta (1 on $x=L/4$ ja 2 on $x=L/2$)

$$M_{Lk1,k} := 2.6 \cdot \text{MN} \cdot \text{m} \quad M_{Lk2,k} := 3.36 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$V_{Lk1,k} := 0.6 \cdot \text{MN} \quad T_{Lk1,k} := 0.74 \cdot \text{MN}$$

$$w_{Lk1} := 80 \text{ mm}$$

Voimasuureet erikoiskuormasta (1 on $x=L/4$ ja 2 on $x=L/2$)

$$M_{Ek1,k} := 2.4 \cdot \text{MN} \cdot \text{m} \quad M_{Ek2,k} := 3.4 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Varmuustarkastelut

Tilanne laukaisuhetkellä

Normaalijännitykset (käyttötila)

Tarkastelu kohdassa x=0

$$M_{\text{palkki0.k}} := 0 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Alapinnan jänteet

$$n := n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 \quad n = 68$$

Alapinnan sukattomat jänteet kohdassa x=0

$$n_{\text{sukat0}} = 47.6$$

$$P_0 := \sigma_p \cdot n_{\text{sukat0}} \cdot A_p \quad P_0 = 6.04 \cdot \text{MN}$$

Yläpinnan jänteet

$$P_{\text{yla}} := \sigma_p \cdot 2 \cdot A_p \quad P_{\text{yla}} = 0.25 \cdot \text{MN}$$

Jännitys palkin yläpinnassa (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{\text{yp0}} := \frac{[P_0 \cdot (e - e_{\text{pun}}) - P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) - M_{\text{palkki0.k}}] \cdot (H_{\text{palkki}} - e)}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_0 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{\text{yp0}} = 7.45 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys punosten korkeudella (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{\text{pun0}} := \frac{[-P_0 \cdot (e - e_{\text{pun}}) + P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{\text{palkki0.k}}] \cdot (e - e_{\text{pun}})}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_0 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{\text{pun0}} = -25.44 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{\text{ap0}} := \frac{[-P_0 \cdot (e - e_{\text{pun}}) + P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{\text{palkki0.k}}] \cdot e}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_0 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$-\sigma_{\text{ap0}} = 29.43 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännehäviö kimmoisesta kokoonpuristumasta

$$\sigma_{ap0.havio} := \frac{-E_p}{E_{c.lauk}} \cdot \sigma_{pun0} \quad \sigma_{ap0.havio} = 135.96 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännevoima kimmoisen kokoonpuristuman jälkeen

$$P_{01} := n_{sukaton0} \cdot A_p \cdot (\sigma_p - \sigma_{ap0.havio}) \quad P_{01} = 5.44 \cdot MN$$

Häviöprosentti kimmoisesta kokoonpuristumisesta

$$100 - 100 \cdot \frac{P_{01}}{P_0} = 9.96 \quad \%$$

Jännitys palkin yläpinnassa kokoonpuristumisen jälkeen

$$\sigma_{yp00} := \frac{[P_{01} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) - M_{palkki0.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{01} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{yp00} = 6.43 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa kokoonpuristumisen jälkeen

$$\sigma_{ap00} := \frac{[-P_{01} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{palkki0.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{01} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$-\sigma_{ap00} = 26.43 \cdot \frac{MN}{m^2} \quad \text{Laukaisulujuuden tulee olla } > 2 \cdot (-\sigma_{ap00}) = 52.86 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Tarkastelu kohdassa $x=L/4$

Taivutusmomentti palkin omasta painosta

$$M_{\text{palkki1.k}} = 0.82 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Alapinnan jänteet sukattomina kohdassa $x=L/4$

$$n_{\text{sukaton1}} = 61.2$$

$$P_1 := \sigma_p \cdot n_{\text{sukaton1}} \cdot A_p \quad P_1 = 7.77 \cdot \text{MN}$$

Yläpinnan jänteet

$$P_{\text{yla}} := \sigma_p \cdot 2 \cdot A_p \quad P_{\text{yla}} = 0.25 \cdot \text{MN}$$

Jännitys palkin yläpinnassa (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{\text{yp1}} := \frac{[P_1 \cdot (e - e_{\text{pun}}) - P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) - M_{\text{palkki1.k}}] \cdot (H_{\text{palkki}} - e)}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_1 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{\text{yp1}} = 0.72 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys punosten korkeudella (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{\text{pun1}} := \frac{[-P_1 \cdot (e - e_{\text{pun}}) + P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{\text{palkki1.k}}] \cdot (e - e_{\text{pun}})}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_1 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{\text{pun1}} = -28.49 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{\text{ap1}} := \frac{[-P_1 \cdot (e - e_{\text{pun}}) + P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{\text{palkki1.k}}] \cdot e}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_1 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{\text{ap1}} = -32.0 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännehäviö kimmoisesta kokoonpuristumasta

$$\sigma_{ap1.havio} := \frac{-E_p}{E_{c.lauk}} \cdot \sigma_{pun1} \quad \sigma_{ap1.havio} = 152.31 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännevoima kimmoisen kokoonpuristuman jälkeen

$$P_{11} := n_{sukatoni} \cdot A_p \cdot (\sigma_p - \sigma_{ap1.havio}) \quad P_{11} = 6.9 \cdot MN$$

Häviöprosentti kimmoisesta kokoonpuristumisesta

$$100 - 100 \cdot \frac{P_{11}}{P_1} = 11.16 \quad \%$$

Jännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{yp1} := \frac{[P_{11} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) - M_{palkki1.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{11} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{yp1} = -0.75 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{ap1} := \frac{[-P_{11} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{palkki1.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{11} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$-\sigma_{ap1} = 27.72 \cdot \frac{MN}{m^2} \quad \text{Laukaisulujuuden tulee olla } > 2 \cdot (-\sigma_{ap1}) = 55.44 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Tarkastelu kohdassa x=L/2

$$M_{\text{palkki2.k}} = 1.09 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$P_2 := \sigma_p \cdot (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) \cdot A_p \quad P_2 = 8.63 \cdot \text{MN}$$

Jännitys palkin yläpinnassa (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{yp2} := \frac{[P_2 \cdot (e - e_{\text{pun}}) - P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) - M_{\text{palkki2.k}}] \cdot (H_{\text{palkki}} - e)}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_2 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{yp2} = -1.04 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys punoksen kohdalla (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{pun2} := \frac{[-P_2 \cdot (e - e_{\text{pun}}) + P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{\text{palkki2.k}}] \cdot (e - e_{\text{pun}})}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_2 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{pun2} = -30.74 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (ei sis. kim. kok. pur.)

$$\sigma_{ap2} := \frac{[-P_2 \cdot (e - e_{\text{pun}}) + P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{\text{palkki2.k}}] \cdot e}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_2 + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{ap2} = -34.35 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännehäviö kimmoisesta kokoonpuristumasta

$$\sigma_{ap2.havio} := \frac{-E_p}{E_{c.lauk}} \cdot \sigma_{pun2} \quad \sigma_{ap2.havio} = 164.33 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännevoima kimmoisen kokoonpuristuman jälkeen

$$P_{21} := n \cdot A_p \cdot (\sigma_p - \sigma_{ap2.havio}) \quad P_{21} = 7.59 \cdot MN$$

Häviöprosentti kimmoisesta kokoonpuristumisesta

$$100 - 100 \cdot \frac{P_{21}}{P_2} = 12.04 \quad \%$$

Jännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{yp2} := \frac{[P_{21} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) - M_{palkki2.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{21} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{yp2} = -2.8 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{ap2} := \frac{[-P_{21} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{palkki2.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{21} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$-\sigma_{ap2} = 29.2 \cdot \frac{MN}{m^2} \quad \text{Laukaisulujuuden tulee olla } > 2 \cdot (-\sigma_{ap2}) = 58.33 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Laukaisuhetken halkeilutarkastelu

$$\sigma_{yp.max} := \max(\sigma_{yp0} \quad \sigma_{yp1} \quad \sigma_{yp2}) \quad \sigma_{yp.max} = 7.45 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Tässä on oletettu, että pehmeät teräkset (ei punokset) vastustavat halkeamakoon kasvamista. Tämän takia halkeamaleveys on laskettu kuin teräsbetonirakenteelle. Betoninormin ϵ_{sm} laskennassa käytetyn kaavan sulkumerkkien sisällä olevaa lauseketta halkeamaleveyden arvoa pienentävää tekijää ei oteta huomioon.

$$A_s := 2 \cdot 201 \cdot mm^2$$

$$\epsilon_s := \frac{\sigma_{yp.max}}{E_s} \quad \epsilon_s = 3.73 \cdot 10^{-5}$$

$$c := 60 \cdot \text{mm} \quad d := 16 \cdot \text{mm} \quad c_{\min} := 35 \cdot \text{mm} \quad k_w := 0.085$$

$$A_{ce} := (60 \cdot \text{mm} + 7.5 \cdot d) \cdot B_{\text{ylaippa}} \quad A_{ce} = 0.05 \text{ m}^2$$

$$\rho_r := \frac{A_s}{A_{ce}} \quad \rho_r = 7.44 \cdot 10^{-3}$$

$$w_k := \epsilon_s \cdot \left(3.5 \cdot c + k_w \cdot \frac{d}{\rho_r} \right) \quad w_k = 0.01 \text{ mm} \quad < \quad 0,15 \text{ mm} \quad \text{ok!}$$

Palkin keskiosan laukaisuhetken taipuma ylöspäin
Keskimääräinen jännevoima palkin alapinnassa

$$P_{\text{kesk}} := \frac{P_{01} + P_{11} + P_{21}}{3} \quad P_{\text{kesk}} = 6.65 \text{ MN}$$

Jännevoima palkin yläpinnassa

$$P_{\text{yla}} = 0.25 \text{ MN}$$

Taipuma (ylöspäin negatiivinen) (t=1kk)

$$E_{c,1kk} := \frac{5000 \cdot \sqrt{0.8 \cdot K_1} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}}{1 + \phi_{1kk}}$$

$$w_1 := \left[P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - 0.06 \cdot \text{m} - e) - P_{\text{kesk}} \cdot (e - e_{\text{pun}}) \right] \cdot \frac{L^2}{8 \cdot E_{c,1kk} \cdot I_{\text{jpalkki}}} + \frac{5 \cdot g_{\text{palkki}} \cdot k \cdot L^4}{384 \cdot E_{c,1kk} \cdot I_{\text{jpalkki}}}$$

$$w_1 = -84.95 \text{ mm}$$

Normaalijännitykset palkissa ennen laatan valua (t=1 kk)

Tarkastelu kohdassa x=L/4

$$M_{\text{palkki1.k}} = 0.82 \cdot MN \cdot m$$

$$P_{11} = 6.9 \cdot MN$$

$$P_{\text{yla}} = 0.25 \cdot MN$$

Jännitys punosten kohdalla (ei jännehäviötä mukana)

$$\sigma_{\text{pun1}} := \frac{[-P_{11} \cdot (e - e_{\text{pun}}) + P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot m) + M_{\text{palkki1.k}}] \cdot (e - e_{\text{pun}})}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_{11} + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{\text{pun1}} = -24.8 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännehäviö virumisesta, kutistumisesta ja relaksaatiosta

$$\phi_{1kk} = 0.53$$

Hetkellinen puristuma jänneterästen korkeudella

$$\varepsilon_{\text{pun1}} := \frac{\sigma_{\text{pun1}}}{E_{c1}} \quad \varepsilon_{\text{pun1}} = -5.93 \cdot 10^{-4}$$

Muodonmuutos virumisesta (0.96-kerroin kirjan Leonhardt: Spanbeton für die Praxis kaavan 12.(10) mukaan, kun t=0...1kk)

$$\varepsilon_{cc1kk} := \phi_{1kk} \cdot 0.96 \cdot \varepsilon_{\text{pun1}} \quad \varepsilon_{cc1kk} = -2.99 \cdot 10^{-4}$$

Kutistuma (t=1kk)

$$-\varepsilon_{cs1} = -6.4 \cdot 10^{-5}$$

Jännityshäviö betonin virumisesta ja kutistumisesta (t=1kk)

$$\Delta\sigma_{1kk.p.sc} := E_p \cdot (\varepsilon_{cc1kk} - \varepsilon_{cs1}) \quad \Delta\sigma_{1kk.p.sc} = -72.66 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännityshäviö relaksaatiosta (t=1kk=30pv)

$$\Delta\sigma_{p1.rel.1kk} := \left[\frac{30}{42} \cdot 0.025 \cdot 5 \cdot \left[\frac{(\sigma_p - \sigma_{ap1.havio})}{f_{puk}} \right]^{4.5} \right] \cdot (\sigma_p - \sigma_{ap1.havio} + 2 \cdot \Delta\sigma_{p1.rel.1kk}) = 17.38 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännityshäviöt, kun t=1kk

$$\Delta\sigma_p := \Delta\sigma_{1kk,p.sc} - \Delta\sigma_{p1.rel.1kk} \quad \Delta\sigma_p = -90.04 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännevoima häviöiden jälkeen

$$P_{31} := P_{11} + n_{sukaton1} \cdot A_p \cdot \Delta\sigma_p \quad P_{31} = 6.39 \cdot MN$$

Jännityshäviöt prosentteina (t=1kk)

$$\frac{P_1 - P_{31}}{P_1} \cdot 100 = 17.75 \quad \%$$

Jännitys palkin yläpinnassa (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{yp1} := \frac{[P_{31} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) - M_{palkki1.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{31} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{yp1} = -1.62 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{ap1} := \frac{[-P_{31} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{palkki1.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{31} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{ap1} = -25.16 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset palkissa ennen laatan valua (t=1 kk)

Tarkastelu kohdassa x=L/2

$$M_{\text{palkki2.k}} = 1.09 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$P_{21} = 7.59 \cdot \text{MN}$$

$$P_{\text{yla}} = 0.25 \cdot \text{MN}$$

Jännitys punosten kohdalla (ei jännehäviötä mukana)

$$\sigma_{\text{pun2}} := \frac{[-P_{21} \cdot (e - e_{\text{pun}}) + P_{\text{yla}} \cdot (H_{\text{palkki}} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{\text{palkki2.k}}] \cdot (e - e_{\text{pun}})}{I_{\text{jpalkki}}} - \frac{P_{21} + P_{\text{yla}}}{A_{\text{jpalkki}}}$$

$$\sigma_{\text{pun2}} = -26.31 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännehäviö virumisesta, kutistumisesta ja relaksaatiosta

$$\phi_{1\text{kk}} = 0.53$$

Hetkellinen puristuma jänneterästen korkeudella

$$\epsilon_{\text{pun2}} := \frac{\sigma_{\text{pun2}}}{E_{\text{c1}}} \quad \epsilon_{\text{pun2}} = -6.29 \cdot 10^{-4}$$

Muodonmuutos virumisesta (0.96-kerroin kirjan Leonhardt: Spanbeton für die Praxis kaavan 12.(10) mukaan)

$$\epsilon_{\text{cc1kk}} := \phi_{1\text{kk}} \cdot 0.96 \cdot \epsilon_{\text{pun2}} \quad \epsilon_{\text{cc1kk}} = -3.18 \cdot 10^{-4}$$

Kutistuma (t=1kk)

$$-\epsilon_{\text{cs1}} = -6.4 \cdot 10^{-5}$$

Jännityshäviö betonin virumisesta ja kutistumisesta (t=1kk)

$$\Delta\sigma_{1\text{kk.p.sc}} := E_{\text{p}} \cdot (\epsilon_{\text{cc1kk}} - \epsilon_{\text{cs1}}) \quad \Delta\sigma_{1\text{kk.p.sc}} = -76.31 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännityshäviö relaksaatiosta (t=1kk=30pv)

$$\Delta\sigma_{\text{p2.rel.1kk}} := \left[\frac{30}{42} \cdot 0.025 \cdot 5 \cdot \left[\frac{(\sigma_{\text{p}} - \sigma_{\text{ap2.havio}})}{f_{\text{puk}}} \right]^{4.5} \right] \cdot (\sigma_{\text{p}} - \sigma_{\text{ap2.havio}} + 2 \cdot \Delta\sigma_{1\text{kk.p.sc}})$$

$$\Delta\sigma_{\text{p2.rel.1kk}} = 16.32 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännityshäviöt, kun t=1kk

$$\Delta\sigma_p := \Delta\sigma_{1kk,p.sc} - \Delta\sigma_{p2.rel.1kk} \quad \Delta\sigma_p = -92.63 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännevoima häviöiden jälkeen

$$P_{41} := P_{21} + n \cdot A_p \cdot \Delta\sigma_p \quad P_{41} = 7.01 \cdot MN$$

Jännityshäviöt prosentteina (t=1kk)

$$\frac{P_2 - P_{41}}{P_2} \cdot 100 = 18.82 \quad \%$$

Jännitys palkin yläpinnassa (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{yp1} := \frac{[P_{41} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) - M_{palkki2.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{41} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{yp1} = -3.79 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{ap1} := \frac{[-P_{41} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{palkki2.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{41} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{ap1} = -26.24 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset palkissa laatan valun jälkeen (t=1 kk)

Tarkastelu kohdassa x=L/4

$$M_{c1.k} := \frac{3 \cdot g_{c.k} \cdot L^2}{32} \quad M_{c1.k} = 2.15 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$P_{31} = 6.39 \cdot \text{MN} \quad P_{yla} = 0.25 \cdot \text{MN}$$

Jännitys palkin yläpinnassa (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{yp1} := \frac{[P_{31} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot \text{m}) - M_{c1.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{31} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{yp1} = -17.27 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys punosten kohdalla (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{pun1} := \frac{[-P_{31} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{c1.k}] \cdot (e - e_{pun})}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{31} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{pun1} = -15.62 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{ap1} := \frac{[-P_{31} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot \text{m}) + M_{c1.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{31} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{ap1} = -15.42 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Normaalijännitykset laatan valun jälkeen (t=1 kk)

Tarkastelu kohdassa x=L/2

$$M_{c2.k} := \frac{g_{c.k} \cdot L^2}{8} \quad M_{c2.k} = 2.86 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c2.d} := 1.2 \cdot M_{c2.k} \quad M_{c2.d} = 3.43 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Jännitys palkin yläpinnassa (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{yp2} := \frac{[P_{41} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) - M_{c2.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{41} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$-\sigma_{yp2} = 24.66 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} < f_{valu.k} = 35 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys punosten kohdalla (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{pun2} := \frac{[-P_{41} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{c2.k}] \cdot (e - e_{pun})}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{41} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{pun2} = -14.5 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (jännehäviöt mukana)

$$\sigma_{ap2} := \frac{[-P_{41} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{c2.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{41} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{ap2} = -13.26 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Normaalijännitykset palkin ja laatan painosta sekä jännevoimasta (t=∞)

Tarkastelu kohdassa x=L/4

Jännehäviö palkin virumisesta, kutistumisesta ja relaksaatiosta t=1kk-∞

$$\phi_{\infty} = 0.98$$

Hetkellinen puristuma jänneterästen korkeudella

$$\epsilon_{pun1} := \frac{\sigma_{pun1}}{E_{c1}} \quad \epsilon_{pun1} = -3.73 \cdot 10^{-4}$$

Muodonmuutos virumisesta (t=1kk-∞)/ (virumisesta aiheutuva jännityksen pieneneminen on otettu huomioon kirjan Leonhardt: Spannbeton für die Praxis kaavan 12.(10) mukaan kertoimella 0,95)

$$\epsilon_{cc\infty} := \phi_{\infty} \cdot 0.95 \cdot \epsilon_{pun1} \quad \epsilon_{cc\infty} = -3.47 \cdot 10^{-4}$$

Kutistuma ajan hetkellä (t=1kk-∞)

$$\epsilon_{cs\infty} := \epsilon_{cs} - \epsilon_{cs1} \quad \epsilon_{cs\infty} = 1.92 \cdot 10^{-4}$$

Jännityshäviö betonin virumisesta ja kutistumisesta (t=1kk-∞)

$$\Delta\sigma_{p.sc.\infty} := E_p \cdot (\epsilon_{cc\infty} - \epsilon_{cs\infty}) \quad \Delta\sigma_{p.sc.\infty} = -107.7 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännityshäviö relaksaatiosta (t=1kk-∞)

$$\Delta\sigma_{p.rel.\infty} := \left(3 - \frac{30}{40}\right) \cdot \Delta\sigma_{p1.rel.1kk} \cdot \left[1 + \frac{(2 \cdot \Delta\sigma_{p.sc.\infty})}{\sigma_p - \sigma_{ap1.havio}}\right] \quad \Delta\sigma_{p.rel.\infty} = 32.16 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännityshäviö

$$\Delta\sigma_p := \Delta\sigma_{p.sc.\infty} - \Delta\sigma_{p.rel.\infty} \quad \Delta\sigma_p = -139.88 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännevoima jännehäviöiden jälkeen

$$P_{51} := P_{31} + n_{sukaton1} \cdot A_p \cdot \Delta\sigma_p \quad P_{51} = 5.59 \cdot MN$$

$$\frac{P_1 - P_{51}}{P_1} \cdot 100 = 28 \quad \% \quad \text{HUOM! Sisältää laukaisuhetken kimmoisen kokoonpuristuman}$$

Jännitys palkin yläpinnassa (pitkäaikainen jännehäviö mukana)

$$\sigma_{yp1} := \frac{[P_{51} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) - M_{c1.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{51} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{yp1} = -18.62 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (pitkäaikainen jännehäviö mukana)

$$\sigma_{ap1} := \frac{[-P_{51} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{c1.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{51} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{ap1} = -11.45 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Normaalijännitykset palkin ja laatan painosta sekä jännevoimasta (t=∞)

Tarkastelu kohdassa x=L/2

Jännehäviö palkin virumisesta, kutistumisesta ja relaksaatiosta t=1kk-∞

$$\phi_{\infty} = 0.98$$

Hetkellinen puristuma jänneterästen korkeudella

$$\varepsilon_{pun2} := \frac{\sigma_{pun2}}{E_{c1}} \quad \varepsilon_{pun2} = -3.47 \cdot 10^{-4}$$

Muodonmuutos virumisesta hetkestä t=1kk-∞

$$\varepsilon_{cc\infty} := \phi_{\infty} \cdot 0.95 \cdot \varepsilon_{pun2} \quad \varepsilon_{cc\infty} = -3.22 \cdot 10^{-4}$$

Kutistuma ajan hetkellä t=∞

$$\varepsilon_{cs\infty} := \varepsilon_{cs} - \varepsilon_{cs1} \quad \varepsilon_{cs\infty} = 1.92 \cdot 10^{-4}$$

Jännityshäviö betonin virumisesta ja kutistumisesta (t=∞)

$$\Delta\sigma_{p.sc.\infty} := E_p \cdot (\varepsilon_{cc\infty} - \varepsilon_{cs\infty}) \quad \Delta\sigma_{p.sc.\infty} = -102.71 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännityshäviö relaksaatiosta (t=1kk-∞)

$$\Delta\sigma_{p.rel.\infty} := \left(3 - \frac{30}{40}\right) \cdot \Delta\sigma_{p2.rel.1kk} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \Delta\sigma_{p.sc.\infty}}{\sigma_p - \sigma_{ap2.havio}}\right) \quad \Delta\sigma_{p.rel.\infty} = 30.44 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännityshäviöt, kun t=1kk-oo

$$\Delta\sigma_p := \Delta\sigma_{p.sc.oo} - \Delta\sigma_{p.rel.oo} \quad \Delta\sigma_p = -133.15 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännevoima jännehäviöiden jälkeen

$$P_{61} := P_{41} + n \cdot A_p \cdot \Delta\sigma_p \quad P_{61} = 6.17 \cdot MN$$

Jännityshäviöt prosentteina

$$\frac{P_2 - P_{61}}{P_2} \cdot 100 = 28.58 \quad \% \quad \text{HUOM! Sisältää laukaisuhetken kimmoisen kokoonpuristuman}$$

Jännitys palkin yläpinnassa (pitkäaikainen jännehäviö mukana)

$$\sigma_{yp2} := \frac{[P_{61} \cdot (e - e_{pun}) - P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) - M_{c2.k}] \cdot (H_{palkki} - e)}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{61} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{yp2} = -26.09 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys punoksen kohdalla (pitkäaikainen jännehäviö mukana)

$$\sigma_{pun} := \frac{[-P_{61} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{c2.k}] \cdot (e - e_{pun})}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{61} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{pun} = -10.9 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa (pitkäaikainen jännehäviö mukana)

$$\sigma_{ap2} := \frac{[-P_{61} \cdot (e - e_{pun}) + P_{yla} \cdot (H_{palkki} - e - .06 \cdot m) + M_{c2.k}] \cdot e}{I_{jpalkki}} - \frac{P_{61} + P_{yla}}{A_{jpalkki}}$$

$$\sigma_{ap2} = -9.06 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset pintakuormasta liittorakenteelle

Tarkastelu kohdassa $x=L/4$

Jännitys laatan yläpinnassa

$$\sigma_{p11} := \frac{-M_{p1.k} \cdot (H_{palkki} + H_{laatta} - e_p)}{I_{liitto}} \cdot \alpha_2 \quad \sigma_{p11} = -1.23 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys laatan alapinnassa

$$\sigma_{p12} := \frac{-M_{p1.k} \cdot (H_{palkki} - e_p)}{I_{liitto}} \cdot \alpha_2 \quad \sigma_{p12} = -0.74 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{p13} := \frac{\sigma_{p12}}{\alpha_2} \quad \sigma_{p13} = -1.05 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{p14} := \frac{M_{p1.k} \cdot e_p}{I_{liitto}} \quad \sigma_{p14} = 2.75 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset pintakuormasta liittorakenteelle

Tarkastelu kohdassa $x=L/2$

Jännitys laatan yläpinnassa

$$\sigma_{p21} := \frac{-M_{p2.k} \cdot (H_{palkki} + H_{laatta} - e_p)}{I_{liitto}} \cdot \alpha_2 \quad \sigma_{p21} = -1.64 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys laatan alapinnassa

$$\sigma_{p22} := \frac{-M_{p2.k} \cdot (H_{palkki} - e_p)}{I_{liitto}} \cdot \alpha_2 \quad \sigma_{p22} = -0.99 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{p23} := \frac{\sigma_{p22}}{\alpha_2} \quad \sigma_{p23} = -1.4 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{p24} := \frac{M_{p2.k} \cdot e_p}{I_{liitto}} \quad \sigma_{p24} = 3.66 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset Lk1:stä liittorakenteelle

Tarkastelu kohdassa $x=L/4$

Jännitys laatan yläpinnassa

$$\sigma_{Lk11} := \frac{-M_{Lk1,k} \cdot (H_{palkki} + H_{laatta} - e_p) \cdot \alpha_2}{I_{liitto}} \quad \sigma_{Lk11} = -4.68 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys laatan alapinnassa

$$\sigma_{Lk12} := \frac{-M_{Lk1,k} \cdot (H_{palkki} - e_p) \cdot \alpha_2}{I_{liitto}} \quad \sigma_{Lk12} = -2.83 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{Lk13} := \frac{\sigma_{Lk12}}{\alpha_2} \quad \sigma_{Lk13} = -4 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{Lk14} := \frac{M_{Lk1,k} \cdot e_p}{I_{liitto}} \quad \sigma_{Lk14} = 10.49 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset Lk1:stä liittorakenteelle

Tarkastelu kohdassa $x=L/2$

Jännitys laatan yläpinnassa

$$\sigma_{Lk21} := \frac{-M_{Lk2,k} \cdot (H_{palkki} + H_{laatta} - e_p) \cdot \alpha_2}{I_{liitto}} \quad \sigma_{Lk21} = -6.05 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys laatan alapinnassa

$$\sigma_{Lk22} := \frac{-M_{Lk2,k} \cdot (H_{palkki} - e_p) \cdot \alpha_2}{I_{liitto}} \quad \sigma_{Lk22} = -3.66 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{Lk23} := \frac{\sigma_{Lk22}}{\alpha_2} \quad \sigma_{Lk23} = -5.17 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{Lk24} := \frac{M_{Lk2,k} \cdot e_p}{I_{liitto}} \quad \sigma_{Lk24} = 13.55 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitykset palkin ja laatan kutistumaerosta (KRT)

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\Delta CS} &= 6.4 \cdot 10^{-5} & E_{CS} &:= \frac{E_{C2}}{1 + 0.52 \cdot \phi_2} & E_{CS} &= 1.57 \cdot 10^4 \cdot \frac{MN}{m^2} \\ \alpha_s &:= \frac{E_{CS}}{E_{C1}} & \alpha_s &= 0.38 \\ A_{sliitto} &:= A_{palkki} + \alpha_s \cdot A_{laatta} + A_{pun} & A_{sliitto} &= 0.61 \text{ m}^2 \\ e_{sp} &:= \frac{A_{palkki} \cdot e_{palkki} + \alpha_s \cdot A_{laatta} \cdot \left(H_{palkki} + \frac{H_{laatta}}{2} \right) + A_{pun} \cdot e_{pun}}{A_{sliitto}} & e_{sp} &= 0.78 \text{ m} \end{aligned}$$

Normaalivoima ja momentti laatasta kutistumasta aiheutuvan liikkeen estämiseksi

$$\begin{aligned} N_s &:= \varepsilon_{\Delta CS} \cdot E_{CS} \cdot A_{laatta} & N_s &= 0.54 \cdot MN \\ M_s &:= N_s \cdot \left(H_{palkki} + \frac{H_{laatta}}{2} - e_{sp} \right) & M_s &= 0.33 \cdot MN \cdot m \\ y_{11} &:= e_{sp} - e_{palkki} & y_{12} &:= \left(H_{palkki} + \frac{H_{laatta}}{2} - e_{sp} \right) & y_{13} &:= (e_{sp} - e_{pun}) \\ I_{sliitto} &:= I_{palkki} + \alpha_s \cdot I_{laatta} + A_{palkki} \cdot (y_{11})^2 + \alpha_s \cdot A_{laatta} \cdot y_{12}^2 + A_{pun} \cdot y_{13}^2 & I_{sliitto} &= 0.18 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Jännitys laatan yläpinnassa kutistumisesta

$$\sigma_{cs1} := \frac{N_s}{A_{laatta}} + \frac{-N_s \cdot \alpha_s}{A_{sliitto}} + -M_s \cdot \frac{H_{palkki} + H_{laatta} - e_{sp}}{I_{sliitto}} \cdot \alpha_s \quad \sigma_{cs1} = 0.18 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys laatan alapinnassa kutistumisesta

$$\sigma_{cs2} := \frac{N_s}{A_{laatta}} + \frac{-N_s \cdot \alpha_s}{A_{sliitto}} + -M_s \cdot \frac{H_{palkki} - e_{sp}}{I_{sliitto}} \cdot \alpha_s \quad \sigma_{cs2} = 0.34 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin yläpinnassa kutistumisesta

$$\sigma_{cs3} := \frac{-N_s}{A_{sliitto}} + -M_s \cdot \frac{H_{palkki} - e_{sp}}{I_{sliitto}} \quad \sigma_{cs3} = -1.78 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa kutistumisesta

$$\sigma_{cs4} := \frac{-N_s}{A_{sliitto}} + M_s \cdot \frac{e_{sp}}{I_{sliitto}} \quad \sigma_{cs4} = 0.56 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset pysyvistä kuormista (käyttötila)

Tarkastelu kohdassa $x=L/4$

Jännitys laatan yläpinnassa

$$\sigma_{pit11} := \sigma_{p11} + \sigma_{cs1} \qquad \sigma_{pit11} = -1.1 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys laatan alapinnassa

$$\sigma_{pit12} := \sigma_{p12} + \sigma_{cs2} \qquad \sigma_{pit12} = -0.41 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{pit13} := \sigma_{yp1} + \sigma_{p13} + \sigma_{cs3} \qquad \sigma_{pit13} = -21.5 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{pit14} := \sigma_{ap1} + \sigma_{p14} + \sigma_{cs4} \qquad \sigma_{pit14} = -8.1 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset pysyvistä kuormista (käyttötila)

Tarkastelu kohdassa $x=L/2$

Jännitys laatan yläpinnassa

$$\sigma_{pit21} := \sigma_{p21} \qquad \sigma_{pit21} = -1.64 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys laatan alapinnassa

$$\sigma_{pit22} := \sigma_{p22} \qquad \sigma_{pit22} = -0.99 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{pit23} := \sigma_{yp2} + \sigma_{p23} + \sigma_{cs3} \qquad \sigma_{pit23} = -29.27 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{pit24} := \sigma_{ap2} + \sigma_{p24} + \sigma_{cs4} \qquad \sigma_{pit24} = -4.83 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Jännitys punosten kohdalla ilman kutistumaa (käytetään halkeilulaskelmassa)

$$\sigma_{pit25} := \frac{e_{pun}}{H_{palkki}} \cdot (\sigma_{yp2} + \sigma_{p23} - \sigma_{ap2} - \sigma_{p24}) + \sigma_{ap2} + \sigma_{p24} \qquad \sigma_{pit25} = -7.79 \cdot \frac{MN}{m^2}$$

Normaalijännitykset yhdisteltynä kaikista kuormista (KRT)

Tarkastelu kohdassa $x=L/4$

Maksimi puristusjännitys laatan yläpinnassa

$$\sigma_{k11} := \sigma_{p11} + \sigma_{Lk11} \qquad \sigma_{k11} = -5.91 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Maksimi puristusjännitys laatan alapinnassa

$$\sigma_{k12} := \sigma_{p12} + \sigma_{Lk12} \qquad \sigma_{k12} = -3.57 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Maksimi puristusjännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{k13} := \sigma_{yp1} + \sigma_{p13} + \sigma_{Lk13} + \sigma_{cs3} \qquad \sigma_{k13} = -25.45 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{k14} := \sigma_{ap1} + \sigma_{p14} + \sigma_{Lk14} \qquad \sigma_{k14} = 1.78 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Normaalijännitykset yhdisteltynä kaikista kuormista (KRT)

Tarkastelu kohdassa $x=L/2$

Maksimi puristusjännitys laatan yläpinnassa

$$\sigma_{k21} := \sigma_{p21} + \sigma_{Lk21} \qquad \sigma_{k21} = -7.69 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Maksimi puristusjännitys laatan alapinnassa

$$\sigma_{k22} := \sigma_{p22} + \sigma_{Lk22} \qquad \sigma_{k22} = -4.65 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Maksimi puristusjännitys palkin yläpinnassa

$$\sigma_{k23} := \sigma_{yp2} + \sigma_{p23} + \sigma_{Lk23} + \sigma_{cs3} \qquad \sigma_{k23} = -34.44 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{k24} := \sigma_{ap2} + \sigma_{p24} + \sigma_{Lk24} \qquad \sigma_{k24} = 8.16 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Käyttötilatarkastelut

Halkeilutarkastelu palkin alapinnassa (KRT) (t=∞)

Ensimmäisen halkeaman aih. taivutusmomentti M_r (pitkäaikaisten kuormien momentit eivät sisälly tähän momenttiin)

$$M_r := \frac{[f_{ctk1} - (\sigma_{ap2} + \sigma_{p24})] \cdot I_{liitto}}{e_p}$$

$$M_r = 2.18 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Lk2.k} = 3.36 \cdot \text{MN} \cdot \text{m} > M_r$$

Rakenne halkeaa!

Jännityksettömän tilan, punosten kohdalle betoniin, aiheuttava taivutusmomentti

$$M_{p0} := \frac{-(\sigma_{pit25}) \cdot I_{liitto}}{e_p - e_{pun}}$$

$$M_{p0} = 2.27 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Lasketaan punosvoima N_{s1} M_{p0} :sta (palkin yp. plastisoitunut)

$$z := H_{rak} - e_{pun} - \frac{H_{laatta}}{2}$$

$$z = 1.25 \text{ m}$$

$$N_{s1} := \frac{M_{p0}}{z}$$

$$N_{s1} = 1.82 \cdot \text{MN}$$

Lasketaan punosvoima N_{s2} M_r :sta (rakenne haljennut/palkin yp. plastisoitunut)

Kaikki jännityksen lisäykset kohdistuvat laattaan, koska palkin yp. plastisoitunut

$$N_{s2} := \frac{M_r}{z}$$

$$N_{s2} = 1.75 \cdot \text{MN}$$

Jännitys punosteräksessä M_r :stä, kun jännityksen 0-kohdaksi ajatellaan jännitys, joka aiheuttaa punosten kohdalla olevaan betoniin jännityksettömän tilan.

$$\sigma_{sr} := \frac{N_{s1} - N_{s2}}{n \cdot A_p}$$

$$\sigma_{sr} = 11.6 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Punosvoima momentista M_k

$$M_k := M_{Lk2.k}$$

$$M_k = 3.36 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$N_{s3} := \frac{M_k}{z}$$

$$N_{s3} = 2.69 \cdot \text{MN}$$

Jännitys punosteräksessä M_k :sta, kun jännityksen 0-kohdaksi ajatellaan jännitys, joka aiheuttaa punosten kohdalla olevaan betoniin jännityksettömän tilan. Jännitys σ_s lasketaan tässä likimääräismenetelmällä, joka on varmalla puolella.

$$\sigma_s := \frac{N_{s3} - N_{s1}}{n \cdot A_p}$$

$$\sigma_s = 138.08 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

$$k_w := 0.13 \quad d_p = 12.5 \text{ mm} \quad c := y_1 - d_p \quad c = 47.5 \text{ mm}$$

$$\rho_r := \frac{n \cdot A_p}{B_{\text{alaippa}} \cdot H_{\text{alaippa}}} \quad \rho_r = 0.03$$

$$\varepsilon_{sm} := \frac{\sigma_s}{E_p} \left[1 - \frac{1}{25 \cdot k_w} \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \quad \varepsilon_{sm} = 6.89 \cdot 10^{-4}$$

$$> 0.7 \cdot \frac{\sigma_s}{E_p} = 4.83 \cdot 10^{-4} \quad \text{ok!}$$

Halkeamaleveys

$$w_k := \varepsilon_{sm} \cdot \left(3.5 \cdot c + k_w \cdot \frac{d_p}{\rho_r} \right) \quad w_k = 0.15 \text{ mm} \quad < 0.15 \text{ mm}$$

ok!

Vetojännitystarkastelu pitkäaikaiskuormista (käyttötila)

Maksimijännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{\text{pit24}} := \sigma_{\text{ap2}} + \sigma_{\text{p24}} + \sigma_{\text{cs4}} + 0.3 \cdot \sigma_{\text{Lk24}}$$

$$\sigma_{\text{pit24}} = -0.8 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad < 0 \text{ MN/m}^2 \quad \text{ok!}$$

Taivutusmurtorajatila

Tarkastelu kohdassa x=L/2

Jänneteräket myötäävät

$$P_{\text{max}} := f_{\text{pyd}} \cdot n \cdot A_p \quad P_{\text{max}} = 8.63 \text{ MN}$$

Puristusvyöhykkeen raja laatan yläpinnasta

$$y := \frac{P_{\text{max}}}{f_{\text{c2d}} \cdot B_{\text{laatta}}} \quad y = 202 \text{ mm}$$

Puristusvyöhykkeen painopiste laatan yläpinnasta

$$e_{\text{pur}} := 0.5 \cdot y \quad e_{\text{pur}} = 0.101 \text{ m}$$

Taivutuskapasiteetti

$$M_u := f_{\text{pyd}} \cdot n \cdot A_p \cdot (H_{\text{palkki}} + H_{\text{laatta}} - e_{\text{pur}} - e_{\text{pun}}) \quad M_u = 10.89 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

Laskentamomentti

$$M_d := M_{\text{c2.d}} + M_{\text{p2.d}} + 1.8 \cdot M_{\text{Lk2.k}} \quad M_d = 10.57 \text{ MN} \cdot \text{m} \quad M_d < M_u \quad \text{ok!}$$

Jänneterästen myötöehto

$$x := 1.25 \cdot y$$

$$x = 0.25 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{cu} := \left(\frac{f_{p0.2k} - \sigma_p}{E_p} + 0.002 \right) \cdot \frac{x}{H_{palkki} + H_{laatta} - 60 \cdot \text{mm} - x}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.00064$$

$$< 0.0035$$

Rakenteen murtotapa on sitkeä!

Leikkausmurtorajatila

$$V_d := V_{c,d} + V_{p,d} + 1.8 \cdot V_{Lk1,k}$$

$$V_d = 1.66 \cdot \text{MN}$$

$$M_0 := P_0 \cdot \left[(e - e_{pun}) + \frac{I_{jpalkki}}{A_{jpalkki} \cdot e} \right]$$

$$M_0 = 4.11 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$\beta := 2$$

ks. by16 Suunnittelun sovellusohjeet (s. 88)

$$V_{u\max} := 0.25 \cdot B_{uuma} \cdot (H_{palkki} + H_{laatta} - e_{pun}) \cdot \frac{0.7 \cdot 60}{1.35} \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

$$V_{u\max} = 1.91 \cdot \text{MN} > V_d$$

$$V_c := 0.8 \cdot 0.5 \cdot \beta \cdot B_{uuma} \cdot (H_{palkki} + H_{laatta} - e_{pun}) \cdot f_{ctd1}$$

$$V_c = 0.49 \cdot \text{MN}$$

$$V_d - V_c = 1.16 \cdot \text{MN}$$

Tutkitaan 2-leikkeinen hakamäärä d12 k100

$$A_{sv} := \frac{2 \cdot 113 \cdot \text{mm}^2}{100 \cdot \text{mm}}$$

$$A_{sv} = 2.26 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$V_s := 0.9 \cdot A_{sv} \cdot f_{yd} \cdot (H_{palkki} + H_{laatta} - e_{pun})$$

$$V_s = 1.26 \cdot \text{MN} > V_d - V_c = 1.16 \cdot \text{MN}$$

ok!

Työntövoima maksimi leikkausvoimasta (betonin painosta ei leikkaus-
rasituksia työsaumaan)

$$V_d := V_{p,d} + 1.8 \cdot V_{Lk1,k} \quad V_d = 1.22 \cdot \text{MN}$$

$$a := H_{\text{palkki}} - H_{\text{ylaippa}} - e_p \quad a = 0.13 \text{ m}$$

$$S := \int_{e_p - H_{\text{alaippa}}}^{e_p} B_{\text{alaippa}} \cdot y dy + \int_{-a}^{e_p - H_{\text{alaippa}}} B_{\text{uuma}} \cdot y dy + \int_{-H_{\text{palkki}} + e_p}^{-a} B_{\text{ylaippa}} \cdot y dy$$

$$S = 0.16 \text{ m}^3$$

$$v_{2d} := V_d \cdot \frac{S}{I_{\text{liitto}}} \quad v_{2d} = 0.85 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

Työntövoima kutistumisesta (jakautuu d:n etäisyydelle palkin päästä)

$$\sigma_{cs1} = 0.18 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad \sigma_{cs2} = 0.34 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

$$v_{csd} := \frac{\frac{\sigma_{cs1} + \sigma_{cs2}}{2} \cdot 1.2 \cdot B_{\text{laatta}} \cdot H_{\text{laatta}}}{(H_{\text{palkki}} + H_{\text{laatta}} - e_{\text{pun}})} \quad v_{csd} = 0.12 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

Työntövoima kutistumisesta eri suuntaan kuin muista
työntövoimista!

Työsauman leikkauskapasiteetti (karhea työsauma)

Tutkitaan 2-leikkeinen d=12mm k100.

$$A_{sv} := \frac{2 \cdot 113 \cdot \text{mm}^2}{100 \cdot \text{mm}} \quad A_{sv} = 2.26 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\frac{A_{sv}}{B_{ylaippa}} = 7.53 \cdot 10^{-3} \quad > 0.005$$

$$\beta_1 := 0.9 \quad \beta_2 := 0.3$$

β_2 termin edessä Tielaitoksen edellyttämä betonin leikkauskapasiteettiä pienentävä
osuus.

$$v_u := \beta_1 \cdot A_{sv} \cdot f_{yd} + 0.8 \cdot \beta_2 \cdot f_{ctd2} \cdot B_{ylaippa} \quad v_u = 1.04 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}} \quad > \quad v_{2d} = 0.85 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

ok!

Väsymismurtorajatila (Lk1)

Betonin väsymisrajoit tarkastelu:

$$\psi := 0.25 \quad : \text{kun } L > 15\text{m}$$

$$\Delta\sigma_{\max} := \sigma_{Lk24} \quad \Delta\sigma_{\max} = 13.55 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad f_{\text{cnd}} := 0.25 \cdot f_{\text{c1d}}$$

$$\Delta\sigma_{\text{ekv}} := \psi \cdot \Delta\sigma_{\max} \quad \Delta\sigma_{\text{ekv}} = 3.39 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} < f_{\text{cnd}} = 9.07 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Jänneteräksen väsymisrajoit tarkastelu:

$$\Delta\sigma_{\max} = 13.55 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta\sigma_{\text{pmax}} := \alpha_1 \cdot \Delta\sigma_{\max} \quad \Delta\sigma_{\text{pmax}} = 64.79 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} < f_{\text{pnd}} := 90 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Tukipinta-ala likikaavalla

$$T_d := 1.2 \cdot \frac{L+1 \cdot m}{2} \cdot g_{\text{c.k}} + 1.2 \cdot \frac{L+1 \cdot m}{2} \cdot g_{\text{p.k}} + 1.8 \cdot T_{Lk1.k} \quad T_d = 1.96 \cdot \text{MN}$$

$$A_{\text{tuki}} := \frac{T_d}{12} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{MN}} \quad A_{\text{tuki}} = 0.16 \text{ m}^2 \quad \text{Likikaava!}$$

Kun tukipinnan leveys 400 mm

$$a_0 := \frac{A_{\text{tuki}}}{400 \cdot \text{mm}} \quad a_0 = 407 \cdot \text{mm}$$

Palkin pään kestävyys Palkin pään lohkeaminen (MRT)

ks. by16 Suunnittelun sovellusohjeet (s. 229)

Tukivoima

$$T_d := 1.2 \cdot \frac{L + 0.6 \cdot m}{2} \cdot g_{c,k} + 1.2 \cdot \frac{L + 0.6 \cdot m}{2} \cdot g_{p,k} + 1.8 \cdot T_{Lk1,k} \quad T_d = 1.95 \text{ MN}$$

Po=jännevoima ja Hd=laakerille kohd. vaakavoima

$$P_0 = 6.04 \text{ MN} \quad H_d := 0.1 \cdot T_d$$

Palkin pään lohkaisun estämiseksi tarvittava teräsmäärä Ash

$$d := 20 \cdot \text{mm} \quad l_{b1} := 300 \cdot \text{mm} \quad l_{jatkos} := 2 \cdot m$$

$$A_{sh} := \text{if} \left[\frac{0.75 \cdot (T_d + H_d) - \frac{l_{b1}}{l_{jatkos}} \cdot P_0}{f_{yd}} > 0, \frac{0.75 \cdot (T_d + H_d) - \frac{l_{b1}}{l_{jatkos}} \cdot P_0}{f_{yd}}, 0 \right]$$

$$A_{sh} = 1.54 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Valitaan kaksileikkeisiä teräshakoja d=20mm 12mm:sten lisäksi

$$n := \frac{A_{sh} - 4 \cdot 2 \cdot 113 \cdot \text{mm}^2}{2 \cdot 314 \cdot \text{mm}^2} \quad n = 1.01$$

Halkaisuraudoitus Tarkastelu, jossa kaikki jänteet mukana

$$P_{0d} := 1.2 \cdot P_0$$

$$b_0 := 2 \cdot e_{pun} - 120 \cdot \text{mm} \quad b_0 = 0.16 \text{ m}$$

$$b_1 := 2 \cdot e_{pun} \quad b_1 = 0.28 \text{ m}$$

$$F_t := 0.25 \cdot P_{0d} \cdot \left(1 - \frac{b_0}{b_1} \right) \quad F_t = 0.79 \text{ MN}$$

$$A_s := \frac{F_t}{f_{yd}} \quad A_s = 1.74 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Tarkistetaan teräsmäärä 2x10 d12 (k100) (yhden metrin matkalle)

$$A_s := 2 \cdot 10 \cdot 113 \cdot \text{mm}^2 \quad A_s = 2.26 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 \quad \text{ok!}$$

Tarkastelu, jossa yksi jänneryhmäriivi mukana

$$P_{0d} := 1.2 \cdot 20 \cdot \sigma_{p0max} \cdot A_p \quad P_{0d} = 3.15 \cdot \text{MN}$$

$$b_0 := 2 \cdot d_p \quad b_0 = 0.03 \text{ m}$$

$$b_1 := 2 \cdot e_{pun} \quad b_1 = 0.28 \text{ m}$$

$$F_t := 0.25 \cdot P_{0d} \cdot \left(1 - \frac{b_0}{b_1}\right) \quad F_t = 0.72 \cdot \text{MN}$$

$$A_s := \frac{F_t}{f_{yd}} \quad A_s = 1.58 \cdot 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Tarkistetaan teräsmäärä 2x10 d12 (k100) (yhden metrin matkalle)

$$A_s := 2 \cdot 10 \cdot 113 \cdot \text{mm}^2 \quad A_s = 2.26 \cdot 10^3 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{ok!}$$

Palkin alalaipan puristuskapasiteetti

$$\frac{P_{0d}}{A_{\text{alaippa}}} = 16.69 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} < f_{c1d} = 36.3 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad \text{ok!}$$

Nostolenkkien mitoitus (ks. by 16 Suunnittelun sovellusohjeet)

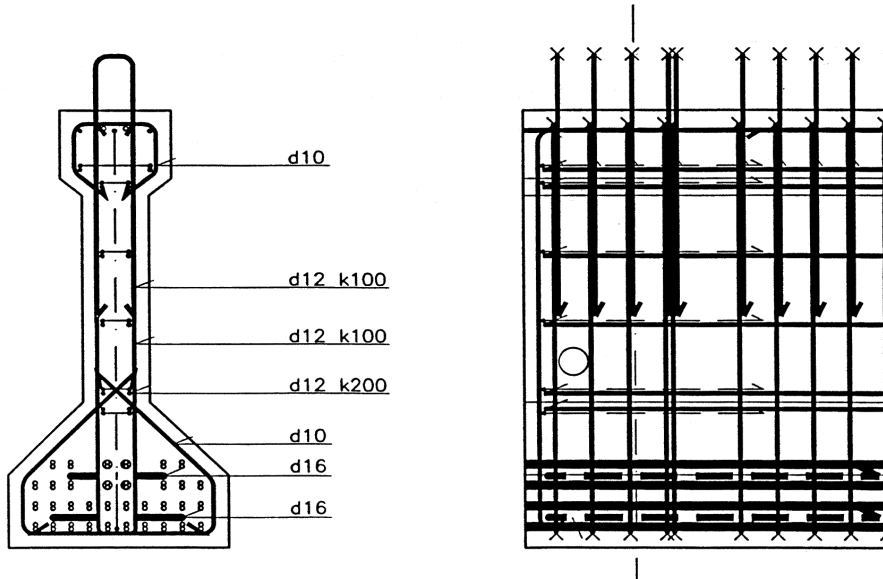
$$G_d := 4 \cdot 1.2 \cdot g_{\text{palkki.k}} \cdot \frac{L + 0.6 \cdot m}{2} \quad G_d = 0.71 \cdot \text{MN}$$

$$A_s := \frac{G_d}{\left(\frac{f_{\text{puk}}}{1.15}\right)} \quad A_s = 463 \cdot \text{mm}^2$$

Nostolenkkien lukumäärä palkin päätä kohti (lenkit jänneterästä d=12.5 mm)

$$n := \frac{A_s}{1.8 \cdot A_p} \quad n = 2.76$$

Valitaan 2x3 kpl.



Taipuma kohdassa L/2

Laukaisuhetken taipuma

$$w_1 = -85 \text{ mm}$$

Taipuma laatan painosta ($t=\infty$) (sisältää jännevoimasta aih. taipuman)

$$w_2 := \frac{5 \cdot 0.025 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^3} \cdot A_{\text{laatta}} \cdot L^4 \cdot (1 + \phi_1 - \phi_{1kk})}{384 \cdot E_{c1} \cdot I_{\text{palkki}}} + \frac{1 + \phi_1}{1 + \phi_{1kk}} \cdot w_1 \quad w_2 = -33 \text{ mm}$$

Taipuma asfaltin painosta (1 kN/m² lisä ei kuulu tähän)

$$w_3 := \frac{5 \cdot g_{p1,k} \cdot L^4}{384 \cdot E_{cc1} \cdot I_{\text{liitto}}} \quad w_3 = 17 \text{ mm}$$

Taipuma pitkäaikaisista kuormista (omat painot)

$$w := w_2 + w_3 \quad w = -16 \text{ mm}$$

Taipuma Lk1:stä

$$w_{Lk1} = 80 \text{ mm} \quad \frac{L}{w_{Lk1}} = 375$$

Kaikki taipumat yhdessä

$$w := w_2 + w_3 + w_{Lk1} \quad w = 64 \text{ mm}$$