



# **BETONIELEMENTTISILTOJEN KILPAILUKYKYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT SUOMESSA**

Juuso Lampikoski

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014  
Rakennustekniikka  
Talonrakennustekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talorakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

JUUSO LAMPIKOSKI:

Betonelementtisiltojen kilpailukykyyn vaikuttavat tekijät Suomessa

Opinnäytetyö 49 sivua

Toukokuu 2014

---

Suomessa ei ole rakennettu betonelementtisiltoja enää 1970-luvun jälkeen kuin muutamia vuodessa. Betonelementtisiltojen suosio laski 70-luvun jälkeen elementtien hintojen nousun ja huonoksi havaittujen rakenneratkaisujen takia.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia betonelementtisiltojen kilpailukykyyn vaikuttavia asioita ja tarkastella eurooppalaista ZIP-palkkisiltaa, kotelopalkkisiltaa ja suoraholvista segmenttitunnelisiltaa. Työssä koottiin yhteen kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä ja eurooppalaisten siltatyypien ongelmakohtia käyttäen apuna alan ammattilaisten haastatteluita. Työn tuloksena oli tuoda esiin kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä ja siltatyypien ongelmia sekä laatia toimenpidesuosituksia.

Betonelementtisiltojen kilpailukykyyn vaikuttavat heikentävästi kokonaiskustannukset, asenteet, estetiikka, vakioratkaisut, tiegeometria ja nykyaikaan päivitettyjen tyyppiratkaisujen puuttuminen. Kilpailukykyä parantavia tekijöitä ovat liikenteen häiriöttömyys sekä elementin betonin parempi laatu. Eurooppalaisissa siltatyypeissä tulisi erityisesti kiinnittää huomiota törmäyskestävyyteen ja Suomen vedeneristysvaatimuksiin. Elementtivalmistajien tulisi itse kehittää betonelementtisiltaratkaisuja.

Eniten kilpailukykyyn vaikuttavat kustannukset ja betonelementtisiltojen vakioratkaisut. Siltojen paikallavalukulttuuri on Suomessa erittäin vahva, joten betonelementtisiltojen täytyy vähintäänkin olla yhtä edullinen. Jos liikenteen häiriöistä veloitettaisiin kustannuksia, se lisäisi betonelementtisiltojen kilpailukykyä huomattavasti. Ehdoton edellytys kilpailukykyille on betonelementtisiltojen vakioratkaisut. Tällä hetkellä tilatut betonelementtisiltaratkaisut ovat monesti rakenteeltaan monimutkaisia ja niiden kysyntä on vähäistä, jolloin yksittäisten betonelementtisiltojen tekeminen ei ole kannattavaa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

LAMPIKOSKI, JUUSO:  
The Competitiveness of Precast Concrete Bridges in Finland

Bachelor's thesis 49 pages  
May 2014

---

In general bridges are casted in situ in Finland. Since 1970's the popularity of precast concrete bridges has decreased substantially. The costs of elements climbed and there were problems with poor structures. The purpose of this thesis was to collect information for Parma Ltd on competitiveness of precast concrete bridges and observe three European precast bridge types for possible development for use in Finland. The bridge types are called ZIP beam bridge, box-beam bridge and segmental tunnel.

The data were collected from literature and professionals of the construction trade. There are many factors that impact on competitiveness. The negative aspects are total expenses, road geometry, aesthetics, public attitude and the lack of standard solutions. The positive aspects are ability for quicker building and better quality of concrete in precast bridges. More attention should be paid to impact resistance and waterproofing standards of Finland.

To speed up the demand of precast concrete bridges, they should be as cost-effective as bridges casted in situ. There should definitely be standard solutions for design and production. In the moment the structures of precast bridges are often complex and the demand is low so it is not cost-effective to construct precast bridges.

---

Key words: precast concrete bridge, competitiveness

## SISÄLLYS

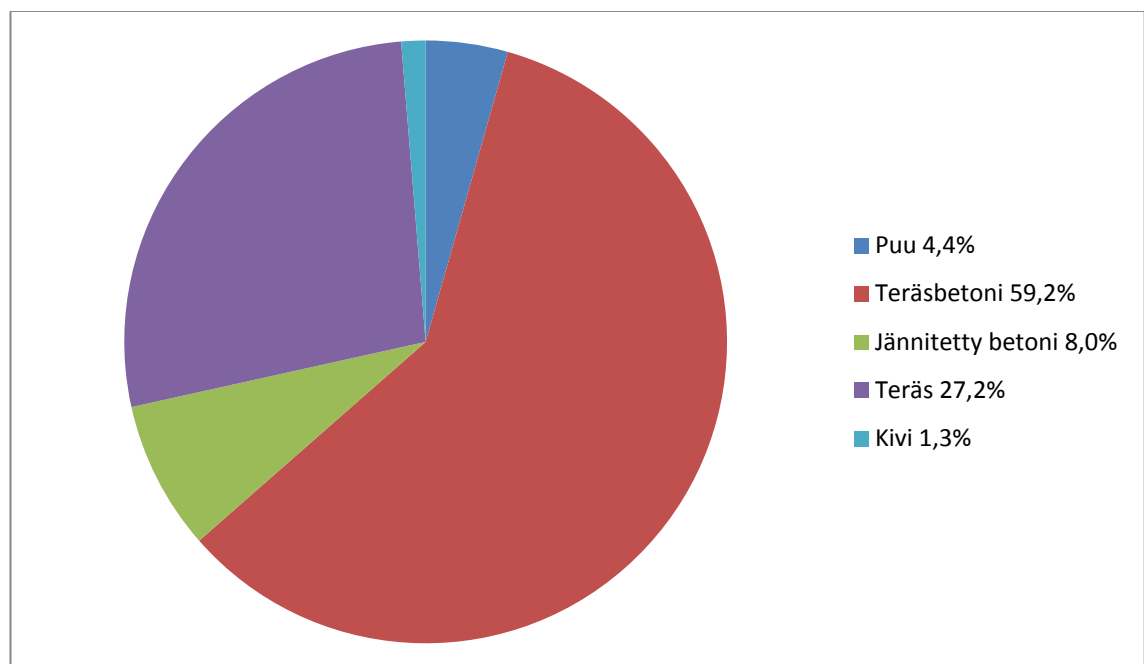
1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn tausta.....	5
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset.....	6
2	ELEMENTTIRATKAISUT.....	7
2.1	Betonielementtisiltojen kehitys Suomessa.....	7
2.2	Betonielementtirakentamisen käännekohdat.....	9
3	KILPAILUKYKYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	10
3.1	Rakentamiskulttuuri ja asenteet.....	10
3.1.1	Liikenteen häiriöttömyys.....	11
3.2	Kustannukset.....	11
3.3	Saumarakenteet.....	13
3.4	Pakkasenkestävyys.....	15
3.5	Esteettisyys.....	17
3.5.1	Reunapalkit.....	19
3.6	Tiegeometrian vaikutus.....	21
3.7	Yhteenvedo.....	22
4	CONSOLIS-KONSERNIN ELEMENTTISILLAT.....	24
4.1	Siltoihin liittyviä ohjeita.....	24
4.1.1	Betonirakenteet.....	24
4.1.2	Pintarakenteet.....	24
4.2	ZIP-palkkisilta.....	25
4.2.1	Rakenneratkaisut.....	26
4.2.2	Osittain jatkuva rakenne.....	29
4.2.3	Päämitat ja käyttökohteet.....	30
4.2.4	Toimenpidesuosituksset.....	33
4.3	Kotelopalkkisilta.....	34
4.3.1	Rakenneratkaisut.....	35
4.3.2	Mono-kotelopalkkisilta.....	37
4.3.3	Päämitat ja käyttökohteet.....	38
4.3.4	Toimenpidesuosituksset.....	39
4.4	Suoraholvinen segmenttitunnelisilta.....	39
4.4.1	Rakenneratkaisut.....	40
4.4.2	Päämitat ja käyttökohteet.....	42
4.4.3	Toimenpidesuosituksset.....	43
5	YHTEENVETO.....	44
	LÄHTEET.....	47

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Parma Oy, joka on Suomen suurin betonielementtien valmistaja. Parma Oy kuuluu kansainväliseen Consolis-konserniin, joka on Euroopan suurin betonitekniikkaan perustuvien ratkaisujen tuottaja.

Liikenneviraston tieosaston Siltarekisteriin merkittyjen yleisten teiden betonielementtisiltojen osuus oli 1784 kappaletta tammikuussa 2010. Suomessa oli 14625 kappaletta siltoja samana vuonna, joista varsinaisia siltoja oli 11512 ja putkisiltoja 3113. Putkisillaksi määritellään tien penkereen läpi johtava kevyttä liikennettä, maataloutta tai vesistöä palveleva reitti. (Liikennevirasto, Tiesillat 2010, 12, 22-27.) Betonielementtisiltojen määrä Suomessa on vähäinen verrattuna koko siltamäärään. Kuviossa 1 on esitetty siltojen lukumäärän jakauma päärakennusmateriaaleittain.



KUVIO 1. Siltojen lukumäärän jakauma päärakennusmateriaaleittain (Liikennevirasto, Tiesillat 2010, 38)

Betonielementtisiltojen prosenttiosuus teräsbetonista ja jännitetystä betonista yhteensä on 18,2 prosenttia. Betonielementtisilloista suurin osa on luultavimmin rakennettu 1960-1980 luvuilla, jolloin betonielementtirakentaminen oli suurinta. Vuosina

2006–2009 betonielementtisiltoja rakennettiin vain viisi kappaletta. Jos tilastoissa ei ole virhettä, niin vielä vuonna 2008 oli elementtirakenteisia teräsbetonisia laattasiltoja 20 kappaletta enemmän kuin vuonna 2010. (Tiehallinto, Sillat 2007,2008,2009.) Joka tapauksessa betonielementtisiltoja ei tällä hetkellä rakenneta montaa vuodessa. Parma Oy:n tarkoitus on saada tuotantoonsa kilpailukykyinen elementtisiltatyyppi ja saada näin elementtisillat yleisemmiksi Suomessa.

## **1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset**

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää betonielementtisiltojen kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä Suomessa. Tavoitteena on tuoda esiin ongelmia, ideoita ja ratkaisuja, joiden avulla saataisiin elementtisilloista kilpailukykyisempiä Suomessa. Työn tavoitteena on myös tehdä tuotekuvaus kolmesta eurooppalaisesta Consolis-konsernin siltatyypistä ja esittää toimenpidesuosituksia sekä muutamia ehdotuksia siltatyypien jalostamiseksi Suomeen soveltuviksi.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus ei ole esittää tarkkoja yksityiskohtaisia siltojen tyyppisuunnitelmia. Opinnäytetyössä ei ole käsitelty elementtiratkaisujen käyttöä sillan alusrakenteissa. Tavoitteena on, että opinnäytetyön tuloksien avulla Parma Oy pystyy kehittämään kilpailukykyisempiä elementtisiltatyyppejä tuotantoonsa.

## 2 ELEMENTTIRATKAISUT

### 2.1 Betonielementtisiltojen kehitys Suomessa

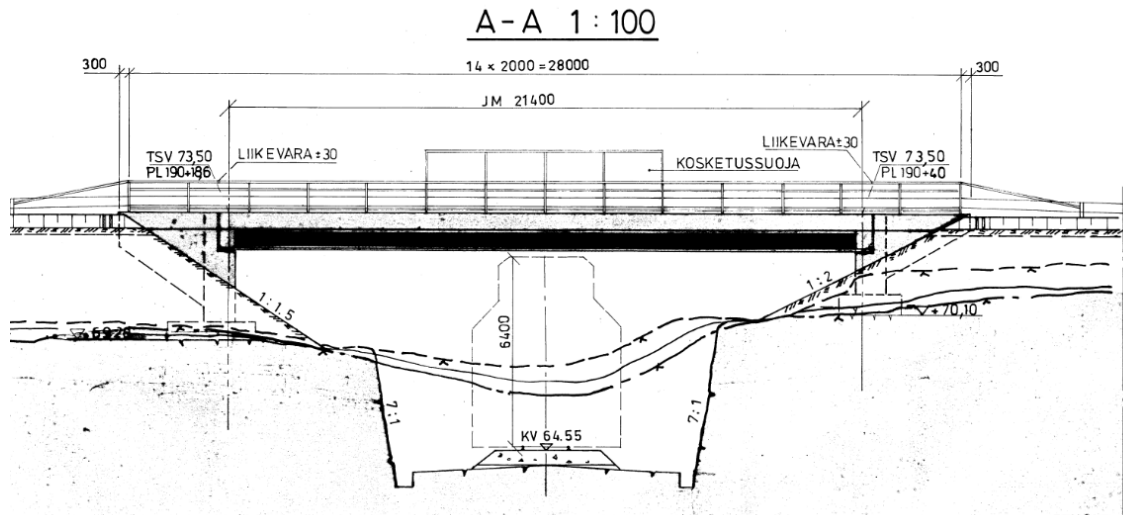
Ensimmäinen betonielementtisilta rakennettiin Kuusankoskelle vuonna 1956. Kuusankosken maantiesilta koostui kolmesta jännitetystä elementtipalkista ja paikallavaletusta kansilaatasta. Elementtirakentaminen vilkastui vasta 1960-luvun alussa, jolloin taajama-alueiden liikenneturvallisuutta kehitettiin rakentamalla paljon alikulkukäytäviä. Täysin elementtirakenteinen TOBI-alikulkukäytävä korvasi paikallavalettavat teräsbetoniset laatta- ja kehäsillat 1960-luvun puolivälissä. TOBI-silta jäi pois käytöstä vähitellen sen rakenteen monimutkaisuuden ja ahtaan olemuksen takia. Vuonna 1968 tehtiin ensimmäinen jännitetty risteyssilta. Se koostui jännitetyistä T-palkeista. Elementtien asennukseen liittyvien kalliiden lisätöiden takia silta osoittautui kannattamattomaksi kustannusmielessä. Elementtisiltojen kehittäminen ja rakentaminen loppui useaksi vuodeksi kustannusten takia.

1970-luvulla siltaelementtien käyttö lisääntyi, kun elementtirakentaminen yleistyi talonrakentamisessa. Alkuun valmistettiin teräsbetonisia rengashojeja ja myöhemmin vesistösillassa kolmenivelisiä elementtiholveja. Puusiltoja ja muita huonokuntoisia siltoja korvattiin laattasilloilla vähäliikenteisillä teillä. Vanhojen siltojen päällysrakenteet vain uusittiin, koska kiviset alusrakenteet olivat hyväkuntoisia. Elementtilaattasiltoja rakennettiin myös alikulkukäytäväiksi ja pieniksi risteysilloiksi.

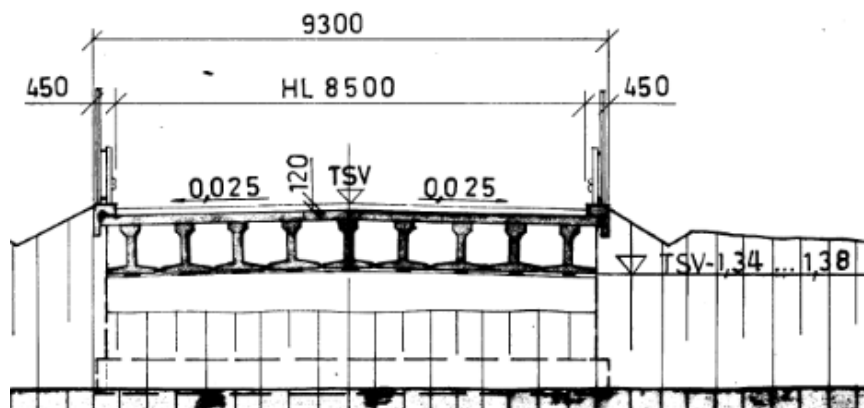
Jännitettyjä betonielementtisiltoja kehitettiin vuodesta 1972 alkaen. Ensimmäinen käännytyistä T-palkeista muodostunut jännitetty silta rakennettiin vuonna 1974 risteysillaksi. Käännytyissä T-palkkisilloissa ilmeni pian sillan valmistuttua rakenteen vaurioitumisriski ylikorkeiden kuormien törmäyksille, mikä laski niiden suosiota. Myöhemmin kuitenkin rakennettiin muutamia samanlaisia risteysiltoja, mutta niiden alikulkukorkeutta kasvatettiin törmäysvaaran takia. Koko 70-luvun ajan kehitettiin jännitettyjä betonielementtisiltoja, jolloin tuloksena kehitettiin tyyppipiirustussarjat Jbe I-V. Betonielementtisiltojen osuuden kasvu siltojen rakentamisessa alkoi hiipua 1980-luvulla.

Jännitettyjen betonielementtisiltojen Jbe I -sarja oli tarkoitettu ajoneuvoille ja se sovellettiin käytettäväksi jännevälialueella 12-30 metriä kahden metrin porrastuksella (kuvat 1 ja

2). Rakennekorkeus vaihteli välillä 0,8-1,5 metriä ja koostui 200 mm:n kansilaatasta sekä itse elementistä. Palkkiväli oli yksi metri, jolloin alalaipat olivat melkein kiinni toisissaan. Palkkien käsittely vaati suuria nostureita tehtaassa ja asennuspaikassa, koska elementit painoivat 7,7-29,4 tonnia. Sarjasta I kehitettiin myöhemmin harvapalkkisempi ja korkeampi malli Jbe IV. Palkin rakennekorkeus oli 2,2 metriä ja paino 39,6 tonnia. Samanlaisia palkkeja hyödynnettiin myös kevyen liikenteen silloissa sarjassa Jbe V.



KUVA 1. Jbe I (Tyyppiirustukset - Arkisto, Liikenneviraston internetsivut)



KUVA 2. Jbe I:n Poikkileikkaus (Tyyppiirustukset - Arkisto, Liikenneviraston internetsivut)

Jbe II koostui talopuolelta tulleista jännitetyistä TT-palkeista, joilla päästiin vain 12 metrin jännemittaan. Jbe II ei soveltunut ajoneuvoliikenteelle, koska käytettävissä olleet muotit eivät olleet tarpeeksi korkeita. Kevyen liikenteen sillaksi TT-palkki soveltui hyvin, joten laadittiin tyyppiirustussarja Jbe III elementtipituuksille 12-24 metriä. Suurimman elementin rakennekorkeus oli 850mm ja paino 52 tonnia.



Vuonna 2000 valmistui uusi elementtisiltasarja, jossa palkin poikkileikkaus voi olla suorakaide, puolisuunnikas tai I-poikkileikkaus. Kyseinen siltatyyppejä poikkeava aikaisemmista siinä, että palkit on mitoitettu ainoastaan alustavasti ja sen pohjalta on laadittu mitoitusnomogrammit. Niiden perusteella määräytyvät päämitat, jänneteräsmäärä ja betonin lujuusluokka. Aikaisemmissa 70-luvun betonielementtisilloissa tehtiin valmiit rakennepiirustukset, kun uudessa tyyppisarjassa rakennepiirustukset laaditaan siltakohtaisen suunnittelun yhteydessä käyttäen hyväksi ohjeen periaatepiirustuksia. (Aitta 2004, 329, 354–358.)

## **2.2 Betonielementtirakentamisen käännekohtat**

1980-luvun elementtisiltojen rakentamisen hiipumiseen on monta syytä. Siltaelementtien hinnat olivat erittäin suhdanneherkkiä. Elementtisiltojen mainetta heikensi kömpelö ulkonäkö, risteysiltoihin kohdistuneet törmäysvauriot ja siltakannen saumojen vesivuotovahingot. Vesistöisilloissa teräksisestä liittopalkkisillasta tuli betonielementille kilpailija. Lisäksi paikallavalettujen teräsbetoniristeysiltojen kilpailukyky parantui. Työvoiman tarve siltatyömaalla vähentyi, kun betoniteräkset saatiin valmiina raudoitteina toimittajilta, ja valmisbetonia saatiin muottiin helpommin pumppubetonoinnin yleistettyä. Paikallavalettujen teräsbetonisiltojen päällysrakenteen poikkileikkauksen muotoa yksinkertaistettiin ja vakioitiin, jolloin valumuottien osia voitiin tällöin käyttää uudelleen. (Aitta 2004, 359.)

1960-luvulla elementtisiltoja markkinoitiin paremmalla laadulla ja halvemmilla kustannuksilla kuin paikallavalusiltaa. Kokemusten mukaan näin ei tapahtunut 60-luvulla eikä myöhemminkään. Nykypäivänä ongelmana ovat ainakin kustannukset. (Yli-insinööri Jorma Huura, 2014.)

### 3 KILPAILUKYKYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

#### 3.1 Rakentamiskulttuuri ja asenteet

FIB:n julkaisemassa raportissa elementtisilloista kerrotaan Euroopan ja maailman elementtirakentamisen tilanteesta. Esijännitettyjen betonielementtisiltojen suosion kasvaminen on ollut suurta 50 vuoden ajan. Belgiassa, Italiassa, Hollannissa, Espanjassa ja Iso-Britanniassa elementtisiltarakentaminen on laajasti ja yleisesti käytetty malli. Yhdysvalloissa ja Kanadassa elementtisiltojen rakentaminen on myös laajaa. Siellä elementtirakentaminen valtaa yli 50 % markkinoista. Kaikilla mailla on laaja valikoima teknillisiä ratkaisuja pieniin ja suuriin projekteihin. Elementtitoimittajilla on suuri merkitys projektien suunnittelussa ja toteutuksessa. Päätös elementtien käytöstä tulee viranomaiselta tai konsultilta suunnittelun alkuvaiheessa.

Esimerkiksi Ranskassa ja Saksassa elementtisiltarakentaminen hyväksytään hyvänä vaihtoehtona paikallavaletuille silloille. Suuret rakennusliikkeet hallitsevat markkinoita ja päättävät käyttävätkö elementtisiltaratkaisua riippuen kustannuksista sekä kyvystä elementtirakentamiseen. Elementtisiltojen markkinaosuus on yleensä 5-20 prosenttia. Laman aikaan elementtirakentaminen laskee ja hyvänä aikana kasvaa. (Calavera ym. 2004, 4.) Elementtirakentamiseen vaikuttaa paljon sen hetkiset markkinatilanteet, koska elementit ovat suhdanneherkkiä.

Uusia tyyppipiirustuksia betonielementtisilloista ei ole tehty. Liikenneviraston mielestä betoniteollisuuden täytyisi olla aktiivisempi. Teräspuolella esimerkiksi Ruukki on tehnyt teräsluottopalkkisiltaan tyyppipiirustukset omalla kustannuksellaan ja Rumtec on kehittänyt teräspalkkisiltoja. Myös Versowood:n puusilta-tyyppisarja on hyväksyttävistä vaille valmis. (Liikenneviraston kokous, 2014.) Elementtitehtaiden tulisi siis käyttää omia resursseja elementtisiltojen suunnitteluun ja tyyppipiirustusten tekoon, kuten muualla maailmassa on tehty.

Alan ammattilaisten kanssa käydyistä keskusteluista ilmeni, että Suomessa ilmenee ennakkoasenteita elementtisiltoja kohtaan. Asenteisiin monesti myös vaikuttavat aiemmin törmätyt ongelmat, kuten esimerkiksi heikko törmäyskestävyys ja vuotavat saumat. Suureksi osaksi kustannusten takia hiipuneen betonielementtisiltarakentamisen paikalle

tuli paikallavalurakentaminen 70-luvun lopulla, mikä on jäänyt hallitsevaksi tavaksi rakentaa siltoja Suomessa. Betonielementtirakentamisen ongelmien ratkaisemiseen ei kuitenkaan ole haluttu paneutua, koska kenties ei ole koettu tarvetta korvata toimivaa paikallavalurakentamista. Tähän on saattanut vaikuttaa myös resursien puute.

### **3.1.1 Liikenteen häiriöttömyys**

Suomessa ei anneta arvoa liikenteen häiriöttömyydelle niin paljoa mitä muualla Euroopassa. Maanteille voidaan laittaa kiertoreitti jopa vuodeksi ja liikennenopeus laskea työmaanopeudeksi (DI Aho SRV Rakennus Oy, 2014). Kun rakennetaan olemassa olevan tien yli, häiriö on sen verran vähäinen, ettei sille voida laskea arvoa. Häiriö täytyisi ottaa huomiin tien ali rakennettaessa, koska se häiritsee liikennettä merkittävämmiin. (DI Saloviin, 2014.)

Elementtirakentamisella ei häiritä liikennettä niin paljoa kuin paikallavalulla, koska sillan rakentamisaika elementeillä on lyhyempi. Kustannusten osalta elementtirakentamisella ei saavuteta parempaa etua, koska liikennehäiriöistä ei veloiteta maksua. Liikennekatkoista kuitenkin veloitetaan tällä hetkellä, joten se ei edistä elementtirakentamista. Liikennekatko kuitenkin tulisi olemaan lyhyt ja haitta olisi paljon pienempi kuin pitkäaikainen kiertotie.

## **3.2 Kustannukset**

DI Juhani Hyvösen (2014) mielestä yleensä ongelmana on elementtien hinnan markkinoiden suhdanteista riippuva voimakas vaihtelu. Juuri 1980-luvulla elementtisiltojen rakentaminen alkoi laskea elementtien suhdanneherkkyyden takia (Aitta 2004, 359).

Korkeasuhdanteen aikana elementtien hinnat ovat liian kalliita tai niitä ei tarjota ollenkaan. Myyntityöhön tarvittaisiin pitkäjänteisyyttä. Elementtisiltoja olisi tarjottava kilpailukykyiseen hintaan myös taloudellisesti hyvinä aikoina. (Liikenneviraston kokous, 2014.)

Ehdoton edellytys betonielementtisiltojen kilpailukyvyille on vakioratkaisut. Tällä hetkellä kaikki tarjoukset hinnoitellaan varman päälle, koska tehtailta ei ole jatkuvaa silta-

elementtituotantoa. Yhteen paikallavalettuun siltaan tarvitaan jo monta työtuntia muotien tekoon sekä käytettävä puutavaran määrä on suuri, joten paikallavalu ei voi olla halvempi kuin elementtiratkaisu. Elementtitehtaiden täytyisi nykyään toteuttaa itse alusta loppuun siltahanke eli olisi otettava kokonaisvastuu työstä. Ei riitä, että elementit tehdään ulkopuolisilla suunnitelmilla ja vain viedään työmaalle. (DI Aho SRV Rakennus Oy, 2014.)

Aluejohtaja/Yhdyskuntatekniikan insinööri Ville Tiiri (2014) mielestä paikallavalettu silta ei ainakaan ole kalliimpi kuin elementtirakentaminen, jos verrataan pelkästään rakenteen hinnan muodostuksen näkökulmasta. Eron tässä tekevät elementtirakentamiseen tulevat kuljetuskustannukset ja nosturin käyttö. Urakoitsijan näkökulmasta kaikki urakkaan liittyvät asiat on tutkittava kokonaiskustannusten kautta. Elementtiratkaisun pitää olla kokonaistaloudellisesti kannattava, jotta se pystyy kilpailemaan paikalla valun kanssa. Elementtiratkaisusta tulee halvempi, kun jokin asia vaikuttaa kokonaisuuden hintaan. Esimerkiksi tilaaja on laatinut kokonaisaikataulun niin tiukalle, että paikalla valu tulee kalliimmaksi johtuen tilaajan määrittämistä aikataulusakoista.

Asennuksen osuus elementtisillan toimituksesta on karkeasti 10-15 prosenttia elementtitoimituksen hinnasta. Hinta sisältää vain elementtien asennuksen eikä työmaalla tehtäviä töitä, kuten paikallavalettua kansilaattaa. (Liiketoimintaryhmäpäällikko/DI Haukijärvi, Parma Oy, 2014, haastattelu.) Olisi syytä kuitenkin selvittää elementti- ja paikallavalusillan kokonaiskustannukset, jotta saataisiin selvitettyä siltojen todellinen kokonaiskustannus. Tasaako esimerkiksi paikallavalusiltojen muottityöt ja materiaalikustannukset elementtisiltojen asennuskustannukset?

Betonielementtien kustannuksiin vaikuttavat tällä hetkellä paljon riittävien tuotantosarjojen puute. Elementtitehtaille tulee yksittäisiä kohteita, jolloin elementtien valmistaminen ei ole kannattavaa. Yksittäiset kohteet saattavat olla rakenteeltaan vaikeita ja siltaratkaisuja ei välttämättä ole mietitty kustannustehokkaiksi. Tehtailla ei monesti ole tarjolla vähäisen kysynnän takia muottikalustoja, jolloin esimerkiksi Parma Oy joutuu lainaamaan kalustoa muualta Euroopasta. Muottikaluston kuljetuskustannukset on otettava huomioon tarjouksen hintaan sekä siihen on myös sisällytettävä riskit, koska ei ole totuttu siltaelementtien valmistukseen ja rakentamiseen. (Liiketoimintaryhmäpäällikko/DI Haukijärvi, Parma Oy, 2014, haastattelu.)

Ratapuolella elementtirakentaminen vaati vähintäänkin yli 50 tonnin nostokaluston. Suuri kalusto ei mahdu alle 6m korkean sähköistetytyn radan alle, jolloin täytyy tehdä sähköratarakenteiden siirto. Lankojen siirto tai sähköratarakenteiden purku maksaa noin 25000€. Jännitekatko ratajohtoon maksaa noin 2000€ ja niitä tarvitaan yleensä noin 10 kpl työmaata kohti. (DI Kataja VR Track Oy, 2014.) Ratapuolella elementtien nostaminen tuottaa lisäkustannuksia, kun edellä mainittuja toimenpiteitä joudutaan tekemään. Ratapuolella on hyväksi havaittu siirtomenetelmä, jossa silta rakennetaan radan vieressä ja siirretään paikoilleen. Siirrettävä silta on kuitenkin monesti rakennettu paikallavalulla, jonka voisi kenties korvata yhtä hyvin elementtirakenteisella sillalla. Tällöin rakentamisaika olisi vielä nopeampaa.

### 3.3 Saumarakenteet

Liikuntasaumat sekä liikuntasaumalaitteet tuottavat ongelmia talviolosuhteissa. Yleensä saumalaitteissa on kumisia saumanauhoja ja -profileja, joiden täytyy olla vesitiiviitä. Saumalaitteisiin kertyy talven aikana hiekoitushiekkaa, joka rikkoo kumit, hiekan jäädessä kokoonpuristuvan kumin väliin. Ongelma on yleinen keväällä, kun silta laajenee. Tämä ongelma on kaikissa siltatyypeissä, mutta elementtisilloissa ongelma kertaantuu ylimääräisten saumojen takia. Ongelma kuitenkin liittyy lähinnä siltojen kunnossapitoon. (DI Juhani Hyvönen 2013.) Liikuntasauvoja on kuitenkin huollettava myös paikallavaletuissa silloissa, joten se ei ole pelkästään elementtisiltojen ongelma. Liikuntasauaman teko kuitenkin edellyttää kannen laakerointia, joka lisää huoltokustannuksia.

DI Keijo Saloviin Ins.tsto.Pontek (2014) mukaan jatkuvissa elementtisilloissa tuelle on tehtävä joko liikuntasauma tai tuen kohta on tehtävä jatkuvaksi paikallavalulla. Hänen mielestään ongelmana sauman paikallavaluissa on saada mahtumaan riittävästi terästä, jotta halkeamaleveysvaatimus saadaan toteutettua. Elementtipalkkien päiden väli valetaan umpeen, jolloin kansirakenne toimii täysikorkeana tukimomentille. Tuen kohdan valuun laitetaan palkeista tartuntateräksiä siten, ettei palkkien päiden välinen valu pääse aukenemaan. Tällä tavoin voidaan selkeästi mitoittaa kansilaatta tukimomentin aiheuttamalle vedolle.

Olisiko teräskuiduilla mahdollisuus saada parannettua betonin vetokestävyyttä tuen kohdalla (kuva 3)? Euroopassa teräskuitubetonia on käytetty jopa kantavissa laatoissa.

Ero teräskuitujen ja raudoitustangon välillä on siinä, että teräskuidut ovat tiheämmässä ja niitä on enemmän ottamassa vetojännityksiä vastaan. Teräsbetonimassa on täynnä kuituja. Esimerkiksi kantavissa rakenteissa  $70\text{kg/m}^3$  annostuksella kuitujen keskimääräinen välimatka on noin 14mm. Jos tuen kohdalle on ongelmallista saada riittävästi terästä mahtumaan, kuiduilla luulisi sen onnistuvan. Normaaliraudoitusta käytettäessä saattaa myös tulla vastaan suojabetonietäisyydet tilan ahtauden vuoksi. (Mandl & Mantsinen 2014, 61-63.)



KUVA 3. Teräskuitubetonia (Mandl & Mantsinen 2014, 61)

Normaaleissa elementtirakenteisissa risteysilloissa vältettäisiin päällysteen mekaaniset liikuntasaumalaitteet suunnittelemalla liikuntasaumaton rakenne. Välitukien kohdalle, missä tapahtuu kiertymistä, tehdään massaliikuntasauma päällysteeseen. Välituella myös vedeneristyskerros on tehtävä joustavaksi. (DI Aho SRV Rakennus Oy, 2014.) Massaliikuntasauman ehtona on, että liikuntasauman kokonaisliikemäärä on 30mm, ellei Liikennevirasto ole hyväksynyt erikseen tätä suurempaa liikemäärää (NCCI 1 2010, 2). Liikuntasaumattomassa siltatyyppissä päällysrakenteen pää liikkuu siltapenger-tä vasten, jolloin sillassa ei tarvita liikuntasaumalaitteita (Laaksonen 2005, 15). Tiehallinnon (nykyinen Liikennevirasto) ohjeistus on rajannut liikuntasaumattoman sillan pituuden liikuntakeskiöstä päätypenkereeseen kevyen liikenteen silloissa 45 metriin, ajoneuvoliikennesilloissa 35 metriin ja ratasilloissa 70 metriin. (Sillan suunnittelun täydentävät ohjeet 2002, Laaksosen 2004, 12 mukaan.)

Keskustelussa alan toimijoiden kanssa nousi esiin myös elementtirakenteisten siltojen talvirakentamisessa ongelmana olevat jälkivalut. Saumavalut on pidettävä riittävän kauan lämmössä sekä liittyvä rakenne pitäisi saada lämpimäksi. Kylmällä säällä elementin pinta, jota vasten valetaan, on pidettävä sulana ja riittävän karkeana. Juotosvalut tulisi peittää riittävän hyvin lämpösuojauksella, että lämpö ei pääse karkaamaan elementtien kautta. Juotosvalut tulisi myös tehdä pakkasenkestävällä betonilla talviolosuhteissa. (InfraRYL 2006, 30.)

Kanadassa lumi, jää ja suola ovat myös ongelma, mutta elementtisiltoja ei koeta ongelmallisempina kuin paikallavalettuja siltoja. Elementtirakentaminen antaa useita etuja verrattuna paikallavaluun. Voidaan käyttää laadukkaampia betonilaatuja, jolloin saadaan betonista tiiviimpi, vedenpitävämpi ja paremmin kloridien tunkeutumista estävä. Voidaan rakentaa myös ympäri vuoden ilman, että olisi ongelmaa betonin kovettumisella kylmällä säällä. (McGain 2014.)

### **3.4 Pakkasenkestävyys**

Elementtisillat ovat kilpailukykyisempiä suolarasitetuilla teillä, joissa vaaditaan reunapalkkien ja kansien vaihtoa. Suomessa suolataan noin 6500 km vilkkaimmin liikennöityjä teitä ja muita päätteitä liukkaimpina keleinä (Liikenneviraston internetsivut). Suolaus lisää kloridien tunkeutumisen riskiä betoniin. Betonin raudoitusta suojaava ominaisuus häviää, kun betonin kloridipitoisuus ylittää tietyn kriittisen arvon. Betonipeitteen paksuudella on näin ollen oleellinen merkitys korroosion ehkäisemisessä. Kloridien tunkeutuminen betoniin riippuu ensisijaisesti betonin tiiveydestä. Betonin impregnointi estää kloridien tunkeutumista sekä silika pienentää myös kloridien tunkeutumisnopeutta. (Honkavuori & Lampinen 2009, 99.)

Tiesuolaus myös lisää pakkasrasitusta huomattavasti, kun suola lisää jääkiteiden kasvun aiheuttamaa painetta betonissa. Suolan vaikutus myös lisää betonin pinnan rapautumista, koska sulamiseen tarvittava lämpö siirtyy jäähän sen alla olevasta betonista (kuva 4). Lämpötila laskee betonin pintaosassa, jolloin betoni saattaa vaurioitua. (Honkavuori & Lampinen 2009, 104.)



KUVA 4. Sillan reunapalkin ja kannen pakkasrapautumista ( SILKO 2.211, 2008, muokattu)

Betonielementtien suurin etu on materiaaliteknologiassa, koska tehtaassa voidaan käyttää sellaisia betonilaatuja mitä työmaalla ei voida (DI Aho Rakennus Oy, 2014). Seosaineiden ja lisäaineiden käyttäminen tehdasoloissa on helpompaa kuin ulkona työmaalla. Tehdasvalmistuksessa voidaan käyttää myös korkealujuusbetonia, joka auttaa pakkas-suolakestävyteen. (Elementtisuunnittelu n.d.) Paikallavalusiltojen ongelmana on myös talviaikaan suoritettavat valut. Talvella on huolehdittava riittävän kovettumislämpötilan järjestämisestä lämmittämällä, suojaavalla lämpöeristyksellä, lämpötilan ja lujuuskehityksen seurannalla. Betonin lujuuskehitys voi vaarantua alhaisen lämpötilan seurauksena. Kesäaikana taas liian korkea lämpötila saattaa aiheuttaa lujuuskatoa betonissa. Myös sade, tuuli ja aurinkopaiste ovat ongelmallisia betonille kovettumisvaiheessa. Betonin suojaamatta jättäminen aiheuttaa betoniin halkeilua ja veden haihtuessa myös lujuuden kasvun pysähtymistä. (Honkavuori & Lampinen 2009, 332.) Ilmastolliset olosuhteet vaikuttavat paljon paikallavaluun, jossa joudutaan suojaamaan ja lämmittämään betonia. Lämmityskulut oletetusti lisäävät kustannuksia riippuen paljon vallitsevista olosuhteista. Ilmastolliset olosuhteet myös lisäävät riskiä betonin laadun huonontumiseen. Elementtirakentamisessa on tässä suhteessa huomattava etu saada parempaa laatua vaivattomammin.

Silika lisää betonin kemiallista kestävyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä. Korkealujuusbetonissa silika tekee massasta vaikeasti työstettävän, koska korkealujuusbetonissa sementtimäärä on suuri. Jäykkiä massoja voidaan kuitenkin työstää tehdasolosuhteissa käyttämällä muottitäryjä, painetäryjä tai ns. leikkaustiivistystekniik-



kaa. Silika ja useat lisäaineet tarvitsevat tarkan annostelun sekä nopean valun heti sekoi-  
tuksen jälkeen. (Honkavuori & Lampinen 2009, 60,455,456.)

Tehdasoloissa betonin impregnoinnilla on etua työmaalla impregnointiin verrattuna. Impregnoinnissa betonin pinnalle sivellään impregnointiainetta, joka muodostaa betonin pintaan kalvon tai tiivistysainetta, joka tukkii osittain betonin huokosia estäen veden tunkeutumista. Impregnointi täytyy tehdä uudelle pinnalle ennen kuin betoni joutuu suolarasitetuksi. Työn aikaiset olosuhteet asetettavat seuraavia rajoituksia impregnoin-  
nille:

- Lämpötilan ylittäessä +20 astetta pintaan ei saa osua auringon säteilyä.
- Ilman ja rakenteen lämpötilan täytyy olla yli +5 astetta.
- Tuulen nopeus rakenteen pinnassa saa olla korkeintaan 5 m/s.

(SILKO 2.252 2004.) Voidaan todeta, että tehdasoloissa on helpompi toteuttaa impreg-  
nointi, koska tällöin ei tarvitse välittää sääolosuhteista.

### 3.5 Esteettisyys

Elementtisiltoja suunniteltaessa tulisi kiinnittää huomiota sillan ulkonäköön, koska pai-  
kallavalettua siltaa pidetään esteettisesti miellyttävämpänä (Liikenneviraston kokous,  
2014). Siltojen ulkonäköä merkittävimmin heikentää betonipintojen laatu. Betonipinnan  
laatuun vaikuttaa koko rakentamisprosessin vaiheet, joita ovat

- telineet ja muotit
- betoniseoksen koostumus
- valaminen
- tärytys
- kuivuminen
- muotin irrotus
- kuivuminen. (Siltojen ulkonäköön liittyvän...2010, 28.)

Tehdasoloissa käytetään teräsmuotteja, jolloin saadaan tiiviimpiä, sileämpiä ja kestä-  
vämpiä pintoja. Tehdasoloissa jälkihoitoa voidaan myös hallita paremmin. Elementtien  
ulkonäköä saadaan parannettua pintastruktuurilla ja väribetonilla (kuva 5). (Elementti-  
suunnittelu n.d.)



KUVA 5. Koristeellinen kotelopalkkisilta (Calavera ym 2004, 19)

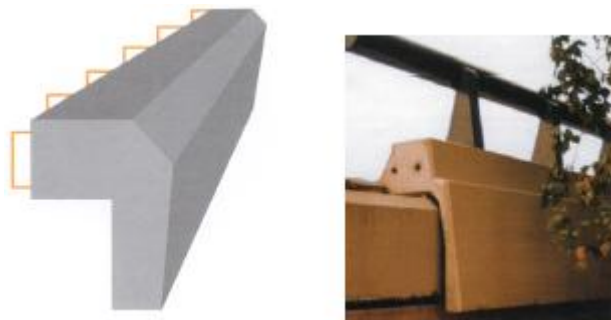
Teräsmuottia vasten valettaessa on käytettävä valusukkaa, huolellista tiivistystä ja ohuita valukerroksia. Muuten tiivis muotti saattaa lisätä huokosten määrää, jolloin betonin pinnalla syntyy pyöreämuotoisia valuhuokosia pinnan läheisyyteen kerääntyvistä ilma ja vesikuplista. Teräsmuottien käyttökertamäärä on suuri, mutta ne vaativat hyvää huoltoa. Teräsmuotteja on vaikea muuttaa, joten ne soveltuvat samojen rakenteiden valmistukseen. Sahatavaraa käytettäessä betonipinnan muodostavat lautakuviot (kuva 6). Lautamuotit on aina kasteltava, jotta muotti tiivistyy ja muotti irtoaa paremmin betonista. Betonipinnassa saattaa ilmetä tummuusvaihteluita oksakohdissa, jossa ne imevät betonista vettä puuta enemmän. Lautojen vedenimukyky vaihtelee, jolloin huolellisesta kastelusta huolimatta saattaa esiintyä tummuusvaihteluita. (Mannonen & Petrow 2011, 27)



KUVA 6. Lautamuotin pintakuvio (Seppo Petrow, n.d)

### 3.5.1 Reunapalkit

Reunapalkki on sillan yksi näkyvimmistä ja visuaalisesti merkittävimmistä osista. Reunapalkkielementeille on olemassa muualla Euroopassa erimuotoisia ja värisiä vaihtoehtoja (kuvat 7 ja 8). (Calavera ym 2004, 50.)



KUVA 7. Arkkitehtoninen reunapalkkikuori (Calavera ym 2004, 51)



KUVA 8. Kotelopalkkisilta arkkitehtonisella reunapalkilla (Calavera ym 2004, 51)

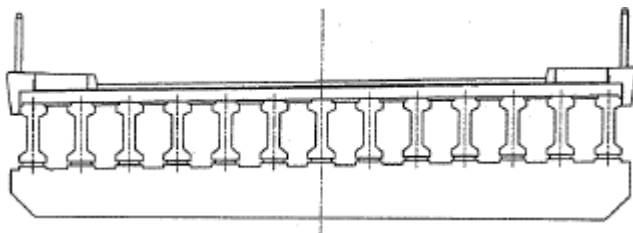
Reunapalkkien suuritöisen uusimisen takia niitä aletaan yleensä vasta korjata, kun pääraudoitus on näkyvässä. Joskus myös merkittävä sillan ulkonäköön vaikuttava tekijä saattaa nopeuttaa korjaustyön aloittamista. Liikenneturvallisuus ei kuitenkaan saa vaarantua kaidepylväiden huonon kiinnityksen eikä reunapalkista irtoilevien betonikappaleiden takia. (SILKO 2.211, 2008,1.) Ajallisesti reunapalkkien käyttöikäksi on arvioitu 25 vuotta suolatuilla teillä ja 40 vuotta suolaamattomilla teillä (Vähä-Pietilä, 2011). Siltojen reunapalkkeina pitäisi käyttää pelkästään irrotettavia elementtejä, koska tällä hetkellä reunapalkkeja korjataan puoli vuotta siltaa kohden. Reunapalkkien korjaaminen aiheuttaa tällöin paljon häiriötä liikenteelle. (Suunnittelupäällikkö Aho, 2014.)

Reunapalkkien täytyy kestää hyvin suola-pakkasrasitusta. Kuorirakenteisen reunapalkin laatuvaatimukset hyvälle tiiveydelle, lujuudelle, vesi-sideainesuhteelle sekä pakkassuolakestävyydelle onnistuvat parhaiten tehdasolosuhteissa. Reunapalkkien heikoin kohta on saumat, joiden täytyy kestää eristystyössä käytettävä korkeaa lämpötila ja olla yhteensopiva eristyksissä käytettävien bitumituotteiden kanssa. Elementtien päittäis-saumauksissa käytetään paisuvaa saumanauhaa. Elementtien ja siltarakenteiden välisissä saumoissa ei tarvitse olla paisuvaa saumanauhaa, mutta sen on oltava vesitiivistä. (Siltojen reunapalkkien kuoret 2005, 9, 10,13.) Elementtirakenteisissa reunapalkkeissa riskinä saattaa esiintyä saumojen vuotaminen, jos niitä ei ole tehty huolella. Saumavuodot saattavat vaurioittaa vuotaessaan elementtien kiinnitysteräksiä pidemmällä aikavälillä. Saumojen kuntoa tulisi seurata tarkasti siltojen tarkastusten yhteydessä, mutta kuinka hyvin tämä tulisi käytännössä tapahtumaan.

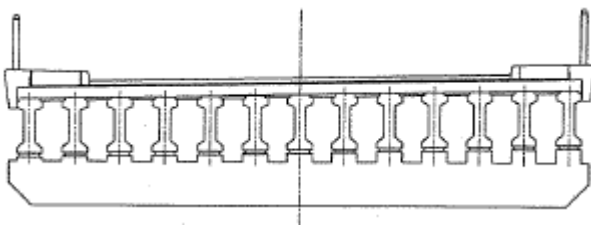
### 3.6 Tiegeometrian vaikutus

Tiegeometriassa ongelmia tuottavat teiden kaareva vaakageometria sekä sivukaltevuus. Sivukaltevuus voidaan toteuttaa yläpinnaltaan vinoilla elementeillä tai tasausbetonilla. Jos korkeutta ei ole rajoitettu, voidaan kantavan rakenteen päälle laittaa täytekerros so-  
rasta. Tällöin suunnitellaan välitukien kohdalla olevat mahdolliset liikuntasaumot ta-  
sauskerroksen alle suojaan. (DI Aho SRV Rakennus Oy, 2014.) Haastatteluissa ilmeni  
myös, että ongelmia betonielementtisiltoihin tuovat sillat, joissa hyötyleveys muuttuu  
sillan matkalla sekä pitkät sillat, joissa ajoradan poikkikaltevuus vaihtuu yksipuoleisesta  
kaksipuoleiseksi.

Kaltevuutta voidaan myös toteuttaa tekemällä poikittainen tukipalkki yläpinnastaan kal-  
tevaksi (kuva 9). Toinen vaihtoehto on tehdä tukipalkin yläpinta vaakasuoraan, mutta  
nostaa palkkien olla olevia laakerikerroksia eri korkeuksille (kuva 10). (Calavera ym  
2004, 49.)



KUVA 9. Poikkipalkin kalteva pinta (Calavera yms 2004, 49)



KUVA 10. Palkkien laakeritasot erikorkuiset (Calavera ym 2004, 49)

Vuodesta 1995 lähtien on kehitetty kaarevaa esijännitettyä kotelopalkkisiltaa Espanjas-  
sa, Hollannissa ja Iso-Britanniassa (kuva 11). Kotelopalkkisillan vääntöjäykkyyden an-  
siosta silta saadaan kaarevaksi. Kaaren säde voi olla 100:sta 200 metriin. (Calavera ym  
2004, 20)



KUVA 11. Kaareva kotelopalkkisilta (Calavera ym 2004, 21)

### 3.7 Yhteenveto

Taulukossa 1 on esitetty mitkä tekijät tällä hetkellä parantavat tai heikentävät betonielementtisiltojen kilpailukykyä. Eri tekijöiden painoarvoa kuvataan seuraavalla asteikolla:

- +/- kilpailukykyä lievästi parantava / heikentävä tekijä
- ++/-- kilpailukykyä selvästi parantava / heikentävä tekijä
- +++/--- kilpailukykyä voimakkaasti parantava / heikentävä tekijä

kustannukset	---
asenteet	---
esteettisyys	-
liikenteen häiriöttömyys	++
Saumarakenteet	--
tiegeometria	--
betonin laatu	++

TAULUKKO 1. Kilpailukykyyn vaikuttavat tekijät

Kilpailukykyyn vaikuttavista tekijöistä eniten vaikuttavat lopulta kustannukset. Elementtisillan on oltava vähintäänkin yhtä edullinen kuin paikallavalusillan. Samanhintaisenaan elementtisillat eivät välttämättä kuitenkaan pärjää, koska rakennusliikkeet ovat tottuneet tekemään paikallavalusiltoja.

Elementtisillat ovat nopeampia rakentaa. Jos Suomessa annettaisiin arvoa liikenteen häiriöttömyydelle, parantuisi elementtisiltojen kilpailukyky merkittävästi. Suomi on harvaanasuttua seutua, joten kiertotien ei katsota vaikuttavan merkittävästi yksittäiseen ihmiseen. Pääkaupunkiseudulla liikennemäärän luulisi kuitenkin olevan jo vähintäänkin sitä luokkaa, että sillat täytyisi rakentaa mahdollisimman nopeasti. Liikenteen hidastuminen ja etenkin kiertotiet vaikuttavat merkittävämmiin tavarakuljetuksiin.

Tällä hetkellä asenteilla on merkittävä heikentävä vaikutus elementtisiltojen kilpailukykyyn, koska moni tuntee historian törmäyskestävyys- ja vuoto-ongelmat. Elementtisiltojen saumoja pidetään ongelmallisina niiden suuren määrän vuoksi, mutta kansirakenne on mahdollista toteuttaa jatkuvana, jolloin saumoista päästään eroon. Tiegeometrialla on myös heikentävä vaikutus, koska siltojen hyötyleveys saattaa muuttua sillassa, joten niihin olisi löydettävä ratkaisu. Betonin laadulla on selkeästi parantava vaikutus betonielementtisiltojen kilpailukyvyssä, koska tehdasoloissa sääolosuhteet eivät ole haittaamassa.

## 4 CONSOLIS-KONSERNIN ELEMENTTISILLAT

### 4.1 Siltoihin liittyviä ohjeita

Suomesta puuttuu tällä hetkellä Liikenneviraston tekniset vaatimukset elementtisilloille. Julkaisun täytyisi koota yhteen harmonisoidut elementtistandardit EN 13369 ja EN 15050 sekä mitoitusstandardit EN 1991-sarja ja EN 1992-sarja. Lisäksi on noudatettava Liikenneviraston ohjeita, kuten NCCI 1 ja NCCI 2 sekä InfraRYL:n elementtejä koskevia ohjeita. Tämä helpottaisi betonielementtisiltojen suunnittelua. (Liikenneviraston kokous, 2014.) Tässä kappaleessa on käsitelty yleisesti muutamia ohjeita, joita on tarkennettu siltakohtaisesti kappaleissa.

#### 4.1.1 Betonirakenteet

Betonirakenteille määritetään rasitusluokkaryhmä, lujuusluokka, pakkasenkestävyysvaatimus ja betonipeitteen vähimmäisvaatimukset. Pääasiassa lujuusluokka päällysrakenteen palkeissa ja kansilaatoissa on C30/37 ja betonipeitteen nimellisarvo on 40-55 mm. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50, ei rakennetta tarvitse suojata kloridirasitusta vastaan. (NCCI 2 2010, 27.) Korkealujuusbetonin lujuusluokat ovat 60-100 MPa. Korkealujuusbetoneiden käyttö soveltuu elementtirakentamiseen, koska korkealujuusbetonia pitää jälkihoitaa erityisen huolellisesti. Korkealujuusbetoni jäykistyy suuren notkistimen määrän takia nopeasti, joten lämpimissä olosuhteissa betonin jäykistyminen on ongelmallista. (Ruduksen internetsivut.)

#### 4.1.2 Pintarakenteet

Suomessa kannen vedeneristyksen on oltava vesitiivis. Eristyksen on myös kestävä tiesuolojen, laimeiden happojen ja emästen vaikutukset (InfraRYL 2006, 196). Kannen pintarakenteen vaihtoehtoista yleisin Suomessa käytetty on kermieristys. Haittapuolena on ollut sen kupliminen hellekausina, mikä on johtunut kansirakennebetonissa olevasta kosteudesta ennen eristystä ja työvirheistä itse eristystyössä. Kuplimisongelmat estetään



valitsemalla eristysalustan käsittelyksi epoksiivistys, jota pidetään perusratkaisuna päätteiden silloilla. Muita eristysvaihtoehtoja ovat mastiksieristys ja nestemäisesti levitettävät eristykset. Mastiksieristys on altis työvirheille ja sen vedenpitävyydestä yli 20 vuoden aikavälillä ei olla täysin varmoja. Nestemäisten eristeiden huono puoli on ollut päällysteen tarttuvuus eristykseen. (NCCI 1, 2010, 72.)

Suomessa silloissa käytettävät kermieristysrakenteet on luokiteltu eri käyttöluokkiin, jotka on esitetty taulukossa 2.

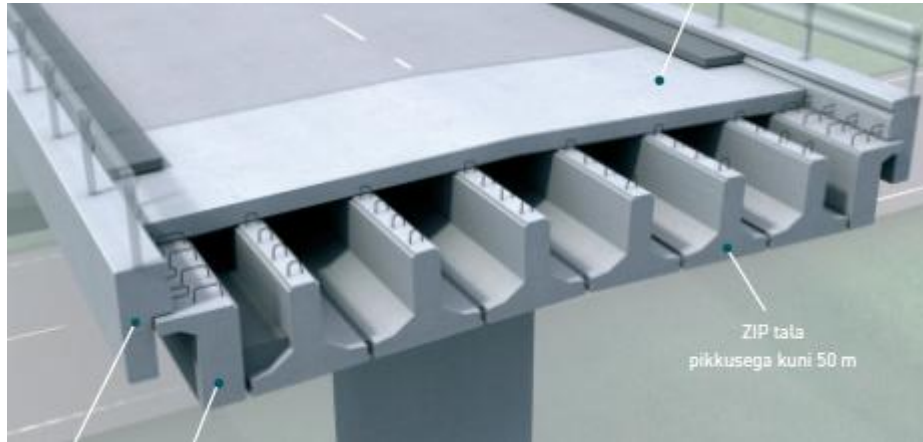
<b>Käyttöluokka 1</b>		<b>Käyttöluokka 2</b>	
<b>Sillat joiden</b>			
<b>ajoneuvoliikenne &gt;3000/vrk:</b>		<b>&lt;3000 autoa/vrk:</b>	
Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.		Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.	
Suojakerroksena asfalttibetoni AB 6/50 tai AA 5/50.		Suojakerroksena asfalttibetoni AB 5/50 tai AA 5/50.	
<b>Maakantiset sillat:</b>		<b>Maakantiset sillat:</b>	
Kaksikerroskermi suojakerroksella käyttöluokan 2 mukaisilla kermieristysrakenteilla.		Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.	
Suojakerroksena asfalttibetoni tai suojabetoni.		Suojakerroksena asfalttibetoni tai suojabetoni.	
<b>Käyttöluokka 3</b>			
<b>Sillat joiden</b>			
<b>ajoneuvoliikenne &lt;500/vrk:</b>			
Yksikerroskermieristys suojakerroksella.			
Suojakerroksena suojabetoni.			
<b>Maakantiset sillat:</b>			
Yksikerroskermieristys suojakerroksella.			
Suojakerroksena suodatinkangas ja hiekka tai suojabetoni.			

TAULUKKO 2. Kermieristysrakenteet eri käyttöluokissa (NCCI 1 2010, 82)

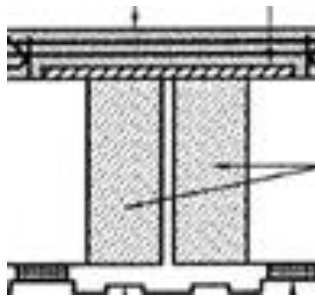
## 4.2 ZIP-palkkisilta

ZIP-palkkisilta koostuu vierekkäisistä esijännitetyistä ylösalaisin olevista T-muotoisista palkeista (kuva 12). Palkit ovat yhdistetty paikallavalettavalla laattalla ja poikittaisilla jäykistävillä palkeilla molemmista päistään (kuva 13). Palkit voidaan myös tukea pai-

kallavalettavalla jäykisteellä palkkien jännevälillä. Infra Concept -kokoelmassa löytyy yksityiskohtaisemmat detaljit, joita tämän työn yhteydessä ei voida näyttää.



KUVA 12. ZIP-palkkisillan rakenteet (Viaplus E-Betoelement, n.d )

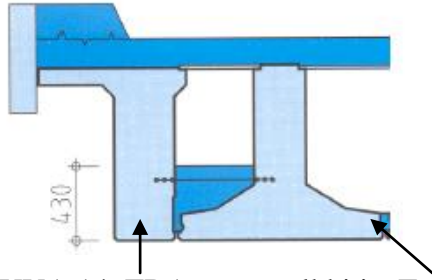


KUVA 13. Paikallavaletut poikkipalkit keskituen kohdalla (Calavera ym. 2004, 31, muokattu)

#### 4.2.1 Rakennerratkaisut

Käännetty T-palkkia voidaan käyttää staattisesti määrättyinä tai määräämättöminä rakenteena. Yli 1300mm käännetyt T-palkit toteutetaan staattisesti määrättyinä rakenteena. Siltatyypin voidaan toteuttaa osittain jatkuvana rakenteena, jolloin se tuo molempien rakennetyyppien edut ja poistaa huonot puolet. Osittain jatkuvassa rakenteessa palkit ovat yksiaukkoisia, mutta kansilaatta on tehty jatkuvaksi rakenteeksi.

Yleisin käytetty reuna ZIP-palkkisillan on TRA-reunapalkki (kuva 14). Sillalle saadaan hyvä törmäyskestävyys, kun reunapalkin ja käännetyn T-palkin alaosa valetaan umpeen. Reunapalkki ja T-palkki kiinnitetään toisiinsa Spaencom:n kehittämällä törmäysliitoksella, joka sijaitsee alaosan valussa.



KUVA 14. TRA-reunapalkki ja T-palkki (Calavera ym. 2004, 52, muokattu)

Toinen vaihtoehto reunarakenteeksi on viistoreunaratkaisu. Tämä reunaratkaisu tekee sillasta hoikemman näköisen ja kumoaa laatikkomaisen olemuksen. Ratkaisu sisältää leukapalkin, jonka leukaosaan vinottain oleva sivuelementti tuetaan (kuva 15). Sivuelementin yläosa tuetaan vetotangolla T-palkin yläreunaan (kuva 16). Suurin mahdollinen sivuelementin koko voi olla enintään 2,4m. (Infra concept part 5 2009, 1,2. )



KUVA 15. Viistoreunaratkaisu ( Spaencom n.d, muokattu)



KUVA 16. Vioelementin vetotangot ( Spaencom n.d, muokattu)

Muualla Euroopassa käytetään muottitavarana puuta, kun halutaan valaa kansilaatta (Infra concept part 5, 5). Suomessa tuskin katsottaisiin hyvällä, jos puutavaraa jätetään valun alle. DI Juhani Hyvönen (2014) mielestä puutavara voidaan korvata kuumasinkityllä teräslevyllä.

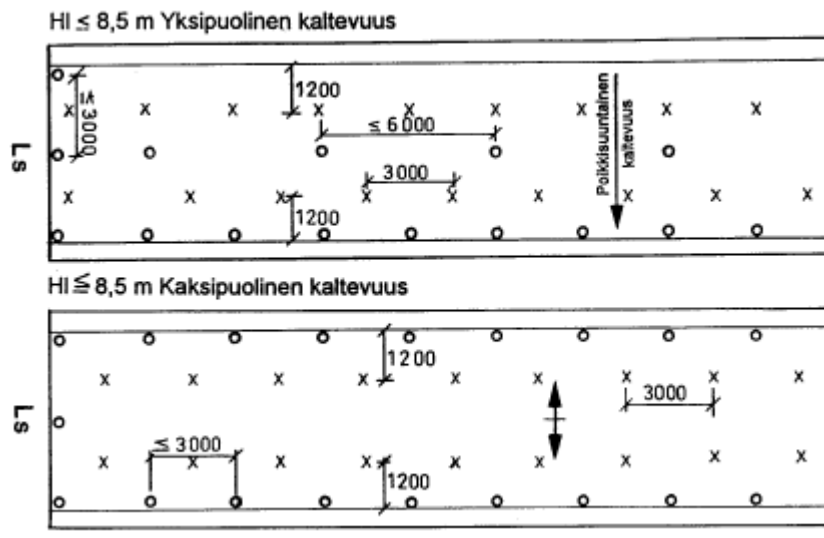
Jos ZIP-palkkisillan kannen muottina käytetään teräslevyä, hidastaa se betonikannen kuivumista alaspäin. ZIP-palkkisillan paikalla valetun kannen paksuus on kuitenkin pienempi kuin paikalla valetun sillan kansirakenne, jolloin kuivuminen on todennäköisemmin nopeampaa.

ZIP-silta vastaa Suomessa Jbe I eli jännitettyä betonielementtipalkkisiltaa. Yli-insinööri Jorma Huuran (2014) mukaan Jbe I ongelmana oli kansilaatan vaurioiden havaitseminen alalaippojen takia (kuva 17). Alalaippojen takia myös syöksyputkien ja tippuputkien kunnossapito on erittäin vaikeaa.



KUVA 17. Jbe I:n alusrakenteen vaurioita vuotavien saumojen takia (Jorma Lampinen Huura Oy, 2013)

Tippuputket pystytään sijoittamaan kunnossapidon näkökulmasta hyvin, jos sillat rakennetaan kaltevaksi kahdelle puolelle ja sillan hyötyleveys on alle 8,5m (kuva 18). Tippuputket sijoitetaan reunoille TRA-reunapalkin läpi, jolloin T-palkkien alalaidat eivät ole esteenä. Sillan keskiosaan ei tarvitse sijoittaa tippuputkia, jotka yksipuoleisesti kaltevasa rakenteessa tarvitsisi laittaa.



KUVA 18. Tippuputkien ja paineentasausputkien sijoituskaavio yksipuolisessa ja kaksipuolisessa kaltevuudessa, kun käytetään kermieristystä ja hyödyllinen leveys alle 8,5 metriä (NCCI 1 2010, 83)

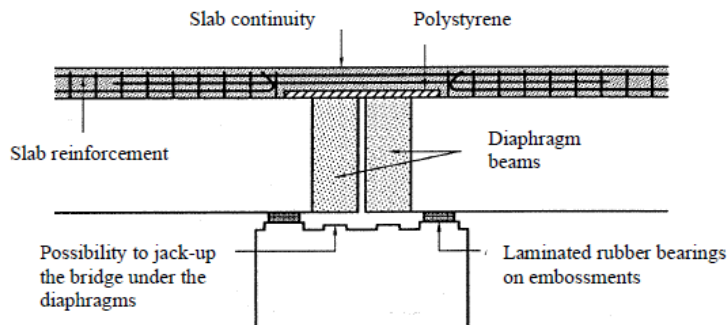
Jbe ongelmana havaittiin vaurioitumisriski ylikorkeiden kuormien törmäyksille risteys-silloissa. Palkin ohuet alalaipat eivät kestäneet törmäyksiä. Törmäysongelman takia risteyksissä olevat Jbe-sillat menettivät suosiota. (Aitta 2004, 356.) Hyvä törmäyskestävyys saadaan aikaan ZIP-palkkisillassa, kun käytetään ulommaisena palkkina muuta kuin käännettyä T-palkkia. Tämä aiemmin mainittu TRA-palkki on kiinnitetty T-palkkiin törmäystä vastaan suunnitellulla liitoksella. Törmäyskestävyyttä voi edistää myös valamalla T-palkkien alalaippojen väliset raot. Palkkien päässä on paikalla valettu palkki jäykistämässä T-palkit.

Virossa käytetään palkeille betonin lujuusluokkaa C55/65 ja kannelle C40/50. Tanskassa palkeille käytetään C45/55 ja kannelle minimissään C40/50. Hollannissa palkin lujuus C53/65 ja kannen minimissään C28/35. (Infra Concept Part 5 2009, 7.) Korkeat lujuusluokat saattavat johtua osaltaan myös maantieteellisistä sijainneista, joissa meri-ilma-ilmasto lisää suolarasitusta.

#### 4.2.2 Osittain jatkuva rakenne

Osittain jatkuvassa rakenteessa vain kansilaatta on jatkuva ja palkit on suunniteltu yksiaukkoisiksi (kuva 19). Tämä tarkoittaa sitä, että pystykuorman leviämistä ei tapahdu laatan kautta toiselle palkille. Palkit asennetaan omille laakereille, ja laatta erotetaan

palkeista liitoksen kohdalta tietyltä matkalta esimerkiksi polystyreenillä, jolloin rakenne sallii taipumisen. (Calavera ym. 2004, 31.) Liitos välittää lämpöliikkeitä ja jarrutuskuormia (Infra concept Part 5 2009, 1). Liikuntasaumojen suuri määrä elementtisilloissa oli yksi ongelma, josta mainitaan kappaleessa saumarakenteet. Tämän liitos vaihtoehdon ansiosta voidaan liikuntasaumojen määrää vähentää. Liitoksen kohdalta rakennetta voidaan tunkata ylös, joka helpottaa laakerien vaihtoa (Calavera ym 2004, 31).

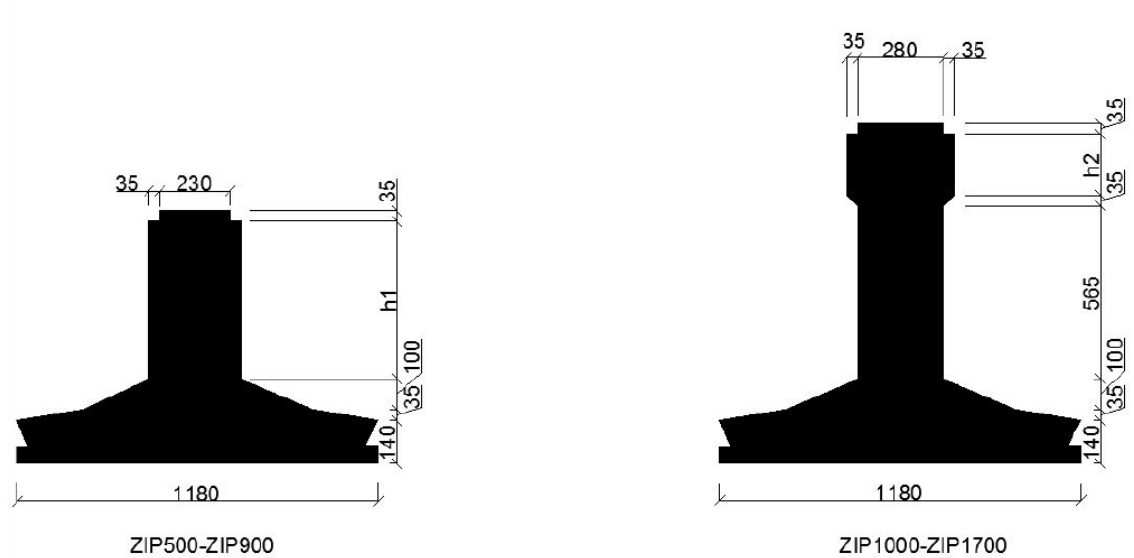


KUVA. Osittain jatkuva rakenne (Calavera ym. 2004, 31)

Ongelmana tässä liitosratkaisussa saattaa olla riittävän suuren teräsmäärän mahdolluttaminen liitoskohtaan, jotta saataisiin halkeamat pidettyä riittävän pieniä. Tästä halkeiluongelmasta mainitaan kappaleessa saumarakenteet. Pitäisi varmistaa onko Spanbetonin detaljin esittämä teräsmäärä riittävän suuri estämään halkeilut.

### 4.2.3 Päämitat ja käyttökohteet

Hollantilaisella Spanbeton:lla on suurin ZIP-palkki, joka on 1690mm korkea ZIP1700. Pienin on ZIP500, joka on 490mm korkea. Kaikissa palkeissa alalaipan korkein kohta on 275mm korkea ja matalin 140mm. Kaikissa palkeissa alalaipan leveys on 1180mm. Uuman korkeus ( $h_1$ ) vaihtelee aina ZIP900 saakka, minkä jälkeen uuman yläosan hieman levennetyn osan korkeus ( $h_2$ ) vain vaihtelee (kuva 20). ZIP1000:sta ylöspäin uuman korkeus on 565mm. (Infra concept Part 5 2009, 5.) ZIP-palkit ovat hieman leveämpiä ja painavampia kuin Jbe I palkit 980mm (Aitta 2004, 356).



KUVA 20. ZIP-palkkien poikkileikkausmitat (Infra concept Part 5 2009, 5.)

Taulukossa 2 on esitetty ZIP-palkkisiltojen suurimmat jännevälit ja siinä on esitetty pelkästään palkkien korkeudet, mutta kokonaisuudessaan silta käsittää vielä 230mm paksun paikallavaletun laatan. Taulukossa 3 on esitetty Jbe I sillan päämitat. Mitoista huomataan, että ZIP-palkeilla päästään huomattavasti pidempiin jänneväleihin matalammilla palkkikorkeuksilla. Syytä tähän ei ole selvillä. Se voi johtua esimerkiksi erosta varmuustasolla ja mitoitusmenetelmissä.

Tunnus	Palkin korkeus [mm]	Jänneväli (max.) [m]
ZIP500	500	16,00
ZIP600	600	18,20
ZIP700	700	20,50
ZIP800	800	23,00
ZIP900	900	26,00
ZIP1000	1000	28,80
ZIP1100	1100	31,50
ZIP1200	1200	34,00
ZIP1300	1300	36,50
ZIP1400	1400	38,90
ZIP1500	1500	41,00
ZIP1600	1600	42,80
ZIP1700	1700	44,50

TAULUKKO 2. ZIP-palkkisillan päämitat (Infra concept part 5 2009, 4)

	<b>Palkin korkeus [mm]</b>	<b>Jänneväli [m]</b>	
Jbel	623	12	
Jbel	623	14	
Jbel	623	16	
Jbel	723	18	
Jbel	823	20	
Jbel	923	22	
Jbel	1023	24	
Jbel	1123	26	
Jbel	1223	28	
Jbel	1323	30	

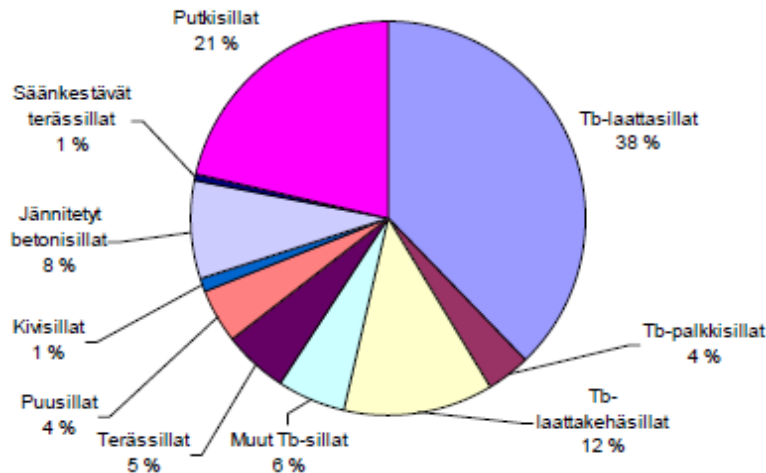
TAULUKKO 3. Jbe I:sen päämitat (Tyyppiopiirustussarja Jbe I 1988, 3)

Vuosina 2003–2009 rakennettiin 968 siltaa, jotka suurimmaksi osaksi kaikki olivat paikallavalettuja. Näistä silloista rakennettiin

- 8 % teräsbetonisia jatkuvia ja yksiaukkoisia laattasiltoja
- 2 % teräsbetonisia jatkuvia ja yksiaukkoisia palkkasiltoja
- 7 % jännitetyjä palkkasiltoja
- 0,8 % jännitetyjä laattasiltoja. (Tiehallinto, Sillat 1.1.2004, 1.1.2005, 1.1.2006, 1.1.2007, 1.1.2008, 1.1.2009, 1.1.2010.) Uudempiä tilastoja ei ollut saatavilla.

Kaikkia yllä mainittuja siltatyyppejä, joiden tilalle ZIP-palkkisiltaa voitaisiin käyttää, rakennettiin 175 siltaa kuudessa vuodessa. On mietittävä, onko tämän tyyppisille silloille tarvetta nykypäivänä. Jos oletetaan, etteivät elementtisillat korvaa täysin paikallavalusiltoja. Rakennetaanko tulevaisuudessa ZIP-palkkisilloille sopivia kohteita niin paljon, että niiden valmistaminen olisi kannattavaa? Onko 30 siltaa vuodessa riittävä määrä, jos niistä osa tehdään vielä paikallavalulla? Kaikkiaan laattasiltoja kuitenkin Suomessa oli eniten 1.1.2010. Kuviossa 2 on esitetty siltojen lukumäärät siltatyypeittäin 1.1.2010.





KUVIO 2. Siltojen lukumäärä siltatyypeittäin 1.1.2010 (Tiehallinto, sillat 2010, 22)

#### 4.2.4 Toimenpidesuositukset

ZIP-palkin Suomeen soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät ovat seuraavanlaisia:

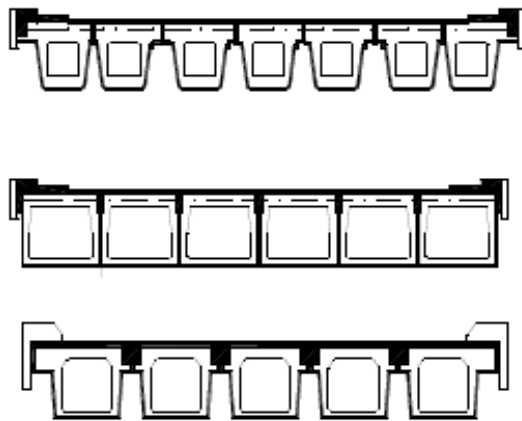
- ZIP-palkkisilta muistuttaa paljon jännitettyjä betonielementtisilloja (JbeI), mikä saattaa vaikuttaa ZIP-palkkisillan kannattavuuteen negatiivisesti.
- Päästään pidempiin jänneväleihin, mitä Jbe I:llä päästiin.
- Törmäyskestävyyteen kiinnitettävä erityisesti huomiota, jotta saadaan elementtisiltojen mainetta paremmaksi.
- Kansilaatan vaurioiden havaitseminen alalajien takia aiheuttaa ongelmia. Ratkaisun löytäminen voi olla vaikeaa.
- Olisi syytä vielä selvittää vuonna 2010-2014 rakennettujen siltojen määrät, joista ei löytynyt tietoa.

ZIP-palkille ehdotetaan seuraavanlaisia kehityskohteita:

- TRA-palkin ja T-palkin välisen törmäysliitoksen kehittäminen.
- Poikkipalkkien detaljien suunnittelu.
- Olisi suunniteltava osittain jatkuvaan rakenteeseen riittävä teräsmäärä , jolla estetään halkeilu.
- Kansilaatan valumuottien rakenne on suunniteltava toimivaksi. Jos muotti joudutaan jättämään valuun, täytyy löytyä siihen soveltuva materiaali.
- Voitaisiko teräskuitubetonia käyttää osittain jatkuvan rakenteen kansilaatassa?

### 4.3 Kotelopalkkisilta

Kotelopalkkisilta muodostuu esijännitetyistä kotelopalkkeista, jotka ovat sijoitettu rinnakkain. Consolis-konserni käyttää neliönmuotoista poikkileikkausta ja konsernin kotelopalkkia kutsutaan SKK-palkiksi kappaleessa (kuva 21). Kotelopalkkisiltaa voidaan valmistaa suorana tai horisontaalisesti kaareva. (Infra concept Part 6 2009, 1.)

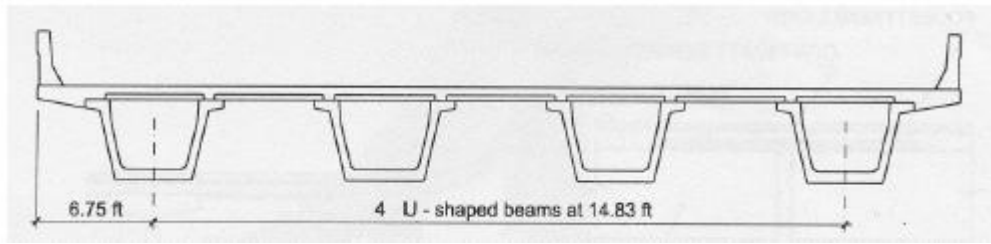


KUVA 21. Keskimmäisenä kotelopalkkisilloista on SKK-palkkia vastaava poikkileikkausmalli (Calavera ym. 2004, 15)

Kotelopalkkisilloista löytyy erilaisia rakenneratkaisuja, jotka eivät ole Consolis-konsernin käytössä. Australiassa on käytössä ylälaipalla varustettu kotelopalkki, jonka jännemitta on noin 45 metriin (kuva 22). Ylälaipan tarkoitus on toimia osana kansilaattaa. Lisäksi yhtenä vaihtoehtona löytyy myös U-muotoinen elementti, jossa on elementtilaatta paikallavaletulla päällysteellä (kuva 23). (Calavera ym. 2004, 15,16.)



KUVA 22. Super Tee:ksi kutsuttu ylälaipallinen kotelopalkki (Calavera ym. 2004, 15)

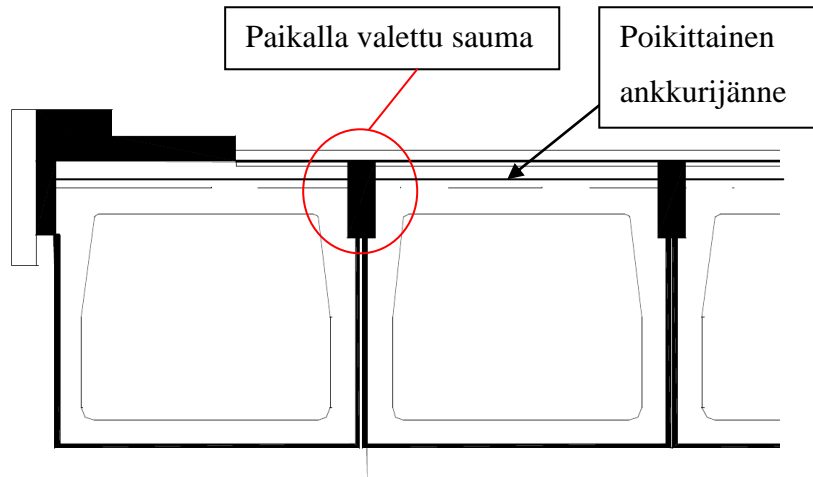


KUVA 23. U-muotoinen kotelopalkki (Calavera ym. 2004, 16)

### 4.3.1 Rakennetekniset ratkaisut

SKK-palkki voidaan suunnitella staattisesti määrättyksi tai määrättömäksi rakenteeksi. Staattisesti määräämätöntä ratkaisua kutsutaan 3P menetelmäksi. Rakenne on 3P systeemissä jännitetty kolme kertaa. Palkit ovat esijännitetty tehtaalla pitkittäissuunnassa. Asennuksen jälkeen palkit jälkijännitetään poikittaissuunnassa ja sen jälkeen jälkijännitetään pitkittäissuunnassa kotelopalkit yhteen jatkuvaksi rakenteeksi. Pitkittäinen ankkurijänne kulkee optimaalista rataa. Tällöin tukien kohdalla jänne on yläpinnassa, koska veto on tuen kohdalla yläpinnassa. Suojaputket täytetään myöhemmin injektiomassalla. Maksimi jänneväli on 54 metriä käyttämällä 3P menetelmää, ja korkeutta palkilla on 1,8 metriä. Yhdellä kertaa voidaan jännittää 200 metriä. Se on myös raja jatkuvan sillan pituudelle, jonka jälkeen lämpöliikkeet tulevat liian suuriksi. (Infra concept Part 6 2009, 6, 8-10.) Poikittaisten jänneiden ankkureiden takia saattaa vaatia jälkivaletun reunapalkin. Jos ankkurit reunapalkin alueelle, tuottaako ankkurien uusiminen lisäongelmia reunapalkkien korjaamisen yhteydessä. (DI Ryynänen Ramboll, 2014.)

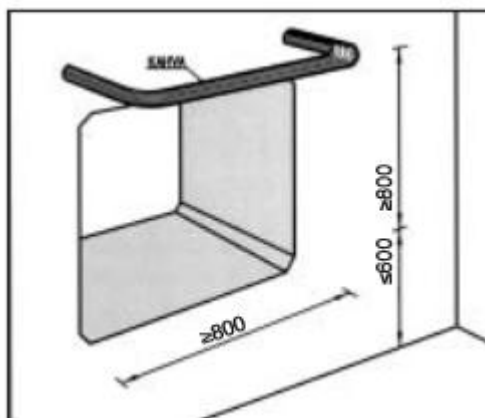
Poikittaiset ankkurijänneet asennetaan kotelopalkkien läpi. Pitkittäiset saumat valetaan umpeen 310mm korkeudelta yläpinnasta, jolloin ankkurijänneiden suojaputket jäävät valuun (kuva 24). Jänneiden teräksiset suojaputket asennetaan kotelopalkin kansilaatan sisään tehtaalla, jolloin kotelopalkkien kansiosat yhdessä saumavalujen kanssa muodostavat poikittaissuunnassa jännitetyn kansilaatan. Saumaan asennetaan palkkien asennuksen yhteydessä työmaalla erillinen suojaputki, joka yhdistetään tehtaalla asennettuun suojaputkeen, jolloin jänneet saadaan vietyä ongelmitta palkkien läpi. (Infra concept Part 6 2009, 6, 8-10.)



KUVA 24. Paikallavalettu sauma ja ankkurijänne. (Calavera ym. 2004, 15, muokattu)

Kaksi ulommaista SKK-palkkia asennetaan 20mm etäisyydelle ottamaan vastaan onnettomuuskuormat. Asennuksen aikana kaarevat palkit on kiinnitettävä tukiin kierretangoilla, koska palkin omapaino ei ole tasaisesti jakaantunut. Kuorman epätasainen jakaantuminen aiheuttaa vääntöä. (Infra concept part 6 2009, 8.)

Suomessa kotelopalkkeihin on järjestettävä kulkuaukko kaikkiin ylläpitoa ja huoltoa varten. Kotelopalkissa ylläpitoa vaativat mahdolliset pitkittäissuuntaiset kotelon sisälle asennetut jänneteräkset. 700mm korkeiden SKK-palkkien tarkastuksessa saattaa tulla ongelmia ahtauden takia. Kulkuaukon viereen on kiinnitettävä askelmat, jos kulkuaukon alareunan korkeus on yli 600mm. Kulkuaukon mitat on esitetty kuvassa 25. Pienimmässä SKK-palkissa aukko on käytännössä mahdoton tehdä palkkien korkeuden ollessa vain 700mm. Kotelopalkkisiltojen päihin on mahdollisuuksien mukaan järjestettävä kulkuaukko poikkisuunnassa viereiseen palkkiin, ja koteloista on päästävä laakeritasolle. Suomessa kotelopalkkeihin vaaditaan myös painovoimainen tai koneellinen ilmanvaihto. (Siltöjen hoito ja ylläpito, suunnitteluohje, Tiehallinto 2004, 19.)



KUVA 25. Kulkuaukon vähimmäismitat (Siltojen hoito ja ylläpito, suunnitteluohje, Tiehallinto 2004, 19.)

SKK-kotelopalkkisillan pintarakenteista ei ole paljoa tietoa. Suomessa tämän kaltaisen sillan liikenne määrä vuorokaudessa olisi luultavasti suuri, jolloin eristeenä olisi kaksikerroskermieristys. SKK-kotelopalkkisilta on suunniteltu uloimmaisiin SKK-palkkeihin kannen vedenpoistoa varten kaksi uraa, joihin vesi valuu kannelta. Urista vesi johdetaan päätytuen kohdalla olevaan pystyviemäriin. Tästä ei ilmene kuinka vesi poistuu eristeen päältä, mikä Suomessa on hoidettu tippuputkilla. SKK-palkkien läpi tehtäviä reikiä on kuitenkin vältettävä, joten tippuputkia ei voida viedä läpi koteloiden.

Hollannissa käytetään betonin puristuslujuutta palkeille C53/65 ja paikallavaluun minimissään C28/35 (Infra Concept Part 6 2009, 5). Kotelopalkissa käytetään siis korkealujuusbetonia, joka vaatii huolellista jälkihoitoa.

#### **4.3.2 Mono-kotelopalkkisilta**

Kotelopalkkisilta voidaan toteuttaa myös yhdellä puolisuunnikkaan muotoisella kotelolla. Kotelon päälle tuleva kansilaatta voidaan tehdä ulokkeellisena tai tuettuna (kuva 26 ja 27). Tämä kotelopalkkisilta on monimutkaisempi tehdä, mutta silta voidaan suunnitella jatkuvana rakenteena jopa 90 metriä asti. Kuljetuksen ja käsiteltävyyden takia on pituutta rajoitettu 45 metriin. Jos tarvitaan pidempiä siltoja, voidaan se rakentaa useasta palkista jälkijännittämällä. Jännityskaapelit voidaan sijoittaa poikkileikkauksen sisään tai ulos. (Calavera ym. 2004, 17-19.)



KUVA 26. Tuettu kansilaatta kotelopalkkisillassa (Calavera ym. 2004, 18)



KUVA 27. Ulokkeellinen kansilaatta kotelopalkkisillassa (Calavera ym. 2004, 20)

### 4.3.3 Päämitat ja käyttökohteet

SKK-palkeilla päästään hoikempaan kansirakenteeseen kuin ZIP-palkilla, koska SKK-palkissa ei ole erillistä kansilaattaa. Taulukossa 4 on esitetty SKK-palkin jännevälit. Huomataan, että SKK1600 päästään jo 44,50 metriin maksimi jänneväliin, kun ZIP-palkeissa siihen tarvitaan 1700 mm korkea ZIP1700. SKK-palkkien leveys on aina 1,48 metriä.

<b>Tunnus</b>	<b>Palkin korkeus [mm]</b>	<b>Jänneväli(max.) [m]</b>
SKK700	700	21,50
SKK800	800	25,50
SKK900	900	29,70
SKK1000	1000	32,50
SKK1100	1100	34,45
SKK1200	1200	36,10
SKK1300	1300	37,75
SKK1400	1400	39,50
SKK1500	1500	41,80
SKK1600	1600	44,50

TAULUKKO 4. SKK-palkin päämitat (Infra concept part 6 2009, 3)

#### 4.3.4 Toimenpidesuosituks

Kotelopalkkisillan Suomeen soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät ovat seuraavanlaisia:

- Suomessa elementtirakenteinen kotelopalkkisilta on tuntemattomampi ratkaisu, mikä voi olla etuna sen markkinoinnissa.
- Elementtirakenteiden jälkijännittämiset vaativat urakoitsijoilta uusia kalustoja ja osaamista (DI Ryynänen Ramboll, 2014).
- Kulkuaukot saattavat tuottaa ongelmia pienimmissä kotelopalkeissa.

Kotelopalkille ehdotetaan seuraavanlaisia kehityskohteita:

- Tulisi kiinnittää huomiota palkkien asennusaikaiseen kiinnitykseen vääntö-  
rasitusta vastaan.
- Pitää miettiä kannen vedenpoistojärjestelmän toimivuus.
- Tuottavatko reunapalkkien uusiminen ongelmia poikittaisten jänteiden takia.

#### 4.4 Suoraholvinen segmenttitunnelisilta

Suoraholvinen segmenttitunnelisilta siltatyyppeä voidaan käyttää eläinten ja ihmisten alikulkukäytävänä sekä ajoneuvoliikenteen tunnelina. Segmenttitunnelisilta kostuu useasta poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisesta rengaskehäelementistä, jotka vale-

taan yhtenä kappaleena tehtaalla (kuva 28). Niitä käytetään muodostamaan aukko maan sisään.



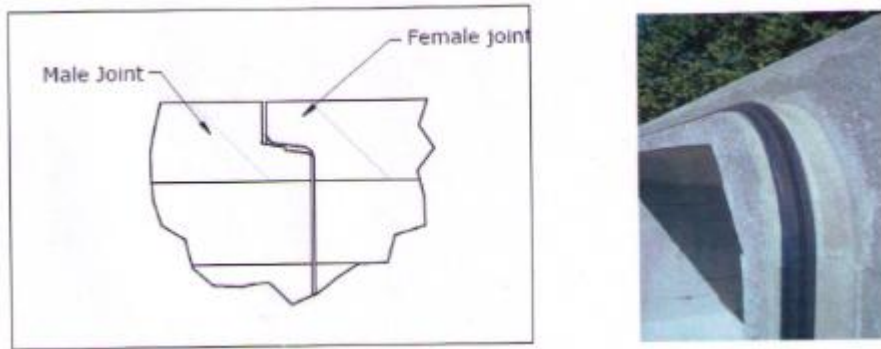
KUVA 28. 6,0m x 3,0m suurin elementti (Infra concept Part 1 2009, 8)

Elementit voidaan valaa, joko kuiva- tai märkävalutekniikalla. Kuivavalutekniikka eroaa märkävaluun siinä, että muotti on tärypöydällä ja siinä käytetään kuivempaa betonia. Täryttämisen jälkeen elementit annetaan kuivua ilman muotteja. Elementtien valutekniikka riippuu elementin poikkileikkauksesta ja vesitiiveydestä. Pienet ja keskisuuren elementit, joiden leveys on 0,5-3,0 m ja korkeus 0,3-2,5m, valetaan kuivatekniikalla. Suuren elementit, joiden leveys 3,0-6,0m ja korkeus 2,5-3,0m, valetaan märkävalutekniikalla. Suurin elementti 6,0x3,0m painaa noin 20 tonnia.

#### 4.4.1 Rakenneratkaisut

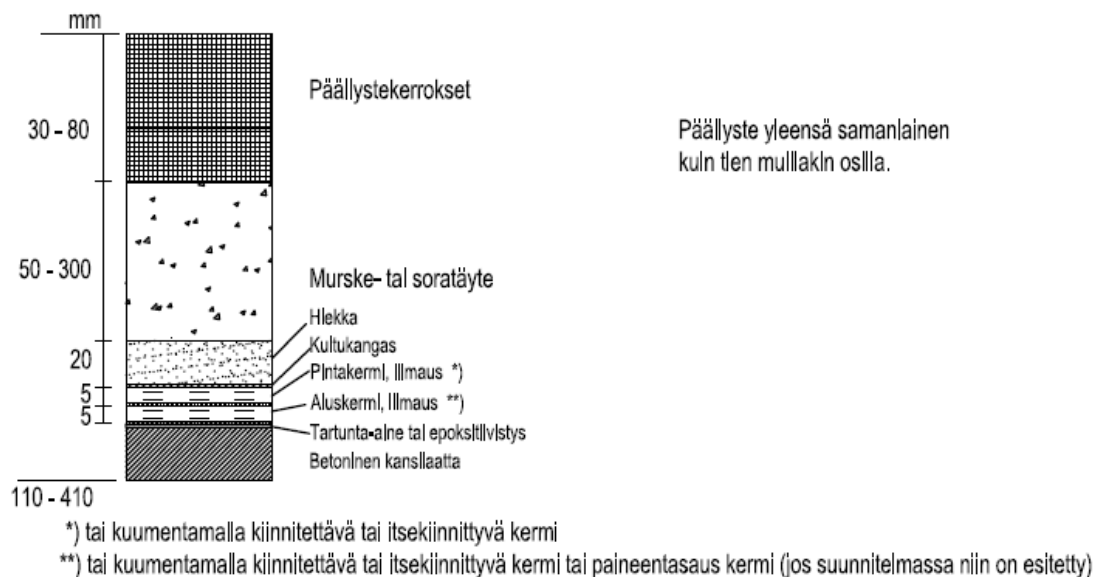
Elementtien ulkonevassa reunassa on neopreenikaista tiivistämässä elementtien kiinnitystä toisiinsa (kuva 29). Täysi vesitiiveys saavutetaan, kun elementit tehdään märkävalutekniikalla ja käytetään isompaa kavennusta elementin ulokkeessa. Märkävalutekniikassa elementti annetaan kuivua muotissa. Siinä käytetään tärybetonia tai itsestään tiivistyvää betonia. Märkävalutekniikan avulla saadaan paremmin saavutettua toleranssit, jolloin elementit kiinnittyvät toisiinsa tiiviimmin. Elementtien saumojen vesitiiveys voidaan kokeilla jo tehtaalla ennen virallista asennusta.





KUVA 29. Saumarakenne (Infra concept Part 1 2009, 4)

Suomessa vaaditaan vedeneristystä kansilaatalle. Sillan ylittävästä liikennemäärästä riippuen määräytyy eristeen tyyppi. Vedeneristyksen täytyy vähintään olla yksikerroskermieristys ja suojakerroksena suojabetoni, jos liikennemäärä vähäinen. Maakantisissa silloissa vaaditaan vähintään yksikerroskermieristys ja suojakerroksena suodatinkangas sekä hiekka tai suojabetoni. Suomessa kehäsiltojen pintarakenteena on ollut tyypillisesti kuvan 30 osoittamarakenne.



KUVA 30. Murske- tai soratäytteinen sillan kermieristeinen pintarakenne (NCCI 1 2010, 81)

Consolis-konsernin ohjeissa sanotaan, että kun segmenttitunnelisiltaa käytetään alikulkutunnelina, on se yleensä maan peittämä. Tyypillisesti sillan päällä olevan kerroksen paksuus on suunniteltu 0,30-3,0 metriä. Pienet ja keskisuuret sillat on suunniteltu tälle oletukselle. Isot sillat, joissa päällyste ylittää kuusi metriä tai keskikokoiset sillat, joissa

ylittää kahdeksan metriä, tarvitsevat erityistä huolellisuutta. Suurimmillaan päällysteen paksuus voi olla 10 metriä. (Infra Concept Part 1 2009, 8.)

#### 4.4.2 Päämitat ja käyttökohteet

Taulukossa 5 on esitetty mihin segmenttitunnelisilta voidaan käyttää. Segmenttitunnelin käyttömahdollisuudet ovat laajat.

Koko	Poikkileikkaus koot		Käyttökohte
	Leveys [m]	korkeus [m]	
Pieni	0,5-2,0	0,3-1,5	Vesitekninen rakennelma (Eläinten alikulkukäytävä)
Keskikokoinen	2,0-3,0	1,5-2,5	Vesitekninen rakennelma (Alikulkukäytävä) Eläinten alikulkutunneli
Suuri	3,0-6,0	2,5-3,0	Ajoneuvoliikenteelle Alikulkukäytävä Eläinten alikulkutunneli

TAULUKKO 5. Segmenttitunnelisillan poikkileikkaus koot ja käyttökohteet (Infra Concept Part 1 2009, 5)

Suomessa aukon koko mitoitetaan alikulkevan liikenteen ja kunnossapitokaluston vaatiman tilan mukaan. Alikulkukäytävien suorakaiteenmuotoisen vapaan liikennetilän leveyden ja korkeuden vähimmäismitat ovat koneellisesti kunnossapidettävissä alikulkukäytävissä

- leveys  $B \geq 3,5\text{m}$
- korkeus  $H \geq 3,0\text{m}$ .

Luontopoluilla ja eläinten kulkua varten rakennettavissa tunneleissa, joissa ei ole koneellista kunnossapitoa

- leveys  $B \geq 2,0\text{m}$
- korkeus  $H \geq 2,5\text{m}$ . (Teräsputkisillat suunnitteluohje 2012, 15.)

Erikoiskuljetusreiteillä tai maatalouskoneiden käyttämillä väylillä kaistan minimileveyden tulisi olla suurempi kuin 4,0 metriä (Aalto 2014, 20). Vaatimukset osoittavat että pieni tunnelisilta ei sovellu Suomessa eläintunneliksi ja keskikokoinen ei sovellu koneellisesti kunnossapidettäväksi alikulkukäytäväksi.

Vuosina 2003–2009 rakennetuista 968 sillasta putkisiltojen osuus oli 47 %. Esimerkiksi vuonna 2006 putkisiltojen osuus kaikista sinä vuonna rakennetuista 87 sillasta oli 61 %. Vuoden 2010 alussa teräksestä rakennettuja putkisiltoja oli 3101 ja betonisia vain 12. Vuonna 2008 valmistettiin 227 uutta siltaa ja niistä 33 % oli putkisiltoja ja 24 % kehäsiltoja. (Tiehallinto, Sillat 1.1.2004, 1.1.2005, 1.1.2006, 1.1.2007, 1.1.2008, 1.1.2009, 1.1.2010.) Putkisiltoja rakennetaan paljon verrattuna muihin siltatyyppeihin, joten tässä voisi olla hyvä mahdollisuus saada suuri tuotantosarja, joka on yksi kilpailukykyyn vaikuttava tekijä.

#### **4.4.3 Toimenpidesuositukset**

Suoraholvisen segmenttitunnelisillan Suomeen soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät ovat seuraavanlaisia:

- Suomessa rakennetaan paljon putkisiltoja, joten segmenttitunnelisillasta voisi saada kilpailijan markkinoille.
- Aukon mitat rajaavat hieman segmenttitunnelisillan käyttökohteita Suomessa.
- Suomessa vaaditaan vedeneristeen käyttöä.

Suoraholvisen segmenttitunnelisillan ehdotetaan seuraavanlaisia kehityskohteita:

- Kiinnitettävä huomiota mittatarkkuuteen, jotta elementit istuvat hyvin toisiinsa.
- Tulisi selvittää voiko betoniputken voimasuureet määritellä vastaavalla tavalla kuin teräsputkilla, jolloin päästäisiin ohuempisiin rakenteisiin.

## 5 YHTEENVETO

Suomessa rakennettujen betonielementtisiltojen määrä vuodessa voidaan laskea yhden käden sormilla. Syytä tähän voidaan lähteä hakemaan historiasta aina 70-luvun elementtirakentamisesta alkaen. Betonielementtisiltojen rakentaminen loppui suureksi osaksi elementtien suhdanneherkkyyden ja sitä kautta korkeiden kustannusten takia. Rakentamisen loppumiseen vaikuttivat osaltaan myös ongelmalliseksi koetut saumarakenteet ja betonielementtisiltojen heikko törmäyskestävyys. Samaan aikaan paikallavalettujen siltojen tekniikka kehittyi. Pumppubetonointi yleistyi, mikä helpotti huomattavasti paikallavalettujen siltojen rakentamista sekä paikallavalettujen siltojen poikkileikkauksen muotoa yksinkertaistettiin. Paikallavalutekniikka kehittyi 30 vuoden aikana, jonka aikana rakennusliikkeet oppivat tehokkaan tavan rakentaa paikallavalusiltoja. Suomalainen kirvesmiestaito on kehittynyt erinomaiseksi tähän päivään mennessä.

Suomessa on negatiivinen asenne betonielementtisiltoja vastaan. Asenteet ovat varmasti lähteneet 70-luvun todellisista ongelmista, mutta kohta siitä on kulunut noin 30 vuotta. Tänä aikana betonitehtaiden laadunvalvonta on kehittynyt huomattavasti ja betonielementtisillat ovat kehittyneet maailmalla. Viimeisin viranomaisten toimesta laadittu tyyppipiirustussarja tehtiin vuonna 2000, mikä oli I-palkkinen jännitetty elementtisilta. Muualla maailmalla siltojen elementtirakentaminen on yleisempää kuin paikallavalu. Kanadassa sääolosuhteet ovat samat ja teitä suolataan yhtäläillä, kuitenkin elementtirakentaminen on päärakentamistapa. Tähän vaikuttavat varmasti väkiluku ja väestötiheys. Kanadassa asuu noin 35 miljoonaa ihmistä, joten siltarakentaminenkin on myös laajempaa. Olisi syytä kuitenkin perehtyä tarkemmin miten esimerkiksi Kanadassa elementtirakentaminen toimii ja minkälaisia rakenneratkaisuja heillä on. Toimivatko elementtisillat heillä hyvin vai onko heiltä jäänyt jokin ongelma havaitsematta betonielementtisilloista, minkä suomalaiset tiedostavat.

Elementtivalmistajien tulisi itse lähteä kehittämään ja ratkaisemaan ongelmakohtia. Valmistajien tulisi laatia silloista tyyppipiirustuksia, kuten esimerkiksi teräspuolella on laadittu teräspalkkisillasta. Elementtisiltojen edellytys on jatkuva siltaelementtituotanto. Yksittäiset kohteet eivät ole kannattavia. Suomi on väkiluvultaan pieni valtio ja siltoja rakennetaan noin 80-160 kappaletta vuodessa. Kehityskohteeksi tulisi valita siltatyyppi, jota Suomessa tarvitaan suhteessa eniten.

Haastateltavista kahdeksan kymmenestä piti betonielementtisiltoja kalliimpina kuin paikallavalettuja. Todellisia kokonaiskuluja ei usein kuitenkaan tiedetä, joten elementtisilloista tulisi tehdä tarkemmat kustannusarviot siltatyypeittäin. Tulisi selvittää kuinka paljon ovat kokonaiskustannukset. Kustannuksiin kuuluvat mm. valmistuskustannukset tehtaalla, elementtien asennus, työmaalla tehtävät valutyöt, nostokalusto ja elementtien kuljetus. Kuinka paljon nosto- ja kuljetuskustannukset korottavat elementtisillan hintaa. Kuinka paljon taas paikallavaletuissa silloissa esimerkiksi telineet, muottityöt ja materiaalit kustantavat. Kuinka rakentamistapa vaikuttaa maanrakennustöiden kokonaiskustannuksiin?

Siltojen rakentaminen häiritsee liikennettä merkittävästi. Elementtirakentamisen etu on sen nopeus. Suomessa liikenteen häiriöttömyydelle ei määritellä tarjousvaiheessa rahallista arvoa, joka nostaisi elementtirakentamisen kilpailukykyä huomattavasti. Tällä hetkellä autot joutuvat kiertämään tai ajamaan hiljaa monta kuukautta paikallavalettavan siltatyömaan takia, mistä ei veloiteta yhtään urakoitsijaa. Ratapuolella liikennekatkoilla on suurempi merkitys, koska se kohdistuu kerralla suurempaan määrään ihmisiä ja teollisuuden tavarantoimituksiin. Teillä liikennekatkot kohdituvat vain yksittäisiin henkilöihin. Ratapuolella hyväksi vaihtoehdoksi on todettu siirtomenetelmä, jossa silta rakennetaan radan vieressä paikallavalulla. Voitaisiinko silta kuitenkin rakentaa elementeistä, jolloin säästettäisiin vielä enemmän aikaa?

Elementtien etu on materiaaliteknologiassa, koska elementit valmistetaan lämpimissä tiloissa tehtaalla. Tehdasoloissa jälkihoito on helpompi toteuttaa talvella. Ei tarvitse lämmittää valua erilaisilla menetelmillä, jotka taas lisäävät kustannuksia. Tehdasolosuhteissa voi käyttää korkealujuusbetonia, jolloin betonin suola-pakkasrasituskestävyys parantuu. Tehtaalla käytetään teräsmuotteja, jolloin betonipinnasta saadaan tiivistä ilman, että täytyisi erikseen asentaa työmaalla muottikangasta. Teräsmuotti tekee betonin pinnasta sileän, joka saattaa näyttää elottoman näköiseltä.

Elementtisiltojen ulkonäköä pidetään rumana. Siltojen ulkonäköön tulisi panostaa suunnitteluvaiheessa. Erimuotoisilla reunapalkeilla ja kaiteilla saadaan parannettua sillan estetiikkaa huomattavasti. Elementtien pintaan voidaan tehdä erilaisia kuvioita, kuten talopuolella voidaan tehdä seinäelementteihin. Paikallavalettujen siltojen etu on niiden

helpompi muotoileminen esimerkiksi, kun sillan hyötyleveys vaihtuu sillassa. Olisi mieltittävää ratkaisuja miten toteutetaan elementtisilloissa erilaiset geometriset muutokset.

ZIP-palkkisilta muistuttaa 70-luvun jännitettyjä betonielementtisiltatyyppejä, mutta ZIP:ssä on törmäyskestävyyttä parannettu TRA-reunapalkilla ja törmäysliitoksella. ZIP-palkkisilta saattaa aiheuttaa negatiivisia mielipiteitä yhdennäköisyyden vuoksi, joten olisi kiinnitettävä huomiota törmäysliitoksen detaljiin ja yleisesti törmäyskestävyyteen. Noin 20 prosenttia 968:sta kuuden vuoden aikana rakennetuista silloista oli ZIP-palkkisiltoja vastaavia paikallavalusiltoja. Tästä siltamäärästä voi olla vaikeaa saada aikaan suurta tuotantoa, joka vaadittaisiin pitämään elementit kustannustehokkaina. Osittain jatkuvissa rakenteissa täytyy kiinnittää huomiota riittävään teräsmäärän, koska jäykkä palkisto rajoittaa paikallavaletun kansilaatan kutistumista ja aiheuttaa vetojännityksiä sekä voimakasta halkeilua kansilaatassa. Elementtirakenteiset kotelopalkkisillat ovat harvinaisia Suomessa. Käyttökohteeltaan ne soveltuvat samoihin kohteisiin samaan luokkaan ZIP-palkkisiltojen kanssa, mutta kotelopalkkeilla päästään pienemmällä rakenekorkeudella samoihin jännemittoihin. Kotelopalkkisillan kannen vedenpoistojärjestelmästä tulisi selvittää kuinka vesi poistuu eristekerroksen päältä. Tippuputkia ei voida viedä kotelopalkkien läpi. Suoraholvisille segmenttitunnelisilloille on parhaimmat markkinat, koska Suomessa rakennetaan vuodessa eniten putkisiltoja. Segmenttitunnelisillat soveltuvat samoihin käyttötarkoitukseen, joihin myös putkisiltoja käytetään. Segmenttiputkisilloissa tulisi kiinnittää huomiota mittatarkkuuksiin, jotta elementit saataisiin tiiviisti liitettyä toisiinsa.

Raha ratkaisee lopulta. Kukaan ei osta paikallavalusiltaa kalliimpaa elementtisiltaa ellei ole kiire rakentaa. Tällä hetkellä kohteet ovat yksittäisiä ja rakenteet saattavat olla monimutkaisia, jolloin hinta on myös korkea varmanpäälle hinnoittelun takia. Suurilla elementtisarjoilla saataisiin tuotanto- ja suunnittelukustannukset minimoitua. Tehtailla ei ole omia muottikalustoja, joten lisähintaa tuo myös muottien kuljettaminen ulkomailta, jolloin tarjoukseen on lisättävä rahtikulut. Ehdoton edellytys betonielementtisiltojen kilpailukyvyllä on vakioratkaisut, tyyppi- ja valmistuspiirustukset ja oikean siltatyypin valinta.

## LÄHTEET

- Aalto, O. 2014. Liikenteen huomioiminen siltakorjausten ohjelmoinnissa ja suunnittelussa. Uudenmaan ELY-keskus.  
[http://www.betoniyhdistys.fi/index.php?\\_EVIA\\_WYSIWYG\\_FILE=4214&name=file](http://www.betoniyhdistys.fi/index.php?_EVIA_WYSIWYG_FILE=4214&name=file)
- Aho, O. Suunnittelupäällikkö. 2014. Kysymyksiä elementtisiltojen kilpailukyvyistä. Sähköpostiviesti. Tulostettu 3.1.2014.
- Aitta, S. 2004. Siltojemme historia. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Calavera, J. & Fernandes-Ordonez, D. & Gasperi, A. & Ley, J. & Mönnig, F & Passeman, P. & Quartel, C. & Sasek, L. & Tootel, C. & Van Acker, A. 2004. Fib Bulletin 29. Precast concrete bridges. Sveitsi: Kansainvälinen betonirakenteidenliitto fib.
- Elementtisuunnittelu. n.d. Sillat. Luettu 5.1.2014.  
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/infrarakentaminen/sillat>
- Haukijärvi, M. Diplomi-insinööri. 2014. Haastattelu.
- Honkavuori, R. & Lampinen, L. 2009. Betonitekniikan oppikirja 2004. 5.painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- Huura, J. Yli-insinööri. 2013. Elementtisiltojen kilpailukyky. Sähköpostiviesti. Tulostettu 30.12.2013.
- Hyvönen, J. Diplomi-insinööri. Siltatekniikka. 2013. Elementtisiltojen kilpailukyky. Sähköpostiviesti. Tulostettu 29.12.2013.
- InfraRYL. 2006. Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Kataja, J. Tarjouspäällikkö. 2014. Elementtisiltojen kilpailukyky. Sähköpostiviesti. Tulostettu 23.1.2014.
- Laaksonen, A. 2004. Liikuntasaumattoman sillan ja maan yhteistoiminta. Rakennustekniikan osasto. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö
- Liikennevirasto. 2012. Liukkauden torjunta. Luettu 5.1.2014.  
[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/kunnossapito/talviolosuhteet/teiden\\_talvihoito/oluokat/liukkauden\\_torjunta](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/kunnossapito/talviolosuhteet/teiden_talvihoito/oluokat/liukkauden_torjunta)
- Liikennevirasto. 2010. Tiesillat. Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti\\_2010-03\\_tiesillat\\_1.1.2010\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2010-03_tiesillat_1.1.2010_web.pdf)
- Liikenneviraston kokous. 2014. Haastattelu 18.2.2014. Haastattelija Lampikoski, J. Litteroitu. Pasila.
- Mannonen, P. & Petrow, S. 2011. Puhdasvalupintojen toteuttaminen. Betoni-lehti 1/2011, 26, 27.

NCCI 1 - Eurokoodien soveltamisohje - Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet. 2010. Helsinki: Liikennevirasto.

NCCI 2- Eurokoodien soveltamisohje – Betonirakenteiden suunnitteluohje. 2010. Helsinki: Liikennevirasto.

Mandl, J. & Mantsinen, M. Teräskuitubetonin käyttäminen kantavissa rakenteissa. *Betoni* 1/2014, 60-65.

McGain, Z. International Bridge Technologies. 2014. Message from IBT Website. Sähköpostiviesti. Tulostettu 22.1.2014.

Ritaranta, S. 2010. Suojaimet. Työterveyslaitos. Luettu 30.12.2013.  
<http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/rats/sivut/suojaimet.a>

Erikoisbetonit, Rudus. Luettu 19.3.2014.  
<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/erikoisbetonit>

Ryynänen, M. Diplomi-insinööri. 2014. Elementtien jälkijännittäminen. Sähköposti. Luettu 7.4.2014.

Saloviin, K. Diplomi-insinööri. Siltatekniikka. 2014. Elementtisiltojen kilpailukyky. Sähköpostiviesti. Tulostettu 3.1.2014.

SILKO 2.211. 2008. Betonirakenteet. Reunapalkin uusiminen.  
[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2211\\_08.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2211_08.pdf)

SILKO 2.252. 2004. Betonirakenteet. Betonipinnan impregnointi.

Siltojen hoito ja ylläpito, suunnitteluohje 2004, Tiehallinto. 2. uudistettu painos. Helsinki: Tiehallinto. [http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/siltojen\\_hoito\\_ja\\_yllap2004.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/siltojen_hoito_ja_yllap2004.pdf)

Siltojen ulkonäköön liittyvän laadun ja selvitys ja ohjeistus. 2010. Väylät ja Liikenne.  
[http://www.wspgroup.com/upload/documents/Finland/vanhempaa/Lectures/Siltojen\\_ulkonakoon\\_liittyva\\_ohjeistus\\_Ilveskorpi.pdf](http://www.wspgroup.com/upload/documents/Finland/vanhempaa/Lectures/Siltojen_ulkonakoon_liittyva_ohjeistus_Ilveskorpi.pdf)

Siltojen reunapalkkien kuoret. 2005. TIEH 2000016-v-05. Helsinki: Edita Prima Oy.

Spaencom. n.d. Asennus esite. Tulostettu 25.1.2014

Suomen muuttuva ilmasto. n.d. Nykyinen ilmasto – 30 vuoden keskiarvot. Luettu 30.12.2013. [www.ilmasto-opas.fi](http://www.ilmasto-opas.fi)

Teräspalkisillat, suunnitteluohje. 2012. Liikenneviraston ohjeita 2/2012.  
[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2012-02\\_terasputkisillat\\_suunnitteluohje\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-02_terasputkisillat_suunnitteluohje_web.pdf)

Tiirö, V. Aluejohtaja Maa- ja väylärakentaminen. 2014. Elementtisiltojen kilpailukyky. Sähköpostiviesti. Tulostettu 22.1.2014.

Tyypipiirustukset. Liikennevirasto. Jännitetty elementtisilta I.



[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/vaylanpidon\\_ohjeet/arkisto/tyyppiirustukset](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylanpidon_ohjeet/arkisto/tyyppiirustukset)

Vähä-Pietilä, P. 2011. Yksiaukkoisen vesistö sillan peruskorjausprosessin vaiheet. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.