



Juhani Virola
Eur Ing-FEANI
Teemuaho-yhtiöt

Ensimmäinen silta

Yhdysvaltain pääkaupunki Washington D.C. sijaitsee maan itärannikolla, New Yorkin kaupungista linnuntietä n. 350 km lounaaseen. Washingtonin osavaltio, Washington State (jonka pääkaupunki on nimeltään Olympia), puolestaan sijaitsee Washington D.C:stä n. 3 500 km länteen Yhdysvaltain länsirannikolla, Yhdysvaltain ja Kanadan etelärajalta. Mainittakoon, että Washingtonin osavaltiossa sataa toisinaan paljon lunta: vuoden mittaisen jakson aikana 19.2.1971-18.2.1972 satoi Mt. Rainierin alueella lunta peräti 31 102 mm, mikä tuolloin oli maailmanennätys, mahdollisesti vieläkin.

Tacoman kaupunki sijaitsee Washingtonin osavaltiossa, Tyynestä valtamereistä etelään pistävän Puget Sound-lahden itärannalla. Samassa osavaltiossa, n. 50 km pohjoisempaan saman lahden itärannalla, sijaitsee Seattlen kaupunki, jossa v. 1962 pidettiin maailmannäyttely. Paremmiin Seattle kuitenkin nykyään tunnetaan maailmalla Microsoftin kotikapunkina.

Tacoman kaupungin länsipuolelle valmistui 1.7.1940 Puget Sound-lahden ylitse johtava 2-kaistainen riippusilta Tacoma Narrows Bridge, jossa poikkileikkauksuvasta päätellen oli laidoilla kapeat kevyen liikenteen kaistat. Silta yhdisti Tacoman kaupungin lahden länsirannalla sijaitsevaan Olympic Peninsula -niemimaahan. Jänneväliään (853 m) Tacoman silta oli valmistuessaan maailman 3. pisin, ja sillan kustannukset olivat 6 milj. dollaria. Tuolloin oli olemassa vain 2 pitkäjänteisempää siltaa, molemmat riippusillat: Golden Gate -silta (1 280 m) San Franciscossa vuodelta 1937 ja George Washington -silta (1 067 m) New Yorkissa vuodelta 1931.

Kolme Tacoman siltaa



Kuva 1. Tacoman 1-sillan "Gallopning Gertie" aika päättyi äkisti vain 4 kk ikäisenä 7.11.1940. Silta ikään kuin "räjähti" navakassa tuulessa (n. 20 m/s) - ei mikään hirmumyrsky.

Kuva: Washington State Department of Transportation (WSDOT)

Jänneväliin nähden Tacoman silta oli tavattoman hento ja hoikka: kansirakenteen leveys 11,9 m, jäykistelevypalkin korkeus siltakannen kummallakin laidalla 2,4 m ja itse kansirakenteen rakennekorkeus vain 1,3 m. Pylonien korkeus vedenpinnasta mitattuna oli 137 m, vapaa korkeus (kannen alikulkukorkeus) 66 m, viite [1].

Jo alun alkaen Tacoman sillan kansirakenne huojui tuulessa silmin nähden, ajoittain uhkaavasti, ja silta sai pilkkanimen "Gallopning Gertie". Kerrotaan, että työmiehet saattoivat tulla merisairaiksi siltakannen ajoradan päällystystöiden aikana. Sillan valmistuttua seikkailunhaluiset autoilijat saapuivat pitkien matkojen päästä kokemaan elämyksen, kun siltakansi aaltoili tuulessa niin, että edellä ajava auto saattoi hävitä näkyvistä. Vähemmän rohkeat eivät uskaltaneet ajaa siltaa pitkin ollekaan, vaan käyttivät kiertotietä.

Tämä ei kuitenkaan kaikkia huolestuttanut. Muuan paikallinen pankki mainosti itseään: "Varma kuin Tacoman silta" [2].

Vain 4 kk valmistumisestaan eli 7.11.1940 silta sortui tuulessa, jota ei voida pitää hirmumyrskynä: tuulen nopeus oli 42 mph eli n. 20 m/s [3]. Siltakansi huojui voimakkaasti ja lopulta riipputankojen ja kansirakenteen kiinnitys petti pääjäteellä klo 11 aikoihin aamupäivällä. Sen seurauksena pääjanteen kansirakenne romahti veteen 2 erässä: ensin n. 200 m pituinen osuus pääjanteen läntisen 1/4-pisteeseen kohdalla ja loput muutaman minuutin kuluttua. Sivujänteet taipuivat mutta eivät sortuneet [2].

Henkilövahingoilta välttyttiin, sillä silta oli onneksi jo suljettu liikenteeltä. Tosin siltakannella oli sortumapäivänä tarkkailijoita, mutta kaikki pääsivät turvaan. Kerrotaan, että muuan

reportteri ajoi autolla koira kyydissään sillalle ja parkkeerasi auton sillalle. Kun silta alkoi sortua, reportteri juoksi henkensä edestä turvaan sillan päähän. Muuan lehti totesi lakonisesti: ”Menetykset - yksi silta, yksi auto, yksi koira” [2].

Sortuman syitä

Tapaus herätti laajalti huomiota, ja vaikutti myöhempiin siltoihin vuosikymmeniksi eteenpäin. Tuulitunnelikokeita oli kyllä tehty pienoismallilla [4; 5], mutta onnetoman sillan heikkous ei niistä paljastunut riittävän ajoissa. Tacoman 1-sillan aerodynamiikkaa on selostettu nykytietämyksen valossa artikkelissa [6].

Tehdyissä selvityksissä Tacoman sillan sortuman pääsyiksi katsottiin: liian hoikka (kapea), liian kevyt, liian taipuisa (= puutteellisesti jäykistetty) [2]. Sillan hoikkuus (= matala ja samalla myös kapea) ilmenee, kun lasketaan joitain sen tunnuslukuja. Merkitään: L = jänneväli (853,44 m), B = leveys = riippuköysien k/k-etäisyys sillan poikkisuunnassa (11,89 m), H = kannen rakennekorkeus, tässä tapauksessa pitkittäisen jäykistepalkin korkeus kummallakin laidalla (2,44 m) [1]. Näistä arvoista laskettuina L:H = 350 ja L:B = 72.

Golden Gate -sillan (L = 1280,16 m, H = 7,62 m, B = 27,43 m), jota myös pidettiin jänneväliin nähden hoikkana, vastaavat luvut ovat L:H = 168 ja L:B = 47. George Washington -sillan (L = 1 066,80 m, B = 35,56 m) suhde L:B = 30. Alkuun tämä silta oli yksitasoinen ja matala (H = 3,05 m), jolloin L:H = 350 m eli sama kuin Tacoman sillassa. Vuonna 1962 G. Washington -siltaan lisättiin alempi ajotaso, jolloin kannen rakennekorkeus huomattavasti suureni (B = 9,14 m), eli L:H = 117. Näiden kahden sillan stabiliteettiä auttaa merkittävästi niiden suurempi leveys verrattuna Tacoman siltaan.

Matala rakennekorkeuskaan ei täysin selitä Tacoman sillan tuuliherkkyyttä. Merkittävä lisäisyys sortumaan oli sinänsä heikon kansirakenteen poikkileikkauksen laatikkomainen ja epävirtaviivainen muoto. Suunnitella oli vähentää sillan ”käärmemäisiä liikkeitä” muotoilemalla siltakannen kummankin laidan pitkittäisen jäykistepalkin ulkosivua edes vähän virtaviivaisemmaksi, mutta tätä ei ehditty toteuttaa [3].

Epävirtaviivaisuuden ja hoikkuuden merkitys selviää, kun verrataan Tacoman 1-siltaa myöhempiin ns. englantilaistyyppisiin riippusiltoihin, joiden kansirakenne myös on matala jänneväliin verrattuna. Näissä kansiraken-



Kuva 2. Kuvasovitelma Tacoman 3- ja 2-sillasta (uusi silta vasemmalla). Ulkonäkösyistä 3-siltaan tulee 2-sillan tavoin korkea ristikkopalkkikansi - matalampi virtaviivainen kotelopalkki olisi muutoin saattanut olla edullisempi.

Kuva: WSDOT

teen jäykisteenä on virtaviivainen teräskotelopalkki. Tämän tyyppisiä suuria riippusiltoja (L = n. 1,0-1,6 km, H = n. 3,0-4,5 m) on rakennettu muutamia Euroopassa ja Aasiassa. Ensimmäinen on Bristolissa Englannissa v. 1966 valmistunut Severnin riippusilta (L = 987,55 m, H = 3,05 m, B = 22,86 m), eli L:H = 324 (lähes Tacoman 1-sillan luokkaa) ja L:B = 43. Ääriesimerkki hoikasta (matalasta) riippusillasta on Kiinassa v. 2005 valmistuva Runyangin eteläsilta [7]. Siinä L = 1490,00 m (mikä on valmistuessaan maailman 3. pisin jänneväli), H = 3,00 m, B = 34,30 m, eli L:H = 497 (42 % enemmän kuin Tacoman 1-sillassa!) ja L:B = 43 (sama kuin Severnin sillassa).

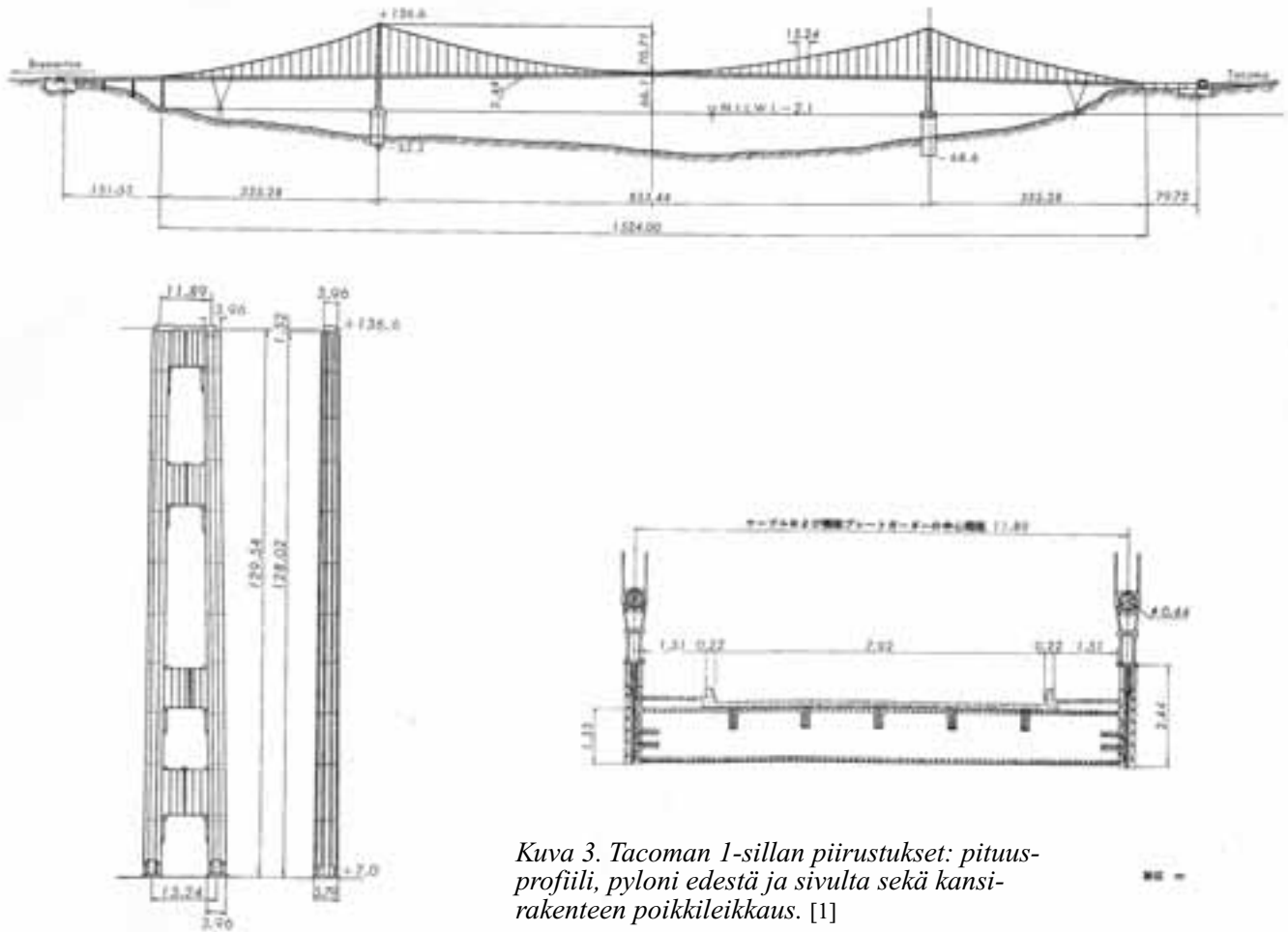
Avainsana näissä silloissa on vään-töjäykkä ja virtaviivainen teräskotelopalkki, sekä myös huomattavasti suurempi leveys jänneväliin nähden kuin Tacoman 1-sillassa. Kansirakenteen mataluudesta huolimatta tämän tyyppisissä suurissa kotelokantisissa riippusilloissa ei tiettävästi ole esiintynyt merkittäviä tuuliongelmia, poikkeuksena jokunen keskisuuri norjalainen riippusilta, joka on saattanut tuulussa huojuja, ei kuitenkaan sortunut. Artikkelissa [8] on julkaistu pituusprofiilit vuoteen 2000 mennessä valmistuneista jänneväliiltään yli 1000 m mittaisista suurista riippusilloista (17 kpl) samalla aukeamalla, jolloin niitä on helppo verrata keskenään.

Toinen silta

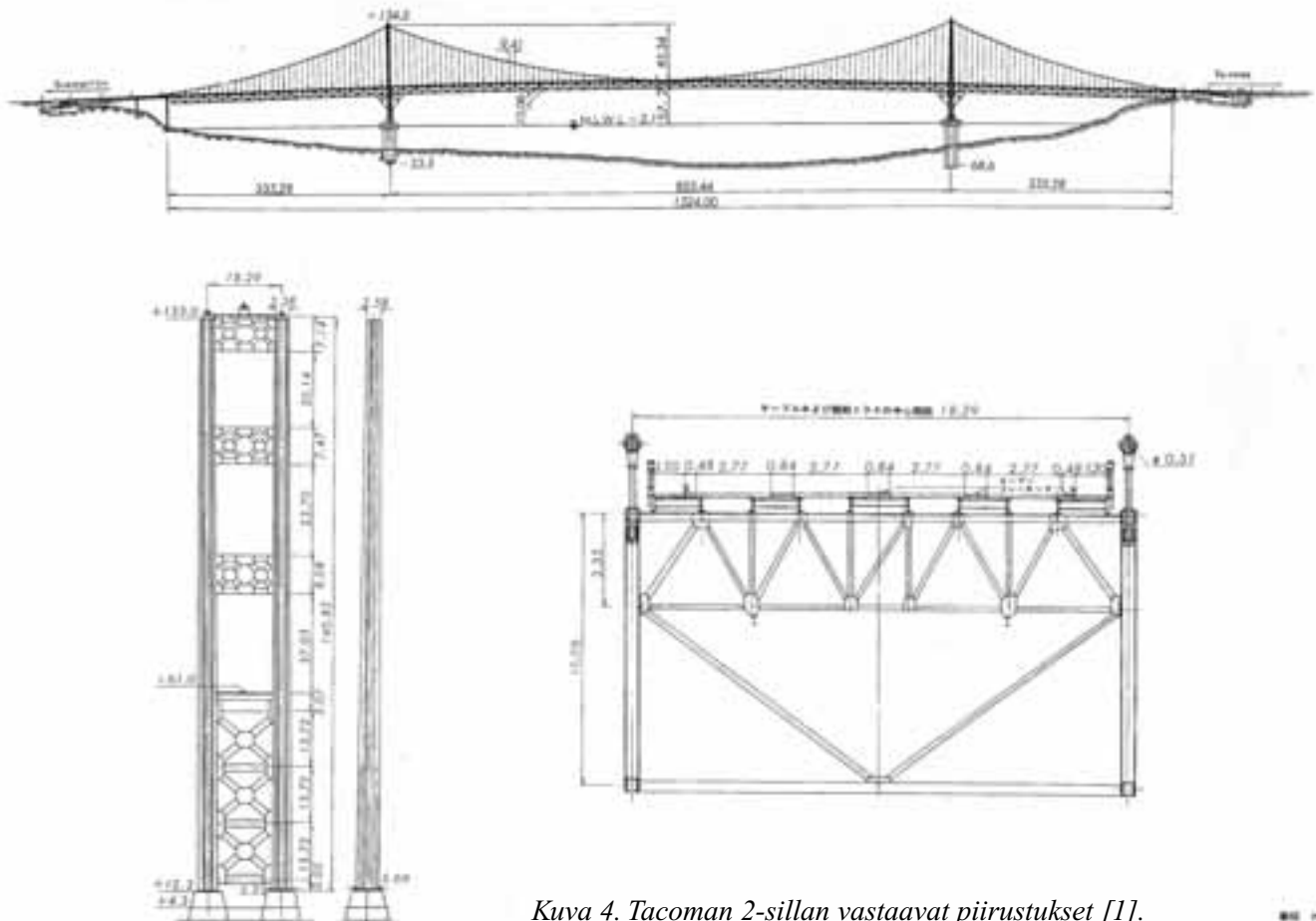
Aina Tacoman 1-siltaan saakka amerikkalaisia riippusiltoja oli asteittain kevennetty (= heikennetty) pienentämällä kannen rakennekorkeutta ja vähentämällä jäykisteitä. Tacoman sillan sortuma halvaannutti suurten riippusiltojen rakentamisen 10 vuodeksi ja heilautti heilurin toiseen ääriasentoon. Tämän jälkeen alettiin Amerikassa suosia massiivisia teräsriskkopalkki-jäykisteisiä riippusiltoja, joissain tapauksissa liiankin massiivisia.

Toinen Tacoman silta rakennettiin 10 vuotta myöhemmin 14 milj. dollarilla, ja avajaiset pidettiin lokakuussa 1950. Pylonit rakennettiin 1-sillan pilareille, joten jänneväli on sama (L = 853,44 m). Pylonikorkeus vedennpinnasta mitattuna (155 m) on suurempi ja alikulkukorkeus (57 m) pienempi kuin sortuneessa 1-sillassa. Kansirakenteen jäykisteenä on vahva teräsriskkopalkkisto. Sillalla on 4 ajokais-taa, ja poikkileikkauksuvasta päätellen laidoilla on kapeat kevyen liikenteen kaistat. Kansirakenteen poikkileikkauksen on 1-siltaa huomattavasti suurempi: leveys B = 18,29 m, rakennekorkeus H = 10,06 m, eli L:H = 85 ja L:B = 47 (sama kuin Golden Gate -sillassa). Erään arvion mukaan 2-sillan jäykkyys on lähes 60-kertainen edeltäjäänsä verrattuna [9].

Avajaisvuonna (1950) 2-sillan liikennemäärä oli 3 000 ajoneuvoa/vrk,



Kuva 3. Tacoman 1-sillan piirustukset: pituusprofiili, pyloni edestä ja sivulta sekä kansirakenteen poikkileikkaus. [1]



Kuva 4. Tacoman 2-sillan vastaavat piirustukset [1].

puoli vuosisataa myöhemmin jo 90 000/vrk [10]. Sillan kapasiteetti ei enää riitä.

Kolmas silta

Kolmatta siltaa alettiin kaavailla viime vuosituhannen loppupuolella. Yhtenä vaihtoehtona oli maailman mittakaavassa huomattavan suuri vinoköysisilta, jänneväli 853 m, pylonikorkeus 244 m. Edullisimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui 2-sillan viereen rakennettava samankokoinen riippusilta, jänneväli 853 m. Ulkonäköystistä myös 3-sillan kansirakenteen jäykisteenä on teräsristikopalkisto. Pylonien ulkonäkö hieman poikkeaa: 3-sillan pyloneissa on vähemmän vaakapalkkeja kuin 2-sillassa [10].

Hankkeen tilaajana on Washington State Department of Transportation (WSDOT). Heinäkuussa 2002 WSDOT ja Tacoma Narrows Constructors (TNC) allekirjoittivat 3-sillan suunnittelu- ja rakentamissopimuksen (Design-Build Agreement). TNC koostuu 2 suuresta amerikkalaisesta

rakennusliikkeestä: Bechtel Infrastructure Corporation (Binfra) ja Kiewit Pacific Company (KPC). Niiden konsultteina on 2 tunnettua amerikkalaista suunnittelutoimistoa: Parsons Transportation Group ja HNTB Corporation.

Koko hankkeen toteutus kestää 5,5 vuotta aikavälillä 10/2002 - 03/2008. Hankkeeseen kuuluu 3-sillan rakentamisen lisäksi erilaisia tietöitä sekä 2-sillan muutostöitä (mm. maanjäristyskestävyyden parantaminen). Koko projektin urakkahinta on 849 milj. dollaria. Itse 3-silta rakennetaan aikavälillä 06/2003 - 03/2007, ja sen urakkahinta on 615 milj. dollaria.

Uusi eli 3-silta tulee sijaitsemaan 2-sillasta n. 60 m etelään. Se välittää ajoneuvoliikennettä itäsuuntaan ja siinä on 3 ajokaistaa sekä toisella laidalla kevyen liikenteen kaista. Lisäksi siinä on varaus rakentaa tarvittaessa alempi ajorata lisäkaistoja varten. Nykyinen eli 2-silta muutetaan 4-kaistaisesta 3-kaistaiseksi (jotta saadaan enemmän tilaa kevyen liikenteen kaistalle), ja sitä pitkin kulkee ajoneuvoliikenne vastak-

kaiseen eli länsisuuntaan. Kakkossilta oli aluksi 1950-luvulla tullisilta, nykyään vapaa silta.

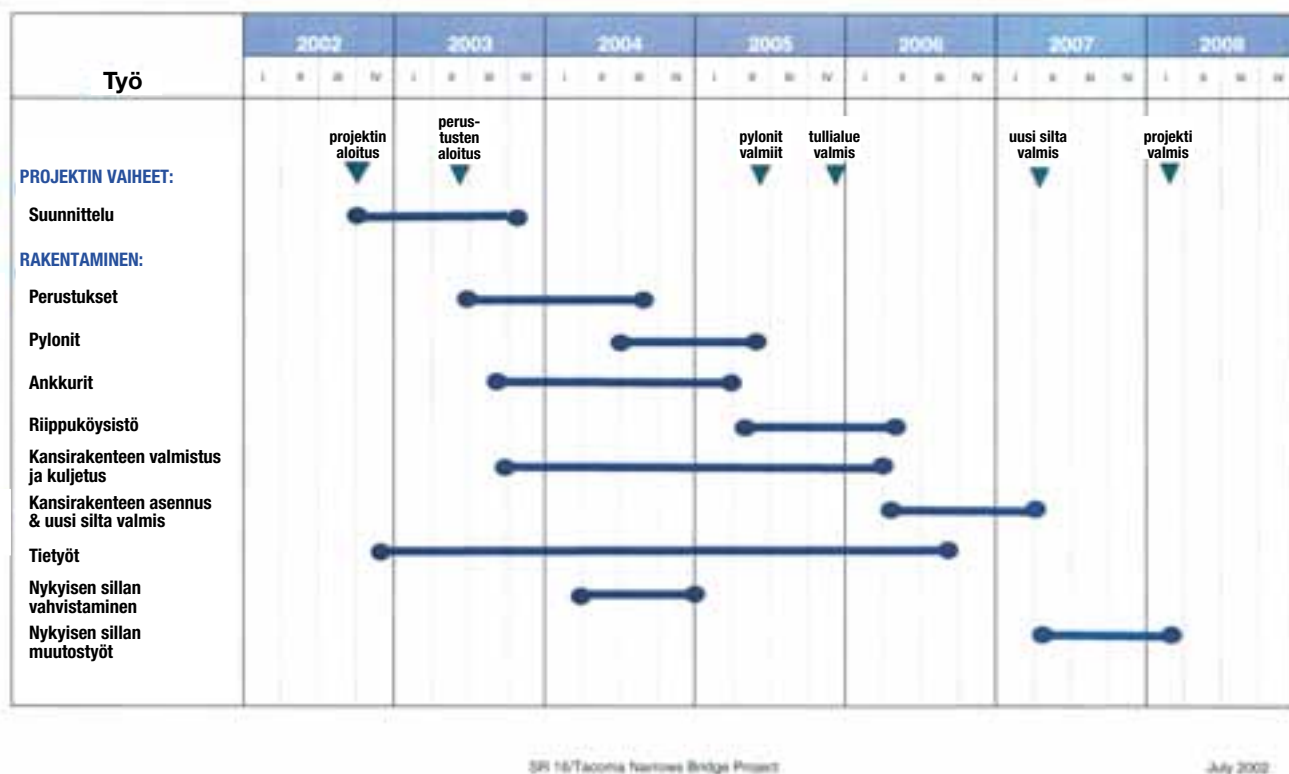
Silta tulee olemaan tullisilta. Siltamaksuksi kaavaillaan aluksi 3 dollaria/ajoneuvo sillan avajaisvuodeksi 2007, nousten asteittain 6 dollariksi vuosiksi 2016-2030. Uuden sillan liikennemäärien arvioidaan 10 vuoden välein nousevan seuraaviksi (ajoneuvo/vrk): 42 000 (v. 2010), 50 000 (v. 2020) ja 58 000 (v. 2030). Kakkossilta jäänee tullivapaaksi. Monella tullisillalla muuallakin siltamaksu peritään kaupunkiin päin ajettaessa, mutta ei pois päin.

Tacoman uusi silta on, Kaliforniasa 10/2003 valmistuvan 728-metrinen kolmannen Carquinez-sillan ohella, pitkäjänteisin amerikkalainen riippusilta 40 vuoteen. Niiden edeltäjä on Verrazanon silta New Yorkissa, peräisin jo vuodelta 1964. Tämän jänneväli 1 298 m oli aikoinaan maailman pisin, kunnes riippusiltojen valtikka siirtyi Euroopan kautta Aasiaan.

UUDEN TACOMAN SILLAN PROJEKTIAIKATAULU

Kuva 5. Tacoman 3-sillan projektiaikataulu.

Kuva: WSDOT



Viitteet:

- [1] Ichiro Konishi: "Sekai chodai tsuribashino sekkei shogen" (Design criteria of long-span suspension bridges in the world). Publication of the Research Section of the City of Kobe, Japan, 1966, 96 p.
- [2] Robert R. Goller: "The legacy of 'Galloping Gertie' 25 years after". Civil Engineering-ASCE, Oct. 1965, p. 50-53.
- [3] N.A. Bowers: "Tacoma Narrows Bridge wrecked by wind". Engineering News-Record 1940-11-14, p. 1 & 10-12.
- [4] F.B. Farquharson: "A dynamic model of Tacoma Narrows Bridge". Civil Engineering-ASCE, July 1940, 445-447.
- [5] N.A. Bowers: "Model tests showed aerodynamic instability of Tacoma Narrows Bridge". Engineering News-Record 1940-11-21, p. 44-47.
- [6] Allan Larsen: "Aerodynamics of the Tacoma Narrows Bridge - 60 years later". Structural Engineering International SEI 2000:4, p. 243-248.
- [7] Juhani Virola: "Maailman 3. suurin riippusilta rakenteilla Kiinassa". Tierakennusmestari 2001:3, s. 38-39.
- [8] Juhani Virola: "Kurushima-Kaikyo Bridge - ainutlaatuinen kolmoisriippusilta". Tierakennusmestari 1999:3, s. 54-59.
- [9] "The Tacoma Narrows Bridge, U.S.A.". The Engineer 1951-03-02, p. 296.
- [10] WSDOT web pages [www.wsdot.wa.gov/projects/sr16narrowsbridge/]