

# BETONIELEMENTTISILLAT

1. Yleistä
2. Siltojen suunnittelu, ohjeistus ja silta-Eurocodet
3. Elementtisiltojen ohjeet
4. Elementtisiltojen toiminta
5. Perusteita elementtisiltojen käytölle
6. Elementit siltojen korjauksessa
7. Suomalaisia elementtisiltaratkaisuja
8. Eurooppalaisia elementtisiltaratkaisuja

# 1. Yleistä

## Diasarja

- antaa yleisinformaatiota siltasuunnittelusta
- kertoo elementtisiltojen eduista
- esittelee elementtitekniikalla toteutettuja kohteita
- innostaa suunnittelemaan ja kehittämään vaihtoehtoisia elementtisiltoja



Vähäsilta, Salo, Parma Oy (alla museosillan maatukirakenteet)  
(valokuva: Olli Aho)

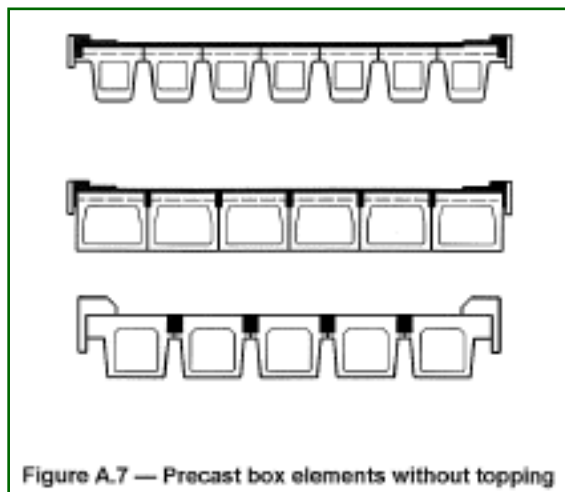
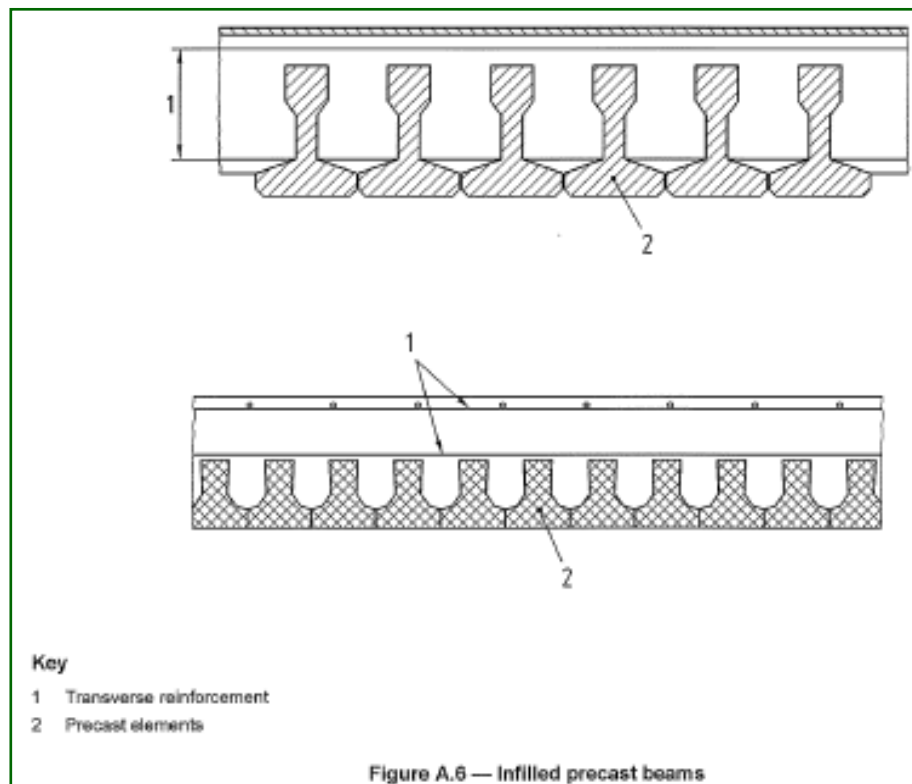
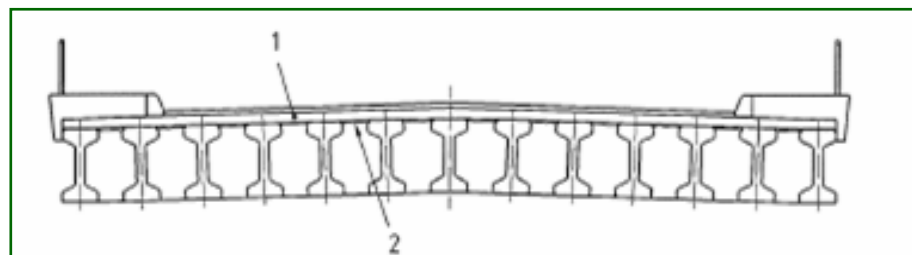
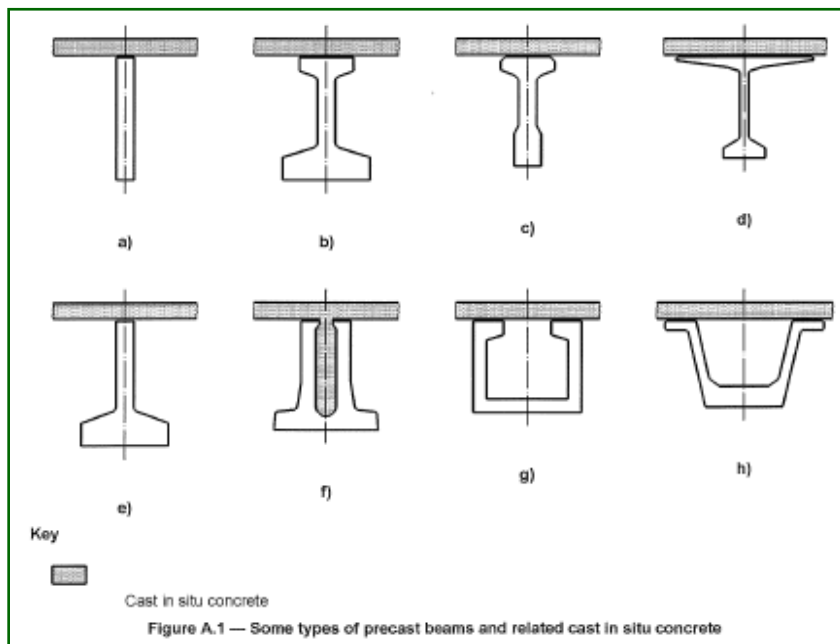
## 2. Siltojen suunnittelu ja ohjeistus

- Suomessa on muotoutunut käytäntö, jossa siltojen suunnitteluohjeiden laatimisesta vastaavat Tiehallinnon siltatekniikka ja Ratahallintokeskus (RHK)
- Yksityiset rakennuttajat (kuntasektori) edellyttävät yleensä, että heidän hankkeissaan noudatetaan em. ohjeita
- Suunnitteluohjeiden tarkoitus on taata silloille
  - Riittävä turvallisuus ja kantavuus
  - Toimivat rakenteet
  - Pitkä huoltoväli ja käyttöikä
  - Yhdenmukainen suunnittelu ja rakentaminen

- Uusia suunnittelu- ja rakentamisratkaisuja on mahdollista käyttää, jos voidaan osoittaa, että ne täyttävät em. ohjeiden vaatimukset
- Siltojen suunnittelu on siirtymässä enemmän toteuttajien vastuulle (ns. suunnittele ja rakenna urakat)
- Suunnitteluohjeet on luettavissa / tilattavissa linkeistä
  - [www.tiehallinto.fi/sillat](http://www.tiehallinto.fi/sillat) , [www.rhk.fi](http://www.rhk.fi)
- Suunnitteluohjeiden lisäksi em. kotisivuilta löytyvät
  - Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset (SYL 1 – 7)
  - Rautatiesiltojen yleiset laatuvaatimukset (SYL-R)
  - Siltojen korjausohjeet (SILKO 1 – 4)
- Siltasuunnittelijalta edellytetään kokemusta ja toimivaa laatujärjestelmää

# Silta-Eurocodet

- Kansallisten liitteiden laatimisen vetovastuu on Tiehallinnolla (linkki: [www.tiehallinto.fi/sillat](http://www.tiehallinto.fi/sillat) )
- Silta-Eurocodet otetaan Suomessa käyttöön 2010 (esistandardeja ENV ei oteta käyttöön)
- Siltoja koskevat Eurocode-standardit
  - Yleiset perusteet, siltoja koskeva liite Annex A2 EN 1990-A2
  - Siltojen liikennekuormat EN 1991-2
  - Betonirakenteiden suunnittelu EN 1992-2
  - Teräsrakenteiden suunnittelu EN 1993-2
  - Betoni-teräs-liittorakenteiden suunnittelu, sillat EN 1994-2
  - Puurakenteiden suunnittelu, sillat EN 1995-2

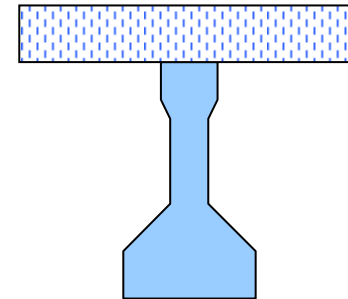
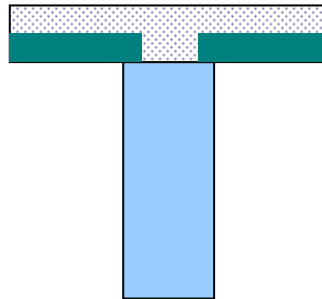
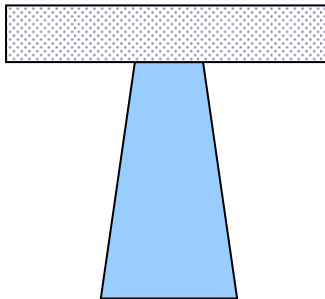


Kuvia lausuntokierroksella olleesta CEN:n esistandardista

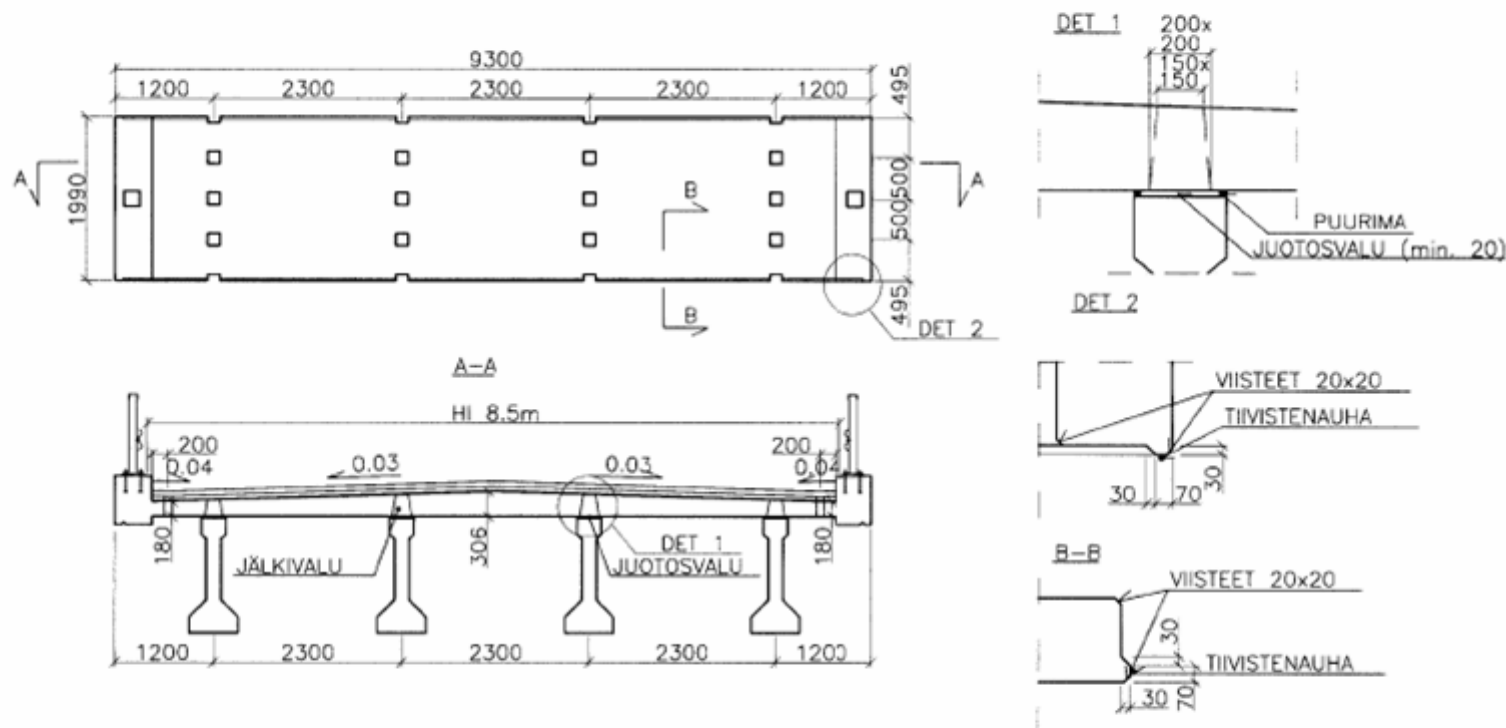
# 3. Elementtisilltojen ohjeet



- Jännitetyt palkit, paikalla valettu tai KL- tai elementtikansi



## LIITE 2.1 ELEMENTTILAATAN MITTAPIIRUSTUS

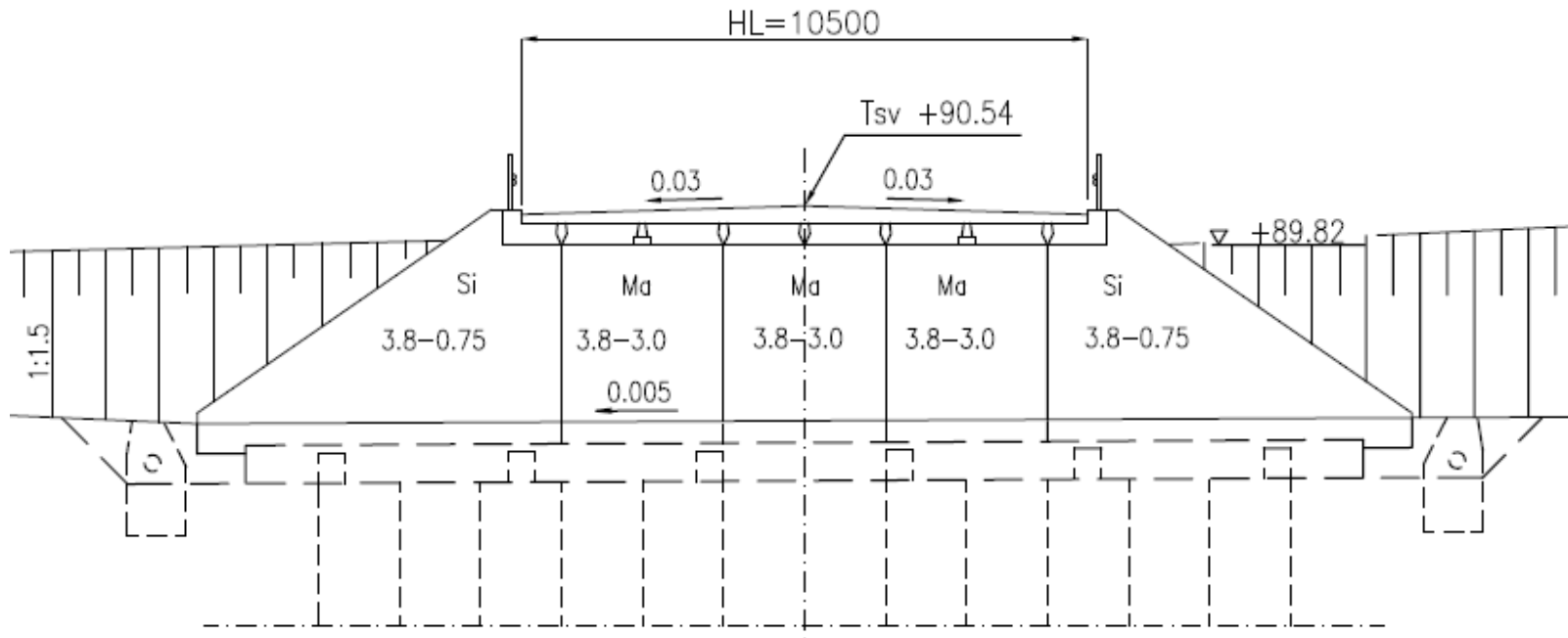


TEKOTAPA: ELEMENTIT ASENNETAAN JÄNNEPALKKIEN PÄÄLLÄ OLEVIA PUURIMOJA VAAAN, JOTKA ON KIINNITETTY KONTAKTILIIMALLA. ASENNUKSEN JÄLKEEN VALETAAN VÄLITILAT SAUMAUSBETONILLA VAARNAVARUKSISTA KÄSIN. VALU ETENEE VARUKSESTA TOISEEN. VALU SAA SIIRTYÄ SEURAAVAAN VARUKSEEN, KUN MASSA NÄKYVÄ VARUKSESTA. VAARNAVARUKSET VALETAAN SAMASSA YHTEYDESSÄ.

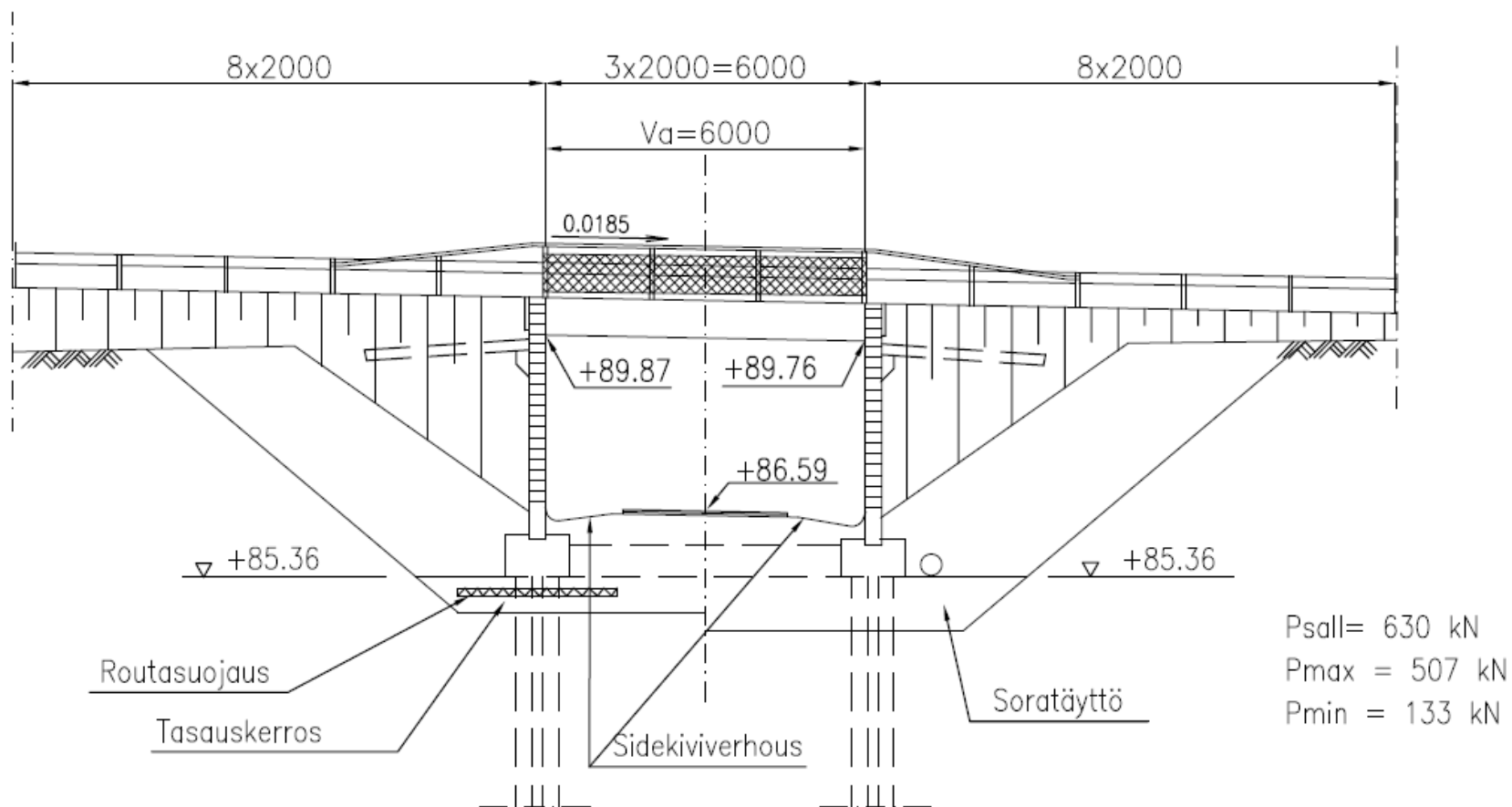
Kuva: Jännitetty elementtisilta (TIEL 2160004)

# Teräsbetoninen elementtirakenteinen laattasilta I (Ble I, v. 2000), tyyppipiirustussarja

POIKKILEIKKAUS



## PITUUSLEIKKAUS



## 4. Elementtisillojen toiminta

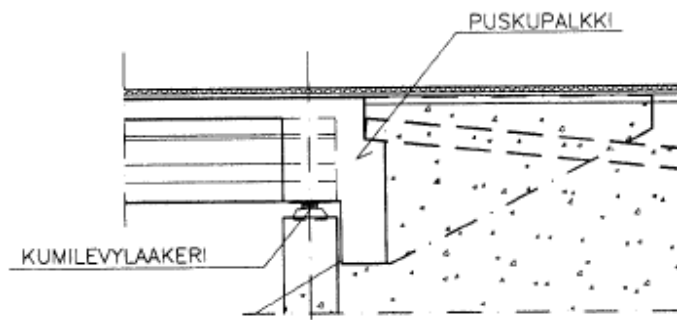
- Suomalaisissa tyyppiratkaisuissa alusrakenteet (väli- ja maatuet) ovat yleensä paikalla valettuja
- Palkit ja kansilaatta tai vain palkit ovat elementtejä
- Pienissä laattakehäsilloissa elementit ovat jännittämättömiä teräsbetonielementtejä
- Elementtipalkit ovat yleensä jännitettyjä (tartuntajänteet)
- Palkkisillojen kansi voi olla
  - Kokonaan paikalla valettu
  - Jännitetyn kuorilaatan ja paikalla valun muodostama liittorakenne
  - Teräsbetonisista elementeistä rakennettu
- Palkit mitoitetaan liittorakenteena kansilaatan kanssa

- Useampiaukkoinen silta tehdään jatkuvaksi
  - Joko valamalla laatta jatkuvaksi
  - tai valamalla sekä palkki että laatta jatkuviksi
- Kun vain laatta tehdään jatkuvaksi, tulee päällysteeseen tukien kohdalle rakentaa massaliikuntasärmä
- Elementtisilloissa palkkeja sijoitetaan sillan leveydestä riippuen useita rinnakkain
- Kaikkien palkkien alle sijoitetaan kumilevy-laakerit
- Välituelle rakennetaan poikkipalkki, jonka leveys määräytyy pääsääntöisesti laakereiden vaatiman tilan mukaan

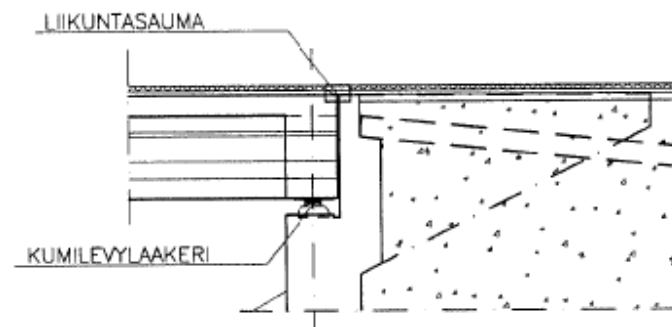
## LIITE 2.3 SILLAN PÄÄTYTUKI

### SILLAN PÄÄTYVAIHTOEHTOJA

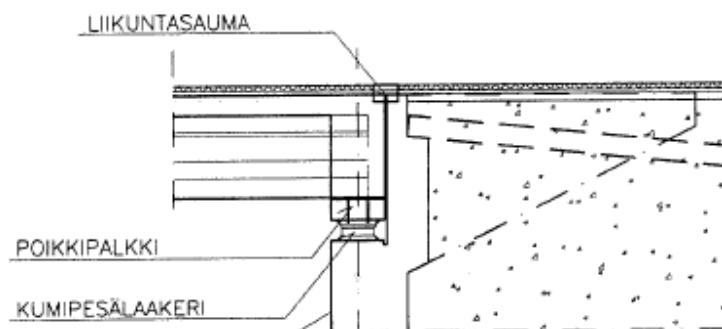
PÄÄTYTUKI 1



PÄÄTYTUKI 2



PÄÄTYTUKI 3

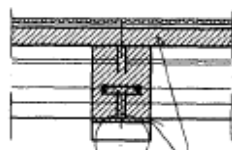


Kuva: Jännitetty elementtisilta (TIEL 2160004)

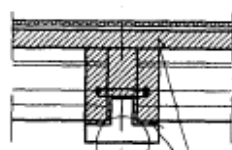
## VAIHTOEHTOISIA RATKAISUJA VÄLITUELLA

### PALKKI JA LAATTA JATKUVIA

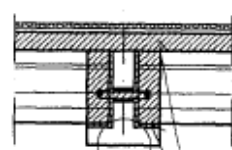
#### VAIHTOEHTO ①



#### VAIHTOEHTO ②



#### VAIHTOEHTO ③



DET (A) TAI (B) JÄLKIVALUT

DET (A) TAI (B)

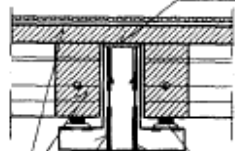
DET (A) TAI (B)

JÄLKIVALUT

### LAATTA JATKUVA

#### VAIHTOEHTO ①

MUOTTIMATERIAALI ESIM. SOLUMUOVI



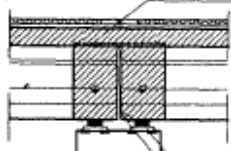
JÄLKIVALUT

KUMILEVYLAAKERI

VARAUKSET TERÄK-  
SILLE JOS POIKKI-  
PALKKI ON ELEMENTTI

#### VAIHTOEHTO ②

MUOTTIMATERIAALI ESIM. SOLUMUOVI

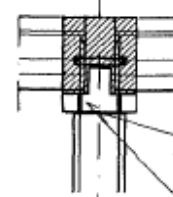


KUMILEVYLAAKERI

LIIKUNTAUSAUMA

## PÄÄLLYSRAKENTEEN LIITTYMINEN ALUS- RAKENTEeseen

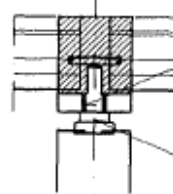
#### DET (A)



JÄLKIVALU TAI  
TYÖSAUMA

VARAUKSET TERÄK-  
SILLE JOS POIKKI-  
PALKKI ON ELEMENTTI

#### DET (B)



VARAUKSET LAAKERI-  
TAPEILLE, JOS POIKKI-  
KIPALKKI ON ELEMENTTI

KUMIPESÄLAAKERI

## LIITE 2.5 ELEMENTTISILLAN LAAKEROINTI

Kuva: Jännitetty elementtisilta (TIEL 2160004)

1. AUKKOINEN



VÄLITUEN KOHDALLA OVAT  
JÄNNEPALKIT JA KANSILAATTA  
JÄTKÜVIA

KLL=KUMILEVYLAAKERI  
△=KIINTEÄ KUMIPESÄLAAKERI  
○=LIIKKUVA KUMIPESÄLAAKERI  
LS=LIIKUNTAUSAUMA

2. AUKKOINEN



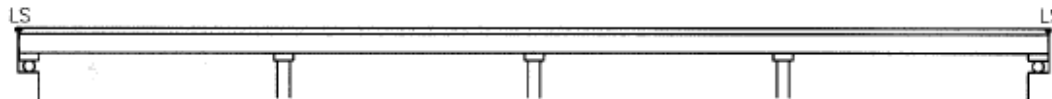
3. AUKKOINEN  
(hoikat välipilarit)



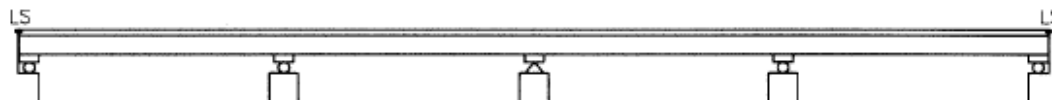
3. AUKKOINEN  
(jäykät välipilarit)



4. AUKKOINEN  
(hoikat välipilarit)



4. AUKKOINEN  
(jäykät välipilarit)



# 5. Perusteita elementtisiltojen käytölle

- Paikalla rakennettavien siltojen telinerakenteet aiheuttavat oleellista haittaa liikenteelle, mistä aiheutuu lisäkustannuksia ja ympäristöä rasittavia lisäpäästöjä
- Tiehallinnon julkaisussa (Heikki Rautakorpi: Pienten siltojen elinkaarikustannukset, TIEH4000405) todetaan mm. näin:  
”Vilkkaimmin liikennöidyillä paikoilla kannattaisi kehittää siltojen teknisiä ratkaisuja sellaisiksi, että korjaus- ja uudelleenrakentamisajat jäisivät nykyistä pienemmiksi. Ratkaisuna voisi olla esim. elementtitekniikan kehittäminen tai siirtotekniikan käyttö.”

## LIITE 2B. Tavanomainen liikenne, korko 5 %.

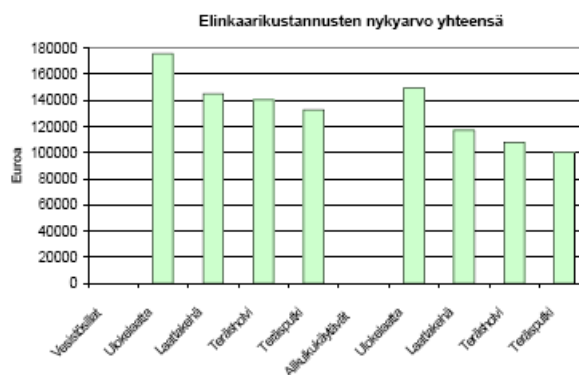
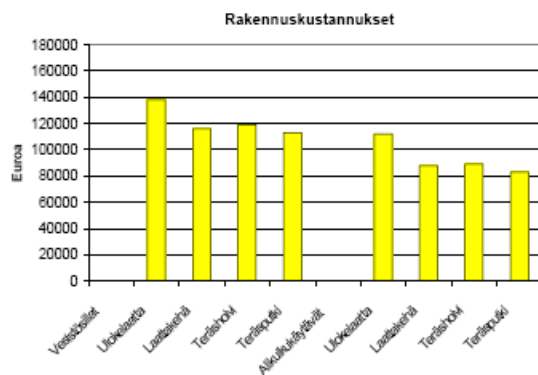
Heikki Rautakorpi: Pienten siltojen elinkaarikustannukset. Helsinki 2004. Tiehallinto, Sil-  
tatekninen tuki. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 4/2004. 30 s. + liitt. 10 s. ISSN 1457-991x,  
TIEH 4000405.

### Pienten siltojen elinkaarikustannukset

Liikennemäärä 5000 ajon/vrk  
Diskonttaus korko 5,0 %  
Kiertotien kust. vesistöissä 35000 euroa  
Kiertotien kust. maalla 25000 euroa  
Purkamiskust. 5 % uudesta

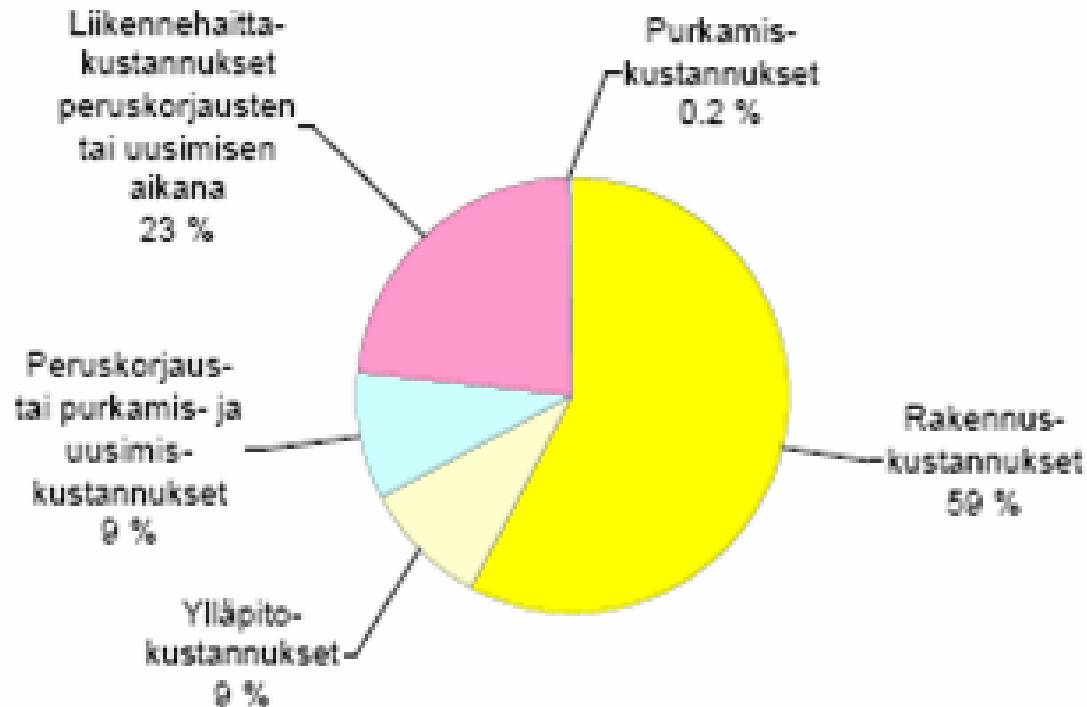
Lähtöarvoja  
Lähtöarvoista johdettuja osakustannuksia

Siltatyyppi	Peruskor- jaus- tai uusimis- työn kesto- aika viikkoa	Toteutuskustannukset				Elinkaarikustannusten nykyarvot								Elinkaarikus- tannusten nykyarvo yhteensä Euroa	Liikenne- haitta- kust./ rakennus- kust.	Kustannus- ten nykyarvo/ rakennus- kust.
		Liikenne- haitta- kustannuk- set (Eivät mukana elinkaari- tunnus- sissa) Euroa	Rakennus- kustannukset Euroa	Ylläpito- kustannukset Euroa/ vuosi	Peruskorjaus- kustannukset Euroa	Purkamis- ja uusimis- kustannuk- set Euroa	Purkamis- kustannuk- set Euroa	Rakennus- kustannukset Euroa	Ylläpito- kustannukset Euroa	Peruskorjaus- tai purkamis- ja uusimis- kustannuk- set Euroa	Liikenne- haitta- kustannuk- set peruskor- jausten tai uusimisen aikana Euroa	Purkamis- kustannuk- set Euroa				
Vesistösilat																
Uloke/laatta	10	88200	138070	450	45000	6904	138070	9063	9637	19689	52	175711	0.14	1.27		
Laattakehä	10	88200	115883	450	35000	5794	115883	9063	5678	14308	44	144975	0.12	1.25		
Teräsholvi	3	26460	119230	250		160192	119230	5035	13069	2307	45	140587	0.02	1.18		
Teräsputki	3	26460	112849	200		153491	112849	4028	13385	2307	43	132612	0.02	1.18		
Alikulkukäytävät																
Uloke/laatta	10	88200	112099	450	45000	5605	112099	9063	9637	18889	43	149730	0.17	1.34		
Laattakehä	10	88200	87925	450	35000	4396	87925	9063	5678	14308	33	117007	0.16	1.33		
Teräsholvi	3	26460	89195	300		118655	89195	6042	10347	2307	34	107925	0.03	1.21		
Teräsputki	3	26460	83026	250		112178	83026	5035	9782	2307	32	100182	0.03	1.21		



Putkialikulun elinkaarikustannusten  
jakautuma





Kuva 12. Alikulkuna toimivan laattakehäsillan elinkaarikustannusten muo-  
dostuminen eri osatekijöistä. Siltapaikan liikennemääränä on käytetty 5000  
ajon/ vrk ja diskonttokorkona 3 %.



Valokuva: Generale Prefabbricati SpA, Italia



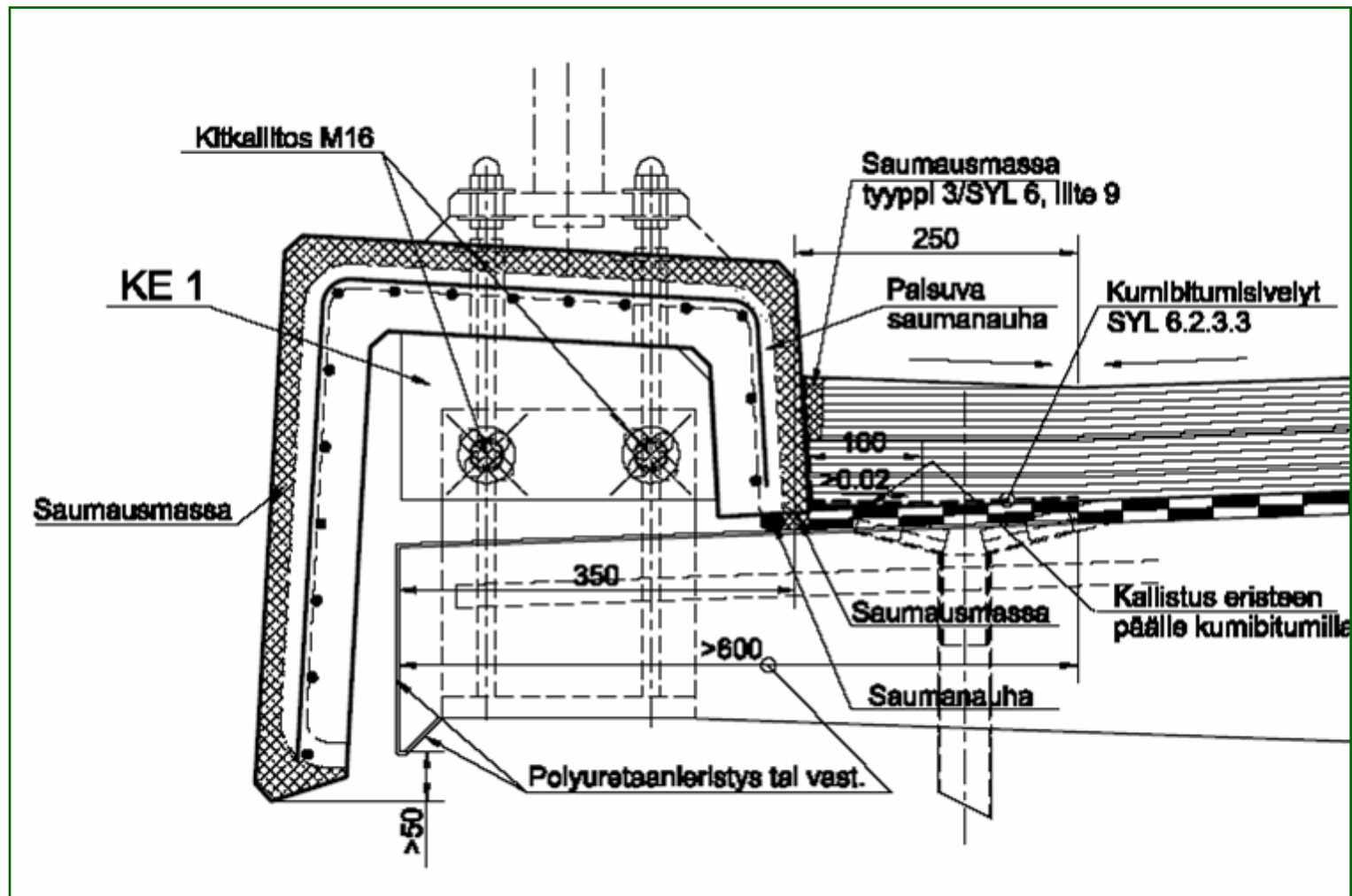
Oikorata Lahti - Kerava  
(valokuva: Olli Aho)

Kehittämällä asennuskalustoa ja käyttämällä elementtejä voitaisiin monissa tapauksissa välttää telinerakenteet ja tukipaalutus kokonaan.

- Elementtirakenteissa voidaan käyttää suurempaa betonin puristuslujuutta (K70 ... K80, K100)
- Lisäaineiden ja jälkihoidon hallinta on tehdasolosuhteissa oleellisesti helpompaa
- Mittatarkkoja teräsmuotteja käyttämällä saadaan tiiviitä ja kestävämpiä pintoja
- Elementtiratkaisuissa ympäristökuormitus pienenee, kun rakennuspaikalla tukipaalutuksen, telineiden ja muottien määrä pienenee tai niitä ei tarvita ollenkaan
- Rasi-tetuimmissa sillan osissa (esim. reunapalkit) voidaan käyttää vaihdettavia elementtikuoria
- Elementtiratkaisuissa voidaan tarvittaessa käyttää väribetonia ja rajoitetusti erilaisia pintastruktuureja
- Rakentamisaika lyhenee (oleellinen vaikutus yleiskustannuksiin)

# 6. Elementit siltojen korjauksessa

- Tiehallinto on julkaissut suunnitteluohjeet
  - Siltapilareiden kuoret (v. 2003)
    - Kuorielementtejä voidaan käyttää paitsi vanhojen rapautuneiden siltapilarien korjaamiseen niin myös uusien siltojen pilarikuorina tai osana pilarirakennetta
  - Siltojen reunapalkkien kuoret (v. 2005)
    - Betoniset kuorielementit soveltuvat sekä vanhojen reunapalkkien korjaamiseen että uusiin siltoihin
    - Ohjeen laatimistyön yhteydessä testilaattojen pakkassuolakestävyyttä testattiin 112 kierroksen Båros-kokeella. Kokeissa todettiin, että elementtien jälkihoidolla ja esimerkiksi pinnan hionnalla on suuri pakkasenkestävyyttä lisäävä vaikutus.



Kuva: Siltojen reunapalkkien kuoret , Tiehallinto 2005



Sillan reunapalkin kuoren koevalu, Parma Oy

(valokuva: Olli Aho)

# 7. Suomalaisia elementtisiltaratkaisuja



Lahden moottoritie, vaihe 1, Ohkolanlaakson maantiesilta, Oy Lohja Ab

(valokuva: Olli Aho 2004)



Tiehallinnon ohjeen mukainen  
jännitetty elementtipalkkisilta,  
jossa KL-kansi ja paikalla valetut  
reunapalkit

Koivun silta, Hamina, Parma Oy  
YS-Konsultit Oy  
(valokuvat: Teemu Hämäläinen 2003)



Koivun silta, Hamina, Parma Oy  
YS-Konsultit OY  
(valokuvat: Teemu Hämäläinen 2003)



Tiehallinnon ohjeen mukainen  
jännitetty elementtipalkkisilta, jossa  
on elementtirakenteinen kansi

Patasalmen silta, Virolahti, Parma Oy  
YS-Konsultit Oy  
(valokuvat: Olli Aho 2005)



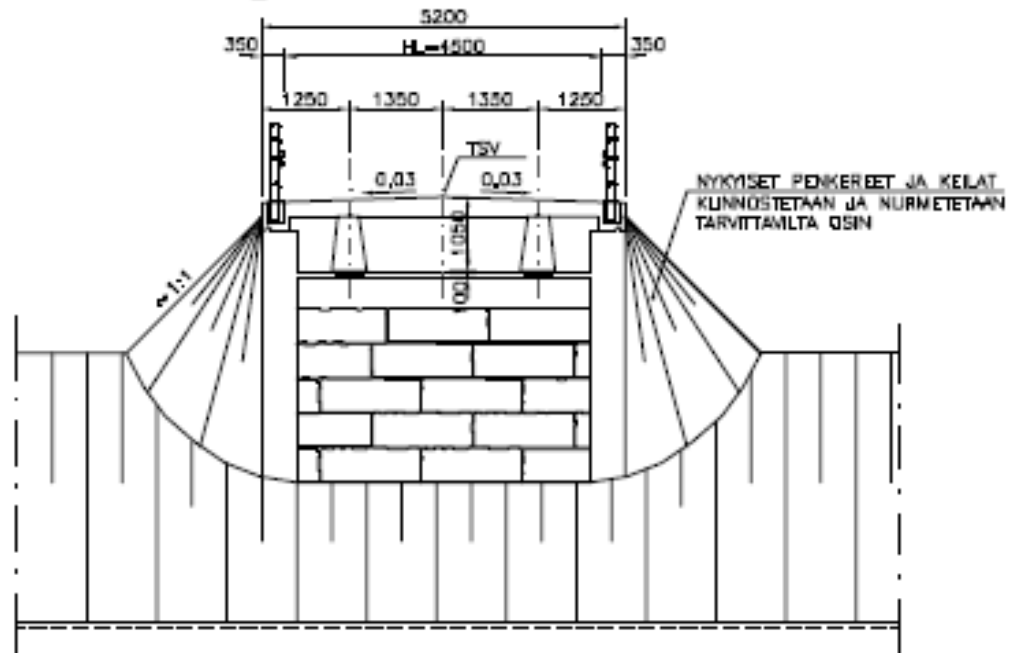
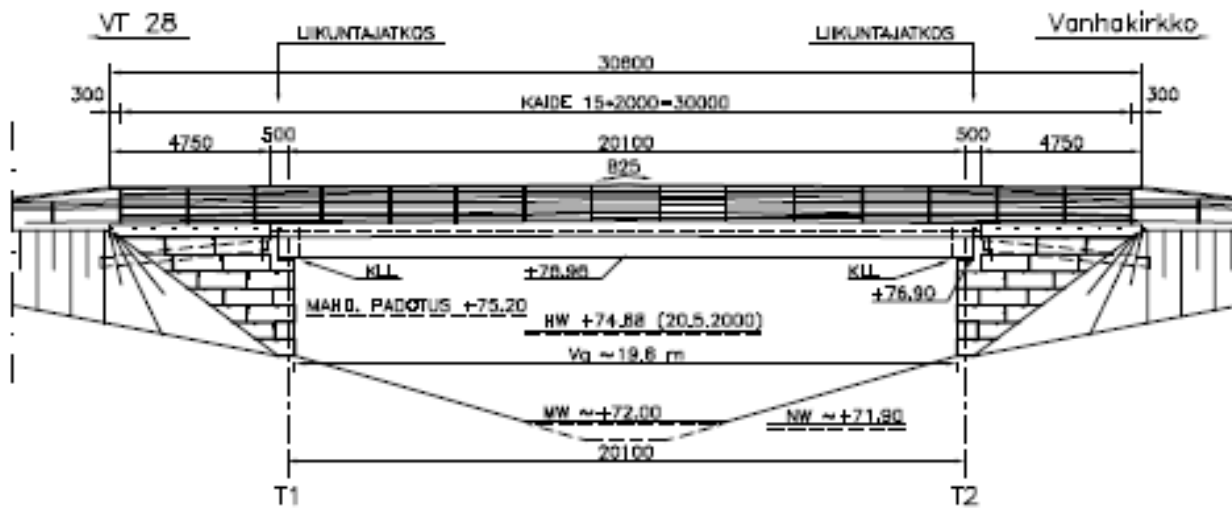
Hervannan valtavyölylän silta, Tampere

(valokuva A-insinöörit Oy)



Korkinmäen silta

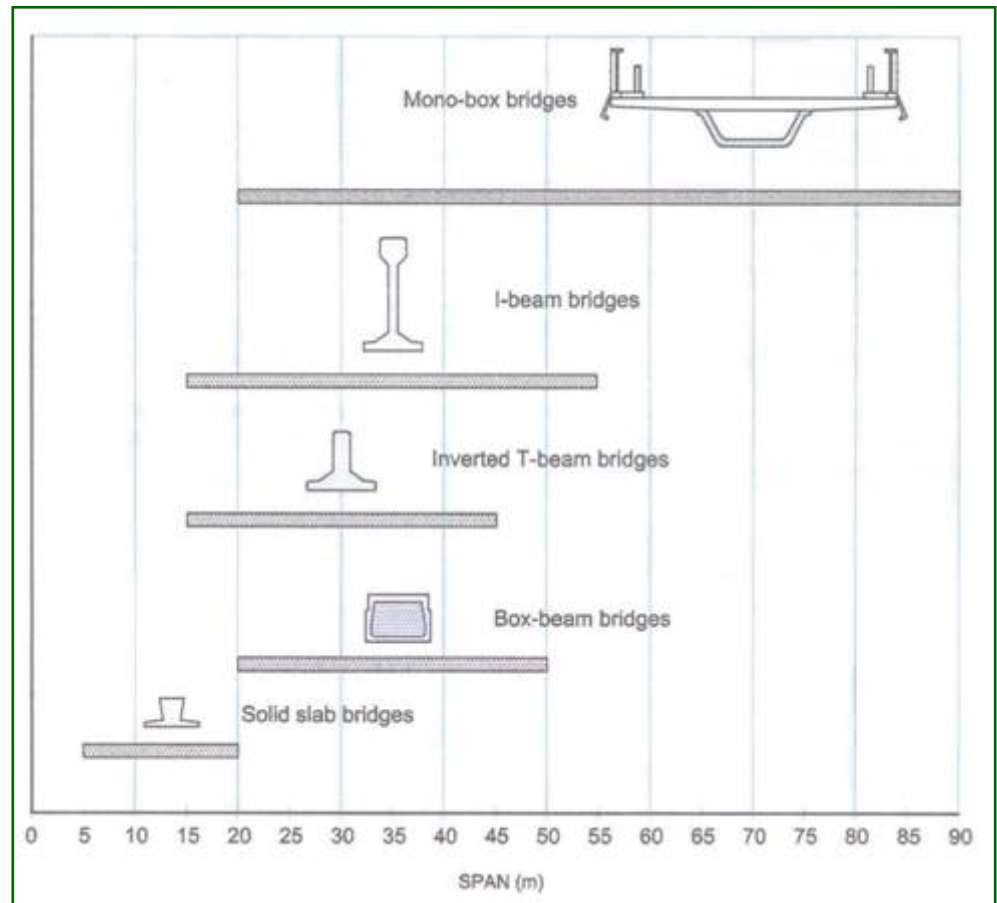
(valokuva A-insinöörit Oy)



Vanhankirkon silta, Sievi  
A-Insinöörit Oy

# 8. Eurooppalaisia elementtiratkaisuja

- Seuraavissa kuvissa on esitelty pääosin eurooppalaisia elementtiratkaisuja, joista osaa voidaan helposti käyttää Suomessakin
- Oheisessa kuvassa on esitetty tyypilliset jännevälialueet
- Erikoisratkaisut ja yli 60 tn painavat elementit vaativat asennusmenetelmien ja -kaluston kehitystä
- Kuvat on lainattu fib:n raportista 29 Precast concrete bridges



Kuva: Spanbeton, Hollanti



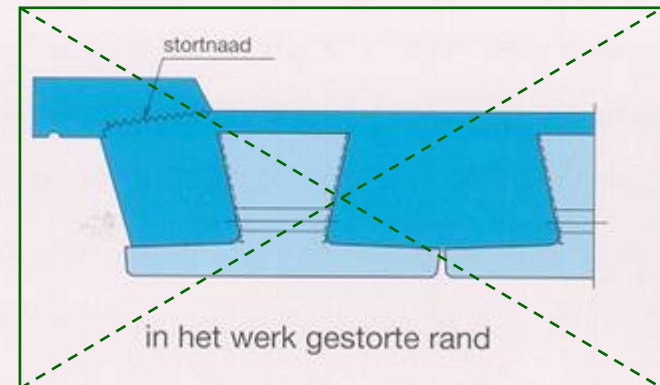
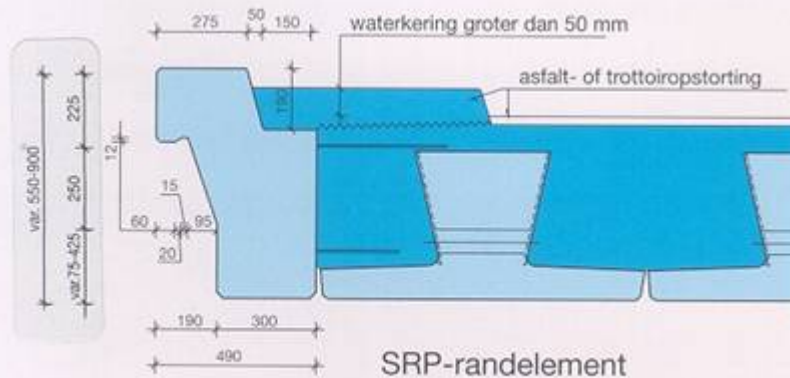
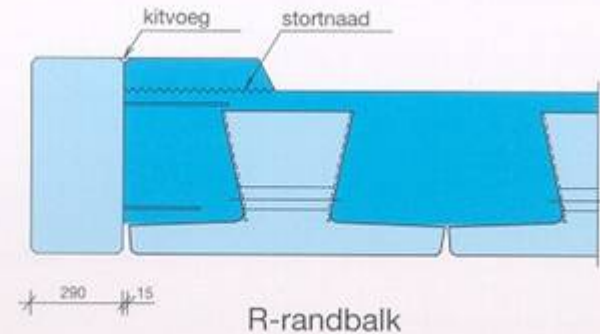
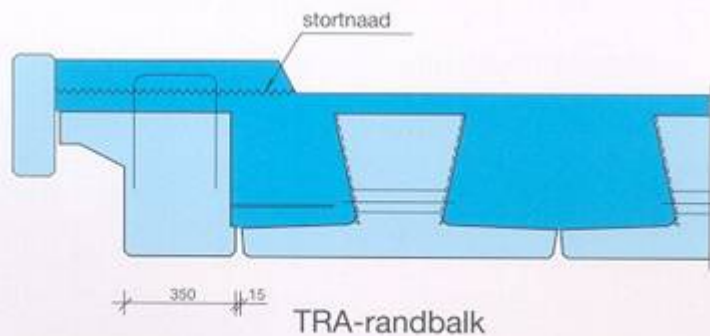
Massiivinen laattasilta, joka muodostuu jännitetyistä käännetyistä T-palkeista, joiden välit on betonoitu paikalla.  
Jännevälialue 6 – 20 m.

(valokuvat: Spanbeton BV, Hollanti)



Massiivisen laattasillan reunimmainen palkki muodostaa samalla sekä muotin että reunapalkin. Reunapalkin muodolla pintakuvioinnilla voidaan vaikuttaa oleellisesti sillan ulkonäköön.

(valokuva: Spanbeton BV, Hollanti)

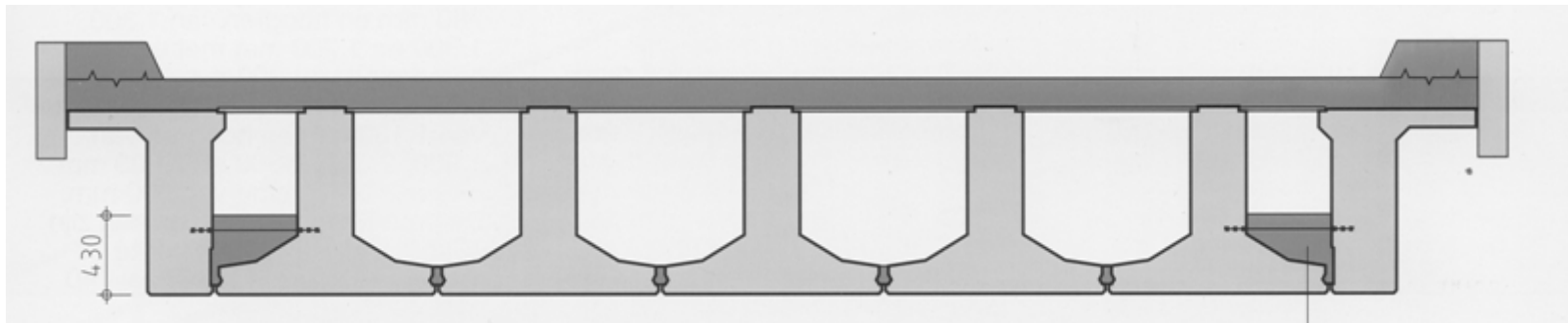


Palkkisilta, joka muodostuu jännitetyistä käännetyistä T-palkeista, joiden yläpuoli ja välit on betonoitu paikalla. Soveltuu erinomaisesti risteys- ja ylikulkusiltoihin myös Suomessa. Palkkeina voidaan käyttää talonrakentamisessa käytettyjä leukapalkkeja tekemällä vaarnat ja lisäreiät uumaan. Palkin uuman muotoa voidaan muuttaa tehtaassa muottikaluston mukaiseksi.

(kuvat: Spanbeton BV, Hollanti)



Palkkisilta, joka muodostuu jännitetyistä käännetyistä T-palkeista, joiden yläpuoli ja välit on betonoitu paikalla. Soveltuu hyvin lyhytjännevälisiin vesistösiltoihin ja satamalaitureiksi. Rakenne jakaa hyvin pistekuormia. Voidaan rakentaa vaiheittain aukko kerrallaan asentaen jo valetun laattakentän päältä  
(kuvat: Spanbeton BV, Hollanti)

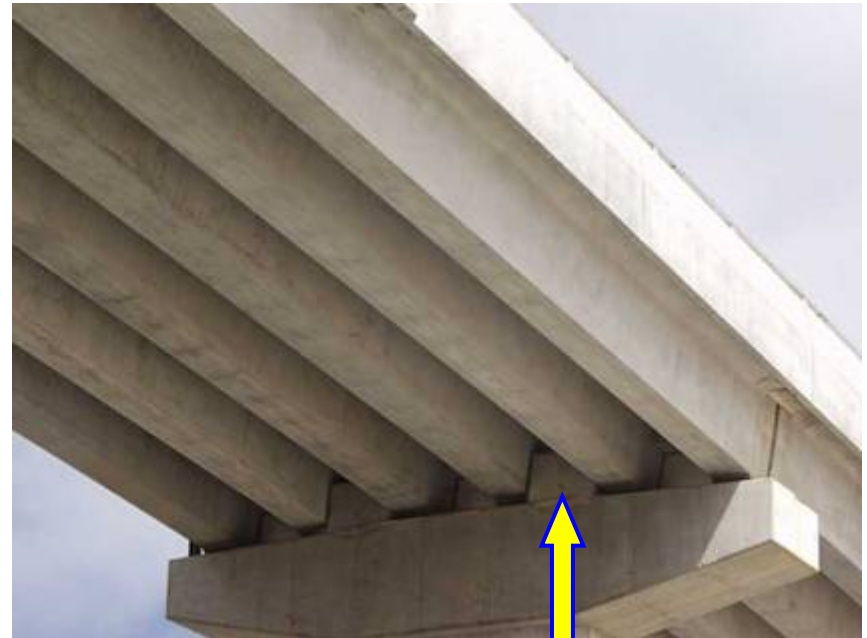


Palkkisilta, joka muodostuu jännitetyistä käännetyistä T-palkeista, ja niiden päälle valetusta laatasta. Jännevälialue 15 – 45 m.  
(valokuvat: Spanbeton BV, Hollanti)

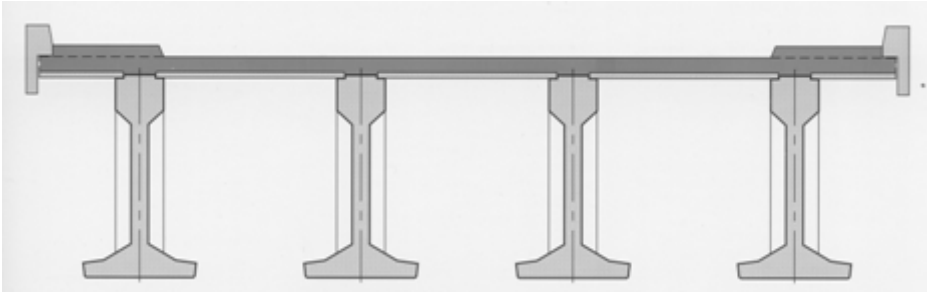
Palkkisilta käännettyistä T-palkeista.  
Myös alalaippojen saumat valetaan.  
(valokuva: Spanbeton BV, Hollanti)



Palkkisilta käännettyistä T-palkeista. Laatan muotit.  
(valokuva: Ergon, Belgia)



Palkkisilta, joka muodostuu vierekkäisistä  
"super T-palkeista" ja niiden päälle  
valetusta laatasta. Jännevälialue 15 – 45 m.  
(valokuvat: Structural Concrete Industries, Australia)



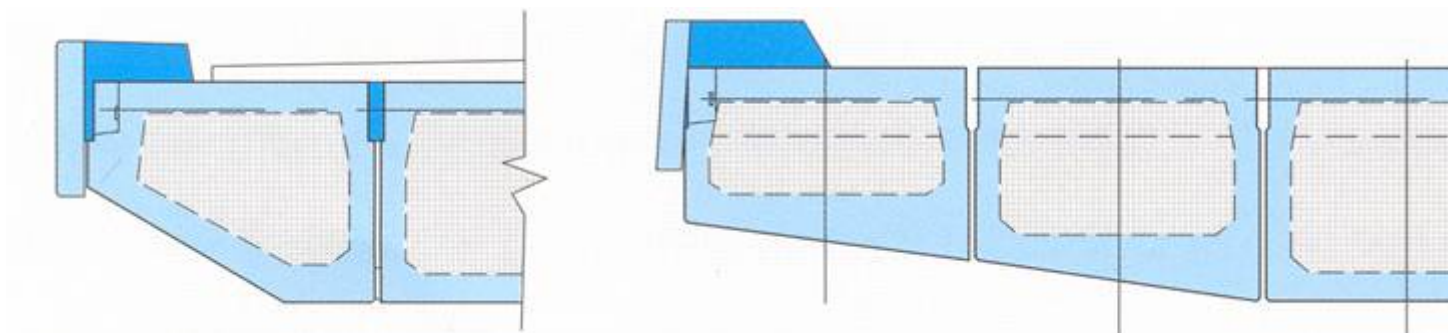
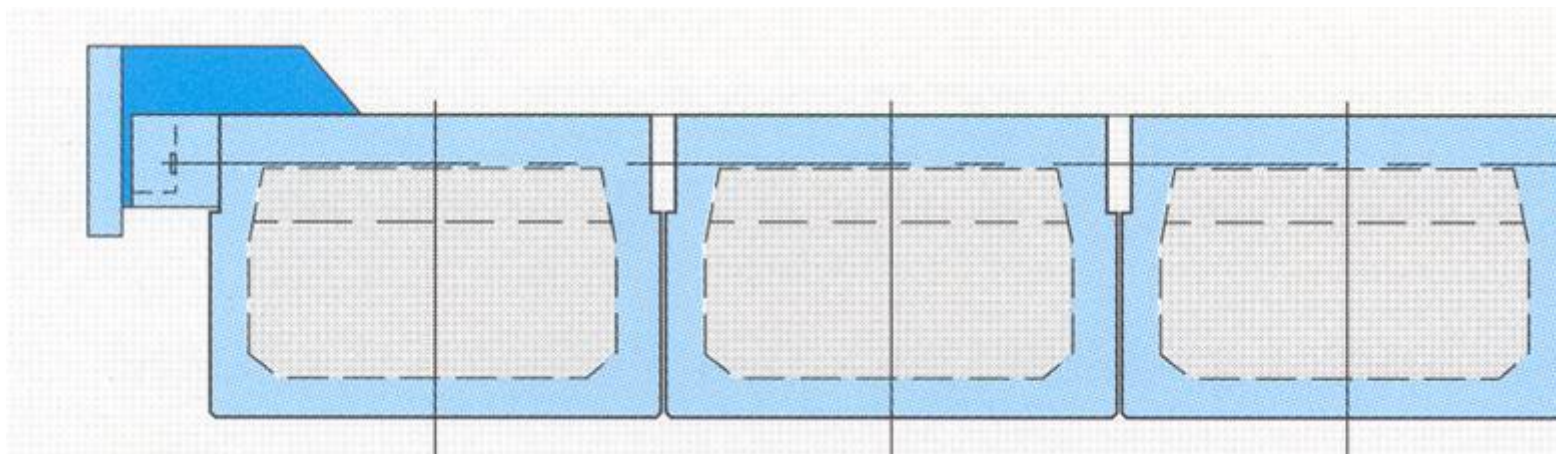
Palkkisilta, joka muodostuu jännitetyistä I-palkeista, ja niiden päälle valetusta laatasta. Jännevälialue 15 – 55 m. Suomalaisessa ratkaisussa palkkien korkeus on matalampi ja sitä kautta jännevälit ovat pienempiä

(kuva: Spanbeton BV, Hollanti)



Palkkisilta, joka muodostuu jännitetyistä I-palkeista.

(valokuva: lanus srl; Italia)



Kotelopalkkisilta, jossa palkit ladotaan vierekkäin ja jännitetään työmaalla poikkisuunnassa yhdeksi kokonaisuudeksi. Ei rakenteellista pintabetonia. Jännevälialue 20 – 50 m. Palkit voidaan tehdä myös sivukaarevina,  $R = 100 \dots 200$  m.  
(kuvat: Spanbeton BV, Hollanti)

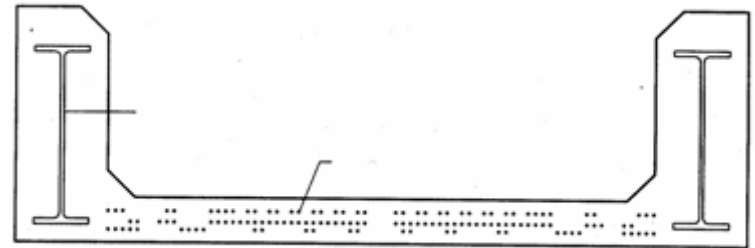
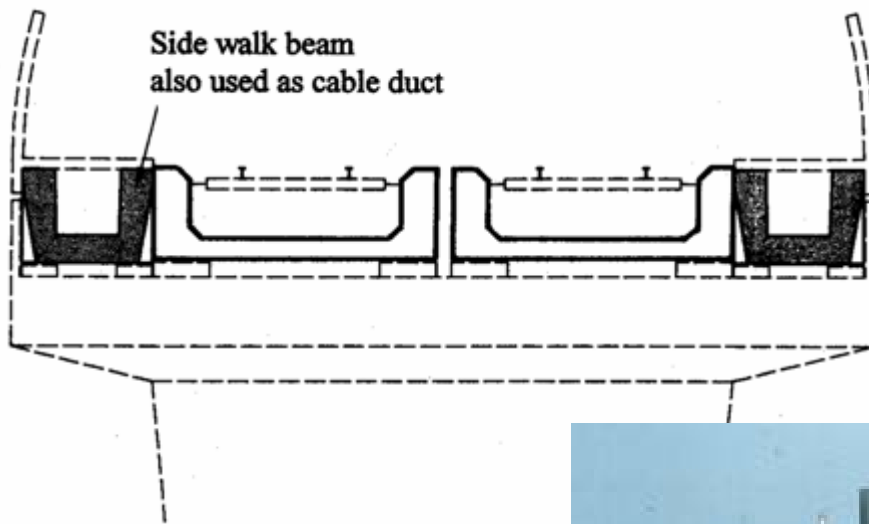
Kotelopalkkisilloja (valokuvat: Spanbeton BV, Hollanti)





Täyselementtirakenteinen  
Kotelopalkkisilta.  
Haasteellinen ratkaisu.

(valokuvat: Betonson, Hollanti)



Jännitetty elementtirakenteinen  
ratasilta (kouru).

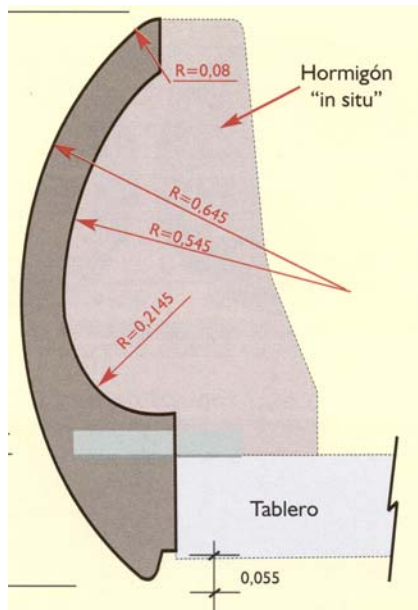
Elementin pituus 20...25 m,  
korkeus 1,3 m ja leveys 4 m,  
paino lähes 160 t.

(valokuvat: Ergon, Belgia)

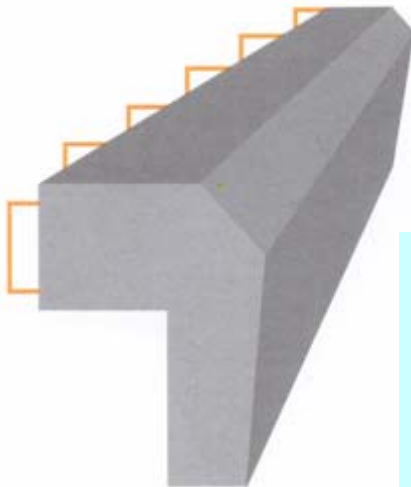




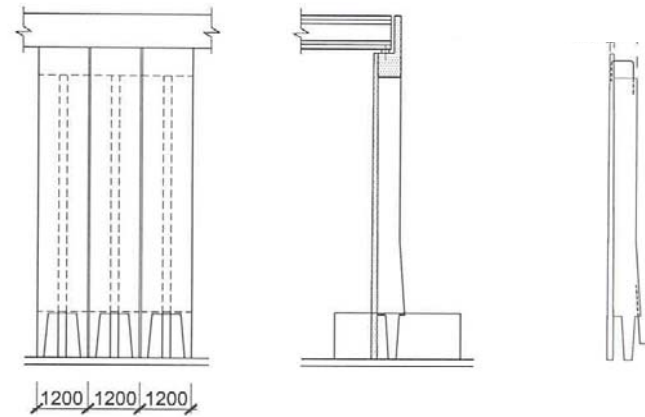
Rautatiesilta. Pilarit ja poikkipalkit teräsbetonielementtejä.  
Palkit jännitettyjä kouruelementtejä.  
Huolto- ja kävelykaista teräsrakenteinen.  
(valokuva: Ronveaux, Belgia)



Värillinen reunapalkin kuori.  
(valokuva: Prefabricados Castelo, Portugali)



Siltojen reunapalkin kuori voi olla osa paikalla valettavaa reunapalkkia tai erillinen elementti. Muotoilulla voidaan vaikuttaa sillan ulkonäköön.  
(kuvat: Vanguard, Espanja)



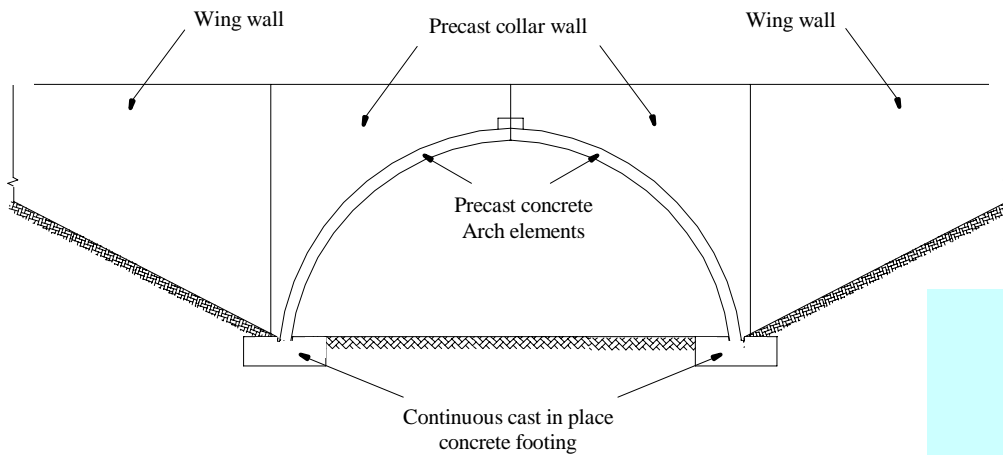
Sillan maatukirakenteet ja siipimuurit on mahdollista toteuttaa elementtirakenteisina  
(valokuvat: Prefabricados Castelo SA, Espanja, piirros: CEN/TC 229/WG1/TG14 Bridge Elements)



Siltojen pilarit tehdään usein elementeistä.  
Pilarissa tartuntateräksset anturaan.

(valokuvat: Alvisa Prefabricados, Espanja)





Tunneleissa ja alikulkukäytävissä voidaan käyttää holvielementtejä.

(valokuvat: Prefabricados Castelo SA, Espanja, piirros: CEN/TC 229/WG1/TG14 Bridge Elements)



Vakiopoikkileikkauksilla ja pitkillä sarjoilla kustannukset alenevat  
(valokuva: CPC, Ranska)



Sillan rakentaminen neljään tasoon jo käytössä olevan moottoritien eritasoliittymän päälle.  
(valokuva: Spanbeton BV, Hollanti)