

TUTKIMUSSELOSTUS B-7145

RUOSTUMATTOMAN RAUDOITUKSEN KÄYTTÖ SILTOJEN BETONIRAKENTEISSA



CONTESTA

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Jakelu:

Liikennevirasto

Ossi Räsänen

Tieosasto, sillanrakentamisyksikkö

PL 33

00521 Helsinki

Tarkastaja, pvm

Hyväksyjä, pvm

RUOSTUMATTOMAN RAUDOITUKSEN KÄYTTÖ SILTOJEN BETONIRAKENTEISSA

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

SISÄLLYSLUETTELO		Sivu
	Tiivistelmä	4
	Abstract	5
1	JOHDANTO	6
2	RUOSTUMATTOMAT BETONITERÄSTANGOT	
2.1	Ruostumattomien terästen materiaalit	7
2.2	Ruostumattomien betoniterästankojen ominaisuudet ja vertailu tavanomaiseen raudoitukseen	11
2.3	Ruostumattomien betoniterästankojen käyttö betonirakenteissa	16
3	RUOSTUMATTOMIEN BETONITERÄSTANKOJEN KÄYTTÖKOHTEET	
3.1	Ruostumattomien betoniterästankojen käyttö silloissa	18
3.2	Ruostumattomien betoniterästankojen käyttö muissa infrakohteissa	21
3.3	Ruostumattomien betoniterästankojen käyttö talonrakentamissa	22
4	SUUNNITTELUOHJEET	
4.1	Suunnitteluperusteet	22
4.2	Rakenteelliset ohjeet	26
5	ESIMERKKISILTA	
5.1	Ruostumattomien betoniterästankojen käyttömahdollisuudet esimerkkisillassa	27
5.2	Elinkaarikustannukset	28
5.2.1	Esimerkkejä elinkaarikustannuslaskelmista	28
5.2.2	Esimerkkisillan elinkaarikustannukset	30
5.3	Vertailulaskelmat	33

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

6	YHTEENVETO	34
	LÄHDELUETTELO	34
	LIITTEET	
	Liite 1. Esimerkkisillan raudoituspiirustus	

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ruostumattomien terästankojen mahdollisuuksia korvata siltojen perinteelliset raudoitukset. Ulkomailla, kuten Englannissa, Kanadassa, USA:ssa ja Norjassa, nämä tuotteet ovat olleet silloissa jo varsin laajassakin käytössä. Suomessa näiden tuotteiden käytön tutkimus ja käyttö silloissa on ollut vielä vähäistä. Tähän on ollut syynä myös suunnitteluohjeen puuttuminen.

Ruostumattomien terästankojen käyttö silloissa perustuu niiden erikoisominaisuuksiin, kuten hyvään korroosionkestävyyteen ja sen avulla mahdollisuuteen saavuttaa edulliset elinkaarikustannukset.

Toisaalta ruostumattomien terästankojen korkea hinta rajoittaa niiden laajaa käyttöä. Korkeaa materiaalikustannusta korvaavat mm. hyvän korroosionkestävyyden ansiosta alhaiset ylläpito- ja hoitokustannukset, mahdollisuus rakenteen pienempiin dimensioihin ja keventyneeseen painoon. Näin ruostumattomien terästankojen käyttö perinteellisten terästankojen korvaajana silloissa voi olla taloudellisesti edullista. Hiiliteräksen korvaaminen on perusteltua suolatulla tiellä olevan sillan eniten korjauskustannuksia vaativissa rakenteissa kuten reunapalkeissa ja välituissa. Ruostumattoman raudoituksen käyttö on perusteltua myös maatuen otsa- ja etumuurissa, jotka voivat altistua kloridikorroosiorasitukselle, jos liikuntasaumalaite vuotaa.

Tässä tutkimuksessa on laadittu myös suunnitteluperusteet ruostumattomien terästankojen käytölle silloissa. Lisäksi on esitetty rakenteelliset ohjeet ja vertailulaskelmia ruostumattomien terästankojen käytöstä sillan raudoituksessa.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

ABSTRACT

In this research possibilities of stainless steel bars to compensate traditional reinforcements of bridges are studied.

Abroad like in England, Canada, USA and Norway, these products have been already quite widely used in bridges. In Finland research of use and utilization in bridges of these products has been still minor. Reason for this has been also lack of special structural design instructions.

Use of stainless steel bars in bridges is based on their special properties like good corrosion resistance and with help of it on possibility to reach advantageous life cycle costs.

On the other hand, high price of stainless steel bars limits their wider utilization. High material costs can be compensated due to good corrosion resistance, low maintenance and repair costs, possibility to smaller dimensions of construction and lighter weight. So can the use of stainless steel bars as compensation of traditional reinforcement, be economical. Compensation of traditional steel bars has good arguments in constructions of bridges, which are on a salted road and which demand most repair costs like edge beams and support columns. Use of stainless steel bars has good arguments also in a forewall, of an earth support, which is exposed to chloride corrosion, if a expansion joint leaks.

In this research has worked out also design bases for use of stainless steel bars in bridges. In addition to this has presented construction instructions and comparison calculations for the use of stainless steel bars in reinforcement of bridges.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

1 JOHDANTO

Raudoitteiden korroosio siltojen betonirakenteissa aiheuttaa mittavia korjauskustannuksia vuosittain. Käyttämällä ruostumatonta terästä siltojen betonirakenteiden raudoitteissa, joko kaikissa raudoitteissa tai vain korroosion kannalta kriittisimmissä rakenteissa, on tulevaisuudessa mahdollista saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä siltojen korjauksissa. Ruostumaton teräs on kalliimpaa kuin tavallinen raudoiteteräs, mutta sen tuomat edut voivat tuoda säästöjä, kun otetaan huomioon sillan koko elinkaari. Tästä on saatu hyviä kokemuksia mm. Englannissa.

Siltojen betonirakenteiden raudoitteiden korroosiorasitusta ja erityisesti suolarasitusta (maantiesuola ja merivesi) vastaan voidaan käyttää monia eri keinoja ja menetelmiä. Yksi ratkaisu tähän on ruostumattomista terästangoista tehty raudoitus. Ruostumatonta terästä käytetään laajalti teollisuudessa ja rakentamisessa sen hyvien korroosionkestävyysominaisuuksien vuoksi. Sitä on käytetty ulkomailla tavallisten terästankojen sijasta raudoitteissa aggressiivisessä ympäristössä myös silloissa. Suomessakin sitä on käytetty silloissa rajoitetusti pilareiden suojaakuorissa ja vaurioituneiden rakenteiden korjauksissa vuodesta 2003 lähtien.

Usein ruostumattomien terästankojen käytölle on ollut esteenä niiden korkea hinta. Niiden hinta on ollut 3 – 8 kertaa tavallisen teräksen (hiiliteräksen) hinta. Usein raudoituksen hinta rakenteen korroosiolle kriittisillä alueilla on vain pieni osa koko rakenteen kustannuksista (ruostumattoman teräksen käytön lisäkustannus koko rakenteelle noin 5...15 %) ja on erityisen tärkeätä kiinnittää huomiota rakenteen koko elinkaaren kustannuksiin, joissa ovat mukana rakenteen ylläpito- ja hoitokustannukset. Tällöin ruostumattomat terästangot voivat osoittautua kustannustehokkuudeltaan parhaaksi ratkaisuksi.

Ruostumattomia teräksiä on käytetty menestyksellä myös siltojen betonirakenteiden korjauksissa, mutta tässä yhteydessä keskitytään siltojen uudisrakentamiseen ja ruostumattomien terästen käyttöön siinä yhteydessä.

Tämän tutkimusselostuksen kohdat 1, 2, 3, 5.1, 5.2 ja 6 on kirjoittanut Juha Ratvio Contesta Oy:stä ja kohdat 4 ja 5.3 Pertti Kaista Finnmap Consulting Oy:stä. Matti Pajari VTT:ltä on kommentoinut kohtaa 4.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

2 RUOSTUMATTOMAT BETONITERÄSTANGOT

2.1 Ruostumattomien terästen materiaalit

Ruostumaton teräs on määritelmän mukaan yli 10,5 % kromia sisältävä rautaseos. Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa teräksen kiderakenteen perusteella viiteen ryhmään:

- austeniittiset ruostumattomat teräkset
- ferriittiset ruostumattomat teräkset
- austeniittis-ferriittiset (duplex-teräkset) ruostumattomat teräkset
- martensiittiset ruostumattomat teräkset
- erkautuskarkenevat ruostumattomat teräkset.

Ruostumattoman teräksen hyvä korroosionkestävyys perustuu sen sisältämään kromiin.

Kromi reagoi hapen kanssa ja muodostaa teräksen pinnalle suojaavan oksidikalvon. Tämä ns. passiivikalvo on hyvin ohut ja valoa läpäisevä. Teräksen käytössä syntyvät naarmut ja rikkoutumat korjautuvat itsestään hapettavassa ympäristössä. Passiivikalvo on erittäin vastustuskykyinen myös kemiallisille rasituksille. Sen toiminta riippuu teräksen koostumuksesta, sen pinnan käsittelystä ja ympäristön aggressiivisuudesta. Passiivikalvon stabiilius kasvaa teräksen kromipitoisuuden kasvaessa. Kromin lisäksi ruostumattomien terästen tyypillisiä seosaineita ovat nikkeli, molybdeeni ja typpi, jotka parantavat edelleen teräksen korroosionkestävyyttä.

Eniten käytettyjä ruostumattomia teräksiä ovat austeniittiset teräkset. Niiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 16-26 % ja nikkeliipitoisuus välillä 7-26 %. Hiilipitoisuus on enintään 0,15 %, ja muina seosaineina voi olla molybdeeniä sekä pieniä määriä kuparia, titaania ja niobia. Austeniittisten terästen ominaisuuksiin kuuluu hyvä korroosionkestävyys, hyvä muovattavuus, hyvä hitsattavuus, hyvä sitkeys matalissa lämpötiloissa ja hyvä kuumankestävyys.

Tyypillinen ferriittinen teräs sisältää hiiltä enintään 0,12 % ja kromia yli 12 %. Ferriittiset teräkset ovat austeniittisiä teräksiä halvempia, koska niihin ei ole seostettu nikkeliä. Niillä on suhteellisen hyvä korroosionkestävyys hapettavissa olosuhteissa ja vähäinen taipumus jännityskorroosioon. Niiden kylmäsitkeys ei ole niin hyvä kuin austeniittisten terästen.

Austeniittis-ferriittisten terästen (duplex-terästen) kromipitoisuus vaihtelee yleensä välillä 21-28 %, nikkeliipitoisuus välillä 3-9 % ja molybdeenipitoisuus välillä 1,5-3,5 %. LDX-tankojen nikkeliipitoisuus on 1,5 % ja molybdeenipitoisuus 0 %. Hiilipitoisuus on alle 0,10 %. Duplex-teräksellä on paremmat lujuusominaisuudet ja jännityskorroosiokestävyys kuin puhtaasti austeniittisillä teräksillä.

Tyypillinen martensiittinen teräs sisältää kromia 13-18 %, nikkeliä alle 2 % ja hiiltä 0,12-1,2 %. Martensiittiset teräkset ovat erittäin lujia, mutta usein myös kylmähauraita ja huonosti muovattavia. Korroosionkestävyys on keskinkertainen.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Ruostumattomia teräksiä merkitään monin tavoin. Eurooppalaisessa EN-standardien mukaisessa järjestelmässä jokainen tunnus koostuu viidestä numerosta. Ensimmäinen numero 1 ilmaisee, että kyseessä on teräs. Kaksi seuraavaa numeroa ilmaisee teräslajia seuraavasti:

- 40: nikkeliä alle 2,5 %, mutta ei molybdeeniä, niobia eikä titaania
- 41: nikkeliä alle 2,5 % ja molybdeeniä, mutta ei niobia eikä titaania
- 43: nikkeliä vähintään 2,5 %, mutta ei molybdeeniä, niobia eikä titaania
- 44: nikkeliä yli 2,5 % ja molybdeeniä, mutta ei niobia eikä titaania
- 45: merkitsee erikoisoseosaineita.

Kaksi viimeistä numeroa määrittelee tarkan seoksen, esim. 1.4307. Molybdeeniä sisältävää ruostumatonta terästä kutsutaan usein haponkestäväksi teräkseksi. Eurooppalaisessa lyhennystunnusjärjestelmässä tunnus koostuu sarjasta kirjaimia ja numeroita seuraavan esimerkin tapaan:

X 2 Cr Ni 18 11

X merkitsee, että kyseessä on runsasseosteinen teräs

2 ilmaisee hiilipitoisuuden prosentin sadasosina (C-pitoisuus 0,02 %)

Cr merkitsee kromia, ja 18 on pitoisuus prosentteina

Ni merkitsee nikkeliä, ja 11 ilmaisee pitoisuuden prosentteina.

Amerikkalaisessa ASTM:n mukaisessa järjestelmässä määritellään jokainen teräslaji numerolla ja tarvittaessa lisäkirjaimella. Sarjat 200 ja 300 on varattu austeniittisille teräksille, sarja 400 martensiittisille teräksille ja sarja 600 erkautuskarkaistuille teräksille. Lisäkirjaimia ovat mm:

- L, niukkahiilinen
- N, typpi
- Se, seleeni
- Ti, titaani
- C, runsashiilinen
- B, niukempihiilinen kuin C
- A, niukempihiilinen kuin B
- F, helposti työstettävä, jossa riittävä rikki-pitoisuus
- Cb, kolumbium (niobi).

Taulukossa 1 on esitetty tyypillisiä ruostumattomia teräksiä. Yleisimmin rakentamisessa käytettyjä ovat peruslaji 1.4301 ja ns. haponkestävä 1.4404. Nämä ovat austeniittisiä teräksiä, joiden myötölujuutta vastaava 0,2-raja on 230–240 N/mm². Näiden lisäksi rakentamisessa on käytetty teräslajia 1.4318, joka vastaa korroosio-ominaisuuksiltaan peruslajia 1.4301, mutta jonka myötölujuus on korkeampi 350 N/mm².

Peruslajin ja haponkestävän lajin hintaan vaikuttaa voimakkaasti nikkelin ja molybdeenin hinta. Kun lisäainehinnat ovat olleet keskimääräistä korkeammalla, on käytetty jonkin verran myös austeniittis-ferriittistä, ns. lean duplex -terästä 1.4162.

Sen yleiset korroosio-ominaisuudet ovat normaalin ja haponkestävän väliltä, mutta lujuus 450 N/mm² on huomattavasti perusteräksiä korkeampi.

Austeniittisiä teräslajeja on saatavana myös kylmämuokkaamalla lujitetussa tilassa.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Rakentamisessa käytettävä materiaali tilataan tällöin yleensä muokkaustilassa CP, jolloin materiaalin toimittaja takaa myötölujuuden arvon. Yleisimmin käytössä ovat luokat CP350 ja CP500. Nimissä käytetyt numerot ilmaisevat materiaalin myötölujuuden / 2 /.

Suomessa on betonirakenteiden ruostumattomalle teräkselle vielä käytössä kotimaisen standardin SFS 1259 mukainen luokitus ja tunnusmerkintä kylmämuokatulle ruostumattomalle harjatangolle B600KX. Lisätietoja tästä erikoisteräksestä, sen luokituksesta ja sen tunnusmerkinnöistä löytyy esimerkiksi lähteestä / 3 /. Se on kylmämuokkaamalla lujitettu austeniittinen ruostumaton harjatanko. Tämä teräslaji vastaa eurooppalaisen standardin EN 10088-1 mukaista teräslajia 1.4301. Tämäkin kotimainen betoni-terässtandardi päivitetään eurokoodijärjestelmään.

Taulukko 1. Ruostumattomia teräslajeja ja niiden kemiallinen koostumus / 1 /.

Ferriittiset teräkset								
Kansainväliset nimikkeet		Outokumpu nimikkeet	EN kemiallinen koostumus % Minimi arvot EN mukaan					
EN	ASTM	Teräsnimike	Cmax	N	Cr	Ni	Mo	Muut
1.4016	430	4016	0.08	-	16	-	-	-
1.4510	S43035	4510	0.05	-	18	-	-	Ti
Martensiittiset teräkset								
Kansainväliset nimikkeet		Outokumpu nimikkeet	EN kemiallinen koostumus % Minimi arvot EN mukaan					
EN	ASTM	Teräsnimike	Cmax	N	Cr	Ni	Mo	Muut
1.4021	S42010	4021	0.25	-	12	-	-	-
1.4028	420	4028	0.35	-	12	-	-	-
1.4418	-	248SV	0.06	0.02	15	4	0.8	-
Austeniittis-ferriittiset (duplex)-teräkset								
Kansainväliset nimikkeet		Outokumpu nimikkeet	EN kemiallinen koostumus % Minimi arvot EN mukaan					
EN	ASTM	Teräsnimike	Cmax	N	Cr	Ni	Mo	Muut

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

1.4162	S32101	LDX 2101®	0.04	0.20	21	1,35	0.1	4Mn
1.4362	S32304	SAF 2304®	0.03	0.05	22	3.5	0.1	-
1.4462	S32205	2205	0.03	0.10	21	4.5	2.5	-
1.4410	S32750	SAF 2507®	0.03	0.24	25	6	3	-
Austeniittiset teräskset								
Kansainväliset nimikkeet		Outokumpu nimikkeet	EN kemiallinen koostumus % Minimi arvot EN mukaan					
EN	ASTM	Teräsnimike	Cmax	N	Cr	Ni	Mo	Muut
1.4310	301	4310	0.15	-	16	6	-	-
1.4318	301LN	4318	0.03	0.10	16.5	6	-	-
1.4372	201	4372	0.15	0.05	16	3.5	-	5.5Mn
1.4301	304	4301	0.07	-	17.5	8	-	-
1.4307	304L	4307	0.03	-	17.5	8	-	-
1.4311	304LN	4311	0.03	0.12	17.5	8.5	-	-
1.4541	321	4541	0.08	-	17	9	-	Ti
1.4305	303	4305	0.10	-	17	8	-	S
1.4303	305	4303	0.06	-	17	11	-	-
1.4306	304L	4306	0.03	-	18	10	-	-
1.4567	S30430	4567	0.04	-	17	8.5	-	3Cu
1.4401	316	4401	0.07	-	16.5	10	2	-
1.4404	316L	4404	0.03	-	16.5	10	2	-
1.4436	316	4436	0.05	-	16.5	10.5	2.5	-
1.4432	316L	4432	0.03	-	16.5	10.5	2.5	-
1.4406	316LN	4406	0.03	0.12	16.5	10	2	-
1.4429	S31663	4429	0.03	0.12	16.5	11	2.5	-

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

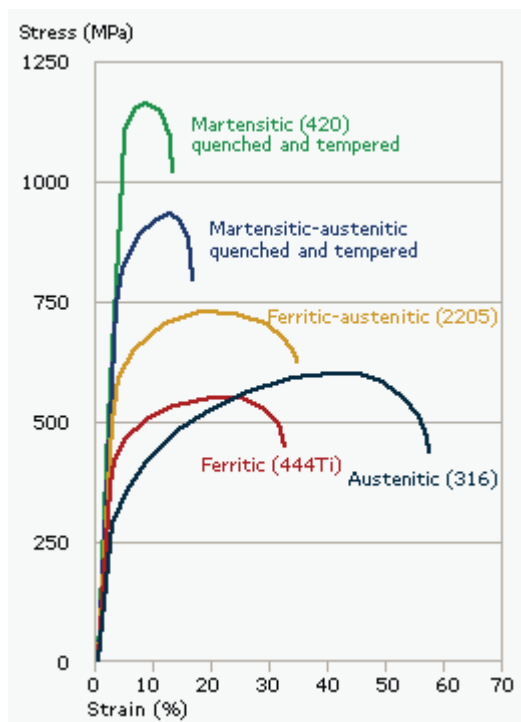
B-7145

1.4571	316Ti	4571	0.08	-	16.5	10.5	2	Ti
1.4435	316L	4435	0.03	-	17	12.5	2.5	-
1.4438	317L	4438	0.03	-	17.5	13	3	-
1.4439	S31726	4439	0.03	0.12	16.5	12.5	4	-
1.4539	N08904	904L	0.02	-	19	24	4	1.2Cu
1.4547	S31254	254 SMO®	0.02	0.18	19.5	17.5	6	0.5Cu
1.4565	S34565	4565	0.03	0.30	24	16	4	5Mn
Austeniittiset kuumalujat ja tulenkestävät teräkset								
Kansainväliset nimikkeet		Outokumpu nimikkeet	EN kemiallinen koostumus % Minimi arvot EN mukaan					
EN	ASTM	Teräsnimike	Cmax	N	Cr	Ni	Mo	Muut
1.4948	304H	4948	0.08	-	17	8	-	-
1.4878	321H	4878	0.10	-	17	9	-	Ti
1.4818	S30415	153MA™	0.08	0.12	18	9	-	1.0Si. Ce
1.4833	309S	4833	0.15	-	22	12	-	-
1.4828	-	4828	0.20	-	19	11	-	1.5Si
1.4835	S30815	253 MA®	0.12	0.12	20	10	-	1.4Si. Ce
1.4845	310S	4845	0.10	-	24	19	-	-
1.4854	S35315	353 MA®	0.08	0.12	24	34	-	1.2Si. Ce

2.2 Ruostumattomien betoniterästätkojen ominaisuudet ja vertailu tavanomaiseen raudoitukseen

Mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet

Kuvassa 1 on esitetty eri tyyppisten ruostumattomien terästen jännitys-venymä-käyriä. On huomattava, että vain austeniittiset ja ferriittis-austeniittiset (duplex) teräkset soveltuvat betonirakenteiden raudotteisiin.



Kuva 1. Ruostumattomien terästen jännitys-venymä-käyrät huoneenlämpötilassa / 4 /.

Toinen menetelmä lujuuden lisäämiseksi on typen lisääminen. Se ei kuitenkaan yksinään riitä, vaan sitä käytetään yhdessä kylmämuokkauksen kanssa.

Ruostumattoman teräksen kimmokerroin E_0 on noin 200 kN/mm^2 , mikä on samaa suuruusluokkaa kuin hiiliteräkselläkin (210 kN/mm^2).

Taulukkoon 2 on kerätty ruostumattomien terästen mekaanisia ominaisuuksia.

Taulukko 2. Eri tyyppisten ruostumattomien terästen mekaanisia ominaisuuksia / 4 /.

	Teräslaji	Dimensiot, mm	Myötölujuus $f_{0,2k}$, N/mm ²	Vetolujuus f_{tk} , N/mm ²	Venymä ϵ_{uk} , %	$(f_t/f_{0,2})_k$	E, kN/mm ²
Kylmämuokattu	1.4301	3 – 16	≥550	≥600	≥5	≥1.10	200
	1.4436	3 – 16	≥550	≥600	≥5	≥1.10	200
	1.4571	3 – 16	≥550	≥600	≥5	≥1.10	200
Kuumamuokattu	1.4301	20 – 40	≥500	≥700	≥5	≥1.10	200
	1.4571	20 – 32	≥500	≥700	≥5	≥1.10	200
	1.4462	20 – 50	≥500	≥700	≥5	≥1.10	200

Ruostumattomien terästen tiheys ja lämpölaajenemiskertoimia on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Ruostumattomien terästen tiheys ja lämpölaajenemiskerroin / 4 /.

Teräslaji	Tiheys, kg/m ³	Lämpölaajenemiskerroin, 10 ⁻⁶ /°C
Hiiliteräs	8000	12
1.4301	7900	16
1.4436	8000	16
1.4462	7800	13

Austenniittisten ja hiiliterästen ero lämpölaajenemiskertoimen osalta ei käytännössä ole aiheuttanut merkittäviä ongelmia betonirakenteissa / 20 /.

Austeniittiset ruostumattomat teräkset eivät yleensä ole magneettisia, mutta kylmävedetyillä tangoilla on magneettisuutta. Duplex-tyyppin tangot ovat magneettisia kuten hiiliteräkset.

Austeniittisen ruostumattoman teräksen lujuus säilyy pitkään hyvin suurissa lämpötiloissa (etu palotilanteessa) ja jopa kasvaa hyvin pienissä lämpötiloissa. Hiiliteräksellä tilanne on päinvastainen.

Väsytyskuormituskestävyyden osalta ruostumaton teräs on samanlainen kuin hiiliteräs normaaliolosuhteissa. Korroosio-olosuhteissa se on parempi kuin hiiliteräs tämän ominaisuuden osalta.

Ruostumattoman teräksen korroosiotyypit ja korroosionkestävyys

Ruostumattoman teräksen korroosionkestävyydestä vastaava passiivikalvo voi rikkoutua joko kokonaan tai osittain ja tuloksena on korroosiota. Betonirakenteissa esiintyvät ruostumattoman teräksen korroosiotyypit ovat:

- yleinen korroosio (tasainen)

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

- pistekorrosio
- metalliparikorrosio (galvaaninen korrosio)
- jännityskorrosio
- rakokorrosio ja
- raerajakorrosio.

Yleistä korrosiota ilmenee, kun ruostumattoman teräksen passiivikalvo rikkoontuu joko osittain tai kokonaan. Tätä korrosiotyyppiä esiintyy ruostumattomilla teräksillä happamassa tai erittäin alkaalisessa ympäristössä. Tämä korrosiotyyppi on tyyppillistä tavallisille teräksille.

Pistekorrosio on paikallisen korroosion muoto ja sitä esiintyy pieninä erillisinä pilkkuina teräksen pinnalla. Tämä korrosiotyyppi esiintyy useimmiten neutraaleissa ja happamissa rakenteissa, missä on myös klorideja. Tällöin kloridi-ionit rikkovat paikallisesti passiivikalvon, erityisesti, jos metallin pinnalla on epäpuhtauksia. Korkeampi kromi-, molybdeeni- ja typpipitoisuus teräksessä parantaa pistekorrosionkestävyyttä.

Metalliparikorrosio (galvaaninen korrosio) on mahdollista, kun jalousasteeltaan erilaiset metallit ovat kosketuksissa toisiinsa. Tällöin epäjalomman metallin korrosio kiihtyy. Korrosionopeus riippuu metallien suhteellisista pinta-aloista. Ruostumattoman ja tavallisen teräksen liitoksessa teräsbetonirakenteissa ei uusimpien tutkimusten mukaan ole merkittävää metalliparikorrosiovaaraa / 4, 5, 6 /, kun ko. teräksissä ei ole merkittävästi korrosiota jo niitä asennettaessa.

Ruostumattoman ja hiiliteräksen välinen korrosioriski eri tapauksissa:

- | | |
|--|-------|
| 1) Molemmat teräkset karbonatisoitumattomassa betonissa | pieni |
| 2) Ruostumaton teräs karbonatisoituneessa ja hiiliteräs karbonatisoitumattomassa betonissa | pieni |
| 3) Ruostumaton teräs karbonatisoitumattomassa ja hiiliteräs karbonatisoituneessa betonissa | pieni |
| 4) Molemmat teräkset karbonatisoituneessa betonissa | suuri |

Tutkimusten mukaan tapauksessa 3) korrosiopari toimii ”väärinpäin” eli karbonatisoituneessa betonissa oleva hiiliteräs pyrkii ruostuttamaan ruostumatonta terästä onnistumatta siinä kuitenkaan.

Jännityskorroosion edellytyksenä on vetojännitys ja tiettyjä ympäristöolosuhteita. Sen riski kasvaa kun vetojännitys ja lämpötila kasvavat. Kloridipitoinen liuos lisää jännityskorroosion riskiä. Ferriittiset ruostumattomat teräkset, jotka sisältävät vähän hiiltä ja tyypeä ja erityisesti niiden ferriittisen mikrorakenteen ansiosta, ovat kestäviä jännityskorroosiota vastaan. Austeniittisissa teräksissä nikkelin lisääminen vähentää jännityskorroosioherkkyyttä. Duplex-terästen jännityskorroosioalttius on vähäisempi kuin austeniittisten terästen.

Rakokorrosio on paikallinen korrosio ja sitä esiintyy samoissa olosuhteissa kuin pistekorrosiotakin eli neutraaleissa ja happamissa kloridipitoisissa rakenteissa (usein

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

vesistörakenteissa). Korroosiohyökkäys alkaa helpommin kapeassa halkeamassa kuin rikkoutumattomalla pinnalla. Kloridipitoinen vesi imeytyy kapillaarisesti kapeaan halkeamaan. Korroosion syynä on tällöin usein liuoksen happipitoisuuserot, joista tulee korroosio pari (happiköyhä alue on anodi ja ympärillä oleva happirikas alue on katodi).

Raerajakorroosiota on austeniittisten ja ferriittisten terästen hitsausten lämpövaikutusvyöhykkeessä. Hitsauksen aikana mm. kromipitoisuudet muuttuvat paikallisesti. Raerajakorroosio ei ole ongelma matalahiilisisissä teräslaaduissa.

Jotta voitaisiin verrata erilaisten ruostumattomien terässeosten eri komponenttien vaikutusta pistekorrosioon, sille on kehitetty tunnusluku (PREN) / 4 /. Se kuvaa ruostumattoman teräslaadun suhteellista kestävyyttä kloridien aiheuttamaa pistekorrosiota vastaan. Tämä tunnusluku lasketaan teräslaadun eri seoskomponenttien avulla. Austeniittiselle teräkselle tämä tunnusluku on:

$$\text{PREN} = \% \text{Kromi} + 3,3 * \% \text{Molybdeeni} + 16 * \% \text{Typpi}$$

Duplex-teräkselle vastaava laskentakaavassa on tyypellä suurempi painoarvo::

$$\text{PREN} = \% \text{Kromi} + 3,3 * \% \text{Molybdeeni} + 30 * \% \text{Typpi}$$

Herkkyyks pistekorrosiolle kasvaa kun PREN arvo pienenee. Alkaalisessa betonissa nämä arvot eivät täysin päde. Molybdeenin merkitys on tällöin pienempi kuin neutraalissa ympäristössä. Esimerkkejä betonirakenteisiin soveltuvista PREN-arvoista on esitetty taulukossa 4.

Betoniterästangon korroosion alkamiselle kloridirasitetussa betonirakenteessa on erityisen merkittävää vesiliukoisten kloridien pitoisuus rakenteessa.

Kun rakenteen alkaalisuus kasvaa, kloridien aiheuttama korroosioherkkyys pienenee. Ruostumattomalla teräksellä (austeniittinen teräs) kriittinen vesiliukoisten kloridien pitoisuus on 10 wt%_{CEM}, kun rakenteen pH on 13,9 ja lämpötila 20 °C tai 40 °C ja 4 wt%_{CEM}, kun pH on 12,75. Jälkimmäinen kloridipitoisuus on noin 10-kertainen verrattuna tavallisen betoniterästangon kriittiseen kloridipitoisuuteen 0,3 – 0,4 wt%_{CEM} ja tätä arvoa voidaan käyttää perusarvona betonirakenteissa, kun arvioidaan betonirakenteen käyttöikä. Austeniittisellä ruostumattomalla raudoitteella on todettu, että säilyvyyden parantuminen (10 – 20 -kertainen / 15, 16 / verrattuna tavalliseen betoniraudoitteeseen) perustui sekä käytettyyn korkeampaan kriittiseen kloridipitoisuuteen, 3 – 4 wt%_{cem}, että alhaiseen korroosionopeuteen / 16 /. Edellä esitetty kriittinen kloridipitoisuus koskee tavanomaista hyvää betonirakennetta. Mm. sementtilaadulla ja seosaineilla sekä betonirakenteen työtekniikalla on siihen vaikutusta. Todettakoon tässä, että maantiesuolan rasittamissa pysäköintitaloissa on betonista Suomessa mitattu suurimmillaan noin 3 wt%_{CEM} kloridipitoisuuksia.

Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelua varten on kehitetty useitakin eri teorioita ja ohjelmistoja (esim. Outokumpu Oy:n, Betoniyhdistyksen ja VTT:n ohjelmistot), jossa voidaan ottaa huomioon myös ruostumattoman teräksen käyttö.

Taulukossa 4 on esitetty muutamien erilaisten ruostumattomien terästen korroosionkestävyysluokitus ja niiden PREN-arvot. Tämä on norjalaisten vuonna 2006 esittämä luokitus / 7 /. Tässä ruostumattomien terästen korroosioluokituksessa on otettava huomioon, että siihen vaikuttavat ruostumattomien terästen valmistusprosessin ja ko.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

terästen käsittelyn eri vaiheet, kuten kylmämuokkaus, lämpökäsittely, hitsaus ja taivutus. Näillä kaikilla voi olla haitallinen vaikutus korroosionkestävyyteen.

Taulukko 4. Ruostumattomien terästen korroosionkestävyysluokitus ja PREN-arvot / 7 /.

Korroosion-kestävyysluokka	Terästyyppi	EN 10088-1	Merkintä	PREN-arvo
Luokka 0	Hiiliteräs	-	-	-
Luokka 1	Austeniittinen (ilman Mo)	1.4301 1.4541	X5CrNi 18-10 X6CrNiTi 18-10	19 17
Luokka 2	Austeniittinen (Mo:n kanssa)	1.4401 1.4429 1.4436 1.4571	X5CrNiMo 17-12-2 X2CrNiMoN 17-13-3 X5CrNiMo 17-12-2 X6CrNiMoTi 17-12-2	25 26 26 25
Luokka 3	Ferriittis-austeniittinen (Duplex)	1.4462	X2CrNiMoN 22-5-3	36

Lean Duplex-tyyppisille teräksille on saatu PREN-arvoksi 24 eli ne sijoittuvat korroosionkestävyysluokkaan 2.

2.3 Ruostumattomien betoniterästankojen käyttö betonirakenteissa

Norjalaisten kokemustietoon perustuen taulukon 4 korroosionkestävyysluokan 0 hiiliterästä tulee käyttää Pohjoismaissa vain sellaisissa merirakenteissa, joissa on alhainen suunnittelukäyttöikä, 10 – 30 vuotta ja lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat kohtalaiset. Samoissa olosuhteissa, kun suunnittelukäyttöikä on 50 – 100 vuotta, tulisi käyttää rakenteen eniten korroosiolle altistetuissa alueissa luokan 1 ruostumattomia teräksiä. Kun suunnittelukäyttöikä on 200 - 300 vuotta samoissa olosuhteissa, tulisi käyttää luokan 2 ruostumattomia teräksiä. Kun rakenteisiin käytetään suolaa jäänestoaineena, tulisi käyttää luokan 2 ruostumattomia teräksiä, jotta saavutetaan kohtuullinen käyttöikä. Sama suositus annetaan merirakenteille, joissa on tavanomaista korkeampi lämpötila ja suhteellinen kosteus ja vaatimus kohtalaisen pitkästä käyttöiästä. Luokan 3 ruostumattomia teräksiä käytetään merirakenteissa, kun vaatimuksena on pitkä käyttöikä ja lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat korkeita / 7 /.

Ruostumattomien terästen materiaalivalinnan helpottamiseksi seuraavassa on vielä suomalaisen tutkimuksen / 13 / mukainen ruostumattomien terästen korroosiokäyttäytymisen ja soveltuvuus erilaisiin olosuhteisiin, taulukko 5.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Taulukko 5. Ruostumattomien terästen korroosiokäyttäytyminen ja soveltuvuus erilaisiin olosuhteisiin / 13 /.

	Itämeren vesi (murtovesi)	Makea vesi	Fouling (kiinnittyvät eliöt, meri- ja makeavesi)	Maantie-suola	Koirien urea
1.4301 (304) 1.4307 (304L) 1.4318 (301LN)	—	++ Cl < 200 (rk ja pk)	+ rk	+ (pk ja rk), jk	++ (pk)
1.4162 (LDX 2101)	[+] (pk ja rk)	[++] (pk ja rk)	[+] rk	[+] (pk ja rk) rk	[++] (pk)
1.4404 (316L) 1.4401 (316)	+ (pk ja rk)	++ Cl < 500 (pk ja rk)	+ rk	++ (pk ja rk)	++ (pk)
1.4462 (Duplex 2205)	++ (pk ja rk)	++	+ (rk)	[++]	++
<p>— = ei soveltu käytettäväksi suojaamattomana</p> <p>+ tai ++ = soveltuu käytettäväksi</p> <p>(pk ja rk) = piste- ja rakokorroosiovaara otettava huomioon erityisesti tiiviyyttä vaativissa rakenteissa tai jos on vaara, että syöpyminen keskittyy rakenteen kantavuuden kannalta epäedullisesti</p> <p>rk = rakokorroosiovaara otettava huomioon rakenteita suunniteltaessa</p> <p>(rk) = kuten rk, mutta vaara pienempi</p> <p>jk = jännityskorroosioriski, jos vetojännityksiä ja CaCl₂ läsnä</p> <p>[] = ei käyttökokemuksia</p> <p>Cl = kloridipitoisuus (mg/l)</p>					

Englantilaisen standardin BS 6744 mukaiset ruostumattoman teräksen tankokoot (halkaisija) ovat 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40 ja 50 mm. Näitä tankokokoja on tarvittaessa saatavissa Suomestakin. Suomessa on lisäksi käytössä teräskoot 9, 11 ja 13 mm. USA:ssa on käytössä näistä poikkeaviakin tankokokoja.

Kuljetus, varastointi ja käsittely

Ruostumattomia teräksiä ei pidä varastoida niin, että ne ovat merkittävästi kosketuksessa hiiliteräkseen. Terästen käsittelyssä (esim. katkaisu ja taivutus) syntyy hiiliteräshiukkasia ja niiden vaikutuksesta ruostumattoman teräksen pinnalla voi alkaa korroosioprosessi.

Ruostumattomien terästen sidontalankana pitää käyttää samaa materiaalia kuin sidottavat tangot ovat.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Ruostumattomien terästen ja hiiliterästen taivutus ja katkaisu pitää tehdä eri työkaluilla. Jos tanko katkaistaan laikalla, josta tankoon syntyy voimakas lämpökäsittely, on teräksen ”sinertymä” poistettava. Muuten tangon korroosiokestävyys huononee.

Ruostumattoman teräksen hitsaus on mahdollista (niiden hitsattavuus on hyvä), mutta ei suositeltavaa työmaalla, sillä jos hitsauskuonaa ei poisteta, alenee korroosion kestävyys.

3 RUOSTUMATTOMIEN BETONITERÄSTANKOJEN KÄYTTÖKOHTEET

3.1 Ruostumattomien betoniterästankojen käyttö silloissa

Viime vuosina ruostumattomia teräksiä on käytetty siltojen uudisrakentamisessa betonirakenteissa ulkomailla monissa eri maissa, mutta ei vielä Suomessa. Suomessa tästä ovat poikkeuksena siltapilarien ja reunapalkkien kuoret. Niissä on ollut mahdollisuus käyttää ruostumattomia teräksiä vuodesta 2003 alkaen ja siltojen betonirakenteiden korjauskohteissa niitä on myös käytetty. Seuraavassa muutamia kuvaesimerkkejä ulkomailta ruostumattomien terästen käytöstä siltojen betonirakenteissa.

Kuvassa 2 on Sheik Zayed – silta Abu Dhabista. Sen tukien alaosa on teräsbetonia, jossa on käytetty ruostumatonta terästä 1.4462 raudoituksen uloimmassa osassa / 7 /.



Kuva 2. Sheik Zayed –silta Abu Dhabista. Silta valmistuu vuonna 2011.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Hong Kongin sillassa on käytetty myös 1.4462-terästä siltapilareiden raudoitusten uloimmassa osassa, kuva 3.



Kuva 3. Stonecutters-silta Hong Kongissa / 7 /.

Englannissa on useissa silloissa käytetty ruostumattomia terästankoja / 12 /. Esimerkiksi Carmarthenshireen rakennettiin jo vuonna 2003 vanhan sillan tilalle uusi yksiaukkoinen maantiesilta Pont Twerch-silta, jossa raudoitukseen käytettiin ruostumattonta terästä sillan korjauskustannusten minimoimiseksi, kuva 4 / 8 /. Samalla voitiin vähentää sillan rakenteiden betonipeite 50 mm:stä 30 mm:iin. Englannissa on käytetty ja käytetään edelleen suolaa maanteiden jäänestoon.



Kuva 4. Pont Twerch – silta Englannissa / 8 /.

Myös USA:ssa on ruostumattomia terästankoja hyödynnetty lukuisissa silloissa / 12 /. Esimerkkinä ruostumattoman teräksen käytöstä USA:sta (lumivyöhyke, jäänsulatusaineet) on kuvan 5 maantiesilta US Route 2.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145



Kuva 5. US Route 2 –maantiesilta käyttäen ruostumatonta terästä raudoiteissa / 10 /
Australiassa rakennetaan Gateway –siltaa Brisbaneen, kuva 6. Se valmistuu vuonna 2011 ja siinä käytetään pioneerikohteena ruostumatonta terästä Duplex LDX 2101 / 11 / . Kysymyksessä on moottoritien toisen ajoradan silta.



Kuva 6. Rakenteilla oleva Gateway-silta Australiassa / 1 /.

Kanadassakin on toteutettu jo useita siltoja käyttäen ruostumattomia terästankoja / 12 / . Kanadassa on vuonna 1996 rakennettu tyypin 316LN ruostumattomista tangoista sillan kansi moottoritien 407 Torontossa, kuva 7.



Kuva 7. Siltakansi Torontossa Kanadassa / 12 /.

Sveitsissä käytettiin tyypin 304 austeniittista ja 2205 duplex ruostumatonta terästä Schaffenhäusenin siltaan vuonna 1995 sillan korroosion kannalta kriittisiin osiin / 12 / . Tavoitteena oli jäänestosuolan aiheuttamien korjausten vähentäminen.

3.2 Ruostumattomien betoniterästankojen käyttö muissa infrakohteissa

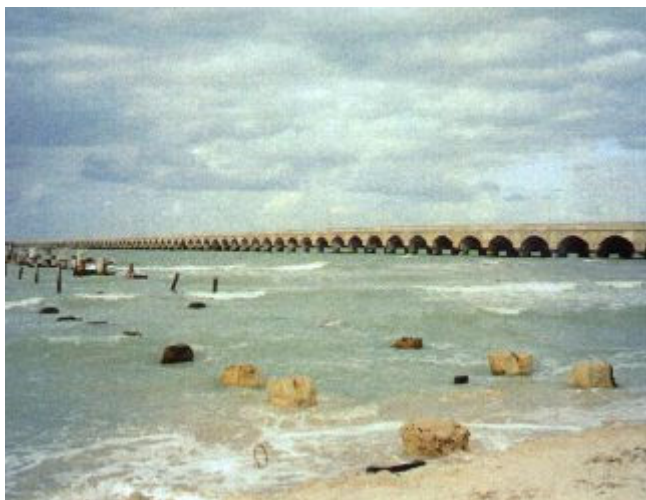
Ruostumatonta terästä on käytetty raudoituksissa myös muiden infrakohteiden kuin siltojen betonirakenteissa. Seuraavassa tästä esimerkki ja esimerkki ruostumattomien terästen käytön tuomasta käyttöiän merkittävästä pidennyksestä.

Kuvassa 8 on Meksikon Progreso-sataman aallonmurtaja (puristettu rakenne), jossa on käytetty pilarien raudoituksissa ruostumatonta terästä (vastaten laatua 1.4301) ja rakenteet ovat ”terveitä” vielä 60:n vuoden jälkeen. Kuvan 8 etuosassa näkyy 30 vuotta nuoremman aallonmurtajan jäännökset. Se oli tehty tavallisesta teräksestä tehdyllä raudoituksella / 19 /.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145



Kuva 8. Aallonmurtaja Meksikosta / 9 /.

3.3 Ruostumattomien betoniterästankojen käyttö talonrakentamisessa

Talonrakentamisessa on ruostumatonta terästä käytetty kantavien rakenteiden raudoituksissa jo 1960-luvulta lähtien betonisandwich-julkisivuelementtien ansaissa, niiden uumassa. Näin varmistettiin tämän rakenteen ulko- ja sisälevyn pitkäaikainen yhteistoiminta korroosioherkässä tilassa. Siinä ko. teräkset ovat suojaamattomina alttiina ilman kosteudelle.

Tämän jälkeen todettiin 1980-luvulla, että samassa rakenteessa on syytä käyttää ruostumatonta terästä myös suhteellisen ohuen ulkolevyn raudoitteena ulkolevyn raudoitteiden korroosiovaurioiden välttämiseksi. Käytetty teräslaatu on ollut B600KX.

Eriyisen korroosioherkissä olosuhteissa on ruostumattomia terästankoja käytetty talonrakentamisessa hyvällä menestyksellä raudoitteina tai niiden osina useissakin erityistapauksissa.

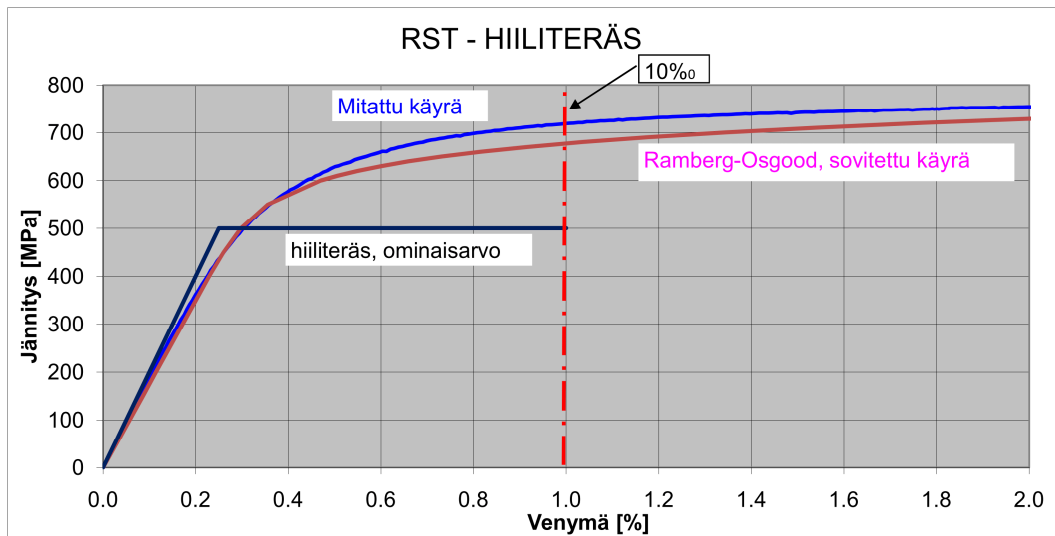
4 SUUNNITTELUOHJEET

4.1 Suunnitteluperusteet

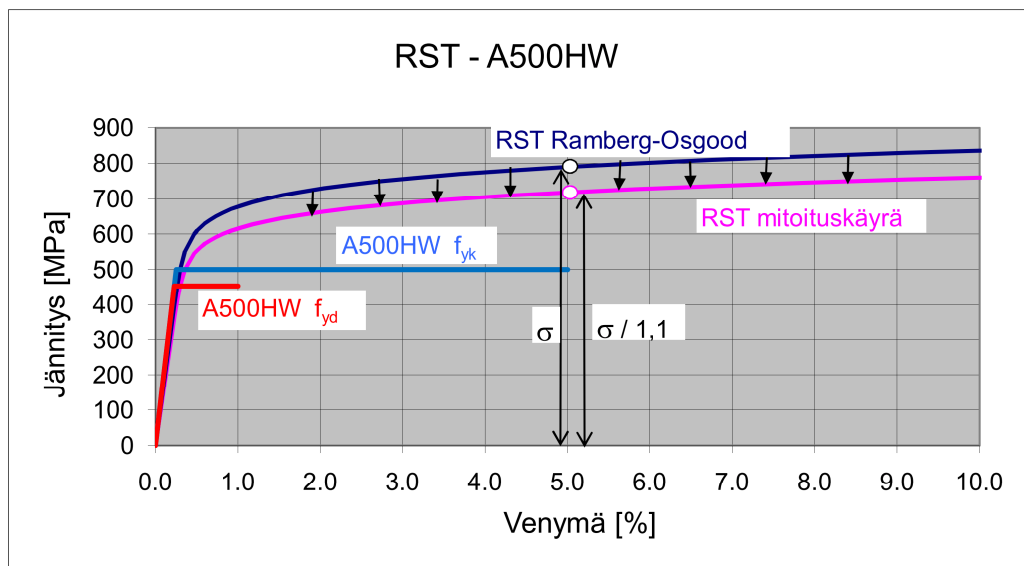
Mitoitus suoritetaan Eurokoodin (SFS-EN-1992-2) ja sen kansallisen liitteen mukaan seuraavassa esitetyin muutoksin.

Ruostumattomien terästen jännitys-venymäkäyrä poikkeaa betonirakenteiden mitoituksessa esiintyvien venymien alueella tavanomaisen raudoituksen käyrästä.

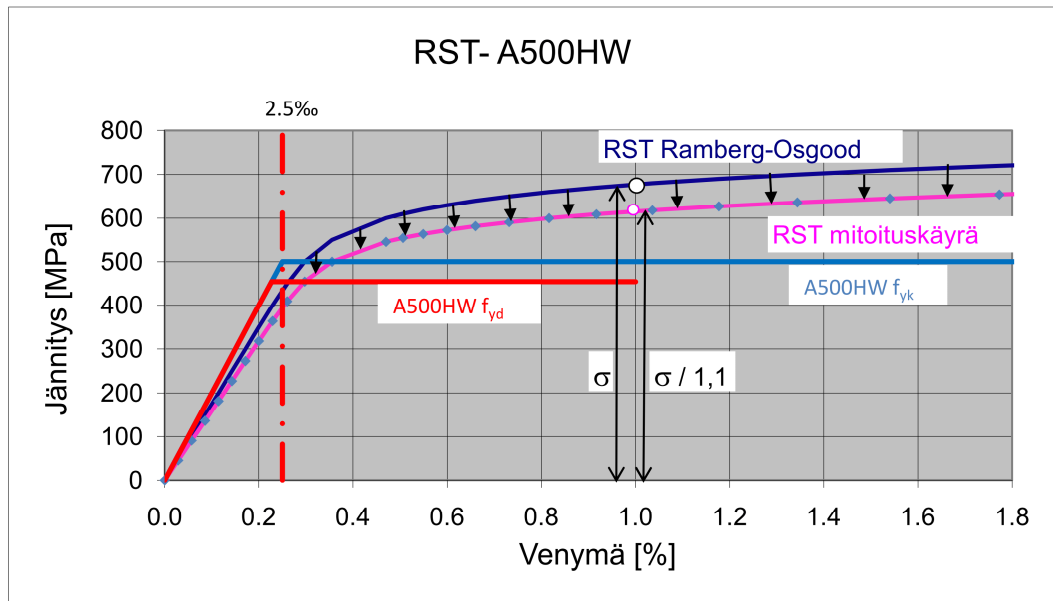
Seuraavassa kuvassa on esitetty ruostumattoman ja hiiliteräksen tyypilliset jännitys-venymäkäyrät välillä 0-20 %. Kuvaan on merkitty myös normaalissa mitoituksessa käytetty venymän yläraja 10 %.



Kuva 9. Tyypilliset jännitysvenymäkäyrät. Ruostumattoman teräksen murtovenymä on tyypillisesti hyvin suuri (>20 %) mitoituksessa käytettäviin arvoihin nähden ja jännitys-venymäkäyrä on nouseva 0.2-rajan ja murron välillä, kuva 10.

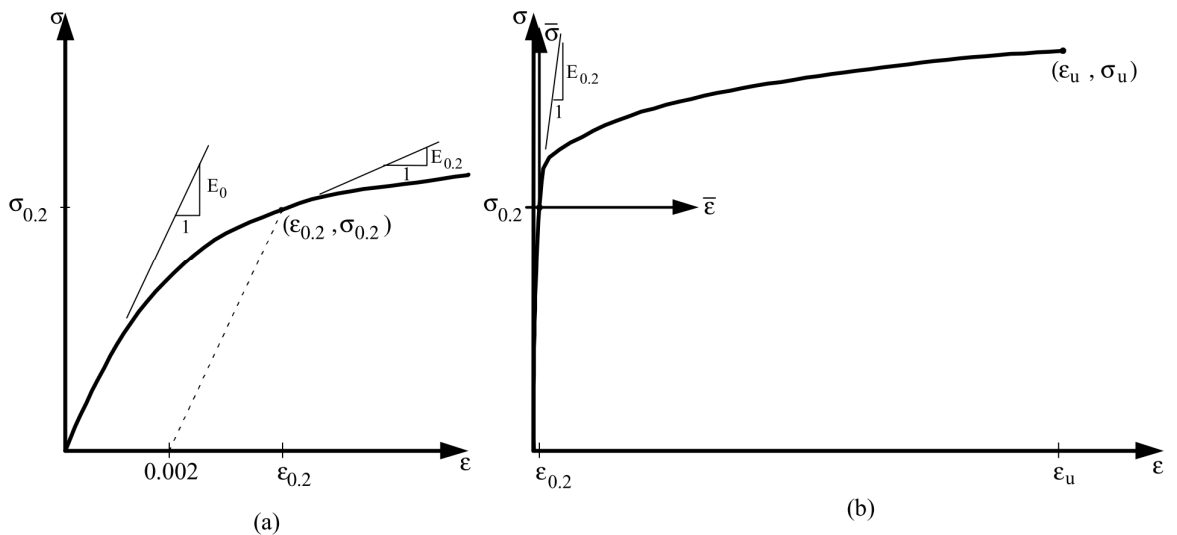


Kuva 10. Murtovenymä. Myös mitoituksessa käytettävällä alueella käyrä on melko laakea ja hiiliteräkselle ominainen lineaarinen osuus voi jäädä selvästi alle 0.2-rajan. Seuraavassa kuvassa on esitetty ruostumattoman ja hiiliteräksen tyypillisiä mitoituksessa käytettäviä jännitys-venymäkäyriä.



Kuva 11. Tyypillisiä mitoituksessa käytettäviä jännitys-venymäkäyriä.

Käyrän laakeasta muodosta ja epälineaarisuudesta johtuen on ruostumattoman teräksen murto- ja käyttötilamitoituksessa on käytettävä joko teräksen valmistajan ilmoittamaa jännitys-venymäkäyrää tai sen puuttuessa seuraavassa esitettyä modifioitua Ramberg-Osgood-käyrää / 14 /.



Kuva 12. Modifioitu Ramberg-Osgood-käyrä.

Ruostumattoman teräksen tyypillinen jännitys-venymäkäyrä mitoituksessa käytettävällä alueella (a) sekä murtovenymään saakka (b) sekä kaavojen merkinnät.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Käyrän analyttinen muoto on:

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{\sigma}{E_0} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} \right)^n & \text{for } \sigma \leq \sigma_{0.2} \\ \frac{\sigma - \sigma_{0.2}}{E_{0.2}} + \varepsilon_u \left(\frac{\sigma - \sigma_{0.2}}{\sigma_u - \sigma_{0.2}} \right)^m + \varepsilon_{0.2} & \text{for } \sigma > \sigma_{0.2} \end{cases}$$

Jossa

$$n = \frac{\ln(20)}{\ln(\sigma_{0.2} / \sigma_{0.01})} \quad m = 1 + 3.5 \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} \quad \varepsilon_u = 1 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u}$$

$$\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} = \frac{0.2 + 185e}{1 - 0.0375(n - 5)} \quad e = \frac{\sigma_{0.2}}{E_0} \quad E_{0.2} = \frac{E_0}{1 + 0.002n/e}$$

Mikäli 0.1 ‰:n jännitystä ei ole ilmoitettu, voidaan se laskea käyttäen teräksen kimmoerotusta E_0 . Murtovenymän arvona ε_u käytetään ensisijaisesti valmistajan ilmoittamaan arvoa.

Teräksen myötölujuutena f_{yk} käytetään 0.2-rajan mukaista jännitystä.

Raudoituksen maksimivenymä ε_{ud} jännityksettömästä tilasta saa olla enintään 10 ‰.

Leikkausraudoituksen mitoituksessa käytettävä maksimiteräsjännitys määritetään jännitys-venymäkäyrältä 2.5 ‰ venymää vastaavana jännityksenä.

Ruostumattoman teräksen ja betonin lämpötilakertoimien välistä eroa ei normaali-rakenteissa (raudoitusmäärä <4%) tarvitse ottaa huomioon. Pienillä raudoituksen betonipeitteillä erolla voi kuitenkin olla vaikutusta raudoituksen tartuntaominaisuuksiin.

Raudoituksen betonipeitteen minimiarvo haoittamattomalle raudoitukselle $c_{\min,b} = 1.5 \emptyset$, jossa \emptyset = tangon nimellishalkaisija tai tankonipun ekvivalentti halkaisija. Haoitetulle raudoitukselle $c_{\min,b} = 1.0 \emptyset$.

Määritettäessä normin mukaista betonipeitteen vähimmäisarvoa c_{\min} , voidaan pienennyksenä ruostumattoman teräksen käytöstä käyttää $\Delta c_{\text{dur,st}} = 5\text{mm}$.

Ruostumattomalle terästangolle käytetään halkeamaleveyksien raja-arvona rasisitusluokan X0, XC1 mukaista arvoa $w_{\text{max}} = 0.3\text{mm}$. Mikäli poikkileikkauksen vedetyllä alueella on muita raudoitteita, tarkistetaan niiden halkeamaleveydet normin mukaisilla raja-arvoilla.

Kertoimet ankkurointi- ja jatkospituuksien laskemiseen on varmistettava teräksen valmistajalta.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Palomitoituksessa voidaan käyttää teräksen valmistajan ilmoittamaa lujuus-lämpötilariippuvuutta.

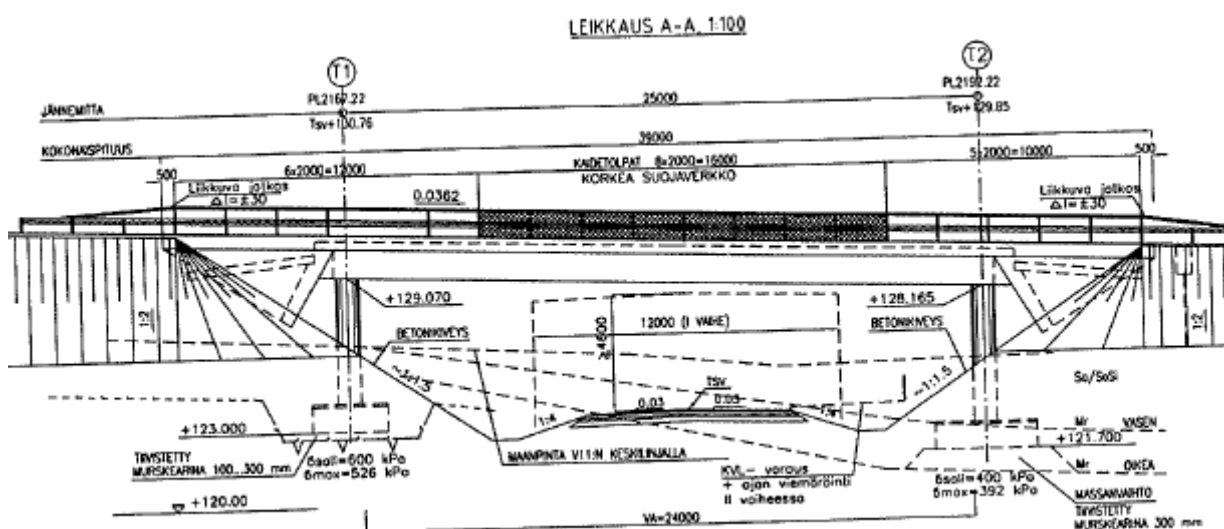
4.2 Rakenteelliset ohjeet

- Ruostumattomien terästen laaduksi suositellaan austeniittisiä tai duplex/lean duplex-teräslaatuja, joiden $f_{0,2} = 300-700$ MPa ja PREN-arvo >20 .
- Ruostumattoman terästangon käyttö ei vaikuta rakennebetonin P-lukuvaatimukseen. Käytettäessä ruostumatonta terästankoa ei terästen vuoksi tarvita betonipinnan suojaustoimenpiteitä, mutta betonin kannalta ne ovat tarpeen edelleenkin suolarasiteuissa rakenteissa kuten reunapalkeissa ja välituissa.
- Ruostumattoman ja tavanomaisen raudoituksen yhteiskäyttö on mahdollista seuraavasti:
 - o Tavanomainen rauditus sijoitetaan syvemmälle rakenteeseen, jolloin sen ympärillä oleva betoni karbonatoituu myöhemmin kuin ruostumattoman teräksen ympärillä oleva betoni.
 - o Korjauskohteissa ruostumaton terästanko sijaitsee koko pituudeltaan karbonatoitumattomassa betonissa.
- Käytettäessä ruostumatonta ja tavanomaista raudoitusta yhdessä, tulisi rakenteelle suorittaa käyttöikämitoitus, jossa selvitetään karbonatoitumisen eteneminen ja korroosioriskit rakenteen elinkaaren aikana.
- Ruostumattomat terästangot on varastoitava erillään tavanomaisesta raudoituksesta. Taivutukseen ja katkaisuun on käytettävä erillisiä ja teräslaadulle sopivia välineitä.
- Ruostumattoman terästangon työmaahitsausta tulee välttää. Mikäli hitsijä joudutaan tekemään työmaalla, on hitsauksesta laadittava erillinen suunnitelma.
- Hitsattaessa tai katkaistaessa tavanomaista terästankoa, on varottava hitsaus- tai hiomaroiskeiden joutumista ruostumattomien tangon pinnalle.
- Ruostumattoman terästangon sitomiseen käytetään ruostumatonta sidelankaa. Käytettävien välikkeiden on oltava betonia tai muovia.
- Magnetismiin perustuvat raudoituksen betonipeitemittarit eivät sovellu austeniittisten ruostumattomien raudoitteiden sijaintien tarkistamiseen. Sähkönjohtavuuteen perustuvat betonipeitemittarit sopivat 100 mm:in syvyyteen asti ruostumattomien raudoitteiden sijainnin tarkistamiseen / 19 /.

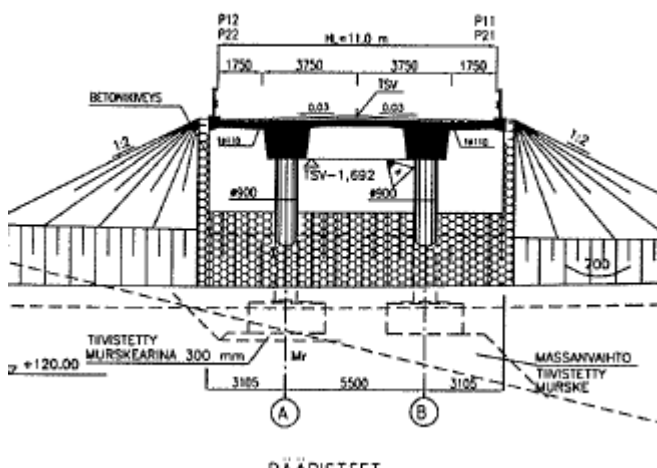
5 ESIMERKKISILTA

5.1 Ruostumattomien betoniterästankojen käyttömahdollisuudet esimerkkisillassa

Ruostumattomia terästankoja voidaan käyttää silloissa korvaamaan perinteinen rauditus joko koko sillassa tai vain korroosion kannalta kriittisimmissä osissa kuten reuna- ja muutenkin rakenteiden uloimpana raudoituksena. Tähän tarkasteluun valittiin esimerkkisillaksi Tampereen läntiselle kehätielle vuonna 2004 rakennettu Leppäkorven risteyssilta, kuvat 13 ja 14. Esimerkkisillan yksi raudituspiirustus on esitetty liitteessä 1.



Kuva 13. Leppäkorven risteyssillan leikkauskuva, leikkaus A-A.



Kuva 14. Leppäkorven risteyssillan leikkauskuva, leikkaus B-B.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Materiaalikustannuksiltaan ruostumattomat terästangot eivät ole kilpailukykyisiä perinteisen teräsraudoituksen kanssa. Seuraavassa kohdassa on tehty laskelmat siitä tilanteesta, kun mukaan otetaan kustannukset rakenteen suunnittelukäyttöiän mukaisen elinkaaren osalta. Samassa yhteydessä on esitetty myös muualla jo aikaisemmin tehtyjä vastaavia elinkaarikustannuslaskelmia, kun sillan betonirakenteissa on käytetty ruostumattomia terästankoja.

5.2 Elinkaarikustannukset

5.2.1 Esimerkkejä elinkaarikustannuslaskelmista

Kun sillan betonirakenteissa käytetään ruostumattomia terästankoja, on niiden käytön yhtenä merkittävänä perusteena pidetty elinkaarikustannuslaskelmia. Seuraavassa näistä muutama ulkomainen esimerkki ennen tässä tutkimuksessa esimerkkisillalle tehtyjä elinkaarikustannuslaskelmia.

Taulukossa 6 on esitetty Schaffhausen-sillan (Sveitsi) elinkaarikustannuslaskelma lyhyesti taulukkomuodossa. Tässä sillassa (valmistunut v. 1994) käytettiin pilareiden raudoituksessa duplex 2205-tankoja ja tyyppin 304 tankoja siltapalkkien uloimmassa kerroksessa.

Taulukko 6. Schaffhausen-sillan elinkaarikustannuslaskelma / 9 /.

Materiaali	Hiiliteräs [€]	Ruostumaton teräs+hiiliteräs [€]
Materiaalikustannus	5800	63300
Rakennuskustannus	11151000	11151000
Yhteensä	11156800	11214300
Korjaukset ja kunnossapito:		
Jaksotus	25 v.	Suunniteltu käyttöikä 80 v. ilman kunnossapitoa
Aika/toimenpide	120 vrk	
Kustannukset/toimenpide	495000	
Liikennejärjestelyjen kustannus/toimenpide	35700	
Pääomakustannus	9 % (reaalikorko 5 %)	
Yhteensä (kunnossapito) nykyarvoon laskettuna	1767700	-100 (rst:n romuarvo)
Koko elinkaarikustannus	12924500	11214200

Taulukon 6 laskelman mukaan ruostumattomien terästankojen käyttö tuo selvästi pienemmät elinkaarikustannukset, noin 13 %.

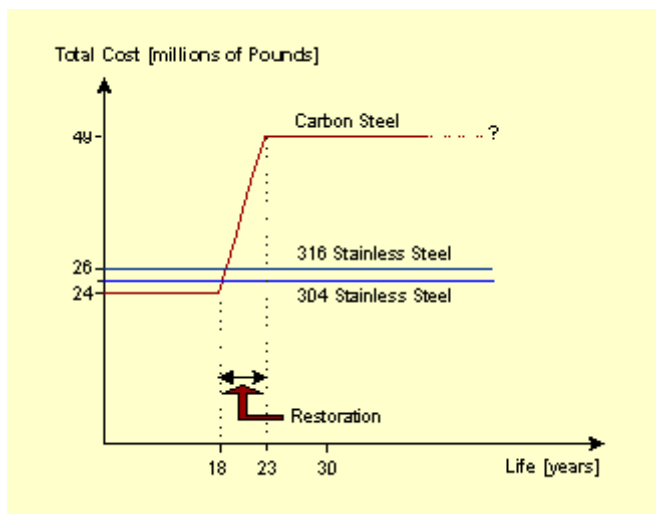
Lähteessä / 18 / on esitetty kuvan 15 periaatekaavio sillan elinkaarikustannuksista, kun käytetään hiili- tai ruostumattomia terästankoja. Samalla on todettu, että

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

- ruostumattomien terästankojen käyttö nostaa projektikustannuksia 1 – 15 %, riippuen sillan koosta ja rakenteesta.
- tämä lisäkustannus voidaan kompensoida alentuneilla kunnossapitokustannuksilla, kuva 15.
- kuvan 15 esimerkissä alkuperäiset kustannukset nousevat 4 % tyyppiin 304 ja 8 % tyyppiin 316 ruostumattomalla terästangolla.

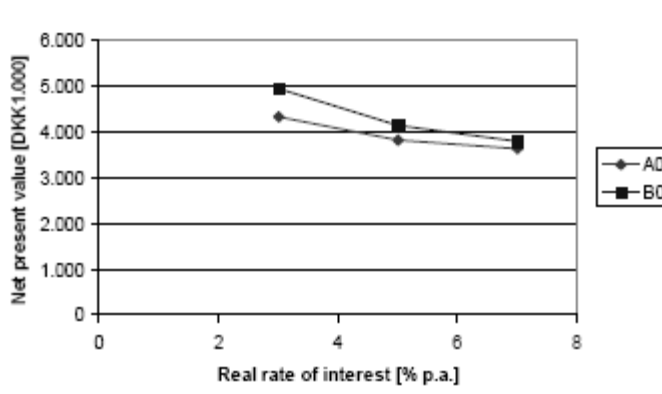


Kuva 15. Sillan elinkaarikustannukset, kun käytetään hiiliteräs- tai ruostumatonta terästankoa.

Lähteessä / 4 / on esitetty Tanskan Tiehallinnon vuonna 2005 teettämien sillan elinkaarikustannuslaskelmien tuloksia, kun sillassa käytetään ruostumattomia terästankoja. Siinä on 100 m pitkien reunapalkkien hiiliteräkset korvattu ruostumattomilla terästangoilla. Taulukossa 7 on esitetty näiden laskelmien tulokset kokonaiskustannusten osalta ja diskontatut kustannukset, kun korko on 7 %. Kuvasta 16 näkyvät diskontatut kustannukset korkoprosentin funktiona.

Taulukko 7 . Kustannukset Tanskan kruunuina (miljoonaa kruunua).

	Ruostumaton teräs	Hiiliteräs
Kokonaiskustannukset	7,0	8,6
Diskontatut kustannukset, korko 7 %	3,6	3,8



Kuva 16. Diskontatut kustannukset korkoprosentin funktiona. A0 = Ruostumattomat terästangot, B0 = hiiliteräs.

Ruostumattomat terästangot osoittautuivat taloudellisesti edullisemmaksi sekä kokonaiskustannustarkastelussa että diskontattujen kustannusten osalta.

5.2.2 Esimerkkisillan elinkaarikustannukset

Esimerkkisillan elinkaarikustannuslaskelmat perustuvat lähteessä / 17 / esitetyn menetelmän soveltamiseen ja sieltä on saatu myös osa lähtöarvoista. Laskelmissa voitaisiin tarkastella myös sellaista teoreettista vaihtoehtoa, että käytettäessä ruostumattomia terästankoja, jätetään vedeneristykset tai niiden uusiminen pois sillan kansilaatas-ta. Norjassa on tämäkin rakennusratkaisu (ei vedeneristystä) ollut käytössä.

Esimerkkisillan suunnittelukäyttöön mukaisissa elinkaarikustannuslaskelmissa on lähtötietoina käytetty seuraavia lukuarvoja:

- Liikennemäärä: 5000 ajoneuvoa/vrk
- Suunnittelukäyttöikä: 100 vuotta
- Diskonttauskorko: laskelmissa käytetty 5 %.

Kustannusten nykyarvon laskennassa on käytetty kaavaa

$$P = \sum_{t=1}^{100} k_t / (1 + i)^t$$

jossa P on kustannusten nykyarvo

k_t on vuoden t aikana kertyvät kustannukset

i on diskonttauskorko.

Esimerkkisillan elinkaarikustannuslaskelmiin on otettu mukaan vain ne tekijät, joissa syntyy ko. vertailussa oleellista eroa. Tällöin tulokset esittävät elinkaarikustannusten erot ja eri vaihtoehtojen keskinäisen paremmuusjärjestyksen ja niiden erojen suuruudet. Esimerkkisillan hintatiedot ja peruskorjauskustannusten kustannusarviot on saatu Finnmap Consulting Oy:n siltasuunnittelusta ja ylläpitokustannusarvio Liikennevirastosta. Esimerkkisillan rakentamiskustannusten hinta (v. 2005) oli 248 000 € (ALV 22

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

%). Hiiliteräksen hinta oli 0,76 €/kg ja ruostumattoman teräksen (AISI 304 = B600KX) hinta 4 - 5 €/kg (kevällä 2010, ilman määräalennuksia).

Taulukoissa 8 - 11 on esitetty seuraavat tarkastelut:

- Vertailu reunapalkkien osalta kun hiiliteräkset korvataan ruostumattomilla terästangoilla.
- Vertailu pilarien osalta kun hiiliteräkset korvataan ruostumattomilla terästangoilla kahden metrin pituudelta.
- Vertailu koko sillan osalta. Vedeneristys uusitaan kaksi kertaa.
- Vertailu koko sillan osalta. Vedeneristystä ei uusita.

Taulukoiden 8 – 11 laskelmissa oli oletuksena, että käytettäessä ruostumattomia terästankoja ylläpito- ja peruskorjauskustannukset pienenevät oleellisesti verrattuna siihen, kun käytetään (hiili)terästankoja. Taulukoiden laskelmissa arvonlisävero on mukana.

Taulukko 8. Vertailu reunapalkkien osalta.

Toteutuskustannukset				Elinkaarikustannusten nykyarvot				
Rakentamismenetelmä	Korjaustyön kestoaika, viikkoa	Materiaalikus-tannukset, €	Ylläpitokus-tannukset, €/v	Peruskorjaus-kustannukset, €	Materiaalikus-tannukset, €	Ylläpitokus-tannukset, €	Peruskor. tai purkamis- ja uusimisk., €	Elinkaarikust. nykyarvo yhteensä, €
Terästanko	3	865	500	87620	865	10 070	7640	18575
Ruostumaton terästanko	1	5 585	250	1 000	5 585	5 035	90	10 710

Laskelman perusteella reunapalkit ruostumattomilla tangoilla ovat elinkaarikustannuksiltaan (!vain toisistaan poikkeavat kustannukset mukana taulukoissa 8 – 11) n. 8 000 € edullisemmat kuin hiiliteräksillä tehtyinä.

Taulukko 9. Vertailu pilarien (4 kpl) osalta. Korjaukset vain kahden metrin pituudelta.

Toteutuskustannukset				Elinkaarikustannusten nykyarvot				
Rakentamismenetelmä	Korjaustyön kestoaika, viikkoa	Materiaalikus-tannukset, €	Ylläpitokus-tannukset, €/v	Peruskorjaus-kus-tannukset, €	Mater-aalikus-tannukset, €	Ylläpitokus-tannukset, €	Peruskor. tai purkamis- ja uusimisk., €	Elinkaarikust. nykyarvo yhteensä, €
Terästanko	3	4225	500	14400	4225	10 070	2050	16345
Ruostumaton terästanko	1	28860	250	500	28860	5 035	45	33940

Laskelman perusteella tässä tapauksessa pilarit ruostumattomilla tangoilla ovat n. 17 700 € kalliimmat kuin hiiliteräksillä tehtyinä.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

Taulukko 10. Vertailu koko sillan osalta, kun hiiliteräkset korvataan. Vedeneristysten uusiminen (2 kertaa) mukana.

Toteutuskustannukset

Elinkaarikustannusten nykyarvot

Rak. menetelmä	Perusk. työn kesto, viikkoa	Mater. kust., €	Ylläpito-kust., €/v	Peruskor. kust., €	Mater. kust., €	Ylläpito-kust., €	Peruskor. kust., €	Liikennehaittakus. perusk. yhteydessä, €	Elink. kust. nykyarvo yhteensä, €
Terästan.	10	47000	5 000	291370	47000	100 700	25400	24260	197360
Ruostumaton terästanko	3	281530	500	198050	281530	10070	17270	8100	316970

Kun koko sillan osalta korvataan kaikki hiiliteräkset ruostumattomilla tangoilla, tehdään vedeneristys ja uusitaan se normaalisti, on hiiliteräs elinkaarikustannuksiltaan n. 120 000 € edullisempi.

Taulukko 11. Vertailu koko sillan osalta, kun hiiliteräkset korvataan ja vedeneristystä ei uusita.

Toteutuskustannukset

Elinkaarikustannusten nykyarvot

Rak. menetelmä	Perusk. työn kesto, viikkoa	Mater. kust., €	Ylläpito-kust., €/v	Peruskor. kust., €	Mater. kust., €	Ylläpito-kust., €	Peruskor. kust., €	Liikennehaittakus. perusk. yhteydessä, €	Elink. kust. nykyarvo yhteensä, €
Terästan.	10	47000	5 000	291370	47000	100 700	25400	24260	197360
Ruostumaton terästanko	3	281530	500	37010	281530	10070	3230	8100	302930

Kun koko sillan osalta korvataan kaikki hiiliteräkset ruostumattomilla tangoilla, tehdään vedeneristys, mutta ei uusita sitä, on hiiliteräs edelleen elinkaarikustannuksiltaan n. 106 000 € edullisempi.

Kun taulukoiden 8 - 11 laskelmat tehdään diskonttauskorolla 3 %, niin tällöin reuna-palkin ruostumattoman tangon edullisuus paranee entisestään (noin 5 %) ja muissa rakenteissa sen kilpailukyky heikkenee vastaavasti.

Hiiliteräksen ja ruostumattoman teräksen hintasuhteella on oleellinen merkitys elinkaarikustannuksiin. Se muuttuu koko ajan ruostumattoman teräksen seosmetallien hintojen muuttuessa. Myös ruostumattoman terästankojen eri tyyppien eri hinnat vaikuttavat lopputulokseen. Esimerkkilaskelmassa ei otettu huomioon eri teräslaatuojen lujuuseroja eikä niiden vaikutusta betonipeitepaksuuksiin, jotka molemmat lisäävät pääsääntöisesti ruostumattomien terästankojen edullisuutta.

Sillan peruskorjauksen aikaiset liikennehaittakustannukset kasvavat merkittävästi, kun liikennemäärä kasvaa. Jos lisätään liikennehaittakustannuksia noin 50 % (kun tarkas-

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

tellaan koko siltaa, taulukot 10 ja 11), pienenee ero hiiliteräksen eduksi taulukossa 10 n. 109 000 euroon ja taulukossa 11 n. 95 000 euroon.

Eri tahojen saamat tulokset rakenteiden elinkaarikustannuslaskelmissa eivät ole nykyisin vielä täysin vertailukelpoisia keskenään johtuen eri lähtötiedoista (kuten edelläkin on todettu) ja laskentamenetelmissäkin on yksityiskohdissa eroja. Kriittisen tarkastelun avulla eri tahojen elinkaarikustannuslaskelmien tuloksia voi kuitenkin hyödyntää suuntaa ja suuruusluokkia antavina tietoina.

Kaikkien edellä esitettyjen elinkaarikustannuslaskelmien perusteella voidaan todeta, että hiiliteräksen korvaaminen on perusteltua suolatulla tiellä olevan sillan eniten korjaukskustannuksia vaativissa rakenteissa (kun käytetään hiiliterästä ja siitä aiheutuvat korjaukset) kuten reunapalkeissa ja varauksin myös välituissa. Sillan kaikkien hiiliterästankojen korvaaminen ruostumattomilla tangoilla ei näytä Suomessa nykyhinnoilla kannattavalta.

5.3 Vertailulaskelmat

Vertailulaskelmissa tutkittiin sillan seinämäistä välitukea ja laattasillan kansirakennetta. Vertailulaskelmat tehtiin eurokoodin mukaan. Ruostumattoman teräksen materiaaliominaisuuksina käytettiin VTT:n Outokumpu Oyj:lle tekemien ruostumattomien LDX-harjatankojen vetotestien tuloksista laskettuja arvoja.

Seinämäisen välituen mitat ovat $600 \times 1950 \text{ mm}^2$. Laattasillan kansirakenteen paksuus on 700 mm.

Kansilaatan vertailulaskelmissa todettiin maksimimomenttien kohdalla tarvittavan teräsmäärän olevan n. 75 %, kun rauditus vaihdetaan tavallisesta hiiliteräksestä ruostumattomaksi. RST-raudoituksen murtotilaa vastaava teräsjännitys oli 625 MPa ja kun käyttötila ei tule RST-raudoituksella määrääväksi, antaa teräksen lujuus lisäetua vertailussa.

Seinämäisen pilarin tapauksessa RST-raudoituksen maksimijännitykset murtotilassa vaihtelivat välillä 460-620 MPa kuormitusyhdistelmästä riippuen. Tarvittava rauditusmäärä perinteiseen raudoitukseen verrattuna oli n. 85 %.

Käytettäessä ruostumatonta terästä pääraudoituksena on myös hakateräksinä käytettävä samaa laatua, koska haat sijaitsevat lähempänä betonipintaa. VTT:n testaamalla harjatangoilla 2.5 %o venymää vastaava teräsjännitys f_{yd} oli vain 395 MPa, joten leikkausraudoitusta vaativissa rakennneosissa tarvittaisiin n. 15 % enemmän hakateräksiä kuin A500HW:ta käytettäessä.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

30.11.2010

B-7145

6 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ruostumattomien terästankojen mahdollisuuksia korvata siltojen perinteelliset raudoitukset. Ulkomailla, kuten Englannissa, Kanadassa, USA:ssa ja Norjassa, nämä tuotteet ovat olleet silloissa jo varsin laajassakin käytössä. Suomessa näiden tuotteiden käytön tutkimus ja käyttö silloissa on ollut vielä vähäistä. Tähän on ollut syynä myös suunnitteluohjeen puuttuminen.

Ruostumattomien terästankojen käyttö silloissa perustuu niiden erikoisominaisuuksiin kuten hyvään korroosionkestävyyteen ja sen avulla mahdollisuuteen saavuttaa edulliset elinkaarikustannukset.

Toisaalta ruostumattomien terästankojen korkea hinta rajoittaa niiden laajaa käyttöä. Korkeata materiaalikustannusta korvaavat mm. hyvän korroosionkestävyyden ansiosta alhaiset ylläpito- ja hoitokustannukset, mahdollisuus rakenteen pienempiin dimensioihin ja keventyneeseen painoon. Näin ruostumattomien terästankojen käyttö perinteisten terästankojen korvaajana silloissa voi olla taloudellisesti edullista. Hiiliteräksen korvaaminen on perusteltua suolatulla tiellä olevan sillan eniten korjauskustannuksia vaativissa rakenteissa kuten reunapalkeissa ja varauksin myös välituissa. Ruostumattoman teräksen käyttö on perusteltua myös maatuen otsa- ja etumuurissa, jotka voivat altistua kloridikorroosiorasitukselle, jos liikuntasaumalaite vuotaa. Näissä rakenteissa on perusteltua käyttää ruostumattomia terästankoja myös ko. rakenteiden korjauksiin.

Tässä tutkimuksessa on laadittu myös suunnitteluperusteet ruostumattomien terästankojen käytölle silloissa. Lisäksi on esitetty rakenteelliset ohjeet ja vertailulaskelmia ruostumattomien terästankojen käytöstä sillan raudoituksessa. Tämän laajempi käyttö edellyttää erillisen suunnitteluohjeen tekoa. Yleiseurooppalainen standardi ruostumattomista teräksistä on tulossa.

LÄHDELUETTELO

1. www.outokumpu.com, v. 2010.
2. Talja, A., Törnqvist, J., Kivikoski, H., Carpen, L., Nippala, E., Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa, VTT working papers 65, v. 2006. 31 s.
3. Rakentajan kalenteri 2008.
4. Stainless steel reinforcement in concrete structures – State of the art. SINTEF, Norja v. 2008.
5. Rostfritt stål i betong – Galvaniska effekter på kolstål, Vägverket-tutkimus, Ruotsi v. 2008.
6. Risk of corrosion in concrete structures reinforced with stainless steel and carbon steel investigated. National Research Council Canada – tutkimus v. 2004.
7. Markesed, G., Rostam, S., Klinghoffer, O., guide for the use of stainless steel reinforcement in concrete structures. Norja, Byggforsk, project report v. 2006.
8. James, E., Welsh engineers design durable bridges. Englanti, Concrete – lehti, v. 2003.
9. Matern, S., Vägsaltet – Stoppa skadeeffekterna på utsatta betongkonstruktioner med kamjärn av rostfritt stål. Ruotsi, Betong-lehti 2/2001.

Juha Ratvio, Pertti Kaista

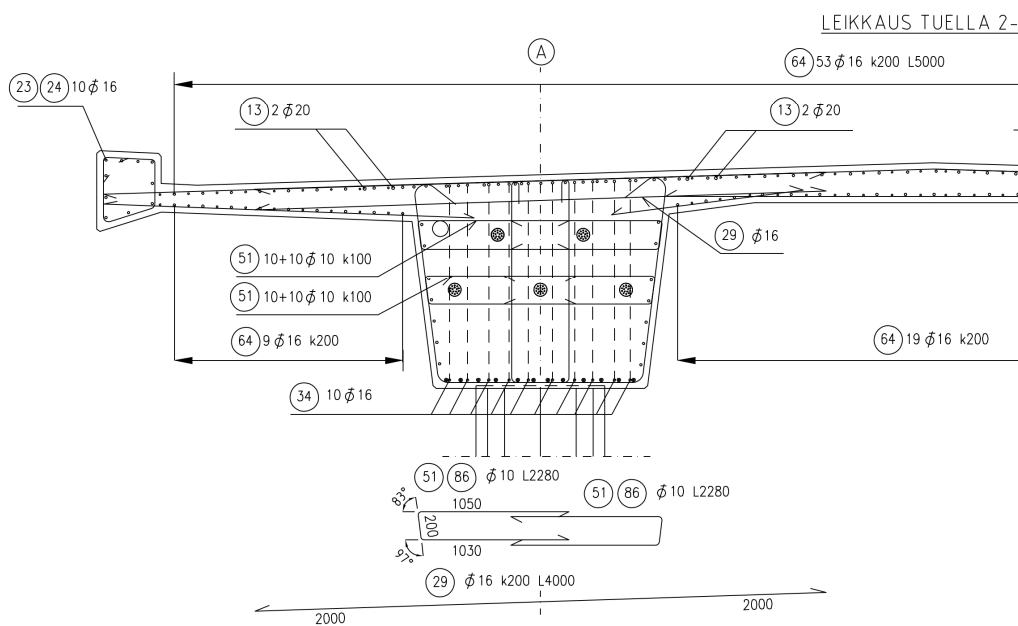
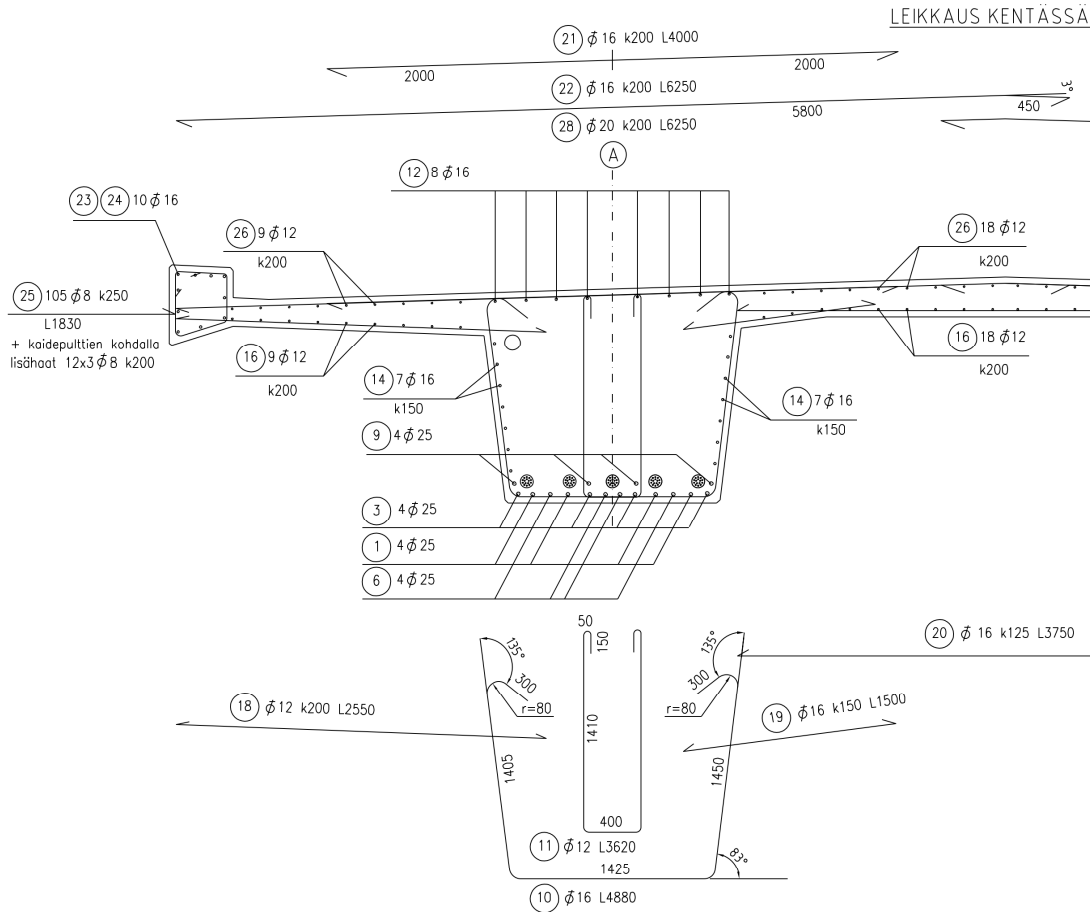
30.11.2010

B-7145

10. Virmani, P., Hooks, J., Mitigation of corrosion in concrete bridges. USA, Federal Highway Administration.
11. Pioneering use of Duplex LDX 2101 in concrete reinforcement. www.outokumpu.com, v. 2008.
12. Stainless steel reinforcing bars (rebar) applications. www.stainless-rebar.org, v. 2010.
13. Talja, A., Törnqvist, J., Kivikoski, H., Carpen, L., Nippala, E., Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa. Espoo 2006, VTT Working papers 65.
14. Full-range Stress-strain Curves for Stainless Steel Alloys. Rasmussen K JR, Sydney University 2001, Research Report No R811.
15. Sistonen, E., Service life of hot-dip galvanised reinforcement bars in carbonated and chloride-contaminated concrete. Espoo 2009, Teknillisen korkeakoulun julkaisu TKK-R-DIDD-5.
16. Sistonen, E., Tukiainen, P., Peltola, S., Skriko, S., Huovinen S., Teräsbetonirakenteiden korroosioriskien rajoittaminen ulko-olosuhteissa – osa 2. Teknillinen korkeakoulu, julkaisu TKK-TRT-121, Espoo v. 2002.
17. Rautakorpi, H., Pienten siltojen elinkaarikustannukset. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 4/2004. 40 s.
18. Stainless steel reinforcing bars (rebar). Economics and advantages. www.stainless-rebar.org, v. 2009.
19. Pier in Progreso, Mexico. Inspection Report, Arminox/Ramboll, v. 1999.
20. Betoninormikortti 19. Ruostumattomien raudotteiden (B600KA2, B600KX) käyttö kantavissa teräsbetonirakenteissa. BY, julkaisuvuosi 1993, kuudes painos.

Juha Ratvio, Pertti Kaista, 30.11.2010

ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTAESIMERKISILLAN KANNEN RAUDOITUS



Contesta Oy, www.contesta.fi, Y-tunnus 1712699-6
 Kilterinkuja 2, PL 23, 01601 Vantaa, Puh. (09) 2525 2425, fax. (09) 2525 2426
 Skräbbölenie 16, 21600 Parainen, Puh. 0207 430 620, Fax. 0207 430 621

© Contesta Oy. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Contesta Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.