

Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje

BETONISILTOJEN LEVENNYSTEN JA SUUREMPIEN VALUKORJAUSTEN
MITOITUS- JA SUUNNITTELUOHJE

22.12.2011



Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje

Betonisiltojen levennysten ja suurempien
valukorjausten mitoitus- ja suunnitteluohje

22.12.2011

Liikenneviraston ohjeita 17/2011

Liikennevirasto

Helsinki 2011

Kannen kuva: Torsten Lunabba

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-724-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Taitorakentaminen

Vastaanottaja
ELY-keskusten Liikenne- ja infrastruktuuri – vastualueet,
Liikenneviraston investointi ja kunnossapitotoimialat

Voimassa
22.12.2011 alkaen toistaiseksi

Asiasanat
betonirakenteet, korjaus, korroosio, leventäminen, sillansuunnittelu, sillat,

Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje

Tätä ohjetta käytetään yleisten teiden ja rautateiden betonisiltojen korjaussuunnittelussa. Lisäksi ohjetta käytetään niiden yksityistiesiltojen korjaussuunnittelussa, jotka saavat valtion avustusta sillan rakentamiseen. Siltojen kantavuuden määräyksestä annetaan ohjeet erikseen.

Tässä ohjeessa esitetään mitoitus- ja suunnitteluohjeet betonisiltojen korjaamisesta ja leventämisestä varten. Tämän lisäksi annetaan joitakin ohjeita korjaussuunnitelman sisällöstä. Tätä ohjetta voidaan käyttää myös apuna kantavuustarkastelujen tekemisessä lievästi rappeutuneille betonisilloille.

Ohjetta sovelletaan eurokoodijärjestelmässä, joka on otettu käyttöön Liikenneviraston väylähankkeiden suunnittelussa 1.6.2010 alkaen.

Ylijohtaja



Raimo Tapio

Tekninen johtaja



Markku Nummelin

LISÄTIETOJA
Jani Meriläinen
Liikennevirasto
puh. 020 637 3571

Esipuhe

Liikennevirasto ei ole aikaisemmin julkaissut betonisiltojen korjaussuunnittelua koskevia ohjeita. Siltojen korjauskansiossa (SILKO) suunnittelua on käsitelty jonkin verran yleisellä tasolla, mutta pääpaino on korjausrakentamisessa.

Tämä uusi ohje on lopputulos laajasta tutkimusprojektista Vaurioiden ja korjaustyön vaikutus sillan korjaussuunnitteluun ja kantavuuteen. Projektin ohjaukseen ja rahoitukseen osallistuivat Liikennevirasto, Säteilyturvakeskus, Helsingin ja Vantaan kaupungit, Rudus Oy ja Destia Oy. Projektin johto- ja sihteeritöistä vastasi Destia Oy:n sillansuunnitteluosasto. Tutkimustyön merkittävänä osana tehtiin kolme opinnäytetyötä, kaksi Tampereen teknilliselle yliopistolle ja yksi Lundin teknilliselle korkeakoululle /41/ ... /43/.

Tutkimusprojektin ohjausryhmään kuuluivat:

Timo Tirkkonen	Liikennevirasto, taitorakenteet
Jouko Lämsä	Liikennevirasto, taitorakenteet
Markku Nousiainen	Liikennevirasto, taitorakentaminen
Ilkka Sinisalo	VR Rata Oy, Liikenneviraston edustajana
Timo Rytönen	Helsingin kaupunki
Risto Ollila	Vantaan kaupunki
Jukka Myllymäki	Säteilyturvakeskus
Vesa Anttila	Rudus Oy
Torsten Lunabba	Destia Oy

Tutkimusprojektin projektiryhmään kuuluivat:

Timo Tirkkonen	Liikennevirasto, taitorakenteet
Markku Nousiainen	Liikennevirasto, taitorakentaminen
Pertti Pitkänen	Säteilyturvakeskus
Eero Sihvonen	Helsingin kaupunki
Torsten Lunabba	Destia Oy
Daniella Odendaal	Destia Oy, opinnäytetyön tekijä
Olli-Pekka Tynkkynen	Destia Oy, opinnäytetyön tekijä
Eetu Väisänen	Destia Oy, opinnäytetyön tekijä
Antti Rämetsä	Destia Oy

Opinnäytetöiden valvojina olivat Tampereen teknillisen yliopiston professori Ralf Lindberg ja Lundin teknillisen korkeakoulun professori Sven Thelandersson.

Helsingissä joulukuussa 2011

Liikennevirasto
Taitorakentaminen

Sisällysluettelo

1	YLEISTÄ.....	7
1.1	Ohjeen tarkoitus ja soveltamisala.....	7
1.2	Käsitteet.....	8
2	TOIMIVUUSVAATIMUKSET	10
3	LEVENNETTÄVÄN, KORJATTAVAN TAI LIEVÄSTI VAURIOITUNEEN SILLAN SUUNNITTELUPERUSTEET	11
3.1	Suunnittelukuormat.....	11
3.2	Materiaalien laskentalujuudet ja mitoitus käyttörajatilassa	12
3.2.1	Yleistä.....	12
3.2.2	Materiaalien osavarmuusluvut	12
3.2.3	Halkeamaleveydet.....	12
3.2.4	Suojaava betonipeite.....	13
3.2.5	Muut ohjeet	14
4	ENNEN KORJAUSSUUNNITTELUN ALOITTAMISTA TEHTÄVÄT TUTKIMUKSET JA SELVITYKSET	15
5	LUJUUDEN MÄÄRITYS KORJATTAVASSA RAKENTEESSA.....	16
5.1	Betoni	16
5.2	Betoniteräs.....	17
5.3	Jänneteräs	17
5.4	Betonin ja teräksen yhteistoiminta.....	18
6	VANHAN SILLAN KORJATTAVAN RAKENNEOSAN KANTAVUUDEN LASKENTA.....	19
7	VAURIOIDEN VAIKUTUKSEN SUURUUSLUOKKATARKASTELU JA TOIMENPIDESUOSITUKSET	21
8	BETONIN LYHYT- JA PITKÄAIKAISET MUODONMUUTOKSET	22
8.1	Raudoittamaton tai lähes raudoittamaton rakenne.....	22
8.2	Raudoituksen vaikutus rakenteen teholliseen kimmokertoimeen.....	24
8.3	Betonin pitkäaikaisten muodonmuutosten vaikutus rakenteiden mitoitukseen	25
9	SITOUTUMISLÄMPÖTILASTA AIHEUTUVAT RASITUKSET	26
9.1	Lämpösuojauksen tarpeellisuus.....	26
9.2	Lämpötilaerot siltoja levennettäessä	28
9.3	Lämpötilaerot laattoja ja palkkeja korjattaessa	31
9.4	Lämpötilaerot pilareita korjattaessa	33
10	KUTISTUMINEN	36
11	ULKOISTEN KUORMIEN JAKAANTUMINEN.....	37
11.1	Yleisperiaatteet	37
11.2	Siltojen leventäminen	38
11.2.1	Uuden osan muotit ripustettu vanhasta rakenteesta	38

11.2.2	Uuden osan muotit tuettu telineillä	41
11.2.3	Jälkivalukaista uuden ja vanhan osan välissä.....	42
11.3	Laattojen ja palkkien korjaaminen ja vahvistaminen	43
11.3.1	Vanhaa rakennetta ei tueta.....	43
11.3.2	Vanhaa rakennetta tuetaan lisäkuormille	45
11.3.3	Vanhaa rakennetta nostetaan	45
11.4	Pilareiden korjaaminen ja vahvistaminen.....	46
11.4.1	Pilaria ei tueta	46
11.4.2	Pilaria tuetaan lisäkuormille	48
11.4.3	Päällysrakennetta nostetaan.....	48
12	JÄNNITETYT RAKENTEET	49
13	KORJAUSSUUNNITELMASSA ESITETTÄVÄT ASIAT	50
	VIITELUETTELO	52

LIITTEET

- Liite 1 Betonipinnan poistamisohjeita siltojen korjauksissa
Liite 2 Uusittavien reunapalkkien raudoitus

1 Yleistä

1.1 Ohjeen tarkoitus ja soveltamisala

Tätä ohjetta käytetään betonirakenteisten siltojen korjaussuunnittelun ohjauksessa ja laadunvarmistuksessa. Tarkoituksena on parantaa ja yhtenäistää korjaussuunnitelmi- en laatutasoa ja varmistaa, että siltojen kantavuus ja käyttöikä saadaan korjaustoimenpiteillä riittävän korkealle ja siltojen hoidon ja ylläpidon kannalta taloudelliselle tasolle.

Korjaussuunnitelmia laadittaessa lähtökohtana on, että

- siltojen hoidossa ja ylläpidossa toimitaan Liikenneviraston siltojen ylläpidon toimintalinjojen /1/ mukaisesti
- siltojen tarkastamisessa noudatetaan Liikenneviraston sillantarkastusta koskevia ohjeita /2/, /3/ ja /9/
- korjaustoimenpiteet suunnitellaan tämän ohjeen, eurokoodien, eurokoodien kansallisten liitteiden ja Liikenneviraston soveltamisohjeiden mukaisesti
- korjaustyö tehdään Silko-ohjeissa /5/ kuvatuilla menetelmillä ja Liikenneviraston käyttöönsä hyväksymillä materiaaleilla.

Nämä ohjeet täydentävät ja täsmentävät Silko-ohjeissa /5/ 1.201-1.251 korjaussuunnittelua koskevia yleisiä laatuvaatimuksia.

Tässä ohjeessa ei käsitellä betonirakenteen jälkijännittämistä eikä betonirakenteiden liimausvahventamista teräslevyillä tai hiilikuiduilla. Liimausvahventamisen suunnittelussa noudatetaan Liikenneviraston ohjetta *Betonirakenteiden liimausvahventamisohjeet /6/*.

Siltojen ei-rakenteellisia korjaustoimenpiteitä voidaan suunnitella myös Liikenneviraston ohjeiden *Siltapilareiden kuoret /7/* ja *Siltojen reunapalkkien kuoret /8/* mukaisesti.

Kun Silko-ohjeet tai muut voimassa olevat Liikenneviraston ohjeet eivät ole sovellettavissa tai kun tarvitaan täydentävää tietoa, korjaussuunnitelmissa voidaan viitata eurooppalaiseen standardiin SFS-EN 1504 *Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät, määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi /27/*, jonka osat ovat:

- 1504-1, Määritelmät
- 1504-2, Betonipinnan suojaus
- 1504-3, Rakenteellinen ja ei-rakenteellinen korjaus
- 1504-4, Rakenteellinen liimaus
- 1504-5, Betonirakenteen injektointi
- 1504-6, Betoniterästangon ankkurointi
- 1504-7, Raudoituksen korroosionesto
- 1504-8, Laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi
- 1504-9, Suojaus- ja korjausaineiden ja niiden yhdistelmien periaatteet
- 1504-10, Aineiden ja niiden yhdistelmien työmaakäyttö ja rakenteiden laadunvalvonta.

Standardin SFS-EN 1504 vaatimukset on pyritty sisällyttämään Silko-ohjeisiin. Kuten standardi SFS-EN 1504, tämä ohje ei käsittele tulipalosta aiheutuvien vaurioiden korjausta eikä pelkästään siltojen ulkonäön parantamiseksi tarkoitettuja toimenpiteitä. Sen sijaan ohjeeseen sisältyy jälkijännitetyjen siltojen korjaussuunnittelu, mikä aihe on jätetty standardin SFS-EN 1504 ulkopuolelle.

1.2 Käsitteet

Erikoistarkastus

Sillan tai yksittäisten rakenneosien perusteellinen tarkastus erikoislaitteilla ja erikoistutkimuksilla.

Jäljellä oleva käyttöikä

Sillan suunnittelukäyttöiän ja todellisen iän välinen erotus.

Käyttöaste

Rakenteen tai rakenneosan käyttö- tai murtorajatilan rasituksen suhde kyseisen rakenteen tai rakenneosan suurimpaan mahdolliseen rasitukseen, millä sallitut rajatilan arvot saavutetaan.

Käyttöikä

Ajanjakso, jonka ajan rakenteen ominaisuudet säilyvät rakenteelta vaadittavalla tasolla edellyttäen, että sitä pidetään asianmukaisesti kunnossa.

Laadunhallinta

Koordinoidut toimenpiteet organisaation suuntaamiseksi ja ohjaamiseksi laatuun liittyvissä asioissa.

Laaduntarkastus

Mittaus-, testaus- ja tarkastustoimenpiteet, joiden avulla varmistutaan siitä, että tuote tai palvelu täyttää asetetut laatuvaatimukset.

Laadunvarmistus

Se osa laadunhallintaa, joka keskittyy tuottamaan luottamuksen siihen, että laatuvaatimukset tullaan täyttämään.

Laatu

Tuotteen tai palvelun kyky täyttää omistajan, käyttäjän, ympäristön ja yhteiskunnan tarpeet ja odotukset.

Laatuvaatimus

Ohjearvo tai raja-arvojen väliin jäävä alue tai sanallinen laadun määrittely.

Ohjearvo

Rakenteen tai rakennusaineen laadulle asetettu tavoitearvo.

Peruskorjaus

Kokonaiskorjaus, jossa kaikki vaurioituneet ja kuluneet rakenneosat kunnostetaan tai uusitaan ja sillan rakenteellinen ja toiminnallinen kunto palautetaan olevan käyttöiän edellyttämälle tasolle.

Raja-arvo = ohjearvo ± sallittu poikkeama.

Rasitusluokka

Eurokoodin soveltamisohjeen Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2 /26/ mukainen rakenteiden rasitusluokka.

Sallittu poikkeama eli toleranssi

Laatuvaatimukseen liittyvä suurin sallittu positiivinen tai negatiivinen poikkeama.

SILAVA

Tietty Liikenneviraston hyväksymä siltojen laadunvarmistusohjelmisto.

Siltapaikkaluokitus

Luokitus, jonka tarkoituksena on tuottaa siltapaikalle estetiikaltaan ja arkkitehtuuriltaan siltapaikan kriteerien perusteella sopivia ja riittävän tasokkaita siltoja. Siltapaikkaluokkien kriteereinä ovat siltapaikan sijainti, kulttuuriarvo ja maisema-arvo.

Suunnittelukäyttöikä

Ajanjakso, jonka ajan rakenteen ominaisuudet säilyvät rakenteelta vaadittavalla tasolla 95 % todennäköisyydellä edellyttäen, että sitä pidetään asianmukaisesti kunnossa.

Tavoiteikä

Rakennuttajan tai suunnittelijan asettama käyttöikävaatimus. Tavoiteikä on noin 25 % suurempi kuin suunnittelukäyttöikä.

Toteutusluokka

Luokiteltu kokoelma toteutukselle eriteltyjä vaatimuksia, jotka voivat koskea koko rakennustyötä tai yksittäistä kokoonpanoa. Sillan betonirakenteet kuuluvat toteutusluokkaan 3 lukuun ottamatta kuivatyönä tehtäviä peruslaattoja, joiden toteutusluokka voi olla 2.

2 Toimivuusvaatimukset

Korjatun sillan on kestettävä siihen kohdistuvat tie-, rautatieliikenteen tai kevyen liikenteen sillan kuormat sekä muut rakenteisiin kohdistuvat kuormat. Kokonaan uusittavat sillan osat suunnitellaan uusien siltojen varmuustason mukaisesti silloin, kun niitä voidaan hyödyntää siltaa myöhemmin korjattaessa. Säilytettävissä vanhoissa rakenteiden osissa suunnittelukuormina ja kantavuuden tarkistuksen laskentakuormina käytetään yleensä pienennettyjä arvoja. Säilytettäväksi vanhoiksi rakennusosiksi katsotaan kaikki ne rakennusosat, jotka säilytetään sellaisinaan tai korjataan tarvittavassa laajuudessa. Tilaaja voi tapauskohtaisesti päättää myös muusta varmuustasosta. Uusittavien ja säilytettävien sillan rakenneosien varmuustaso on määritetty kohdassa 3.

Tieliikenteen silta on reunapalkkia uusittaessa varustettava H2-luokan kaiteella ja reunapalkin on kestettävä tämän kaidetyypin mukaiset törmäyskuormat, jotka on esitetty eurokoodin soveltamisohjeessa *Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 /23/*.

Korjatun sillan on täytettävä alkuperäiset aukkovaatimukset. Jos vesistö sillan korjauksessa aukkoa pienennetään, aukon muutoksesta on hankittava alueellisen ELY-keskuksen lausunto lupapäätöksen tarpeesta ja aukon vähimmäiskoosta. Lausunnon perusteella hankkeelle on haettava aluehallintoviraston vesitalouslupa ja kiireellisissä tapauksissa töiden aloittamislupa.

Korjatun sillan ja siltapaikan on täytettävä Liikenneviraston määräämät siltojen ulkonäköä ja siltapaikkojen viimeistelyä koskevat vaatimukset. Vaatimukset määräytyvät tilaajan asettaman siltapaikkaluokan mukaan.

Betonisillan suunnittelukäyttöikäksi voidaan olettaa 100 vuotta, ellei tilaaja toisin ilmoita. Reunapalkkien ja siirtymälaattojen käyttöikä on kuitenkin 50 tai 70 vuotta, katso eurokoodin soveltamisohje NCCI 2:n /26/ taulukko 4.1.

Tilaaja voi asettaa korjattavalle sillalle tavoiteikänsä, mikä vaikuttaa peruskorjaukseen sisältyvien korjaustoimenpiteiden laajuuteen ja mitoitus- ja korjausmenetelmien ja -materiaalien valintaan.

3 Levennettävän, korjattavan tai lievästi vaurioituneen sillan suunnitteluperusteet

3.1 Suunnittelukuormat

Sillan suunnittelukuormina käytetään ensisijaisesti eurokoodien kuormaosia (/17/.../22/), niiden kansallisia liitteitä (LVM) (/34/.../39/) ja Liikenneviraston soveltamisohjetta /23/.

Korjattavan tiesillan kohdassa 2 mainittujen periaatteiden mukaisesti uusittavien rakenneosien mitoituksessa käytetään kuormien pienentämättömiä arvoja, ellei tilaaja ole toisin ilmoittanut.

Tiesillan säilytettävien ja/tai korjattavien rakenneosien mitoituksessa ja kantavuuden tarkistuksessa käytetään, ellei tilaaja ole asettanut muita ehtoja, seuraavia kuormien sovituskertoimia:

- LM1 kuorman sovituskerroin on $\alpha_{qi} = \alpha_{Qi} = 0,8$ (kun $i \geq 2$, niin $\alpha_{qi} = 1,0$)
- LM2 kuorman sovituskerroin on $\beta_Q = 0,8$
- LM3 kuorman sovituskerroin on:

$$\beta_{LM3} = 0,8, \text{ kun } L \leq 10 \text{ m}$$

$$\beta_{LM3} = 0,8 - 0,2 \cdot (L-10)/15, \text{ kun } 10 \text{ m} < L \leq 25 \text{ m}$$

$$\beta_{LM3} = 0,6, \text{ kun } L > 25 \text{ m}$$

L = Sillan jännemitta [m]

- Kaistojen ulkopuolelle jäävillä alueilla kuormia ei ole, joten $\alpha_{qr} = 0$

Korjattavan rautatiesillan ja kevyen liikenteen sillan kuormamääräykset ovat samat kuin uusissa silloissa ellei tilaajan kanssa ole toisin sovittu.

Tapauskohtaisesti ja tilaajan päätöksellä suunnittelukuormina voidaan käyttää vähäliikenteisillä tiesilloilla ja yksityisteillä voimassa olevan ajoneuvoasetuksen mukaisia liikennekuormia ja tilaajan määrittelemiä erikoiskuljetuskaavioita. Samalla tavalla rautatiesilloissa voivat tulla kysymykseen pienemmät kuin tavallisesti käytetyt akselikuormat LM71-35.

Jos edellä mainituilla kuormilla vanhaa siltaa ei saa kohtuullisilla korjaustoimenpiteillä kestävästi, tehdään kyseisille rakenteille vertailu käyttöasteen muutoksesta alkuperäiseen tilanteeseen nähden ja sovitaan tilaajan kanssa jatkotoimenpiteistä.

3.2 Materiaalien laskentalujuudet ja mitoitus käyttörajatilassa

3.2.1 Yleistä

Korjattavan sillan kestävyys murtorajatilassa ja toimintavaatimukset käyttörajatilassa tulee pääasiassa olla standardien SFS-EN 1992-1-1 /24/, SFS-EN 1992-2+AC /25/, em. standardien kansallisten liitteiden ja eurokoodin soveltamisohjeen Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2 /26/ mukaiset. Korjattavan sillan säilytettävissä rakennosissa ja sellaisissa uusittavissa rakennosissa, joiden jäljellä oleva käyttöikä on enintään 50 vuotta, voidaan sallia joitakin poikkeuksia.

3.2.2 Materiaalien osavarmuusluvut

Kun sillan jäljellä oleva käyttöikä on enintään 50 vuotta ja mitoittettavan päärakennososan siltarekisterijärjestelmän mukainen kuntoarvioluokka /3/ on 0 tai 1, tilaaja voi säilytettävän sillan rakennososan kohdalla pienentää betonin ja betoniteräksen osavarmuuslukuja eurokoodin soveltamisohjeissa /26/ annetuista arvoista. Pienempää betonin osavarmuuslukua kuin $\gamma_c=1,25$ ja teräksen osavarmuuslukua $\gamma_s=1,05$ ei kuitenkaan sallita. Betonin ja betoniteräksen osavarmuuslukuja ei pienennetä, kun betonin ja teräksen lujuudet on määritetty erikoistarkastuksessa otettujen näytteiden perusteella kohdan 5.1 mukaisesti.

Sillan korjauksen yhteydessä tehtävien uusien perustusten kantokestävyys määritetään standardien SFS-EN 1997-1 /29/ ja SFS-EN 1997-2 /30/ sekä eurokoodin soveltamisohjeen Geotekninen suunnittelu - NCCI 7 /31/ mukaan.

Säilytettävän sillan perustuksen alla olevan maan maaparametrien osavarmuuslukuina voidaan käyttää arvoa $\gamma_m = 1,0$ ja perustusten geoteknisen pystysuoran kantokestävyuden arvoa $\gamma_{R,V} = 1,3$ ja liukukestävyuden arvoa $\gamma_{R,h} = 1,1$, ellei tilaaja ole asettanut tiukempia ehtoja.

3.2.3 Halkeamaleveydet

Vanhan sillan säilytettävien rakennosien laskennallisen halkeamaleveysrajan w_{max} suositusarvot ovat taulukon 1 mukaiset. Sillan säilytettävässä rakennosassa taulukon 1 mukaisia laskennallisia halkeamaleveysrajoja voidaan korottaa:

- 50 %, kun jänne- ja betoniterästankojen jännitys ei kasva alkuperäisestä ja kaikki jännitettyjen rakenteiden yli 0,15 mm ja jännittämättömien rakenteiden yli 0,2 mm leveät halkeamat injektoidaan korjaustyön yhteydessä
- 100 %, kun betonipinta yllä mainitun lisäksi kauttaaltaan pinnoitetaan halkeamia silloittavalla pinnoitteella.

Vanhan sillan kokonaan uuden rakennososan laskennallisen halkeamaleveysrajan w_{max} suositusarvot voidaan korottaa taulukon 1 mukaisesti, kun koko sillan jäljellä oleva käyttöikä on enintään 50 vuotta. Uuden ja vanhan rakenteen välisessä saumassa voidaan käyttää vanhan rakenteen halkeamaleveysrajoja.

Taulukko 1. Vanhan sillan laskennallisen halkeamaleveysrajan w_{max} suositusarvot [mm]

Uusi silta 100 vuoden käyttöiälle NCCI2:n /26/ mukaan	Vanhan sillan säilytettävät rakenneosat	Vanhan sillan uudet rakenneosat ≤ 50 vuoden käyttöiälle
0,30	0,40	0,40
0,20	0,30	0,30
0,15	0,20	0,20
0,10	0,15	0,15
0,07	0,10	0,10

Taulukon 1 laskennalliset halkeamaleveysrajat saa korottaa luvulla $c/c_{min,dur} \leq 1,4$, jossa c on todellinen betonipeite ja $c_{min,dur}$ betonipeitteen vähimmäisarvo, joka saadaan kohdan 3.2.4 mukaan. Tilaaja voi tapauskohtaisesti asettaa muita ehtoja.

3.2.4 Suojaava betonipeite

Kun sillan jäljellä oleva käyttöikä on enintään 50 vuotta voidaan kokonaan uusittavassa sillan rakennusosassa alentaa eurokoodin soveltamisohjeen /26/ antamia arvoja 10mm (betonipeitteen on kuitenkin oltava vähintään 30mm). Vähennystä ei saa tehdä reunapalkeille eikä siirtymäläatoille.

Korjattavan sillan säilytettävän rakenneosan betonipeitteen tulee suojaamattomana olla kaikkia kaavojen {1}–{3} antamaa arvoa suurempi.

$$s_{cl} = s_{to} * (t_E / t_T)^{0,5} \quad \{1\}$$

missä

s_{cl} kloridien tunkeutumissyvyys ajanhetkellä t_E
 s_{to} kloridien tunkeutumissyvyys ajanhetkellä t_T
 t_E sillan suunnittelukäyttöikä
 t_T ajanhetki, jolloin syvyydellä s_{to} on mitattu kriittinen kloridipitoisuus, kriittisenä kloridipitoisuutena pidetään 0,07 % betonin painosta happoliukoisena ja 0,05 % vesiliukoisena mitattuna.

$$s_{rc} = s_c * (t_E / t_T') \quad \{2\}$$

missä

s_{rc} rapautumissyvyys ajanhetkellä t_E
 s_c mitattu rapautumissyvyys ajanhetkellä t_T'
 t_T' ajanhetki, jolloin rapautumissyvyys s_c on mitattu.

$$s_{carb} = s_{carbo} * (t_E / t_T'')^{0,5} \quad \{3\}$$

missä

s_{carb} karbonatisoitumissyvyys ajanhetkellä t_E
 s_{carbo} karbonatisoitumissyvyys ajanhetkellä t_T''
 t_T'' ajanhetki, jolloin karbonatisoitumissyvyys s_{carbo} on mitattu.

Erikoistarkastuksessa mitatuista kloridipitoisuuksista määritetään kriittisen kloridipitoisuuden syvyys lineaarisella interpolaatiolla.

Betonipeitettä ei pidetä riittävänä ja suunnitelmaan on sisällytettävä ko. betonipinnan täysin kattava korjaaminen ja/tai pinnoittaminen, kun yksikin edellä mainituista arvoista S_{cl} , S_{rc} , ja S_{carb} yli 30 %:ssa mitatuissa pisteissä ylittää samoissa pisteissä mitatut betonipeitearvot. Kun ylitysten määrä on alle 30 %, satunnaiset ja tarkastusajankohdalla todetut puutteet voidaan korjata paikkaamalla. Mikäli raudoituksen betonipeitteitä ei ole mitattu samoissa pisteissä, missä on määritetty kloridipitoisuus, karbonatisoituminen ja rapautuminen, betonipeitteenä pidetään arvoa, jota on ylitetty vähintään 80 %:ssa kaikissa betonipeitemittauksissa ko. rakenneosassa.

3.2.5 Muut ohjeet

Betonin ja terästen jännitykset on rajoitettava korjattavan sillan uusittavissa ja säilytettävissä rakenneosissa betonirakenteiden kansallisen soveltamisohjeen /26/ ohjeiden mukaisesti.

Vanhan betonirakenteen reunoissa ja osissa, missä yli 30 % raudoituksesta on kerralla paljastettu ympäröivästä betonista, ei sallita korjaustöiden aikana eikä korjaustöiden jälkeen vetoa. Tilapäistä vetoa lämpötila-, kutistuma- ja muille vastaaville pakko-voimille voidaan kuitenkin sallia edellyttäen, ettei mahdollisesta halkeilusta jää pysyviä vaikutuksia ja että rakenteen kestävyys on halkeilua huomioon ottavilla kantavuuslaskelmilla ja/tai tilapäisillä tuennoilla varmistettu.

Raudoitusta ei saa poistaa siten, että rakenteen kestävyys laskee alle tämän ohjeen kohdan 3.2.1 salliman varmuustason.

Tarkempia betonipintojen poistamisohjeita on esitetty liitteessä 1. Suunnittelijan tulee korjaussuunnitelmassaan tarkistaa ja täsmentää liitteen 1 sallimat purkamistöiden laajuudet. Suunnittelija voi tämän ohjeen mukaisia tarkistuslaskelmia tekemällä esittää suunnitelmassaan laajempia betonirakenteiden purkutöitä kuin mitä liitteessä 1 on esitetty.

4 Ennen korjaussuunnittelun aloittamista tehtävät tutkimukset ja selvitykset

Näiden ohjeiden soveltaminen edellyttää, että sillalle tehdään erikoistarkastus Liikenneviraston ohjeen *Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset /9/* mukaisesti. Tämän lisäksi on selvitettävä ainakin seuraavat asiat:

- sillan rakennusvuosi
- sillan historiallinen arvo
- siltapaikkaluokka
- sillan rasitusluokat rakenneosittain
- tiedot mahdollisista aikaisemmista korjauksista
- tiedot energiayhtiöiden ja muiden tahojen siltaan tekemistä ripustuksista, laiteasennuksista, läpivienneistä, jne.
- erikoistarkastajan laatima raportti rakenteissa ilmenneistä dokumentoimattomista suunnitelmapoikkeamista
- selvitys kantavuuden alenemista aiheuttavista vaurioista rakenneosittain
- toiminnallisten puutteiden poistamistarpeet (leveys, kantavuus, korkeusrajoitus)
- kevyen liikenteen väylän tarve
- korjattavan sillan kuormat sekä tiedot mahdollisista raskaista erikoiskuljetuksista
- alkuperäisen siltasuunnitelman suunnittelukuorma
- korjattavan sillan kaistajärjestelyt
- korjattavan sillan jäljellä oleva tavoitekäyttöikä
- tarvittavat täydentävät siltatarkastukset ja selvitykset
- verrattava alustavin korjaussuunnitelmin ja kustannuslaskelmin kannattaako siltaa ylipäättänsä enää korjata, vai käytetäänkö silta loppuun ja rakennetaan uusi silta tilalle.

Rautatiesiltojen korjauksessa tulee lisäksi ottaa huomioon junaliikenteen turvallisuuden, rajoittamiseen ja ohjaamiseen liittyvät kysymykset, joita on esitetty Liikenneviraston antamassa ohjekokoelmassa *Ratatekniset ohjeet (RATO)*.

Vedenalaisten rakenteiden kunto tulee selvittää siltojen sukellustarkastusohjeen mukaisesti tai muilla soveltuvilla menetelmillä silloin, kun suunnitellaan vanhan sillan leventämistä tai kantavuuden parantamista /10/.

Suunnittelijan tulee osana toimeksiantoa selvittää edellä mainitut asiat Siltarekisterin, tilaajan luovuttamien raporttien ja siltapaikkakäynnin pohjalta. Mikäli joidenkin asioiden selvittäminen vaatii erillisiä tarkastuksia tai asiakirjojen etsimistä arkistosta, tilaajan tulee määrittää nämä tehtävät toimeksiannossaan tai teettää työt erillisenä toimeksiantona.

5 Lujuuden määrittäminen korjattavassa rakenteessa

5.1 Betoni

Sillan korjauksen yhteydessä valmistettavan uuden rakenneosan betonin ja teräksen lujuusluokat määritetään standardin SFS-EN 1992-2 + AC /25/ mukaan. Sillan vanhan säilytettävän osan lujuusluokat määritetään alkuperäisessä suunnitelmassa esitettyjen materiaalivalintojen tai erikoistarkastuksessa otettujen koekappaleiden ja Suomen rakentamismääräyskokoelman B4 /12/ kohdan 6.3.3 mukaan käyttämällä lisävarmuuslukua 1,10. Taulukkoon 2 on laskettu valmiiksi eri lujuusluokille koetulosten arvoja, kun keskihajonnan ja keskiarvon suhde on pienempi kuin 0,15 (yleensä siltojen betonirakenteissa), jolloin koetulosten perusteella laskettu vertailulujuus on 85 % nimellislujuudesta. Näytteenotto, tutkiminen ja puristuslujuuden testaus tulee tehdä standardin SFS-EN 12504-1 mukaan. Tässä ohjeessa esitetyt lujuuden arvoja saa käyttää vain tämän ohjeen mukaisissa laskelmissa. Taulukossa 2 käytetyt merkinnät ovat:

n = rakenteesta otettujen poranäytteiden $\varnothing = 50 \dots 80$ mm lukumäärä

f_{cm} = koetulosten puristuslujuuksien keskiarvo

f_{cmin} = koetulosten puristuslujuuksien pienin arvo

Taulukko 2. Lujuusluokka määrätään erikoistarkastuksissa saatujen arvojen f_{cm} ja f_{cmin} perusteella sen mukaan, mikä antaa pienimmän arvon

n		C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75
3-6	f_{cm}	34,1	40,6	48,1	52,8	57,4	62,1	68,6	76,1
	f_{cmin}	24,1	30,6	38,1	42,8	47,4	52,1	58,6	66,1
7-9	f_{cm}	33,1	39,6	47,1	51,8	56,4	61,1	67,6	75,1
	f_{cmin}	24,1	30,6	38,1	42,8	47,4	52,1	58,6	66,1
≥ 10	f_{cm}	32,1	38,6	46,1	50,8	55,4	60,1	66,6	74,1
	f_{cmin}	24,1	30,6	38,1	42,8	47,4	52,1	58,6	66,1

Vanhoissa ennen eurokoodien voimaantuloa valmistuneissa suunnitelmissa lujuusluokka on määritetty kuutiolujuuden mukaan. Näitä lujuusarvoja voidaan käyttää sellaisinaan lujuusluokan määrittämisessä.

Betonin ominaislujuudet määritetään edellä saadun lujuusluokan ja soveltamisohjeen /26/ mukaan. Puristuslujuutta tulee kuitenkin alentaa vähintään 35 % ja vetolujuutta vähintään 70 %, kun rakenteessa on erikoistarkastuksen yhteydessä todettu sisäisiä pakkasvaurioita /14/.

Betonin ominaislujuutta ei saa nostaa alkuperäisen suunnitelman mukaisesta arvosta enempää kuin 30 %, mikäli betonipinnan karbonatisoitumissyvyys on 10 mm tai suurempi. Kun karbonatisoitumissyvyys on enintään 1 mm, sallittu nosto on enintään 60 %. Väliarvot voidaan interpoloida. Suurempaa lujuusluokkaa kuin C60/75 ei sallita.

5.2 Betoniteräs

Vanhan säilytettävän rakenteen raudoituksen ominaislujuus ja sitkeys määritetään alkuperäisessä suunnitelmassa ilmoitetun teräksen myötölujuuden ja eurokoodien soveltamisohjeen /26/ mukaan. Betoniterästangon toimiva poikkipinta-ala ja sitkeys alennetaan sillan erikoistarkastuksessa todetun kunnan perusteella. Kuntoarvion tekemisessä käytetään Liikenneviraston ohjetta *Raudoitteiden korroosioasteen määrittäminen* /15/.

Lujuuden alenemaa ei tarvitse ottaa huomioon eikä rakenteessa katsota olevan välitöntä korjaustarvetta, mikäli raudoituksen korroosioaste on enintään 1. Kun raudoituksen korroosioaste on luokan 2 mukainen tai suurempi, syöpyminen on pysäytettävä korjauksen yhteydessä tehtävillä toimenpiteillä.

Raudoituksen korroosioasteella 2 betoniterästangon nimellispoikkipinta-ala on käytettävä arvoa, joka on enintään 94 % alkuperäisestä arvosta.

Raudoitteen poikkipinta-alan pieneneminen pitää määrittää tapauskohtaisesti ja arviointi tehdä VTT:n julkaisun *Rappeutumisen vaikutus betonisillan kantokykyyn* /14/ mukaan, kun korroosioaste on 3 tai 4.

Kun raudoituksen korroosioaste on 3 tai 4, on myös teräksen sitkeyden pieneneminen otettava huomioon. Kun korroosioaste on 3 ja poikkileikkauksen pinta-alan pieneneminen enintään 25 %, teräksen venymä ϵ_{ud} rajoitetaan arvoon 5 ‰. Kun poikkileikkauksen pinta-alan alenema on tätä suurempi tai korroosioaste 4, betoniterästangolla ei katsota olevan myötäämiskykyä lainkaan, vaan tangon oletetaan murtuvan välittömästi, kun pienennetyn teräspoikkileikkauksen mukaan laskettu teräksen myötöjännitys f_{yd} on saavutettu /26/.

5.3 Jänneteräs

Vanhan säilytettävän rakenteen jänneteräksen ominaislujuus ja sitkeys määritetään alkuperäisessä suunnitelmassa ilmoitetun teräksen myötölujuuden ja soveltamisohjeen /26/ mukaan. Toimivan poikkipinta-alan ja sitkeyden vähennykset tehdään vastaavalla tavalla kuin betoniterästen kohdalla.

Jänneteräksen lujuuden alenemaa ei tarvitse ottaa huomioon eikä rakenteella katsota olevan välitöntä korjaustarvetta, jos jänneteräksen korroosioaste on enintään 1. Kun jänneteräksen korroosioaste on luokan 2 mukainen tai suurempi, syöpyminen on pysäytettävä korjauksen yhteydessä tehtävillä toimenpiteillä.

Jänneteräksen korroosioasteella 2 jänneteräksen nimellispoikkipinta-ala on käytettävä arvoa, joka on enintään 90 % alkuperäisestä arvosta. Lisäksi tulee ottaa huomioon teräksen sitkeyden pieneneminen siten, että teräksen venymä rajoitetaan arvoon $\epsilon_{ud} = 13 ‰$.

Jänneteräksen poikkipinta-alan pieneneminen pitää määrittää tapauskohtaisesti ja arviointi tehdä VTT:n julkaisun *Rappeutumisen vaikutus betonisillan kantokykyyn* /14/ mukaan, kun korroosioaste on 3 tai 4. Kun korroosioaste on 3 tai 4 ja poikkileik-

kauksen pinta-alan pienentyminen enintään 10 %, teräksen venymä rajoitetaan arvoon $\epsilon_{ud} = 10 ‰$. Kun jänneteräksen poikkipinta-alan pienentyminen on enemmän kuin 10 %, jänneteräksellä ei katsota olevan myötämiskykyä lainkaan vaan teräksen oletetaan murtuvan välittömästi, kun pienennetyn teräspoikkileikkauksen mukaan laskettu teräksen 0,1-rajaa vastaava vetolujuus f_{pd} on saavutettu /26/.

5.4 Betonin ja teräksen yhteistoiminta

Sekä betoni- että jänneterästankojen tartuntalujuuden katsotaan olevan betonin lujuusluokan mukainen, kun korroosioaste on enintään 1. Kun korroosioaste on luokassa 2, tartuntalujuutta on alennettava 15 %. Tartuntalujuuden katsotaan hävinneen kokonaan, kun korroosioaste on suurempi kuin 2. Kun betonipinta paikataan syvyyteen, joka ylettyy vähintään 20 mm syvemmälle kuin teräksen sisäpinta, tartunta voidaan laskea paikkausbetonin, sen alapuolella olevan betonin tai betonin C30/37 lujuusluokan mukaan käyttäen aina pienintä mahdollista arvoa. Kun paikkaus ei ylety em. syvyyteen, tartuntalujuus on 50 % edellä lasketusta arvosta.

Haljenneen poikkileikkauksen jäykkyys pienennetään jättämällä betonin vetojännitys huomioimatta, kun laskelmat osoittavat, että kutistumasta, painumasta ja lämpötilaeroista aiheutuu kyseisen rakenteen johonkin kohtaan halkeilua samalla, kun muu siltaosa säilyy halkeamattomana. Tarkastelu voidaan tehdä esimerkiksi eurokoodin SFS-EN 1992 + AC liitteen LL /25/ mukaisesti FEM-menetelmiä hyödyntäen. Tarkasteluun sisällytetään viruman vaikutukset. Käyttörajatilassa halkeamien vähittäinen kehittyminen otetaan huomioon.

Betonirakenteen leikkaus-, taivutus- ja vääntökestävyys määritetään soveltamisohjeen NCCI 2 /26/ mukaan. Vanhan ja uuden betonin leikkaussauma on mitoitettava siten, että leikkauskestävyys on riittävä riippumatta siitä tapahtuuko halkeilua vai säilyykö rakenne halkeamattomana.

6 Vanhan sillan korjattavan rakenneosan kantavuuden laskenta

Sillan jäljellä olevan käyttöiän aikana tapahtuva luvun 3 mukainen kloridien tunkeutuminen ja rapautuminen otetaan vähennyksenä huomioon sillan poikkileikkausarvoista niiden suurimman arvon mukaan, kun arvo ylittää 3 mm. Karbonatisoituminen otetaan vastaavalla tavalla huomioon, kun karbonatisoitumissyvyyden arvo ylittää 10 mm.

Korjattavan betonirakenteen analysointi ja mitoitus tehdään tämän ohjeen mukaan, kun vauriot korjataan betonilla, joka ulottuu vähintään 20 mm toimivan raudoituksen taakse. Kun korjaaminen ei ulotu edellä mainittuun syvyyteen, paikkausbetonin lujuusarvoja tulee alentaa kertomalla ne luvulla 0,5.

Korjatun rakenteen kantavuus murtorajatilassa lasketaan kuten ehjässä rakenteessa ottaen kuitenkin huomioon uuden ja vanhan betonin lujuudet ja tarvittaessa myös kahdesta eri-ikäisestä betonirakenneosasta koostuvan rakenteen pitkäaikainen käyttäytyminen kuten tämän ohjeen luvuissa 9-12 on esitetty. Betonin viruminen ja kutistuminen eivät yleensä vaikuta taivutetun ja puristetun sauvamaisen betonirakenteen murtorajatilamitoitukseen. Poikkeuksen muodostavat hoikat ja keskeisesti kuormitetut pilarit.

Pilarin hoikkuutta tulee suurentaa kaavojen {4a} ja {4b} mukaan, kun $\lambda > 50$.

$$\lambda_{\text{korj}} = \lambda * [1 + 0,15 * (\lambda - 50) / 25] \quad \text{kun } 50 < \lambda \leq 75 \quad \{4a\}$$

$$\lambda_{\text{korj}} = \lambda * [1 + 0,3 * (\lambda - 50) / 50] \quad \text{kun } 75 \leq \lambda \leq 125 \quad \{4b\}$$

Kun $\lambda > 125$, eli pilari on poikkeuksellisen hoikka, tarkastelu tulee tehdä erikseen muilla menetelmillä, joilla voidaan ottaa huomioon:

- o eri betonien ajasta ja kuormista johtuvat epälineaariset ominaisuudet
- o pilarin todellinen jäykkyys halkeamien vaikutuksesta ja
- o epälineaarinen siirtymien kasvu ja näistä johtuva taivutuksen lisäykset.

Samoin tulee menetellä, kun pilari on keskeisesti puristettu ja pysyvän kuorman osuus on niin suuri, ettei kaavan {5} ehto toteudu.

$$k_N < M / (N*d) \quad \{5\}$$

missä

M	pilarin suurinta normaalivoimaa vastaava momentti
N	pilarin suurin normaalivoima
d	neliöpilarin sivumitta ja pyöreän pilarin halkaisija
k_N	taulukon 3 mukainen kerroin, missä
G	rakenteen omapaino
P	rakenteen muuttuva kuorma.

Taulukko 3. Arvot k_N , kun omanpainon osuutta kokonaiskuormasta ja teräsmäärää vaihdellaan. Väliarvot voidaan interpoloida.

$\frac{G}{G + P}$	Teräsmäärä		
	1,0 %	2,5 %	5,0 %
	k_N	k_N	k_N
0,3	0.08	0.17	0.25
0,5	0.12	0.19	0.28
0,7	0.15	0.2	0.3
0,9	0.15	0.22	0.3

Mikäli laskelmien mukaan pilarissa tapahtuu halkeilua, poikkileikkaus voidaan olettaa haljenneeksi ja laskenta tehdä kuten kohdassa 5.4 on esitetty.

7 Vaurioiden vaikutuksen suuruusluokkatarkastelu ja toimenpidesuosituks

Sillan tulee korjauksen jälkeen säilyttää tämän ohjeen mukainen kantavuustaso sen jäljellä olevan käyttöiän aikana. Jo tapahtunut ja ennakoitavissa oleva rappeutuminen on otettava huomioon. Yleensä tulee pyrkiä siihen, että tapahtunut rappeutuminen korjataan ja vaurioituminen pysäytetään. Rappeutumisen eteneminen voidaan arvioida kohdan 3 ja VTT:n julkaisun *Rappeutumisen vaikutus betonisillan kantokykyyn /14/* mukaan. Mikäli arvioitu rappeutuminen sillan käyttöiän lopussa pienentää rakenteen kapasiteettia vähemmän kuin 10 %, sitä ei tarvitse ottaa suunnittelussa huomioon.

8 Betonin lyhyt- ja pitkäaikaiset muodonmuutokset

8.1 Raudoittamaton tai lähes raudoittamaton rakenne

Betonin pitkä- ja lyhytaikaiset muodonmuutokset lasketaan eurokoodin soveltamisohjeen *Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2 /26/* mukaan. Betonin viruminen ja kutistuminen on suurinta ensimmäisten kuukausien aikana ja nämä ajasta riippuvat muodonmuutokset jatkuvat massiivissa siltarakenteissa merkittävinä 5-10 vuotta valun jälkeen. Viruminen alkaa uudelleen vielä vuosikymmentenkin kuluttua joskin selvästi vähäisempänä, mikäli betoni saa uuden herätteen jännitystilan muutoksesta.

Betonin virumaluku saadaan kaavasta:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0(t_0) * \beta_c(t, t_0) \quad \{6\}$$

missä

$\varphi_0(t_0)$	nimellinen virumaluku soveltamisohjeen NCCI 2 /26/ liitteen 1 kaavasta 0.5
t_0	betonin ikä vuorokausina kuormittumisen alkaessa
t	betonin ikä vuorokausina tarkasteluajankohtana, $t > t_0$
$\beta_c(t, t_0)$	kerroin, joka ottaa huomioon virumisen kehittymisen ajan myötä, lasketaan soveltamisohjeen /26/ liitteen 1 kaavalla 0.6.

Pitkäaikaisten kuormien vaikutuksen laskennassa tulee ottaa huomioon betonin virumisen vaikutus pakkovoimiin ja kuormien jakaantumiseen. Tämä voidaan tehdä FEM-ohjelmalla, jossa on epälineaarinen ajasta riippuva materiaalmalli. Toinen ja tavanomaisempi tapa on tehdä laskenta tehollisilla kimmokerroimilla, jotka saadaan kaavasta:

$$E_{cG,eff} = E_{cm} / (1 + a * \varphi(t, t_0)) \quad \{7\}$$

missä

$E_{cG,eff}$	tehollinen kimmokerroin ajankohtana t
E_{cm}	lyhytaikainen kimmokerroin eurokoodin soveltamisohjeen /26/ mukaan
$\varphi(t, t_0)$	virumaluku kaavan 6 mukaan ajankohdalla t
a	kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin, joka saadaan taulukosta 4.

Betonin kutistuminen lasketaan eurokoodien mukaan. Soveltamisohjeen NCCI 2 /26/ liitteessä 1 on esitetty kaavat kutistumalle. Kokonaiskutistuma on ajasta riippuvien kuivumiskutistuman ε_{cd} ja sisäisen kutistuman ε_{ca} summa:

Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje, 22.12.2011

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cd}(t, t_s) + \varepsilon_{ca}(t) \quad \{8\}$$

missä

t betonin ikä vuorokausina tarkasteluajankohtana, $t > t_s$
 t_s on betonin ikä vuorokausina kuivumiskutistumisen alkaessa, tavallisesti jälkihoitoajan pituus.

Taulukko 4. Tehollisen kimmokertoimen laskennassa käytetyn kertoimen α arvoja.

Kuorma	Betonin ikä kuormituksen alkaessa tai muuttuessa			
	0-28 vrk	28-365 vrk	1-3 v	yli 3 v
Kutistumasta tai muusta muodonmuutoksesta syntyvä vaikutus, joka etenee kaavan {8} kertoimen $\beta_{ds}(t, t_s)$ mukaan	0,52	0,75	0,90	1,1
Pysyvän kuorman virumasta tai muusta muodonmuutoksesta syntyvä vaikutus, joka etenee kaavan {6} kertoimen $\beta_c(t, t_0)$ mukaan	0,52	0,52	0,70	0,90
Hydrataatiolämpötilaerosta ¹ johtuva kuorma tai pakko-voima	0,85	1,0	1,1	1,1
Jännevoiman vaikutuksesta syntyvä kuorma tai pakko-voima, kun poikkileikkauksesta poistetaan betonia	0,52	1,1	1,1	1,1
Oman painon vaikutus kuorman siirtyessä rakenteelle yhtäkkiä, esimerkiksi tuenta puretaan	1,1	1,1	1,1	1,1

¹ Sovelletaan kaavan {13} mukaiseen lämpötilaeron pitkäaikaisvaikutukseen.

8.2 Raudoituksen vaikutus rakenteen teholliseen kimmokertoimeen

Betonirakenteen tehollista kimmokerrointa voidaan suurentaa ottamalla huomioon raudoituksen vaikutus. Puristetulla rakenteella tehollinen kimmokerroin saadaan kaavasta:

$$E_{cmi} = E_{cm} * [(n - 1) * A_s + A] / A \quad \{9\}$$

missä

E_{cmi}	puristetun teräsbetonirakenteen tehollinen kimmokerroin raudoituksen vaikutus huomioon otettuna
E_{cm}	betonin tehollinen kimmokerroin
A	poikkileikkauksen sivumittojen perusteella laskettu pinta-ala
A_s	poikkileikkauksessa olevien raudoituksen pinta-ala
E_s	teräksen kimmokerroin

$$n = E_s / E_{cm} \quad \{10\}$$

Taivutetulla rakenteella tehollinen kimmokerroin saadaan kaavasta:

$$E_{cmii} = E_{cm} * [(n - 1) * I_{Sii} + I] / I \quad \{11\}$$

missä

E_{cmii}	taivutetun teräsbetonirakenteen tehollinen kimmokerroin raudoituksen vaikutus huomioon otettuna
I	poikkileikkauksen sivumittojen perusteella laskettu jäyhyysmomentti
I_s	on poikkileikkauksessa olevien betoniterästankojen jäyhyysmomentti niiden painopisteen suhteen
y_s	on poikkileikkauksessa olevien betoniterästankojen painopisteen ja raudoitettun poikkileikkauksen painopisteiden välinen etäisyys

$$I_{Sii} = I_s + A_s * y_s^2 \quad \{12\}$$

8.3 Betonin pitkäaikaisten muodonmuutosten vaikutus rakenteiden mitoitukseen

Betonin pitkäaikaisilla muodonmuutoksilla on vaikutusta kuormien jakaantumiseen uuden ja vanhan betonin välillä. Vaikutus on merkittävä lähinnä käyttörajatilassa. Murtorajatilassa rakenne toimii yleensä kuin ehjä betoni.

Kuormien jakaantuminen muuttuu ajan myötä. Tämän takia tarkastelut on tehtävä useissa vaiheissa. Kriittisiä vaiheita ovat purkutyöt varsinkin silloin, kun osa sillasta on korjaustöiden aikana kuormitettuna.

Valmiissa sillassa yleensä riittää, että murto- ja käyttörajatilatarkastelut tehdään sillan käyttöönoton ajankohtana ja aikana, kun viruminen ja kutistuminen ovat käytännössä päättyneet. Tämä sen takia, että muissa vaiheissa mitoituksen kannalta merkittävät tarkastelut koskevat lähinnä halkeilua ja jännitysten rajoittamista, missä mitoitus ei ole yhtä kriittinen. Poikkeuksena tästä ovat jännitetyt sillat, jotka ovat varsin herkkiä sillan purkutöiden kautta syntyville lisärasituksille sekä uuden ja vanhan betonin välisille lämpötila- ja kutistumaeroille.

Kutistuman ja sitoutumislämmön aiheuttamat rasitukset voidaan jättää huomiotta murtorajatilassa, kun teräsbetonisilla laatoilla ja palkeilla on riittävästi muodonmuutuskapasiteettia. Pilareissa niiden yläpuolisten rakenteiden pakkovoimat kuitenkin otetaan huomioon pilareita rasittavina pysyvinä kuormina.

9 Sitoutumislämpötilasta aiheutuvat riskit

9.1 Lämpösuojauksen tarpeellisuus

Suunnittelijan tulee antaa ohjeita betonin suhteituksesta ja lämpösuojauksesta sekä tarvittaessa jäähdyttämisestä, joilla estetään yli 15 °C suurempien lämpötilaerojen syntyminen betonin sydän- ja pintaosien välille. Tällä tavalla katsotaan voitavan estää pinnan liiallista halkeilua hydrataatiolämmön takia. Lämpötilaerojen laskennassa ja toimenpiteiden suunnittelussa tulee tehdä lämpöteknillisiä laskelmia. Selkeissä tapauksissa voidaan myös nojautua seuraavassa esitettyihin taulukkoarvoihin ja kerrotimiin.

Taulukossa 5 on annettu yhden metrin paksuisen laatan sisäosan ja pintaosien arvioidut maksimilämpötilat eri sementtimäärillä ja laaduilla sekä näiden perusteella laskettu suurin lämpötilaero. Taulukko 5 perustuu olosuhteisiin, missä ulkoilman lämpötila on +10 °C, tuulen nopeus 5 m/s, rakenteen alapuolella on lautamuotti 22 mm ja laatan yläpinta on suojaamaton tai korkeintaan ohuella 1 mm:n muovipeitteellä suojattu.

Taulukko 5. Betonin sydänsosan ja pintojen lämpötilat °C sekä suurin lämpötilaero.

Käytettävä sementti ja sen määrä betonissa	Yläpinta	Sydänosa	Alapinta	Suurin lämpötilaero
Vertailutapaus: CEM I tai II - N, 300 kg/m ³	18	43	34	25
CEM I tai II - N, 350 kg/m ³	19	51	38	32
CEM I tai II - N, 400 kg/m ³	21	56	41	35
CEM I tai II - N, 450 kg/m ³	22	62	45	40
CEM I tai II - R, 300 kg/m ³	19	51	37	32
CEM I tai II - R, 350 kg/m ³	21	58	42	37
CEM I tai II - R, 400 kg/m ³	23	65	46	42
CEM I tai II - R, 450 kg/m ³	24	71	51	47

Mikäli laatan yläpinta lämpösuojataan sydänsosan ja yläpinnan välinen lämpötilaero korjataan lämpösuojauksen perusteella taulukon 6 kertoimilla. Laatan sydänosa lämpenee lämpösuojauksen paksuudesta (6-50 mm) riippuen 2-4 °C. Laatan alapinnan lämpötila pysyy käytännössä muuttumattomana.

Ulkolämpötilan vaikutus pinnan ja sydänsosan väliseen lämpötilaeroon otetaan huomioon kertomalla taulukon 5 lämpötilaerot taulukon 7 kertoimilla.

Rakenteen paksuuden vaikutus otetaan huomioon taulukon 8 kertoimilla.

Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje, 22.12.2011

Taulukko 6. Lämpösuojauksen aloittamisen ajankohdan vaikutus betonin sydänsosan ja yläpinnan väliseen lämpötilaeroon.

Tapaus	6 mm:n peite	20 mm lämpömatto	50 mm Eristepeite
Ei lämpösuojausta tai 1 mm:n peite	1	1	1
Lämpösuojaus 1 tunti valusta	0,55	0,25	0,10
Lämpösuojaus 5 tuntia valusta	0,90	0,55	0,55

Taulukko 7. Ulkolämpötilan vaikutuskerroin betonin sydänsosan ja pintaosien välisiin lämpötilaeroihin.

Ulkolämpötila (°C)	Yläpinta	Alapinta
-20	1,70	1,45
-10	1,50	1,30
0	1,35	1,15
10	1,00	1,00
20	0,65	1,00
30	0,30	1,00

Taulukko 8. Rakenteen paksuuden vaikutuskerroin betonin sydänsosan ja pintaosien välisiin lämpötilaeroihin.

Paksuus [m]	Kerroin
1,5	1,20
1,2	1,10
1	1,00
0,5	0,65
0,3	0,40
0,2	0,20
0,1	0,10

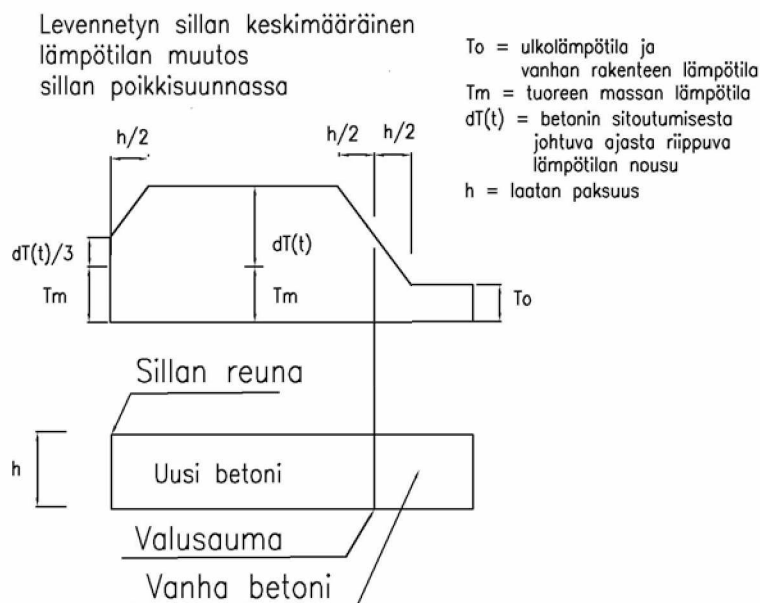
9.2 Lämpötilaerot siltoja levennettäessä

Hydrataatiolämpö aiheuttaa rakenteeseen sisäisiä rasituksia, kun massiivinen silta levennetään massiivisella betonivalulla ilman jälkivalukaistaa. Levennystä suunniteltaessa nämä rasitukset tulee lisätä siihen kuormayhdistelmään, jonka mukaan halkeamaleveydet tarkistetaan ja jännitykset rajoitetaan. Vaikutukset voidaan laskea FEM-ohjelmalla tai lineaarisen kimmoteorian mukaan käyttäen tehollisia kimmokerroimia, jotka saadaan kaavasta {7} käyttäen taulukon 4 lämpötilakuormille tarkoitettuja α -kertoimia.

Kun sillan levennysosa on päistään vapaa, lämpötilaerojen vaikutukset voidaan laskea tasojännitystilana. Laattaan syntyy tällöin laatan koko korkeudelle tasan jakaantunut mutta sillan vaakasuunnissa muuttuva veto- ja puristusjännitys. Suurimmat rasitukset saadaan yleensä sillan päätyihin, missä valusauma päättyy.

Laatan ylä- ja alapinnan väliset lämpötilaerot aiheuttavat staattisesti määräämättömälle rakenteelle taivutusrasituksia. Ylä- ja alapintojen väliset lämpötilaerot voidaan arvioida taulukon 5 mukaan, ellei tehdä tapauskohtaisia lämpöteknillisiä laskelmia.

Lämpötila ajan funktiona 1-2 viikkoa valun jälkeen voidaan tavanomaisissa tapauksissa olettaa jakaantuvan sivusuunnassa kuvien 1 ja 2 mukaisesti. Kuvat koskevat tapausta, jossa laatta on metrin paksuinen, sementtimäärä on 300 kg/m^3 , sementti on normaalisementtiä ja massan lämpötila on $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ulkolämpötila on $+15 \text{ }^\circ\text{C}$. Näissä olosuhteissa hydrataatiosta johtuva lämpötilan nousu on kuvan 2 mukaan $dT(t)_{\text{max}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Muut laattapaksuudet, sementtimäärät ja laadut sekä massan lämpötilat otetaan huomioon taulukoiden 8-10 kertoimilla. Ulkolämpötilan vaikutus otetaan huomioon vain kaavalla {13}. Tämä menettely kuitenkin edellyttää, että rakenne on tuulelta suojattu.



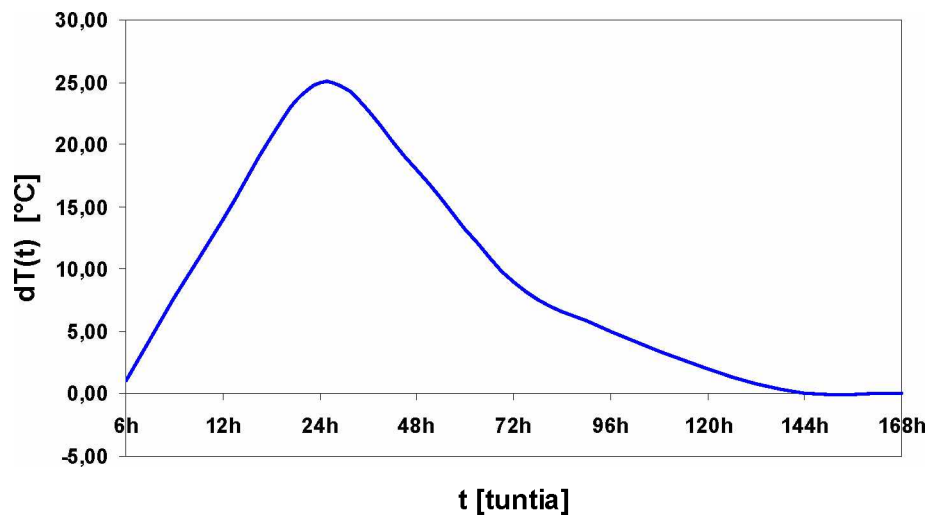
Kuva 1. Levennetyin sillan lämpötilajakauman muoto sillan sivusuunnassa.

Ilman erillistä selvitystä voidaan olettaa, että liitos alkaa siirtää leikkausvoimia ja betoni toimia kiinteään aineen tavoin 6 tunnin kuluttua valusta. Lämpötilaerojen pitkäaikaisvaikutuksia laskettaessa mitoittavana lämpökutistumana voidaan pitää arvoa, joka on:

$$dT(t)_{\text{mit}} = 0,75 * dT(t)_{\text{max}} + T_m - T_o \quad \{13\}$$

missä

$dT(t)_{\text{max}}$ lämpötilan nousu massan alkulämpötilasta mitattuna
 T_m tuoreen massan lämpötila
 T_o ulkolämpötila ja samalla myös vanhan rakenteen lämpötila.



Kuva 2. Levennetyn sillan lämpötilaeron kehittyminen 1 m paksulla laattalla ajan funktiona, kun käytetään yleissementtiä 300 kg/m³.

Taulukko 9. Levennetyn sillan maksimilämpötilaeron kehittymisen riippuvuus sementtityypistä ja sen määrästä.

Käytettävä sementti ja sen määrä betonissa	Aika valusta [h]					
	6	12	24	48	72	168
Vertailutapaus: CEM I tai II - N, 300 kg/m ³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
CEM I tai II - N, 350 kg/m ³	1,00	1,06	1,17	1,11	1,09	1,05
CEM I tai II - N, 400 kg/m ³	1,00	1,18	1,31	1,21	1,17	1,10
CEM I tai II - N, 450 kg/m ³	1,00	1,26	1,44	1,32	1,27	1,13
CEM I tai II - R, 300 kg/m ³	1,00	1,24	1,19	1,10	1,07	1,03
CEM I tai II - R, 350 kg/m ³	1,00	1,29	1,35	1,21	1,19	1,10
CEM I tai II - R, 400 kg/m ³	1,00	1,35	1,50	1,34	1,28	1,13
CEM I tai II - R, 450 kg/m ³	1,00	1,59	1,65	1,44	1,38	1,19

Taulukko 10. Massan lämpötilan vaikutus maksimilämpötilaeroon sekä sen ajankohtaan.

Massan lämpötila [°C]	Kerroin maksimilämpötilalle	Kerroin maksimilämpötilan ajanhetkelle
5	0,72	1,69
10	0,8	1,4
15	0,9	1,1
20	1	1
25	1,13	0,74
30	1,26	0,65

Taulukoissa 8-10 esitetyt lämpötilakertoimet koskevat tapausta milloin lämpösuojausta ei ole. Mikäli lämpösuojaus tehdään tunnin kuluttua valusta, lämpötilaerot $dT(t)_{mit}$ on kerrottava luvulla 1,1. Kun lämpösuojaus tehdään viisi tuntia valusta, kerroin on vastaavasti 1,05.

Suunnittelijan tulee ottaa huomioon, että työmaalla pyritään usein betonin varhaislujuutta nostamaan vaihtamalla sementti rapidsementiksi. Koska tämä menettely kasvattaa levennettävän rakenteen hydrataatiolämmöstä johtuvia rasituksia merkittävästi, suunnittelijan tulee ilmoittaa seurausvaikutukset mikäli rapid-sementin käyttö sallitaan.

Lämpörasitukset tulee laskea ajankohdalla, kun rasitukset saavat maksimiarvonsa (4-12 vrk), sillan käyttöönoton ajankohdalla ja lopputilanteessa (ajanhetki ääretön). Muut ajankohdat tutkitaan, kun niillä on mitoituksen kannalta merkitystä. Tehollisilla kimmokertoimilla laskettaessa sijoitetaan kaavaan {7} soveltamisohjeen /26/ kertoimet $\varphi(t, t_0)$ ja taulukon 4 lämpötilakuormille tarkoitetut kertoimen a arvot. Kuormituksen alkamisajankohdaksi t_0 valitaan uudelle betonille se ajankohta, jolloin lämpötila on saavuttanut maksimiarvonsa. Vanhalle betonille valitaan kuormituksen alkamisajankohdaksi t_0 rakenteen ikä levennystä tehtäessä.

Kun laskennan kautta on saatu pakkovoiman maksimiarvo $S_{T_{max}}$ ja lopputilanteen arvo $S_{T_{\omega}}$ voidaan muiden ajankohtien pakkovoima laskea kaavan {14} avulla. Taulukkoon 14 on laskettu valmiiksi eräitä tapauksia.

Taulukko 11. Lämpöjännitysten muuttuminen ajan mukana.

t	Pakkovoima
6 vrk	$S_{T_{max}}$
30 vrk	$S_{T_{max}} - (S_{T_{max}} - S_{T_{\omega}}) * 0,30$
1 v	$S_{T_{max}} - (S_{T_{max}} - S_{T_{\omega}}) * 0,60$
3 v	$S_{T_{max}} - (S_{T_{max}} - S_{T_{\omega}}) * 0,80$
ω	$S_{T_{\omega}}$

$$S_T(t) = S_{T_{max}} - (S_{T_{max}} - S_{T_{\omega}}) * ((t - t_A) / 100000)^{0,2} / [2 - (300 - t) / 500]$$

{14}

missä

$S_T(t)$	pakkovoima lämpötilaerosta ajankohdalla t
$S_{T_{max}}$	lämpötilaerosta aiheutuva suurin pakkovoima
$S_{T_{\omega}}$	lämpötilaerosta johtuva pakkovoima ajankohdalla ääretön $t < 10^5$ vrk
t	tarkasteluajankohta vuorokausissa > 6 vrk
t_A	6 vrk

9.3 Lämpötilaerot laattoja ja palkkeja korjattaessa

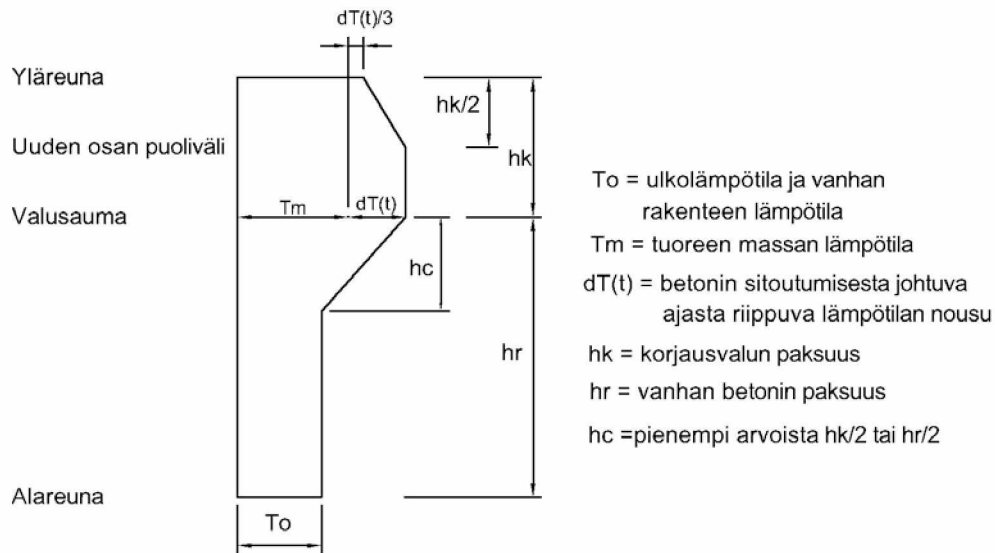
Hydrataatiolämpö aiheuttaa rasituksia rakenteelle, kun vanhan betonirakenteen pintaan valetaan monoliittisesti kiinni uutta betonia. Mikäli rakenteeseen liitettävän betonikerroksen paksuus on keskimäärin enintään 100 mm, hydrataatiolämmön vaikutukset voidaan pitää merkityksettöminä ja jättää huomioimatta. Rakenteen paksuutena voidaan käyttää kunkin rakenneosan keskiarvoa edellyttäen, että suurin yksittäinen poikkeama keskiarvosta on enintään 100 % ja että yli 30 % poikkeamat esiintyvät enintään yhdellä neljäsosalla rakenteen pituus- tai poikkisuunnan mitasta. Poikkeamien ollessa tätä suuremmat, portaittain muuttuvat lämpötilanerot on otettava laskelmissa huomioon.

Korjattavan rakenteen sisäiset lämpötilaerot tulee arvioida erillisillä laskelmilla tai kuvien 3 ja 4 avulla. Kuvat koskevat tapausta, jossa valun paksuus on 300 mm, sementtimäärä on 300 kg/m^3 , sementti normaalisementtiä ja massan lämpötila on $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ sekä ulkolämpötila $+15 \text{ }^\circ\text{C}$. Muut valupaksuudet, sementtimäärät ja laadut ja massan lämpötilat otetaan huomioon taulukoiden 12–14 avulla. Ulkolämpötilan vaikutus otetaan huomioon kaavalla {13}. Tämä menettely kuitenkin edellyttää, että rakenne on tuulelta suojattu.

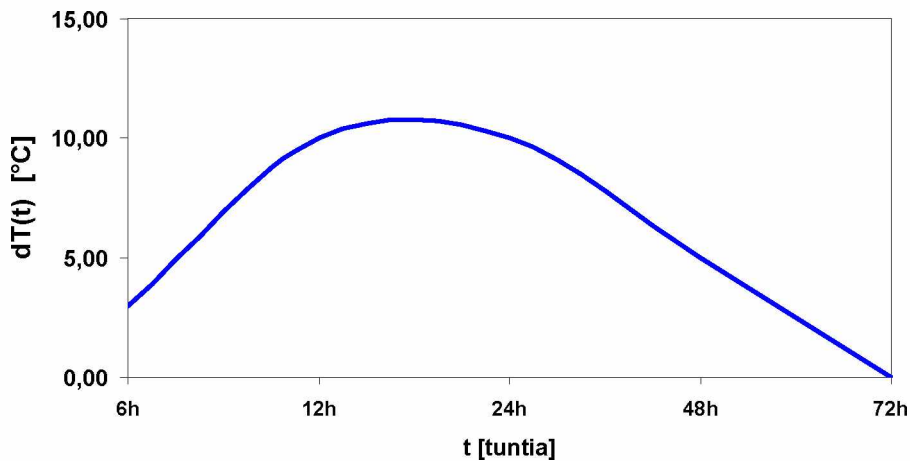
Laattojen ja palkkien yläpintoja korjattaessa voidaan olettaa, että betoni alkaa toimia kiinteänä aineen tavoin 6 tunnin kuluttua. Lämpötilaerojen pitkäaikaisvaikutuksia laskettaessa mitoittava lämpökutistuma lasketaan kaavan {13} avulla. Teholliset kimmo-

kertoimet ja sisäiset rasitukset lasketaan vastaavalla tavalla kuin siltojen levennyksiä analysoitaessa.

Kuvan 3 lämpötilajakauma ja kuvan 4 lämpötilaero edellyttävät pinnan suojaamista muotilla tai ohuella lämpöpeitteellä. Pintavalun suojaamatta jättämistä ei suositella eikä lämpötilaeron pienenemistä suojaamattomassa pintavalussa oteta huomioon.



Kuva 3. Korjattavan sillan lämpötilajakauma sillan pystysuunnassa.



Kuva 4. Pinnan korjausbetonin ja vanhan betonin lämpötilaeron kehittyminen 300 mm:n paksuisella valulla, kun käytetään yleisementtiä 300 kg/m³.

Taulukko 12. Korjatun sillan maksimilämpötilaeron perusarvo eri paksuisilla valuilla (CEM I tai II - N 300kg/m³).

Paksuus [m]	Kerroin
0,5	1,66
0,3	1,00
0,2	0,66
0,1	0,33

Taulukko 13. Levennetyn sillan maksimilämpötilaeron kehittymisen riippuvuus sementtityypistä ja sen määrästä.

Käytettävä sementti ja sen määrä betonissa	Aika valusta [h]					
	6	12	24	48	72	168
Vertailutapaus:						
CEM I tai II - N, 300 kg/m ³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
CEM I tai II - N, 350 kg/m ³	1,00	1,06	1,17	1,11	1,09	1,05
CEM I tai II - N, 400 kg/m ³	1,00	1,18	1,31	1,21	1,17	1,10
CEM I tai II - N, 450 kg/m ³	1,00	1,26	1,44	1,32	1,27	1,13
CEM I tai II - R, 300 kg/m ³	1,00	1,24	1,19	1,10	1,07	1,03
CEM I tai II - R, 350 kg/m ³	1,00	1,29	1,35	1,21	1,19	1,10
CEM I tai II - R, 400 kg/m ³	1,00	1,35	1,50	1,34	1,28	1,13
CEM I tai II - R, 450 kg/m ³	1,00	1,59	1,65	1,44	1,38	1,19

Taulukko 14. Massan lämpötilan vaikutus maksimilämpötilaeroon sekä sen ajanhetkeen.

Massan lämpötila [°C]	Kerroin maksimilämpötilalle	Kerroin maksimilämpötilan ajanhetkelle
5	0,72	1,69
10	0,80	1,40
15	0,90	1,10
20	1,00	1,00
25	1,13	0,74
30	1,26	0,65

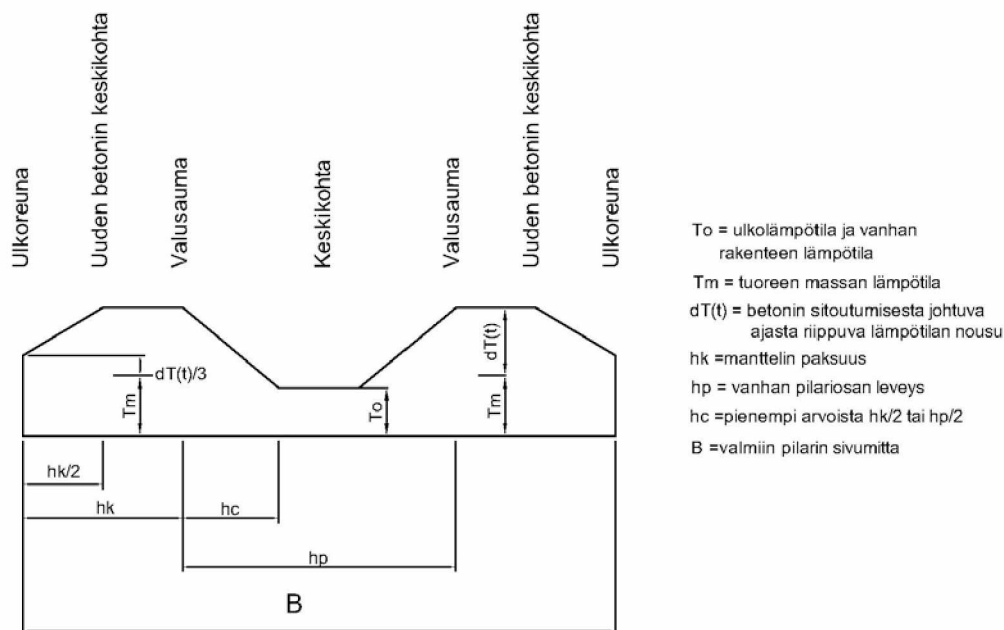
9.4 Lämpötilaerot pilareita korjattaessa

Monoliittisesti vanhan pilarin ympärille valettavan betonimanttelin hydrataatiolämpö aiheuttaa rasituksia rakenteelle. Mikäli rakenteeseen liitettävän betonimanttelin paksuus on keskimäärin enintään 100 mm, hydrataatiolämmön vaikutukset voidaan merkityksettöminä jättää huomioimatta. Manttelin paksuuden vaihtelu otetaan huomioon kohdassa 9.3 esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Mantteloimalla korjattavan rakenteen lämpötilajakauma tulee arvioida laskelmilla tai kuvien 5 ja 6 avulla. Kuvat koskevat tapausta, jossa manttelin paksuus on 500 mm, sementtimäärä on 300 kg/m³, sementti normaalisementtiä ja massan lämpötila +20 °C. Muut valupaksuudet, sementtimäärät ja -laadut ja massan lämpötilat otetaan huomioon taulukoiden 15 - 17 avulla.

Pilarin lämpötilaeroja koskevat mitoitussäännöt ovat samat neliö- ja ympyräpoikkeileikkauksille, joiden manttelin paksuudessa on enintään ±20 %:n vaihteluja. Samoja sääntöjä voidaan soveltaa myös suorakaiteen muotoisille pilareille, joiden sivujen suhde on enintään 2. Mikäli pilari korjataan vain yhdeltä sivulta, laskennassa sovelle-

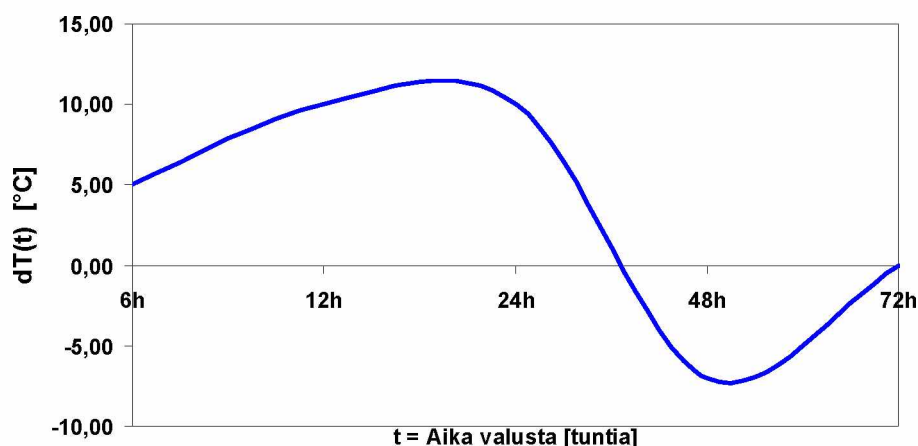
taan luvun 9.3 sääntöjä. Muissa tapauksissa voidaan hydrataatiolämmön vaikutuksia selvittää erillisin laskelmin ja tarvittaessa kenttäkokein.

Kuvan 6 lämpötilaerot perustuvat siihen, että ulkoilman lämpötila on $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, tuulen nopeus 5 m/s ja pilareita suojaava muottilaudan paksuus 25 mm . Poikkeamat näistä olosuhteista ei katsota vaikuttavan niin paljon lämpötilan nousuun, että niitä tulisi ottaa erikseen huomioon laskelmissa. Kovettumisvaiheessa olevia pilareita tulee kuitenkin suojata pakkaselta ja tuulelta.



Kuva 5. Manttelin ja sydänosan lämpötilajakauma.

Hydrataation aikana manttelin betoni ensin lämpenee ja jäähtyy tämän jälkeen alle betonin sydänosan lämpötilan. Pitkäaikaisvaikutuksia laskettaessa suurimmaksi lämpötilaeroksi $dT(t)_{\max}$ valitaan kuvan 6 mukainen suurin positiivinen lämpötilan arvo $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ kerrottuna manttelin paksuuden, sementtimäärän ja laadun sekä massan lämpötilan huomioon ottavilla kertoimilla.



Kuva 6. Manttelin ja sydänosan lämpötilaeron kehittyminen 500 mm paksuisella manttelilla, kun käytetään yleissementtiä 300 kg/m^3 .

Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje, 22.12.2011

Pilareita korjattaessa betonin voidaan olettaa tarttuvan vanhaan betoniin ja alkavan toimia kiinteän aineen tavoin 6 tunnin kuluttua valusta. Lämpötilaerojen pitkäaikaisvaikutuksia laskettaessa mitoittava lämpökutistuma lasketaan kaavan {13} avulla. Teholliset kimmokertoimet ja sisäiset jännitykset lasketaan vastaavalla tavalla kuin siltojen levennyksiä analysoitaessa.

Taulukko 15. Mantteloidun pilarin maksimilämpötilaeron perusarvo eri paksuisilla mantteilla (CEM I tai II - N, 300kg/m³).

Paksuus [m]	Kerroin
0,5	1
0,3	0,66
0,1	0

Taulukko 16. Levennetyn sillan maksimilämpötilaeron kehittymisen riippuvuus sementtityypistä ja sen määrästä.

Käytettävä sementti ja sen määrä betonissa	Aika valusta [h]					
	6	12	24	48	72	168
	Kerroin					
Vertailutapaus:						
CEM I tai II - N, 300 kg/m ³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
CEM I tai II - N, 350 kg/m ³	1,00	1,06	1,17	1,11	1,09	1,05
CEM I tai II - N, 400 kg/m ³	1,00	1,18	1,31	1,21	1,17	1,10
CEM I tai II - N, 450 kg/m ³	1,00	1,26	1,44	1,32	1,27	1,13
CEM I tai II - R, 300 kg/m ³	1,00	1,24	1,19	1,10	1,07	1,03
CEM I tai II - R, 350 kg/m ³	1,00	1,29	1,35	1,21	1,19	1,10
CEM I tai II - R, 400 kg/m ³	1,00	1,35	1,50	1,34	1,28	1,13
CEM I tai II - R, 450 kg/m ³	1,00	1,59	1,65	1,44	1,38	1,19

Taulukko 17. Massan lämpötilan vaikutus maksimilämpötilaeroon sekä sen ajankohtaan.

Massan lämpötila [°C]	Kerroin maksimilämpötilalle	Kerroin maksimilämpötilan ajanhetkelle
5	0,72	1,69
10	0,80	1,40
15	0,90	1,10
20	1,00	1,00
25	1,13	0,74
30	1,26	0,65

10 Kutistuminen

Uuden ja vanhan betonin välinen kutistumaero aiheuttaa pakkovoimia, kun siltaa levennetään tai betonirakennetta vahvennetaan valamalla vanhaan rakenteeseen monoliittisesti kiinni uutta betonia. Pakkovoimat tulee ottaa huomioon halkeamaleveyksien ja jännitysten laskennassa ja tarvittaessa myös rakenteen lujuutta alentavina tekijöinä. Vaikutukset voidaan laskea FEM- tai vastaavilla menetelmillä, joilla kuomien vaikutus voidaan analysoida ajan funktiona. Toinen ja tavanomaisempi tapa on tehdä analysointi lineaarisen kimmoteorian mukaan käyttäen tehollisia kimmokerroimia, jotka saadaan kaavasta {7} käyttäen taulukon 4 kutistumalle tarkoitettuja akerioimia. Kuormituksen alkamisajankohdaksi t_0 valitaan uudelle betonille jälkihoidon päättymisajankohta. Vanhalle betonille valitaan kuormituksen alkamisajankohdaksi t_0 rakenteen ikä levennystä tehtäessä.

Kutistumavaikutukset tulee laskea ainakin sillan käyttöönoton ajankohtana ja lopputilanteessa (ajanhetki ääretön). Muut ajankohdat lasketaan tarvittaessa. Laskennassa kimmokertoimet määritetään tutkittavan ajankohdan mukaan. Kutistuman suuruus arvioidaan kaavan {8} mukaan. Eri ajankohdilla vallitseva jännitys voidaan laskea kaavan {15} avulla. Taulukkoon 18 on laskettu valmiiksi eräitä tapauksia.

Taulukko 18. Kutistuman aiheuttamien pakkovoimien kehittyminen ajan mukana.

t	200 mm	500 mm	1000 mm	1500 mm
30 vrk	$S_{smax} * 0,18$	$S_{smax} * 0,05$	$S_{smax} * 0,02$	$S_{smax} * 0,01$
90 vrk	$S_{smax} * 0,45$	$S_{smax} * 0,15$	$S_{smax} * 0,06$	$S_{smax} * 0,03$
1v	$S_{smax} * 0,75$	$S_{smax} * 0,45$	$S_{smax} * 0,20$	$S_{smax} * 0,15$
3 v	$S_{smax} * 0,90$	$S_{smax} * 0,70$	$S_{smax} * 0,45$	$S_{smax} * 0,30$
30 v	$S_{smax} * 1,00$	$S_{smax} * 0,95$	$S_{smax} * 0,90$	$S_{smax} * 0,80$
Ääretön	$S_{smax} * 1,00$	$S_{smax} * 1,00$	$S_{smax} * 1,00$	$S_{smax} * 1,00$

$$S_s(t) = S_{smax} * \beta_{ds}(t, t_s) \quad \{15\}$$

missä

$S_s(t)$	kutistumaerosta johtuva pakkovoima ajankohtana t
$\beta_{ds}(t, t_s)$	kerroin, joka kuvaa kuivumiskutistuman kehittymisen ajan myötä, lasketaan soveltamisohjeen /26/ kaavassa 0.2 olevan funktion avulla
S_{smax}	kutistumaerosta aiheutuva suurin pakkovoima
t	betonin ikä vuorokausina tarkasteluajankohtana, $t > t_s$
t_s	yleensä 6 vrk, jälkihoidon päättymisen ajankohta

11 Ulkoisten kuormien jakaantuminen

11.1 Yleisperiaatteet

Seuraavissa ohjeissa käsitellään siltojen korjausta, jossa siltaa levennetään tai betonirakennetta vahvennetaan valamalla vanhaan rakenteeseen monoliittisesti kiinni uutta betonia. Lyhytaikaisten kuormien jakaantuminen uuden ja vanhan betonin välillä otetaan huomioon käyttämällä rakennemallissa kimmokertoimia, jotka vastaavat kunkin betoniosan lujuutta. Pysyvien ja muiden pitkäaikaisten kuormien laskennassa tulee ottaa huomioon betonin pitkäaikaisten muodonmuutosten vaikutukset. Tämä voidaan tehdä epälineaarilla FEM-mallilla, jolla kuormien jakaantumisessa tapahtuvat muutokset on mahdollista analysoida ajan funktiona. Toinen ja tavanomaisempi tapa on tehdä analysointi tehollisia kimmokertoimia käyttäen.

Tarkastelut tulee tehdä purkutyön eri vaiheissa ja lisäksi ainakin ajankohtana, kun silta otetaan käyttöön ja lopputilanteessa (ajanhetki ääretön).

Kuormien jakautumiseen vaikuttaa kuormien siirtotapa ja ajankohta. Uudet kuormat voidaan erilaisilla järjestelyillä siirtää kokonaan joko pelkästään vanhalle tai uudelle rakenteelle. Kuormien lopulliseen jakaantumiseen uuden ja vanhan rakenteen välillä vaikuttaa merkittävästi betonin viruminen.

Kuormien siirtyminen uuden ja vanhan betonin välillä voidaan jakaa kolmeen eri perustapaukseen, jotka ovat:

1. Kuorma siirtyy alussa pelkästään vanhan ehjän betonin kannettavaksi ja uudelle betonille vasta betonin virumisen myötä. Esimerkkinä tästä on pilari, jonka vanha sydänosa kantaa alussa kaikki pilarille tulevat ulkoiset kuormat. Toinen esimerkki on sillan levennys, jonka muotit ovat valun ja uuden betonin kovettumisen ajaksi ripustettu vanhaan rakenteeseen. Uusi betoni saa sillan pituussuuntaisia rasituksia vasta, kun uusi betoni on alkanut kovettua ja vanha betoniosa on sen virumisen myötä alkanut siirtää osan kuormista uudelle betonille. Koska vanha betonin viruma on verraten pieni, uuden betonin ottaessa kuorma jää käyttörajatilassa melko pieneksi.
2. Kuorma on alussa tuettu tilapäisille rakenteille siten, ettei sen paremmin vanha kuin uusikaan betoni kanna uuden osan kuormia ennen kuin uusi betoni on kovettunut ja sen tilapäinen tuenta poistettu. Esimerkkinä tästä on pilari, jonka uudet kuormat on pilarin vahvistamisen ajaksi siirretty tilapäisille rakenteille. Toinen esimerkki on sillan levennys, joka valun ja kovettumisen aikana lepää omilla tukiteineillään. Uusi kuorma jakaantuu tällöin telineiden purkamisen jälkeen eri osien jäykkyysien ja kimmokertoimien suhteessa. Myöhemmin kuormat jakautuvat uudelleen, kun vanhan ja uuden betonin viruma on edistynyt. Koska uuden betonin viruminen on huomattavasti voimakkaampaa kuin vanhan betonin, kuormat siirtyvät tässäkin tapauksessa enemmän vanhan betonin puolelle.
3. Kuorma jakaantuu alussa siten, että vanha ja uusi osa kantavat aluksi kukin oman panonsa. Kuormien uudelleen jakaantuminen alkaa vasta, kun osat on

kytketty toisiinsa ja vanhan ja uuden betonin ajasta riippuvat muodonmuutokset pyrkivät erkanemaan toisistaan. Esimerkkinä tästä on avoimella saumalla erotettu sillan levennys, joka valun ja kovettumisen aikana lepää omilla tukiteineillään ja joka telineiden purkamisen ja ennalta sovitun tasaantumisaian kuluttua liitetään jälkivalukaistalla monoliittisesti yhteen vanhaan rakenteeseen.

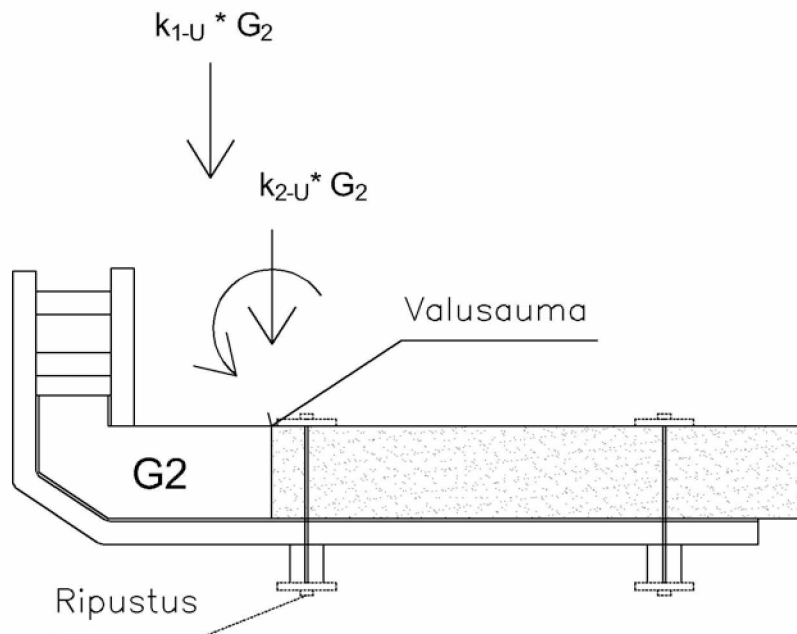
Lasketatarkkuutta voidaan tehollisia kimmokertoimia käytettäessä parantaa kohdistamalla kuormat vanhalle ja uudelle betonirakenteelle siinä suhteessa kuin ne virumisen huomioon otettuna parhaiten voidaan kuvata. Kuormien jakaminen tällä tavalla osiin edellyttää staattisen analyysin tekemistä useilla eri rakennemalleilla. Jokaisessa vaiheessa on myös teholliset kimmokertoimet muutettava ajankohdan mukaan.

Tehollisia kimmokertoimia ja kuormanjakolukuja tarvitaan kaksi sarjaa, kun rasiukset lasketaan sillan käyttöönoton ajankohtana ja lopputilanteessa (ajanhetki ääretön). Mikäli on tarvetta tutkia myös muita ajankohtia, teholliset kimmokertoimet ja kuormanjakoluvut on laskettava jokaista tutkittavaa ajankohtaa varten erikseen.

11.2 Siltojen leventäminen

11.2.1 Uuden osan muotit ripustettu vanhasta rakenteesta

Vanha sillan osa kantaa aluksi oman painonsa lisäksi myös levennysosan painon, kun sillan levennyksen muotit ripustetaan vanhaan rakenteeseen kuvan 7 mukaan. Tässä tilanteessa laskenta tehdään rakennemallilla, missä vanhaa rakennetta kuormittaa sekä vanhan osan oma paino että uuden osan paino ylimääräisenä kuormana.



Kuva 7. Uuden osan kuormien jakaantuminen, kun levennysosan muotti on ripustettu vanhaan rakenteeseen.

Vanhan osan virumisen myötä osa uuden osan sillan pituussuuntaisista pysyvistä rasituksista siirtyy yhdistetylle rakenteelle. Mikäli vanhan rakenteen pysyvästä kuormasta aiheutuva viruminen on loppunut, ei vanhan sillan oman painon osalta tilanne muutu. Uuden osan paino jaetaan kahteen osaan, jotka ovat:

$$G_{\text{yhd-U}} = (1 - k_{2-U}) * G_2 = k_{1-U} * G_2 \quad \{16\}$$

$$G_{\text{vanha-U}} = k_{2-U} * G_2 \quad \{17\}$$

missä

G_2 uuden osan paino
 $G_{\text{yhd-U}}$ levennetylle sillalle tuleva osa painosta G_2
 $G_{\text{vanha-U}}$ vanhalle osalle tuleva osa painosta G_2

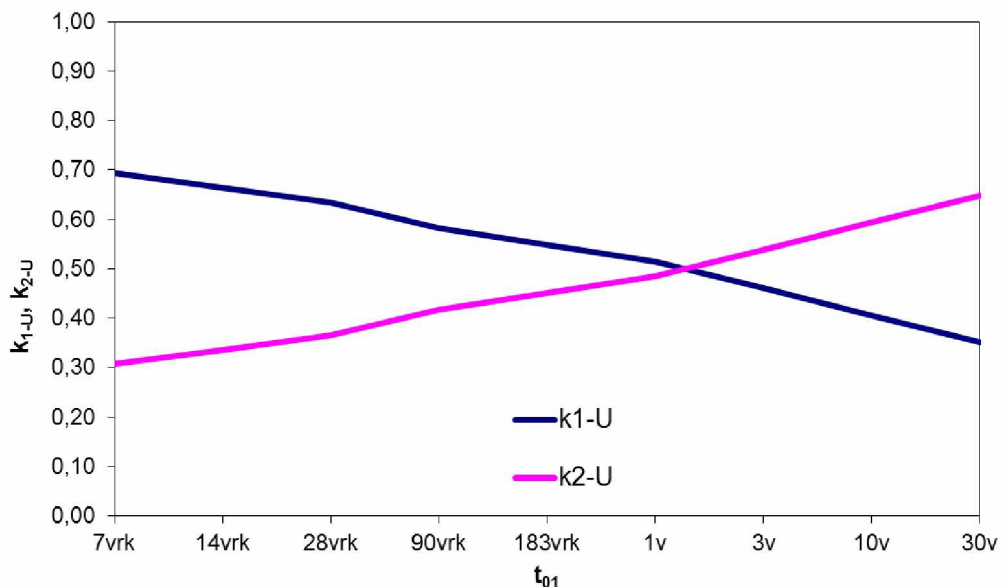
Kerroin k_{2-U} lasketaan kaavan {18} avulla. Kuormien lopullinen ajanhetki ääretön toteutuva jakaantuminen saadaan riittävällä tarkkuudella kuvasta 8.

$$k_{2-U} = 1 / (1 + \varphi_v(t, t_{01})) \quad \{18\}$$

missä

$\varphi_v(t, t_{01})$ vanhan betonin kaavan {6} mukainen virumaluku tarkasteluajankohtana t
 t vanhan betonin ikä vuorokausina tarkasteluajankohtana, $t > t_{01}$
 t_{01} vanhan betonin ikä levennystä valettaessa

Yli 30 vuotta vanhalle rakenteelle voidaan käyttää samaa arvoa kuin 30 vuotta vanhalle rakenteelle.



Kuva 8. Lopulliset uuden osan kuormanjakokertoimet vanhan rakenteen iän vaihdellessa, kun levennysosa valetaan suoraan kiinni vanhaan silta-rakenteeseen telineiden roikkuessa vanhassa rakenteessa.

Kuormien vaikutukset lasketaan FEM-ohjelmilla tai lineaarisen kimmoteorian mukaan käyttäen uudelle ja vanhalle betonille tehollisia kimmokertoimia, joita lasketaan kaavalla {7}, {9} tai {11} käyttäen taulukon 4 pysyvän kuorman virumalla tarkoitettuja arkoita.

Tehollisilla kimmokertoimilla laskettaessa kuormitusajankohta t_0 on eri uudella ja vanhalla betonilla. Uudella betonilla se on:

$$t_0 = 0,25 \text{ vrk (6 tuntia)}$$

Ja vanhalla betonilla vastaavasti:

$$t_0 = t_{0l}, \text{ eli betonin ikä levennyksen valuaajankohdalla}$$

Tarkasteluajankohta on molemmilla betoneilla $t > t_0$, eli viruminen alkaa uudella betonilla 6 tunnin kuluttua ja vanhalla betonilla ajankohdasta t_{0l} .

Edellä oleva laskentamenetelmä voidaan pitää riittävän tarkkana, kun vanha rakenne on vähintään 10 vuotta vanha. Mikäli vanha osa on uudempi, merkittävä osa vanhan sillan painosta siirtyy yhdistetylle rakenteelle. Vanhan osan painosta on tällöin kaavan {19} mukainen osa siirrettävä yhdistetylle sillalle.

$$G_{\text{yhd-V}} = k_{1-V} * G_1 \quad \{19\}$$

$$G_{\text{vanha-V}} = k_{2-V} * G_1 = (1 - k_{1-V}) * G_1 \quad \{20\}$$

missä

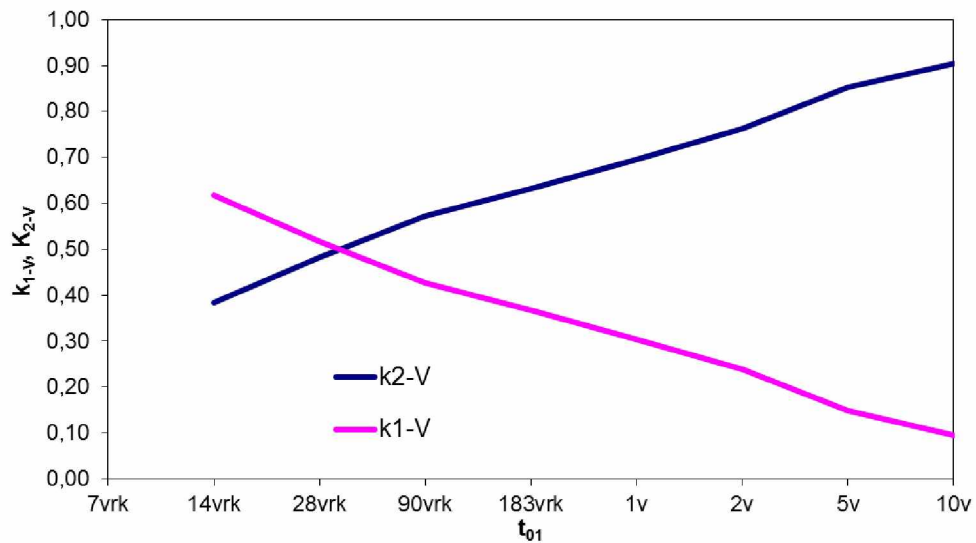
G_1	vanhan osan paino
$G_{\text{yhd-V}}$	levennetylle sillalle tuleva osa painosta G_1
$G_{\text{vanha-V}}$	vanhalle osalle tuleva osa painosta G_1

Kerroin k_{1-V} voidaan laskea kaavan {21} avulla. Lopullinen kuormanjakoluku k_{1-V} äärettömän ajan kuluessa voidaan arvioida myös kuvan 9 avulla. Teholliset kimmokertoimet lasketaan kuten edellä.

$$k_{1-V} = [\varphi_V(t, t_0') - \varphi_V(t_{0l}, t_0')] / [1 + \varphi_V(t, t_0')] \quad \{21\}$$

missä

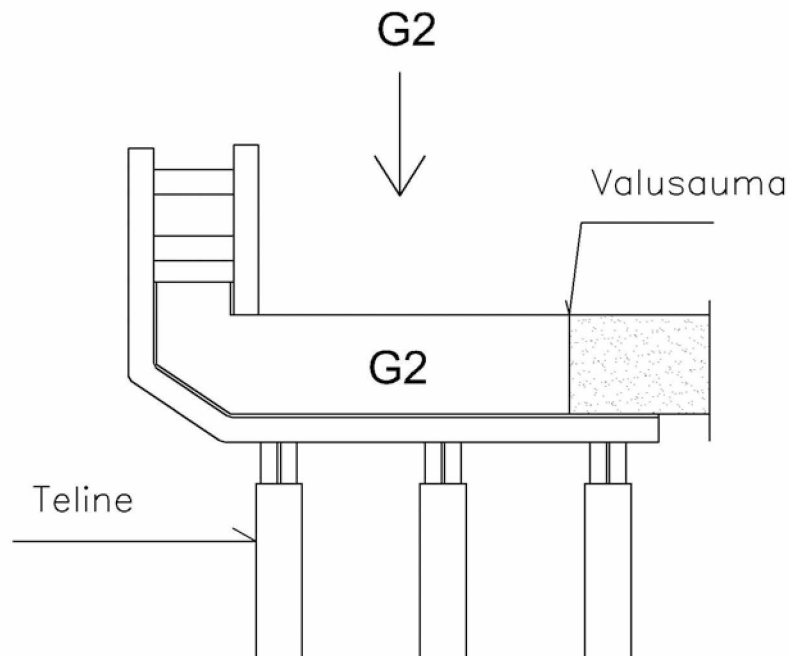
$\varphi_V(t, t_0')$	vanhan betonin kaavan {6} mukainen virumaluku tarkasteluajankohtana t
$\varphi_V(t_{0l}, t_0')$	vanhan betonin kaavan {6} mukainen virumaluku tarkasteluajankohtana t_{0l}
t_0'	vanhan siltaosan ikä, kun muotteja aikanaan purettiin, yleensä 14 vrk
t_{0l}	vanhan siltaosan ikä levennystä valettaessa, $t_{0l} > t_0'$
t	betonin ikä vuorokausina tarkasteluajankohtana, $t > t_0'$



Kuva 9. Lopulliset vanhan osan kuormanjakokertoimet, kun vanha rakenne on levennystä valettaessa alle 10 vuotta vanhaa.

11.2.2 Uuden osan muotit tuettu telineillä

Uuden siltaosan kuormat siirtyvät välittömästi telineitä purettaessa yhdistetylle sillalle, kun silta levennetään valamalla uusi osa suoraan kiinni vanhaan rakenteeseen ja kun uusi siltaosa on valun ja uuden betonin kovettumisen ajaksi tuettu omilla telineillä.

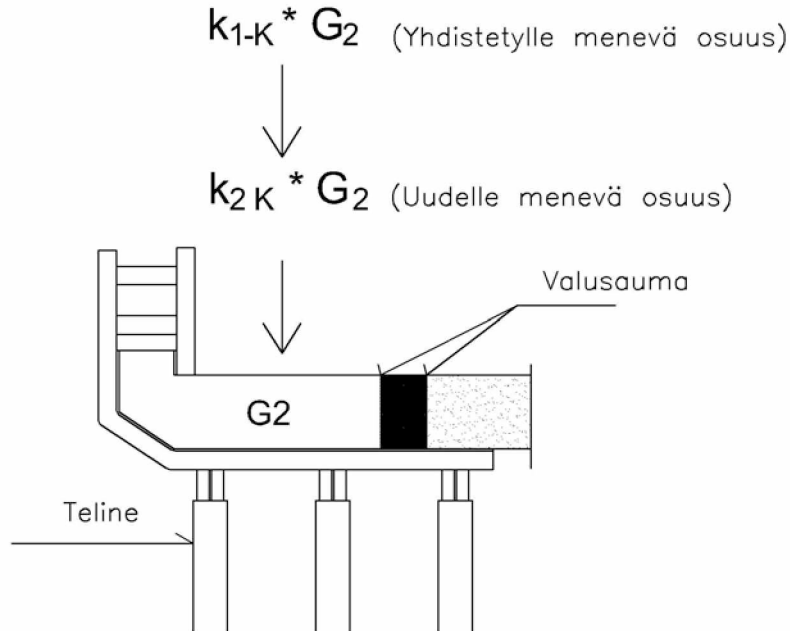


Kuva 10. Levennysosa valetaan suoraan kiinni vanhaan siltarakenteeseen telineiden tukeutuessa omille perustuksilleen

Sillan uuden ja vanhan osan virumisen myötä ainakin uuden osan kuorman jakaantuminen muuttuu ajan myötä. Tämä kuorman uudelleen jakaantuminen voidaan laskea FEM-ohjelmilla tai lineaarisen kimmoteorian mukaan käyttämällä kaavojen {7}, {9} tai {11} mukaisia tehollisia kimmokertoimia.

Sillan vanhan osan kuormat tulee jakaa uudelleen kaavojen {19}, {20} ja {14} periaatteiden tai kuvan 9 mukaan, kun vanha sillan osa on alle 10 vuoden ikäinen.

11.2.3 Jälkivalukaista uuden ja vanhan osan välissä



Kuva 11. Siltalaatan levittäminen jälkivalukaistan avulla.

Sillan vanha ja uusi osa kantavat aluksi kukin oman panonsa, kun uusi ja vanha silta-osa tuetaan omilla telineillään ja niiden väliin jätetään jälkivalukaista. Jälkivalukaistan valamisen jälkeen virumisen myötä uuden osan paino alkaa siirtyä yhdistetylle rakenteelle. Tämän osuuden suuruus saadaan kaavasta:

$$G_{\text{yhd-K}} = k_{1-K} * G_2 \quad \{22\}$$

$$G_{\text{uusi-K}} = k_{2-K} * G_2 = (1 - k_{1-K}) * G_2 \quad \{23\}$$

missä

G_2	uuden osan paino
$G_{\text{yhd-K}}$	levennetylle sillalle tuleva osa painosta G_2
$G_{\text{uusi-K}}$	uudelle siltaosalle tuleva osa painosta G_2

Kerroin k_{1-K} voidaan laskea kaavan {24} avulla. Kuormanjakoluku k_{1-K} äärettömän ajan kuluessa on sama kuin kuvassa 9 oleva kuormanjakoluku k_{1-V} ja se voidaan arvioida saman kuvan avulla vaihtamalla t_{01} tilalle t_{02} ja vanhan siltaosan virumaluku uuden osan virumaluvuksi.

$$k_{1-K} = (\varphi_u(t, t_{02}) - \varphi_u(t_j, t_{02})) / (1 + \varphi_u(t, t_{02})) \quad \{24\}$$

missä

$\varphi_u(t, t_{02})$	uuden betonin kaavan {6} mukainen virumaluku tarkasteluajankohtana t
$\varphi_u(t_j, t_{02})$	uuden betonin kaavan {6} mukainen virumaluku jälkivalukaistan valukohtana t_j
t	betonin ikä vuorokausina tarkasteluajankohtana, $t > t_j > t_{02}$
t_{02}	levennyksen telineiden purkuajankohta, yleensä 14 vrk
t_j	jälkivalukaistan valuaikajankohta, $t_j > t_{02}$

Sillan vanhan osan kuormat tulee jakaa uudelleen samalla tavalla kuin kohdassa 11.2.1 on esitetty soveltaen kaavoja {19}, {21} ja {22} tai kuvaa 9, kun vanhan sillan osa on alle 10 vuoden ikäinen.

Kuormien vaikutukset lasketaan FEM-ohjelmilla tai lineaarisen kimmoteorian mukaan kuten edellä luvuissa 11.2.1 ja 11.2.2.

11.3 Laattojen ja palkkien korjaaminen ja vahvistaminen

11.3.1 Vanhaa rakennetta ei tueta

Vanha betonirakenne kantaa aluksi oman painonsa lisäksi myös uuden betonirakenteen painon, kun palkin tai laatan uusi valu tukeutuu suoraan vanhaan rakenteeseen ilman vanhan rakenteen työnaikaista tuentaa. Tässä tilanteessa laskenta tehdään rakennemallilla, missä vanhaa rakennetta kuormittaa sekä vanhan että uuden osan oma paino.

Vanhan osan virumisen myötä osa uuden osan kuormasta siirtyy yhdistetylle rakenteelle. Vanhan sillan oman painon osalta rakennemalli säilyy entisellään. Uuden osan paino jaetaan kahteen osaan, jotka ovat:

$$G_{yhd} = k_{1L} * G_2 = (1 - k_{2L}) * G_2 \quad \{25\}$$

$$G_{vanha} = k_{2L} * G_2 \quad \{26\}$$

missä

G_2	uuden osan paino
G_{yhd}	uuden ja vanhan osan muodostamalle liittorakenteelle tuleva osa painosta G_2
G_{vanha}	vanhalle osalle tuleva osa painosta G_2

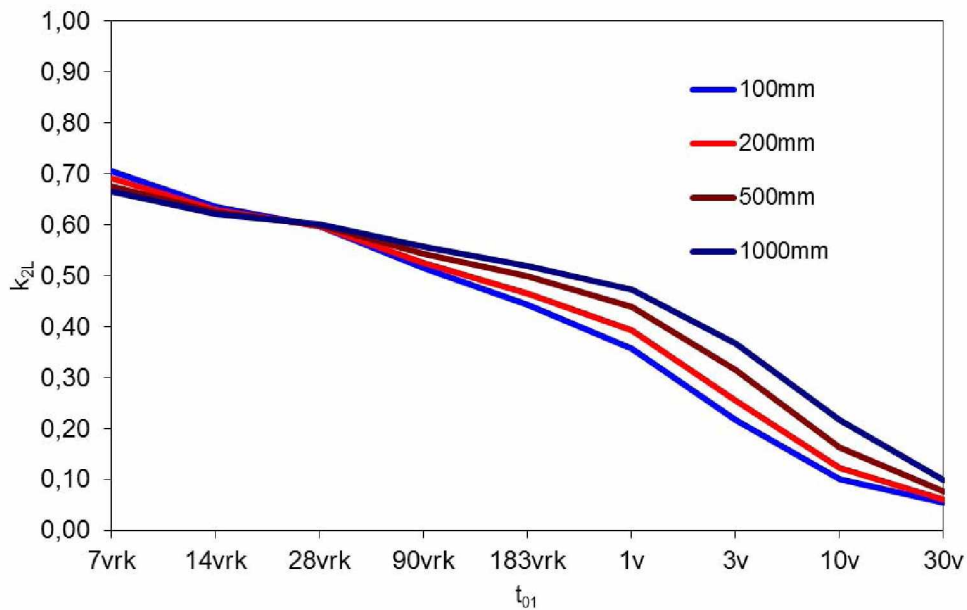
Kerroin k_{2L} voidaan laskea kaavan {27} avulla tai arvioida olevan äärettömän ajan kuluessa kuten siltoja levennettäessä luvun 11.2.1 mukaan. Kerroin k_{2L} riippuu jonkin verran korjausvalun paksuudesta h_k , kuvat 12 ja 13.

$$k_{2L} = 1 / (1 + \varphi_v(t, t_{01})) \quad \{27\}$$

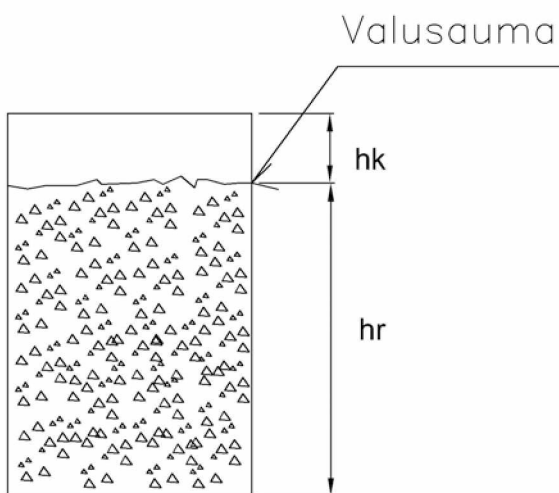
missä

$\varphi_v(t, t_{01})$ vanhan betonin virumaluku tarkasteluajankohtana t
 t betonin ikä vuorokausina tarkasteluajankohtana, $t > t_{01}$
 t_{01} vanhan siltaosan ikä uutta osaa valettaessa

Yli 30 vuotta vanhalle rakenteelle voidaan käyttää samaa arvoa kuin 30 vuotta vanhal-
 le rakenteelle.



Kuva 12. Kuormakertoimet k_{2L} uuden rakenteen paksuuden h_k ja vanhan rakenteen iän vaihdelllessa, kun korjausvalu valetaan suoraan kiinni vanhaan siltarakenteeseen ilman, että vanhaa rakennetta tuetaan työn aikana.



Kuva 13. Palkin tai laatan korjaus.

Kuormien vaikutukset lasketan FEM-ohjelmilla tai lineaarisen kimmoteorian mukaan käyttäen uudelle ja vanhalle betonille tehollisia kimmokertoimia kuten edellä luvussa 11.2. on esitetty.

Vanhan rakenneosan kuormasta tulee osa siirtää yhdistetylle rakenteelle luvussa 11.2.1 esitettyjen periaatteiden mukaan kaavojen {19} ... {20} mukaisesti, kun vanhan siltaosan ikä on vähemmän kuin 10 vuotta.

11.3.2 Vanhaa rakennetta tuetaan lisäkuormille

Silta voidaan vahvistaa myös siten, että vanhaan rakenteeseen valetaan monoliittisesti kiinni uutta betonia rakenteen ollessa lisäkuormille telineillä tuettu. Uuden betonin kuormat siirtyvät tällöin yhdistetylle rakenteelle sen jälkeen, kun telineet puretaan. Laskenta tehdään kahdella rakennemallilla. Ensimmäisessä mallissa rakennetta kuormittaa vain vanhan osan oma paino. Uuden osan paino siirtyy alussa kokonaisuudessaan yhdistetylle rakenteelle ja alkaa siirtyä enemmän vanhalle rakenteelle betonin virumisen myötä.

Kuormien analysointi tehdään FEM-ohjelmilla ajasta riippuvaisena tarkasteluna tai lineaarisen kimmoteorian avulla tehollisia kimmokertoimia käyttäen, kuten luvussa 11.2.2 on esitetty.

11.3.3 Vanhaa rakennetta nostetaan

Tässä tapauksessa siltaan valetaan uutta betonia kiinni vanhaan rakenteeseen rakenteen ollessa työn ajaksi nostettu ja tuettu siten, ettei rakenne kannan sen paremmin uuden kuin vanhankaan rakenteen kuormia. Uuden ja vanhan siltaosan kuormat siirtyvät kumpikin kokonaisuudessaan yhdistetylle rakenteelle, kun telineet puretaan. Molemmat kuormat alkavat siirtyä enemmän vanhalle rakenteelle betonin virumisen myötä.

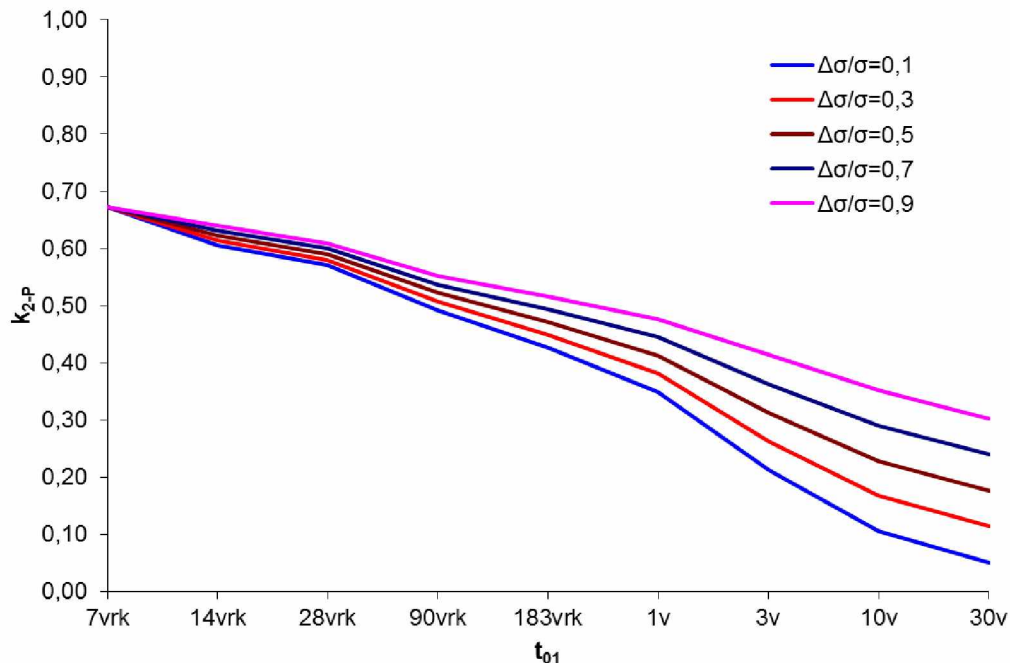
Kuormien analysointi tehdään FEM-ohjelmilla ajasta riippuvaisena tarkasteluna tai lineaarisen kimmoteorian avulla tehollisia kimmokertoimia käyttäen, kuten luvuissa 11.2.2 ja 11.3.2 on esitetty.

11.4 Pilareiden korjaaminen ja vahvistaminen

11.4.1 Pilaria ei tueta

Alkuperäinen pilarin osa kantaa omanpainon kokonaan, kun pilarin betonimantteli valetaan vanhan pilarin ympärille ilman työnaikaista tuentaa. Mikäli korjauksen yhteydessä rakenteelle kohdistetaan uusia kuormia tai mikäli jännitystaso kasvaa pilarin vanhan keskiosan pientymisen myötä betonia poistettaessa, nämä kuormat jakaantuvat uudelleen. Tällöin edellä luvussa 11.3.1 esitetyt palkkien vahvistamista koskevat laskentamenetelmät ovat suoraan sovellettavissa kuormien jakaantumisen laskennassa. Pilareille sovellettavat kaavat {28} - {30} ovat vastaavat kuin kaavat {25} - {27}. Ajanhetki ääretön voidaan pilarien kuormien jakaantuminen arvioida kuvan 13 mukaan.

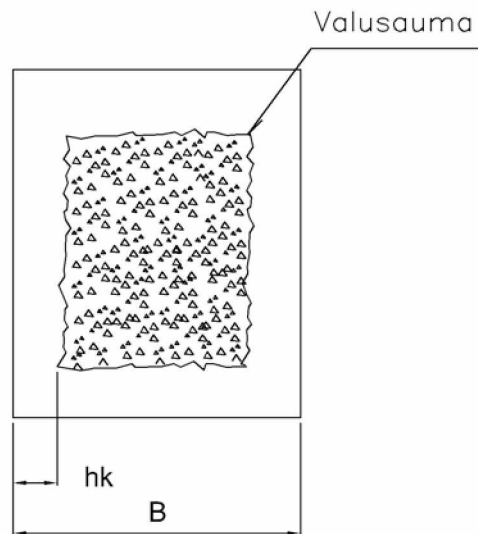
Kuvan 14 käyrästä on vastaava kuin kuvassa 13. Kuvan 14 käyrissä on pysyvän kuorman jännitystason muuttuminen otettu muuttujana huomioon, jolloin pilarin sydänosan pientyminen korjauksen yhteydessä ei kuormanjakoluvuissa tarvitse erikseen ottaa huomioon.



Kuva 14. Kuormakertoimet vanhan rakenteen iän vaihdellessa, kun pilari korjataan ilman, että kuormia poistetaan pilarilta työn ajaksi.

Yli 30 vuotta vanhalle pilarille voidaan käyttää 30 vuotta vanhan pilarin arvoa.

Pilarin uudelle manttelille siirtyä käyttörajatilassa hyvin vähän kuormia, koska vanhan pilarin keskiosan jännitysten muutos ja sitä kautta viruminen on vähäistä. Manttelin kuormaa vähentää uuden betonin jäähtymisestä ja kuivumisesta johtuva kutistuminen.



Kuva 15. Pilarin korjaus.

Pilarien kuormien jakaantuma saadaan kaavasta:

$$\Delta G_{yhd} = k_{1P} * G_2 = (1 - k_{2P}) * \Delta G_2 \quad \{28\}$$

$$\Delta G_{vanha} = k_{2P} * \Delta G_2 \quad \{29\}$$

missä

ΔG_2	pilarin pysyvän kuorman muutos tai jännitystason muutosta vastaava kuorma
ΔG_{yhd}	uuden ja vanhan osan muodostamalle liittorakenteelle tuleva osa painosta ΔG_2
ΔG_{vanha}	vanhalle osalle tuleva osa painosta ΔG_2

$$k_{2P} = 1 / (1 + \varphi_v(t, t_{ol})) \quad \{30\}$$

missä

$\varphi_v(t, t_{ol})$	vanhan betonin virumaluku tarkasteluajankohtana t
t	betonin ikä vuorokausina tarkasteluajankohtana, $t > t_{ol}$
t_{ol}	vanhan pilariosan ikä uutta osaa valettaessa

Kuormien vaikutukset lasketaan FEM-ohjelmilla tai lineaarisen kimmoteorian avulla käyttäen uudelle ja vanhalle betonille tehollisia kimmokertoimia, kuten edellä luvussa 11.2 on esitetty.

Osa vanhan rakenneosan kuormasta tulee siirtää yhdistetylle rakenteelle luvussa 11.2.1 esitettyjen periaatteiden mukaan kaavojen {19} ... {20} mukaisesti, mikäli vanhan siltaosan ikä on vähemmän kuin 10 vuotta.

11.4.2 Pilaria tuetaan lisäkuormille

Pilarin lisäkuormat voidaan korjauksen ajaksi tukea telineillä siten, että lisäkuormat siirtyvät yhdistetylle rakenteelle vasta, kun mantteli on kovettunut ja tuenta poistettu. Laskenta tehdään kahdella rakennemallilla. Ensimmäisessä mallissa pilaria kuormittaa vain alkuperäinen oma paino. Uusi pysyvä kuorma siirtyy alussa kokonaisuudessaan yhdistelmärakenteelle ja alkaa siirtyä enemmän pilarin vanhalle sydänosalle betonin virumisen myötä.

Kuormien analysointi tehdään FEM-ohjelmilla ajasta riippuvaisena tarkasteluna tai lineaarisen kimmoteorian avulla tehollisia kimmokertoimia käyttäen, kuten luvuissa 11.2.2 ja 11.3.2 on esitetty.

Osa vanhan rakenneosan kuormasta tulee siirtää yhdistetylle rakenteelle luvussa 11.2.1 esitettyjen periaatteiden mukaan kaavojen {19} ... {20} mukaisesti, mikäli vanha siltaosan ikä on vähemmän kuin 10 vuotta.

11.4.3 Päällysrakennetta nostetaan

Pilarin kuormat voidaan korjauksen ajaksi siirtää telineille siten, että päällysrakennetta tunkataan pilarin kohdalta. Tällöin pilari on täysin kuormittamaton. Tällöin kaikki kuormat siirtyvät yhdistetylle rakenteelle, kun tuenta poistetaan ja mantteli on kovettunut. Kuormat alkavat siirtyä enemmän pilarin vanhalle sydänosalle betonin virumisen myötä.

Kuormien analysointi tehdään FEM-ohjelmilla ajasta riippuvaisena tarkasteluna tai lineaarisen kimmoteorian avulla tehollisia kimmokertoimia käyttäen, kuten luvuissa 11.2.2 ja 11.3.2 on esitetty.

12 Jännitetyt rakenteet

Jännitettyjen siltojen korjaussuunnittelussa sovelletaan edellisissä luvuissa esitettyjä periaatteita. Jännitetyn sillan korjaussuunnittelussa tulee tämän lisäksi ottaa huomioon Silko-ohjeissa /5/ luvuissa 1.201–1.251 esitetyt asiat ja seuraavat erityispiirteet:

1. Kun jännitetty silta vaurioituu ja/tai vanha sillan poikkileikkaus pienennetään betonia poistamalla, siirtyy jännevoima ainakin tilapäisesti pienemmän poikkileikkauksen vastaanotettavaksi ja jännitystila muuttuu tällöin pysyvästi.
2. Betonin jännitystila muuttuu myös siksi, kun poikkileikkauksen pienenemisen takia pysyvä kuorma kevenee.
3. Betonin jännitystilan muuttuessa jännekerästen jo pysähtynyt jännevoiman pieneneminen alkaa uudelleen. Jännehäviöiden lisääntymistä ei tarvitse huomioida, mikäli betonia poistetaan vain kohtuullisesti ja silta on yli 5–10 vuoden ikäinen. Betonin poistamista voidaan pitää kohtuullisena silloin kun betonin pysyvä jännitystilan muutos jänteiden kohdalla on enintään 10 %.
4. Uusi betoni saa hydrataatiolämmön jäähtymisen ja kutistuman takia melko suuria vetorasituksia, mikä aiheuttaa vanhaan poikkileikkaukseen ylimääräistä puristusta. Kun uusittavan betonin poikkipinta-ala on merkittävä vanhan siltaosan poikkipinta-alaan nähden, vanhan poikkileikkauksen jännitysten ja uuden betonin halkeilun rajoittaminen on mitoituksella otettava huomioon riittävällä betoniterästankojen määrällä. Tarvittaessa on siltaan sijoitettava lisää jännekeräksiä.
5. Poikkileikkauksen pieneneminen tilapäisesti korjauksen aikana vähentää poikkileikkauksen taivutusjäykkyyttä ja aiheuttaen samalla pysyviä muodonmuutoksia, jotka viruman takia jatkuvat useita vuosia.
6. Uuden betonin kutistuminen aiheuttaa epäkeskistä vetoa vanhaan poikkileikkaukseen, mikä osaltaan myös lisää rakenteen muodonmuutoksia.
7. Betonirakenteiden purkaminen jänteiden ja erityisesti jänneankkureiden kohdilta vaatii jänteistä aiheutuvien halkaisuvoimien uudelleen tarkastelua ja korjaaviin toimenpiteisiin ryhtymistä ennen purkutöiden aloittamista. Korjaussuunnitelman mitoituslaskelmissa tulee tarkistaa etteivät paikalliset puristusvoimat ja halkaisuvoimat ylitä rakenteen lujuutta. Korjaussuunnitelmapiirustuksissa tulee esittää tarvittavat vahvistukset ja halkeiluraidoituksen lisäykset samoin kuin minimireunaetäisyydet jänteistä purkurajoihin.

13 Korjaussuunnitelmassa esitettävät asiat

Sillan korjaussuunnitelma tulee laatia tämän ohjeen ja Liikenneviraston ohjeiden Siltojen suunnitelmat /32/ ja Siltojen rakennelaskelmat /33/ mukaisesti. Korjaussuunnitelman tulee sisältää seuraavat asiat.

Laskelmat:

- Luettelo suurista valukorjauksista.
- Erittely eri työvaiheista ja työvaiheiden rakennemalleista.
- Rakenneosien ikä korjausta tehtäessä ja kuormituksen alkaessa.
- Päätelmät eri rakenneosien lujuusluokasta ja lujuudesta eri työvaiheissa.
- Vähennykset rakenneosien poikkileikkausarvoista.
- Tarkasteluajankohdat ja kuormat, joita eri tarkasteluajankohtina tutkitaan
- Tilapäisille tuille tulevat kuormat.

Yleispiirustus:

- Numeroitu luettelo sillan eri rakenneosiin ja siltapaikkaan kohdistuvista korjaustoimenpiteistä.
- Numeroitua luetteloa vastaavat selventävät merkinnät taso-, sivu- ja poikkileikkauskuvissa.
- Purkutöiden eri työvaiheet pääpiirteittäin tai yksityiskohtaisesti, mikäli suunnitelmaan ei sisälly työvaihepiirustusta.
- Liikennöitävät alueet eri työvaiheissa ja työvaiheiden aikainen sallittu liikennekuorma.

Työvaihepiirustus:

- Työvaiheet ja työalueet
- Korjaustöiden rajaus
- Työvaiheiden aikainen tuenta
- Purkutöiden rajat, mikäli nämä asiat eivät ole esitetty yksityiskohtaisemmin rakennepiirustuksissa.

Rakennepiirustus:

- Poistettavan betonin raja ja tarvittavat tuenta- ja varotoimenpiteet purkamisen yhteydessä
- Materiaalilujuudet eri osissa
- Rakenteen lämmittäminen ja suojaaminen valujen yhteydessä.

Laadun varmistus:

- Siltakohtaiset laatuvaatimukset luettelona (SILAVA tai oma pohja)
- Korjaussuunnitelmaselostus tai työselostus, missä esitetään laatumittaukset ja laadunvarmistustoimenpiteet työtä aloitettaessa, työn aikana ja työn päätyttyä.

Muuta:

- Riskien inventointi ja turvallisuusasiakirja
- Ympäristön suojele
- Sillan hoito-ohje
- Luettelo kohteen vaatimista takuuajan päättymisen ajankohtana tehtävistä tarkastuksista ja laatumittauksista normaalien tarkastusten ja mittausten lisäksi.
- Muut seurattavat asiat.

Viiteluettelo

- /1/ Siltojen ylläpito. Toimintalinjat. Helsinki. Tiehallinto 2009.
ISBN 978-952-221-164-4. TIEH 1000217-09.
- /2/ Sillantarkastusohje. Helsinki. Tiehallinto 2004. ISBN 951-803-195-9.
TIEH 2000008-04.
- /3/ Sillantarkastuskäsikirja. Helsinki. Tiehallinto 2006.
ISBN 951-803-704-3. TIEH 2000020-06.
- /4/ Siltarekisteri 3.5. Inventointiohje ja käyttäjän opas.
(Ohjelmiston sähköinen opastetoiminto). TIEH 2200024-v-08.
- /5/ Siltojen korjausohjeet – SILKO. TIEH 2230095–98.
- /6/ Betonirakenteiden liimausvahventamisohjeet. Helsinki.
Tiehallinto 2007.
ISBN 951-803-835-4. TIEH 2000013-07.
- /7/ Siltapilareiden kuoret. Helsinki. Tiehallinto 2003.
ISBN 951-803-057-X. TIEH 2000007-v-03.
- /8/ Siltojen reunapalkkien kuoret. Helsinki. Tiehallinto 2005.
ISBN 951-803-426-5. TIEH 2000016-v-05.
- /9/ Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset. Liikenneviraston ohjeita 1/2010.
31.3.2010. ISBN 978-952-255-005-7.
- /10/ Siltojen sukellustarkastusohje. Tiehallinnon verkkojulkaisu.
ISBN 978-952-221-167-5. TIEH 2000025-v-09.
- /11/ Siltapaikkaluokitusohje. Tiehallinnon verkkojulkaisu.
ISBN 978-952-221-186-6. TIEH 2100059-v-09.
- /12/ B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Betonirakenteet, ohjeet
2005. Helsinki. Ympäristöministeriö 2004.
- /13/ Siltojen kunto, kantavuus ja käyttöikä. VTT tiedotteita 1868.
Espoo 1997.
- /14/ Rappeutumisen vaikutus betonisillan kantokykyyn. VTT:n tutkimus-
selostus nro RTE758/05.
- /15/ Raudoitteiden korroosioasteen määrittäminen. Helsinki. Tiehallinto 2003.
ISBN 951-803-137-1. TIEH 3200835.
- /16/ Betonipinnan poistamisohjeita siltojen korjauksissa. Helsinki.
Tiehallinto Asiantuntijapalvelut 2005.

- /17/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1991-2. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 2: siltojen liikennekuormat.
- /18/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1991-1-4. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4: tuulikuormat.
- /19/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1991-1-5. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-5: yleiset kuormat. Lämpötilakuormat.
- /20/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1991-1-6. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat.
- /21/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1991-1-7. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat.
- /22/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1990/A1, Rakenteiden suunnittelu-
perusteet. Muutos A1: Liite A2: Soveltaminen siltoihin.
- /23/ Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet
- NCCI 1, Liikenneviraston ohjeita 23/2010, ISBN 978-952-255-578-6.
- /24/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi 2. Betoniraken-
teiden suunnittelu. Osa 1-1 Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat
säännöt ja sen kansallinen liite.
- /25/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1992-2+AC. Eurokoodi 2. Betoniraken-
teiden suunnittelu. Betonisillat. Mitoittaminen ja yksityiskohtainen
suunnittelu ja sen kansallinen liite.
- /26/ Eurokoodin soveltamisohje, Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2,
Liikenneviraston ohjeita 24/2010, ISBN 978-952-255-579-3.
- /27/ Eurooppalainen standardi SFS-EN1504. Betonirakenteiden suojaus-
ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät, määritelmät, vaatimukset,
laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi.
- /28/ Repair of Concrete Structures to EN 1504. Dansk Standard
(Danish Standards Association).
- /29/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1997-1, Geotekninen suunnittelu.
Osa 1:Yleiset säännöt.
- /30/ Eurokoodin standardi SFS-EN 1997-2, Geotekninen suunnittelu.
Osa 2:Pohjatutkimus ja koestus.
- /31/ Eurokoodin soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu - NCCI 7,
10.6.2011, Liikenneviraston ohjeita 12/2011, ISBN 978-952-255-692-9.
- /32/ Siltojen suunnitelmat, TIEL 2172067-2000
- /33/ Siltojen rakennelaskelmat, TIEL 2710002, v. 2000

/34/ Eurokoodin kansallinen liite NA-SFS-EN 1991-2, Siltojen liikennekuormat.

/35/ Eurokoodin kansallinen liite NA-SFS-EN 1991-4, Tuulikuormat (sillat).

/36/ Eurokoodin kansallinen liite NA-SFS-EN 1991-5, Lämpötilakuormat (sillat).

/37/ Eurokoodin kansallinen liite NA-SFS-EN 1991-6, Toteuttamisen aikaiset kuormat (sillat).

/38/ Eurokoodin kansallinen liite NA-SFS-EN 1991-7, Onnettomuuskuormat (sillat).

/39/ Eurokoodin kansallinen liite NA-SFS-EN 1990:2002/A1, Rakenteiden suunnitteluperusteet. Muutos A1: Liite A2: Soveltaminen siltoihin.

/40/ Betonin viruman, kutistuman ja lämpötilaerojen vaikutus siltoja levennettäessä, insinööriyö 2005, Tiia Paronen, Kymenlaakson AMK.

/41/ Sillan vaurioiden ja korjaamisen vaikutus kantavuuteen: pilari ja laatta, diplomityö 2009, Olli-Pekka Tynkkynen, Tampereen teknillinen yliopisto.

/42/ Sillan vaurioiden ja korjaamisen vaikutus kantavuuteen: sillan leventäminen, diplomityö 2009, Eetu Väisänen, Tampereen teknillinen yliopisto.

/43/ Repair of Prestressed Concrete Bridges, diplomityö 2010, Daniella Odendaal, Lundin yliopisto.

Betonipinnan poistamisohjeita siltojen korjauksissa

1 ALKUSANAT

Tässä liitteessä esitetyt betonipinnan poistamisohjeita voidaan käyttää Liikenneviraston siltojen korjaustöissä. Tämä liite on sama kuin otsikon mukainen Tiehallinnon julkaisu 30.9.2005.

Tämän julkaisun on laatinut ja eri tahojen kommenttien perusteella viimeisteltyt erikoistutkija Pertti Pitkänen Valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta (VTT).

2 BETONIPINNAN POISTAMISOHJEITA SILTOJEN KORJAUKSISSA

Oleellisimmat rakenneosat, joita ohje koskee, ovat

1. Reunapalkit.
2. Siltojen päällysrakenteen yläpinnat (kansilaatta) vesieristyksen uusimistyön yhteydessä.
3. Maatuet, tukimuurit ja seinämäiset välituet, joihin kohdistuu suolaroiskerasitus.

Päällyste ja eristekerros puretaan niin, ettei kantava betonirakenne vaurioitu. Purkumenetelmää valittaessa on otettava huomioon rakenteen todellinen kantokyky (Esimerkiksi päällysteen purkamisessa käytettävien koneiden painosta rakenteeseen ei saa tulla halkeamia tai muita vaurioita).

Päällysteen ja vesieristeen alla sillan päällysrakenteen (siltalaatan) yläpinnan betonipeitteen poistossa käytetään SILKO 1.203 Purkamis- ja esikäsitteilymenetelmät korjausohjeen mukaisina työmenetelminä vesipiikkausta, koneellista piikkausta tai tasojyrsintää.

Jos betonipeitettä poistetaan enemmän kuin tässä ohjeessa on esitetty, rakenne suunnittelija tekee kantavuuslaskelmat ja yhdessä urakoitsijan kanssa yksityiskohtaisen korjaussuunnitelman, jotka urakoitsija hyväksyy ja toimittaa tilaajalle hyväksyttäväksi.

Betonipeitettä voidaan purkaa siltarakenteen pinnasta pelkästään urakoitsijan tekemän ja hyväksymän ja tilaajalle tiedoksi toimitetun korjaussuunnitelman mukaan seuraavasti:

A Jännittämättömät teräsbetonirakenteet

1. Massiivisen laattasillan (kansilaatan) betonipeite voidaan purkaa uusimista varten raudoitteen ulkopintaan tai raudoitteen alapuolelle asti korkeintaan 1 m² suuruisilla alueilla, mikäli ko. purkualueiden välissä on ehjää betonia vähintään 2,5 m ja mikäli alueiden pituus sillan pituussuunnassa on alle 2,5 m ja leveys 1/3 sillan leveydestä. Kentän keskimmäisen kolmanneksen alueella betonipeite voidaan purkaa kuitenkin raudoituksen ulkopintaan asti alueella, jonka leveys on 1/3 sillan leveydestä.

2. Maatukimuurien etuseinässä, seinämäisissä välituissa ja vastaavissa rakenneosissa betonipeite voidaan poistaa raudoitteiden alapuolelle asti korkeintaan 2 m² suuruisilta alueilta, mikäli korjattavien alueiden välissä on ehjää betonia vähintään 2,5 m.
3. Sillan reunapalkki voidaan korjata tai uusia kokonaan, mikäli korjattu rakenne on poikkileikkaukseltaan ja sijainniltaan sama kuin vanha. Jos sillan reunalla on ohut (reuna) laattaaloke, liikenteen pääsy ulokkeelle tulee estää korjaustyön ajaksi.
4. Metallinen reunasuoja (jalkakäytävän reuna) voidaan korjata tai poistaa ja uusia.

B Jännitetyt betonirakenteet seuraavissa tapauksissa

1. Betonipeite voidaan poistaa ja uusia jännittämättömän raudoituksen päältä raudoitteiden ulkopintaan asti edellyttäen, että työn aikainen liikenne rajoitetaan kokonaispainoltaan korkeintaan 40 kN painoisiin ajoneuvoihin. Aluerajaukset kuten kohdan A kohdassa 1.
2. Sillan reunapalkki voidaan korjata tai uusia kokonaan, mikäli korjattu rakenne on poikkileikkaukseltaan ja sijainniltaan sama kuin vanha. Lisäksi edellytetään, ettei mitään osaa mahdollisesta laattaalokkeesta poisteta, silta ei ole poikkisuuntaan jännitetty eikä uloketta kuormiteta työn aikana.

Yleissääntö on, että jännitettyä betonirakennetta korjattaessa aina laaditaan yksityiskohtainen purkamis- ja korjaustyösuunnitelma.

C Liittorakenteet

Sillan reunapalkki voidaan korjata tai uusia kokonaan, mikäli korjattu rakenne on poikkileikkaukseltaan ja sijainniltaan sama kuin vanha edellyttäen, ettei mitään osaa mahdollisesta laattaalokkeesta poisteta, kansilaatta ei ole poikkisuuntaan jännitetty eikä uloketta kuormiteta työn aikana.

Huom !

SILKO 1.203 Purkamis- ja esikäsitteilymenetelmät (TIEH 2230095-1.203) ohjeen kohdan 1.5 Purkutyösuunnitelma mukaan sillankorjauskohteen purkamistyösuunnitelma laaditaan aina, jos

- raudoitusta joudutaan paljastamaan niin paljon, että taivutetun rakenteen tai pilarin taivutusmurto tai nurjahdus on mahdollinen,
- jokin rakenneosa puretaan kokonaan,
- korjataan esijännitettyä rakennetta tai
- betonia puretaan niin paljon, että jätteiden käsittely vaatii erikoistoimia.

Uusittavien reunapalkkien raudoitus

Tämän liitteen mukaan voidaan määrittää uusittavien reunapalkkien raudoitus, kun uuden valun leveys on sillan poikkisuunnassa alle 500 mm ja muotit ripustetaan vanhasta rakenteesta. Tarkemmilla laskelmilla voidaan myös perustella muunlaisen raudoituksen käyttöä. SILKO-ohjeessa 2.211 on esitetty rakentamisen vaatimukset reunapalkin uusimiselle. SILKO-ohjeen 2.211 kuvan 13 mukainen esimerkkiraudoitus ei ole riittävä.

Uusittavien reunapalkkien on täytettävä eurokoodien soveltamisohjeen NCCI 2 /26/ liitteen 4 mukaiset vähimmäismitat ja raudoitevaatimukset. Uuden sillan reunapalkin rasiusten lisäksi on uusittavassa reunapalkissa huomioitava uuden valun kutistumasta ja valulämpötilasta aiheutuvat rasiukset. Uusittavan reunapalkki on suunniteltava niin, että se on momenttijäykkä sillan poikittaissuuntaan.

Pituussuuntainen raudoitus

Uusittavassa reunapalkissa on sillan pituussuuntaisen raudoituksen pinta-alan oltava vähintään 1,4 % valettavan uuden betonin koko pinta-alasta. Valusauman viereen sauman korkeudelle 200 mm leveydelle sijoitetaan pituussuuntaista raudoitusta vähintään 2 %

→

$$A_{s,sauma} \geq 4 \text{ mm} * h_{sauma} \quad \{1\}$$

missä

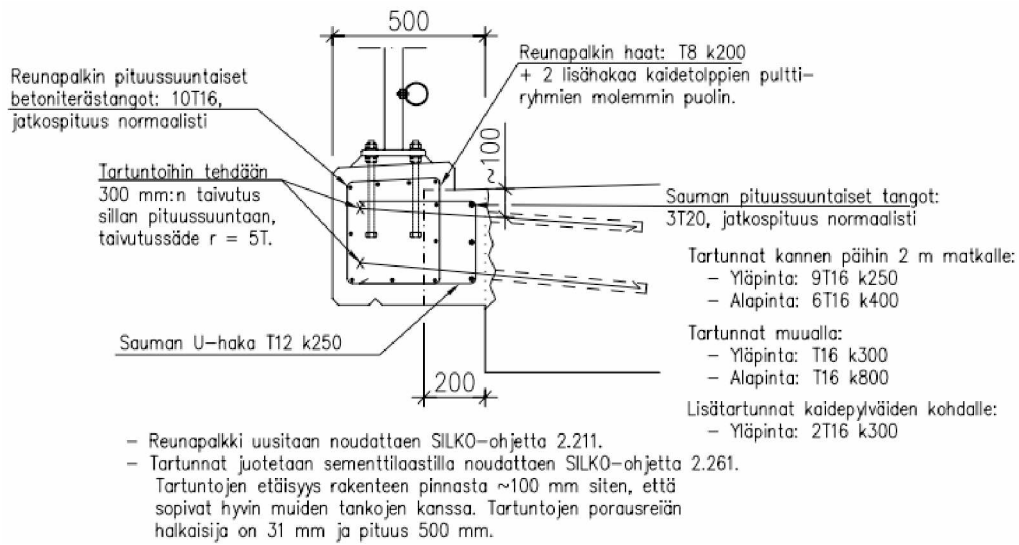
$$A_{s,sauma} \quad \text{on sauman vieressä vaadittava raudoitemäärä [mm}^2\text{]}$$
$$h_{sauma} \quad \text{on sauman korkeus [mm]}$$

Ankkurointiraudoitus

Uusittavan reunapalkin ankkurointiraudoituksen on oltava vähintään 1300 mm²/m sillan päädyistä 2 metrin matkalla sillan pituussuuntaan ja 900 mm²/m muualla. Ankkuriraudoituksesta on oltava vähintään 650 mm²/m sauman yläreunassa sillan koko pituuden matkalla, millä varmistetaan rakenteen törmäyskestävyys. Ankkurointiraudoitusten reikien on sijaittava yli 100 mm päässä vanhan rakenteen pinnoista, siten etteivät vanhat betoniterästangot katkea reikää porattaessa.

Vanhoista poikittaissuuntaisista betoniterästangoista voidaan ottaa huomioon korkeintaan puolet ankkurointiraudoitusta määritettäessä, kun korjaussuunnitelmassa on määrätty purettaessa säilyttämään vanhat poikittaiset betoniterästangot. Aina on kuitenkin ankkurointiraudoitusta oltava vähintään T16 k1000 koko sillan pituudella.

Kaidepylvään kohdalle laitetaan aina vähintään 2 ylimääräistä ankkurointitankoa T16 ja 2 ylimääräistä hakaa T8.



Kuva 1. Esimerkki uusittavan reunapalkin raudoituksesta.

