

# Kruunuvuorensilta on Suomen suurin

Vesa Tompuri, toimittaja

Korkeasaaren ja Laajasalon yhdistävän Kruunuvuorensillan rakentaminen on ollut meneillään runsaan vuoden. Runsaan kilometrin mittaisen liittorakenteisen vinoköysisillan perustukset on jo pääosin valettu. Vaativimmat, 135 metrin korkeuteen kohoavan pyloniin valut ovat vuorossa seuraavien parin vuoden aikana. Kun silta vuonna 2025 valmistuu, sen tulee olla toteutettu niin, että 200 vuoden käyttöikä on realistinen tavoite.

Vinoköysisillat alkoivat yleistyä eri puolilla maailmaa 1950- ja 1960-lukujen vaihteessa. Suomessa ensimmäiset ajoneuvoliikenteelle suunnitellut vinoköysisillat ovat Rovaniemelle 1989 valmistunut Jätkänsynttilä ja neljä vuotta myöhemmin Päijät-Hämeessä avattu Heinolan Tähti. Myöhemmin rakennettiin muun muassa Raippaluodon silta ja Kärkistensalmen silta.

Vinoköysisillan keskeinen osa on pyloni eli kannatinpylväs. Sen mitoittaminen, kuten myös ristikoiden mitoittaminen, on aikaisemmin perustunut niin sanottuun graafiseen statiikkaan ja kahden 1800-luvulla eläneen tiedemiehen, matemaatikko *Luigi Cremonan* ja fyysikko *James Clerkwell Maxwellin* voimaviiteoriaan. Nykyään, tietokoneiden kehittymisen myötä, mitoitusohjelmistot ja tietomallinnus ovat olennainen osa vinoköysisiltojen suunnittelua.

- Rakenteen toiminnan ymmärtäminen on luonnollisesti suunnittelun perusta. Ohjelmiston avulla mahdollistuu rakenteiden optimointi. Vinoköysirakenteen mitoitus on lisäksi iteratiivista eli laskentakierros laskentakierrokselta tarkentuvaa, toteaa Kruunuvuorensillan pääsuunnittelija *Sami Niemelä* WSP Finland Oy:stä.

WSP Finlandin esittämä suunnitelma voitti aikanaan Helsingin kaupungin järjestämän suunnittelukilpailun. WSP:n vetämässä suunnitteluryhmässä oli mukana brittiläinen Knight Architects -arkkitehtitoimiston kanssa, ja tämä toimisto vastaa Kruunuvuorensillan arkkitehtuurisuunnittelusta. Siltakohteissa

siltasuunnittelija on suunnittelun kokonaisuudesta vastaava pääsuunnittelija, niin myös tässä kohteessa.

- Kun siltarakenne on teknisesti mietitty, se on usein myös esteettinen ja mahdollisimman taloudellinen, Niemelä toteaa.

## Vaativaa mitoittamista

Jalankulkijoille, pyöräilijöille ja raitiovaunuille tarkoitettu Kruunuvuorensilta on kokonaispituudeltaan 1200 metriä ja hyötyleveydeltään "vain" 15,3 metriä. Kun kokonaispituus on näin suuri, jännevälitkin ovat pitkät, tässä tapauksessa enimmillään 260 metriä. Näin pitkällä jänneväleillä vinoköysisilta on selvästi taloudellisin vaihtoehto. Samaan urakkaan sisältyvän Finken sillan pituus on 300 metriä, ja se rakennetaan jännitettynä, staattiselta toimintaperiaatteeltaan jatkuvana betonipalkkisiltana.

Vinoköysisillan suunnittelussa on otettava huomioon se, että vinoköysistä pyloniin vaikuttavat puristusvoimat aiheuttavat pyloniin siirtymiä. Niiden vaikutuksesta pyloniin syntyy niin sanottu toisen kertaluvun momentti, joka - kuten myös betonin viruminen ja raudoituksen vaikutus jäykkyyteen - tulee ottaa huomioon pyloniin suunnittelussa niin sanottua toisen kertaluvun momenttia rakenteisiin.

- Pyloni on hoikka rakenne. Nurjadhustarkastelun kautta pääsee kiinni edellä mainittuun lisämomenttiin. Laskenta on siinä määrin mutkikasta, että tietokoneohjelmiston edut korostuvat myös tässä, Sami Niemelä toteaa.

1 Havainnekuva Kruunuvuorensillasta mereltä.

2 Ilmahavainnekuva Kruunuvuorensillasta kohti Kruunuvuorenrantaa. Suomen pisin silta, noin 1200 metriä rakennetaan Kruunuvuorensillan ylitse Korkeasaaren ja Laajasaloon kuuluvan Kruunuvuorenrannan väliin.









3

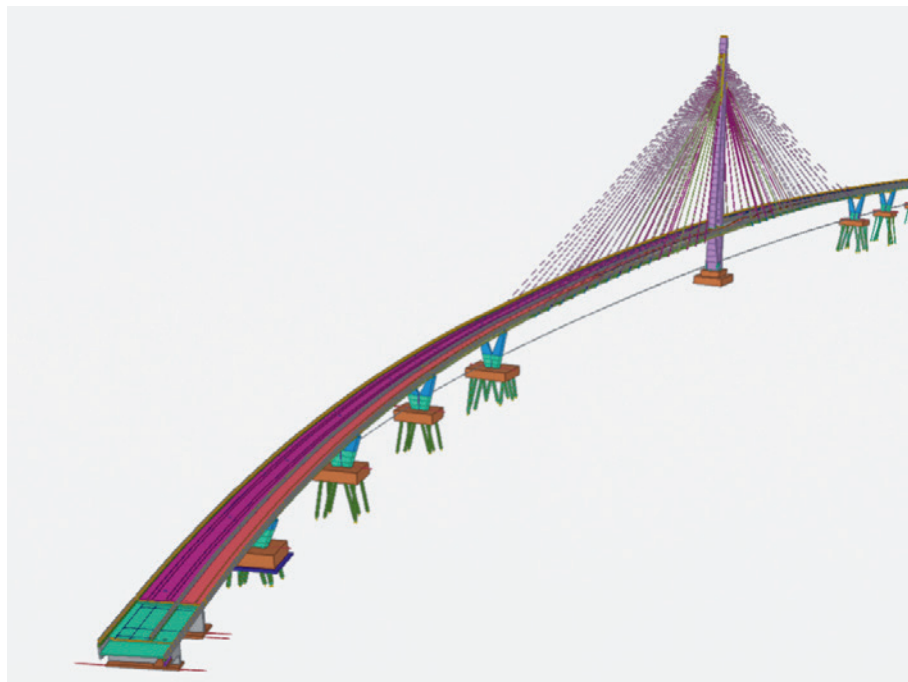
**3** Kuvassa Kruunuvuorensillan rakentamistyöt ovat päässeet käyntiin myös Korkeasaaren itäpuolella sijaitsevan Palosaaren päässä. Palosaaren puolelta rakennetaan välituet 1–5 ja tunkataan sillan teräsrakennetta 251 metriä.



4 Korkeasaaren itäpuolella sijaitsevan Palosaaren puolelta rakennetaan välituet 1-5 ja tunkataan sillan teräsrakennetta 251 m. Kuvassa Sillan tuet 1-5 ja pyloni. Näistä rakennettavista välituista tuki 5 on kooltaan suurin. Välituen peruslaatta on tilavuudeltaan 1 000 m<sup>3</sup> eli miltei tuplaten Kauppatorin viereisen "Allas Sea Poolin" altaan koko. Tukien 2, 3 ja 4 peruslaatat ovat tilavuudeltaan n. 650 m<sup>3</sup>. Tukien korkeus kasvaa pylonia kohden. Matalin tuki on tuki 1, jonka korkeus on 4,6 m ja tuen 5 korkeus on n. 14 m.

Työvaiheita loppuvuodelle 2022 ja vuoden 2023 alkupuolelle ovat:

- Tuella 2 asennetaan kasuunin tukisolkiä. Solkien asennuksen jälkeen kasuuni tyhjennetään ja tehdään peruslaatan rauditus ja valu.
- Tuella 3 asennetaan sukeltajatyönä kasuunin seinät. Seinien asennuksen jälkeen raudoitetaan ja valetaan työbetonilaatta.
- Tuet 4 ja 5 odottavat kasuuniseinien asentamista.
- Välitukien rakentamisen lisäksi työsilalta rakennetaan neljä tukitornia. Tukitornit ovat väliaikaisia rakenteita ja tornit ovat noin 15-18 m korkuisia ja toimivat väliaikaisina tukina merinosturilla asennettaville sillan teräslötköille.



4

Pyloni on sivuprofiililtaan timantin muotoinen. Sillan kannen alapuoliset haarat 23 metrin korkeuteen asti ovat poikkileikkaukseltaan umpinaisia ja kannen yläpuoliset haarat puolestaan onttoja koteloidia. Yläpuoliset haarat yhdistyvät 77 metrin korkeudessa, ja pyloni kohoaa yhtenäisenä huippuun eli 135 metriin asti. Yläosan onttoihin sisätiloihin sijoitetaan paljon tekniikkaa, muun muassa kaapeleita, tikkaita, työtasoja ja hissi.

– Ylimpään 60 metriin sijoittuu myös teräksinen köysikotelo, johon vinoköysien yläpäät ankkuroituvat, toteaa Kruunuvuorensiltaa urakoivan, YIT:n ja Kreaten muodostaman TYL Kruunusillat -työyhteisliittymän laatu- ja ympäristöpäällikkö Jussi Laamanen.

#### Ankarat säilyvyysvaatimukset

Tässä kohteessa laatu ja laadunvalvonta on kaikkea muuta kuin rutiiniasia. Se on välttämätöntä, jotta rakennuttajan eli Helsingin kaupungin vaatima 200 vuoden käyttöikä on saavutettavissa. Sillan sijainnin takia sen kantavien rakenteiden myöhempi korjaaminen on lähes mahdotonta, ja siksi myös pyloni on suunniteltava ja rakennettava kerralla niin hyvin, että se säilyy asianmukaisesti huollettuna ja välttämättömiltä osin korjattuna käytökunnossa vähintään mainitun vuosimäärän.

Säilyvyysvaatimuksen ankaruus korostuu, kun ottaa huomioon sillan ympäristöolosuhteet. Kantavat rakenteet ovat alttiina jääkuormille sekä meriveden suolarasitukselle ja suuren osan vuodesta tiheään toistuville jää-

tymis- ja sulamisvaihteluille. Nämä olosuhteet yhdistettynä epätavallisen pitkään käyttöikään heijastuvat myös betonin lujuusluokkiin. Pylonin lujuuden on oltava C55/67 ja pakkasrasituskkestävyyttä kuvaavan P-luvun vähintään P50. Myös betonipeitteen paksuuden tulee kauttaaltaan olla suurempi kuin betoninormeissa esitetty minimi.

Jotta nämä tavoitteet täyttyvät, betonitoimittajan on varmistettava toimittamiensa massojen ominaisuudet tavallista tarkemmin.

– Merkittävä osa betonivaluista on huokostettuja korkealujuusbetoneja. Itse pylonin perustuksissa käytetään itsestivistä alhaislämpöbetonia. Myös sementtilaatujen sallittu sideainekoostumus on tavallista tarkemmin määritelty, kertoo betonitoimittaja Ruskon Betoni Oy:n laatu- ja kehitysjohtaja Vesa Anttila.

Työmaalle toimitettavan valmisbetonin laadunvalvonta jakautuu betoniasemalla tehtävään ja työmaalla tehtävään laadunvalvontaan. Työmaalla tehtävään laadunvalvontaan hankkeeseen on otettu Eurofinns eli entinen VTT Export Services. Kohteessa tehdään myös työmaalle toimitetusta betonista valmisbetonille harvemmin tehtäviä kokeita, kuten pakkasuolakestävyyskoe ja huokoskokojen jakautumisen määrittäminen AVA-kokeella. Lisäksi kaikki tulokset kootaan yhteen, jolloin totemat ovat kerralla nähtävillä havainnollisesti.

Lisäksi tilaajaorganisaatio on rekrytoinut tähän hankkeeseen betonitekniikseksi asiantuntijaksi professori Jouni Punkin, joka on laatinut

myös betonin säilyvyyskriteerit yhteistyössä Seppo Matalan kanssa.

#### Massiivisia valuja

Pylonin pohjarakenne koostuu kahdesta päällekkäisestä paikallavaletusta, kallionvaraisesta peruslaatasta. Niistä alemman leveys ja pituus on 18 metriä ja paksuus 4,5 metriä. Pylonin suuret kuormat vaativat kaksi päällekkäistä peruslaattaa. Alempi peruslaatta valetaan merenpinnan alla Contractor-menetelmällä, ylempi puolestaan kuivatyönä teräsrakenteisen kasuunin suojassa. Näin paksujen rakenteiden valussa kehittyi erittäin korkeita lämpötiloja, joiden nousua liian korkeiksi tulee hillitä betoniteknologian keinoin.

– Pidämme valumassojen sitoutumisaikeisen lämpötilan kaikkein massiivisimmisakin rakenteissa noin 60 asteessa. 70 celsiusastetta on raja, jonka yli massan lämpötila ei saa nousta. Lämpötilojen kurissa pitämiseksi turvaudutaan myös jäähdytykseen. Kun talviolosuhteissa tehdään töitä, lämmitämme tarvittaessa muottia ulkoapäin ja jäähdytämme betonia sisältäpäin, Jussi Laamanen kertoo.

Käytetyn sideaineen on oltava lämmönkehitystä hillitsevä, käytännössä siis masuunikuonasementtiä. Vaadittava sideainekoostumus ja masuunikuonan suurin sallittu prosenttiosuus on tarkasti esitetty suunnitelmissa. Suunnitelmia jouduttiin pylonin perustusten osalta muuttamaan, sillä kallioperä osoittautui pohjatutkimusten perusteella päätettyä ruheisemmaksi.





5

**5** Kruunuvuorensillan rakenteen keskeinen osa ja näkyvin elementti on 135 metrin korkeuteen nouseva pyloni. Pyloni kohoaa metrin korkeammalle kuin Kalasataman korkein tornitalo.

Pyloni toimii Kruunuvuorensillan välitukena ja siihen tukeutuu vinoköysisoiden teräspalkistot. Vinoköysiä tulee yhteensä 17 paria pylonin molemmin puolin. Kuvassa havainnekuva Kruunuvuorensilta etelästä.

**6** Pylonin alemman peruslaatan muottina toimii kallioon louhittu potero.

Vedenalaisessa valussa, valun aikana, betonimassan sisään ei saa joutua ilmaa tai vettä. Tästä syystä valuputken pää pidetään koko valun ajan tuoreen betonimassan sisällä betonin pumppauksen aikana. Vedenalaisessa valussa massaa ei tiivistetä. Vedenalaisissa betonoinneissa sukeltajalla on merkittävä rooli valun onnistumisessa, koska sukeltaja suorittaa betonoinnin. Yhteys pinnalle tapahtuu radiopuhelin- ja/tai videoyhteydellä.

Maavaraisen peruslaatan päälle valetaan toinen, kooltaan hiukan pienempi peruslaatta. Tämän laatan koko on 12 m × 12 m × 3,5 m. Alempi peruslaatta tehdään vedenalaisena työnä, mutta tämän päälle tulevat rakenteet tehdään kuivatyönä. Näiden peruslaattojen päälle alkaa kohoamaan pyloni.

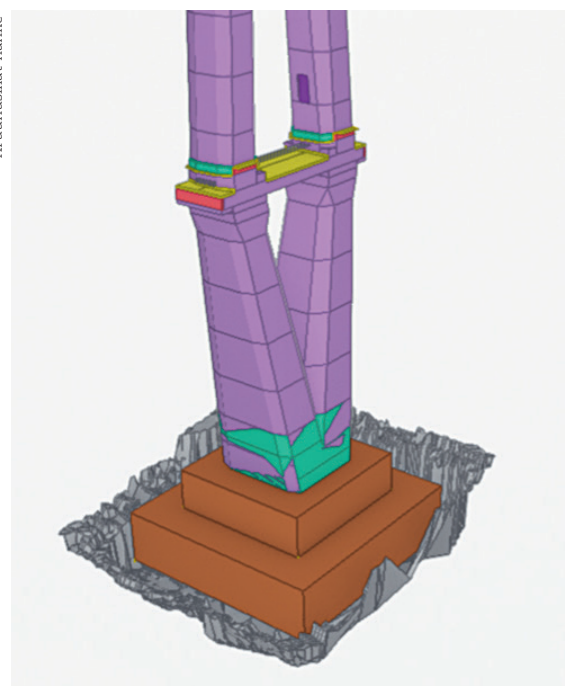
Kuvan raudotehähkin eli katiskan nostotyö tehdään suotuisten tuuliolojen vallitessa.

**7** Pylonin havainnekuva. Pyloni perustetaan kaliovaraisena ja alemman peruslaatan perustamistaso on -9,5 m. Pylonin alempi peruslaatta on kooltaan 18 m × 18 m × 4,5 m. Peruslaatan raudoitteena toimii 250 000 kg painoinen raudotehähäkki, joka lasketaan paikoilleen telaristikkonosturilla. Alemman peruslaatan muottina toimii kallioon louhittu potero, jonne raudotehähäkki eli katiska lasketaan. Peruslaatan valu tehdään vedenalaisena valuna katiskaan asennettujen valuputkien avulla.



Kruunusillat-hanke

6



Kruunusillat-hanke

7



Jussi Laamanen



8

9



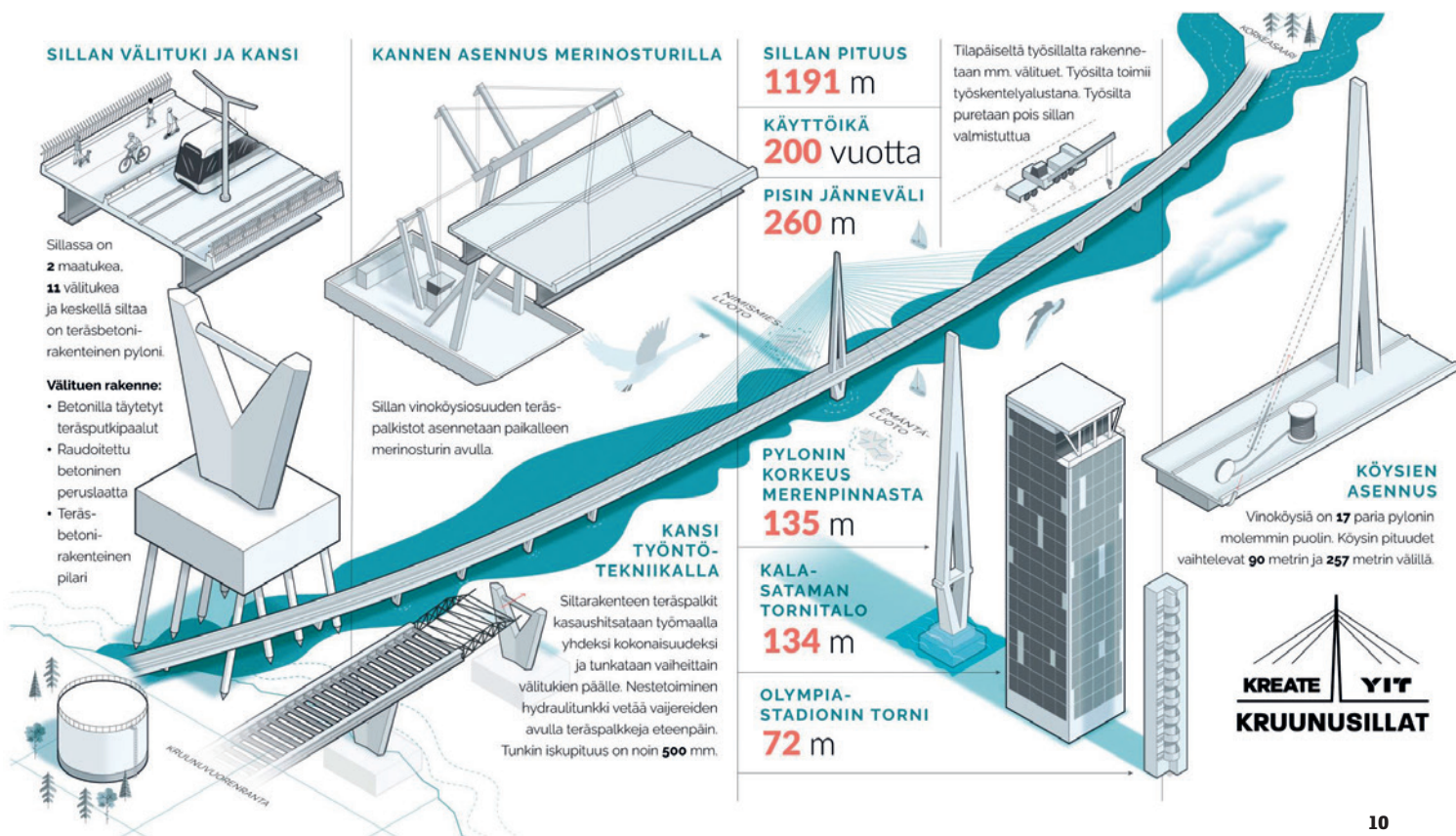
Jussi Laamanen

**8** Tammikuun 2023 lopulla Kruunuvuorensillan pylonin eli kannatinpylvään alemman peruslaatan 250 000 kg painoinen raudoitehäkki laskettiin paikoilleen merenpohjaan.

**9** Raudoitehäkki eli "katiska" laskettiin noin kymmenen metrin syvyyteen louhittuun kalliopoteroon, joka toimii alemman peruslaatan muottina.

Raudoitteen alaslaskun jälkeen peruslaatan valu tehtiin vedenalaisena valuna sukeltajien avustamana.





10

– Kalliota peruslaattojen alla piti lujittaa aiemmin arvioitua enemmän, kertoo TYL Kruunusillat -työyhteisliittymän projekti-päällikkö Jari Humalajoki.

Erityisiä haasteita liittyy myös peruslaattojen raudoittamiseen. Pylonituen alemman peruslaatan raudoitus esivalmistettiin massiiviseksi, 243 tonnia painavaksi raudotehäksi, joka nostettiin mereen vaativana erityisnostona telaristikkonosturilla. Vastaavia, samaa suuruusluokkaa olevia operaatioita on tulossa useita muitakin, kun kannen teräsolhoja nostetaan väliaikaisten tukien päälle.

Välitukien T2 – T5 ja T7 – T13 peruslaattojen koko vaihtelee jonkin verran perustamistavan sekä sijainnin suhteen. ”Normitapauksessa” peruslaatan tilavuus on 650 m<sup>3</sup>, ja siihen asennetaan betoniterästä noin 70 000 kg. Suurin peruslaatan tilavuus on 1000 m<sup>3</sup>, jolloin betoniteräsmenekki on 135 000 kg. Nämä peruslaatat, joiden pohja sijaitsee tasolla -5,8 metriä, vataan kuivatyönä kasuunin sisällä.

Muista tuista poiketen maatuot T1 ja T14 on perustettu maanvaraisina merenpinnan yläpuolelle.

Olosuhteiden kannalta erityisen kovalle joutuvat kuitenkin Kruunuvuorensillan näkyvät ja vesirajassa sijaitsevat osat. Niiden on kestävä sekä toistuvaa jäätymis-sulamisrasitusta, jäiden aiheuttamaa kulutusrasitusta että meriveden suolarasitusta.

Ympäristöolosuhteet ovat aivan keskeinen seikka myös työmaan arjessa ja työvaiheiden aikatauluttamisessa. Esimerkiksi Kruunuvuoren sillan kanssa perättäisen kokonaisuuden muodostavan Finken sillan kannen valua on Jussi Laamasen mukaan jouduttu siirtämään neljästi.

– Lähes kaksi viikkoa tarvitaan yhtäjaksoista, olosuhteiltaan otollista ajanjaksoa. Alun perin tämä vaihe oli aikataulutettu omaan aikataulumme viime vuoden lopulle, mutta tarvittavaa betonoinnille, jännittämiselle ja injektoinnille sopivaa jaksoa ei ole vielä tullut. Myöhässä ei silti olla, koska alun perin tämä vaihe oli sijoitettu keväälle, hän kertoo.

#### Laaja kokonaisuus

Kruunusillat-hanke koostuu kahdesta osaprojektista, joista toinen keskittyy Hakaniemen uudistamiseen ja Laajasalontielle ulottuvan raitiotien rakentamiseen. Toiseen osaprojektiin kuuluu kaksi mittavaa siltaa: Kruunuvuorensilta ja Finkensilta. Ensinmainitun osaprojektin toteutusmuoto on allianssi, jonka päätoteuttaja on YIT. Lisäksi allianssiin kuuluvat Helsingin kaupunki ja Kaupunkiliikenne Oy eli entinen HKL sekä suunnittelutoimistot Ramboll Finland, Sitowise ja Sweco. Kruunuvuorensillan ja Finken sillan muodostama osahanke on puolestaan kokonaisurakka, jota toteuttaa YIT:n ja Kreate:n muodostama työyhteisö.

teenliittymä TYL Kruunusillat. Tähän noin 130 miljoonan urakkaan sisältyy hankekokonaisuuden tunnetuin osa, Kruunuvuorensilta. Liit-topalkkisiltana toteutettavan vinoköysisillan näkyvin rakenneos on 135 metrin korkeuteen kohoava pyloni.

”Kaikkiaan betonia tarvitaan koko tällä työmaalla noin 35 000 kuutiota, josta määrästä Kruunuvuorensillan osuus on hallitseva: 17 000 kuutiometriä. Ennen kuin perustusten tekoon päästään, on tehtävä valmistelevia töitä, kuten ruoppauksia ja siltiverhojen rakentamista”, Jari Humalajoki kertoo.

Vaikka hankekokonaisuus sisältää kaksi itsenäistä osaprojektia, niitä yhdistää raitio liikenteen edellytysten luominen: Kruunuvuoren puoleiseen kokonaisurakkaan sisältyy liikenteen mahdollistava silta, ja Hakaniemen puoleiseen urakkaan kuuluu Merihaan silta, tarvittavat katutyöt ja kiskorakenne koko hankealueella, myös Kruunuvuoren sillalla.

10 Kruunuvuorensillan rakentamisen eri vaiheita.



Maritta Koivisto



11

Maritta Koivisto



12

Kruunusillat-hanke



13

**11** Kruunuvuorensillan näkyvät ja vesirajassa sijaitsevien välitukien rakennusosien on kestävä sekä toistuvaa jäätymis-sulamisrasitusta, jäiden aiheuttamaa kulutusrasitusta että meriveden suolarasitusta.

**12** Välitukien rakentamisen lisäksi rakennetaan tukitornit, jotka ovat väliaikaisia rakenteita. Tornit ovat noin 15-18 m korkuisia ja toimivat väliaikaisina tukina merinosturilla asennettaville sillan teräslohkoille.

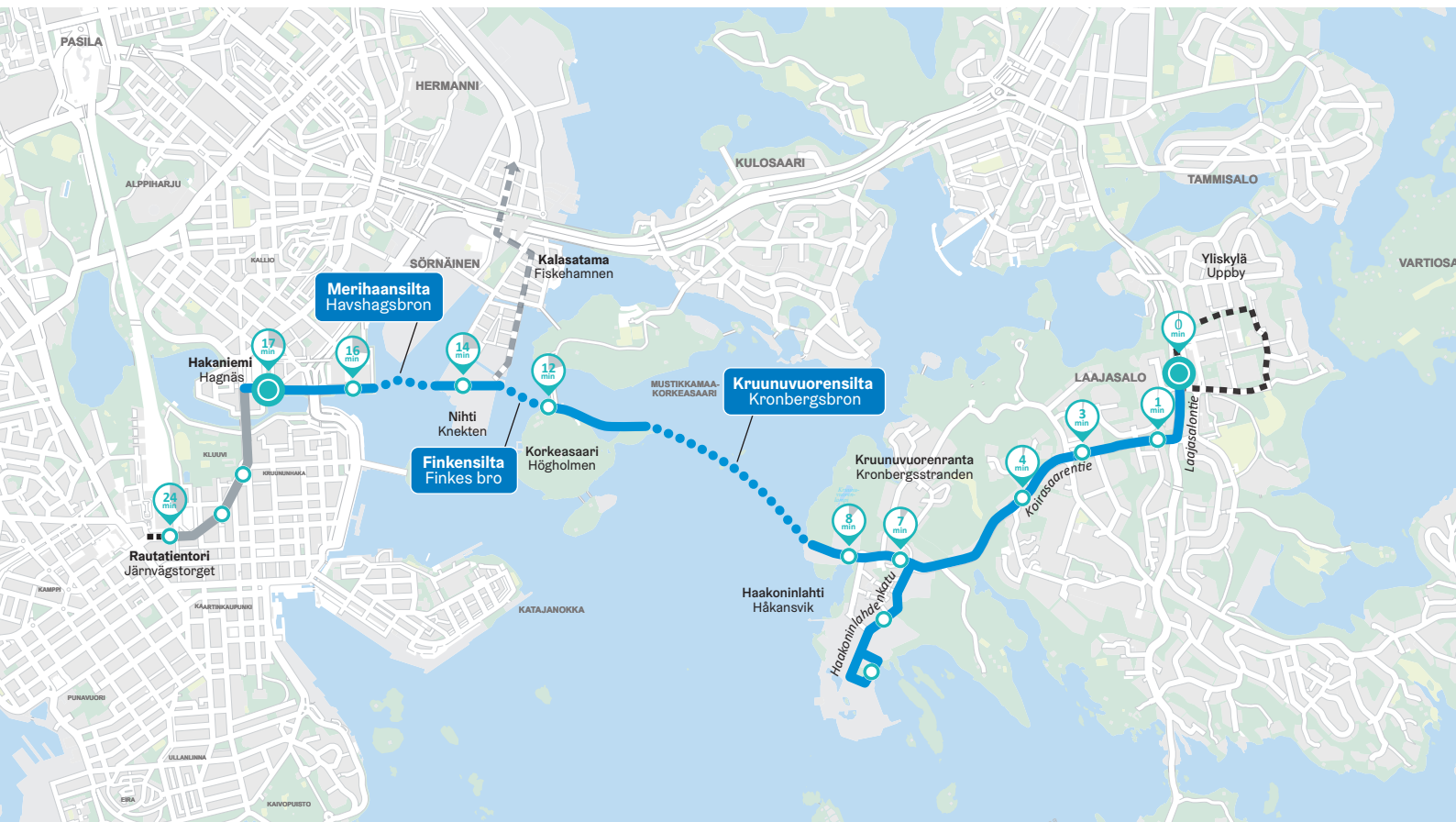
**13** Sillan kansirakenteen asennusta varten tehtävä tukitorni.





14

15







16

**14** Havainnekuva Kruunuvuorensillalle Kruunuvuorenrannalta.

**15** Kruunuvuorenrannasta yhteys Helsingin keskustaan ja päärautatieasemalle nopeutuu merkittävästi Kruunusiltahankkeen ansiosta.

**16** Katunäkymä. Siltakannen leveys on n. 15-19 metriä. Raitiotieväylän leveys on n. 9 metriä ja pyörätien kolme metriä. Jalkakäytävän leveys vaihtelee kahden ja kuuden metrin välillä. Kruunuvuorensillalla on varauduttu myös pelastuslaitoksen liikenteeseen.

#### **Kruunuvuori Bridge is the largest in Finland**

The Crown Bridges Light Rail will connect Laajasalo, Korkeasaari and Kalasatama to Hakaniemi in 2027. It will also provide a new seaside route for cyclists and pedestrians.

Thanks to the project, the shortest way from Kruunuvuorenranta to the Central Railway Station, which is currently 11 km and runs via Itäväylä, will decrease to just 5.5 km.

Construction began in autumn 2021.

Finland's longest bridge (about 1200 metres) will be built over the Kuurunuvuori open sea area, between Korkeasaari and Kruunuvuorenranta which is part of the Laajasalo area. The most visible element of Kruunuvuori Bridge, the 135 metres tall pylon, is a central part of the bridge structure.

The bridge will not only be the longest in Finland (1191 m), but also the tallest bridge with the longest span. The central pylon of the bridge rises to a height of 135 metres. The clearance height of the bridge is 20 metres over the main boat fairway. The free span width of the bridge is 30 m and the minimum width of the fairway is 31 m. The bridge is quite exceptional, as bridges of this size have not been built anywhere in the world for use only by public transport, pedestrians and cyclists.

The bridge deck is 15-19 metres wide. The rail corridor has a standard width of ca. 9 metres and the bicycle lane is 3 metres wide. The pavement for pedestrians varies from two to six metres in width.

Vehicular access to the bridge is also provided for rescue services.

The service life requirement specified for the bridge is 200 years. This applies to the bridge as a whole – some of the structures are designed for a 200-year service life. These include structures that are difficult to replace, such as pylons, intermediate piers and the steel beams of the deck.

#### **Kruunusillat**

- Rakennuttaja: Helsingin kaupunki
- Siltaurakka:
  - Pääurakoitsija: TYL Kruunusillat (YIT Suomi ja Kreate)
  - Suunnittelija: WSP Finland Oy
- Allianssiurakka:
  - Pää toteuttaja: YIT Suomi
  - Suunnittelijat: Ramboll Finland Oy, Sitowise Oyj, Sweco Oy, WSP Finland Oy
- Hankkeen aikataulu: toukokuu 2021 – 2027
- Kustannukset: 123 milj. € (siltaurakka); 326 milj. € (koko hanke)