

JOENSUU AREENAN PUURAKENTEIDEN MITOITUS

Juha Elomaa

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 38

No. 2, 2005, ss. 27-35

TIIVISTELMÄ

Joensuu Areenan puurakenteiden mitoitus on ollut erittäin haasteellinen ja mittava projekti. Artikkelissa käsitellään rakennuksen runkovaihtoehtojen valintaan, rakennuksen muotoon ja mitoitukseen liittyvää problematiikka sekä FEM-mallinnuksen hyödyntämistä rakenteiden mitoituksessa. Pohjageometrialtaan ovaalin muotoisen rakennuksen osien mittapiirustusten ja asennuskaavioiden sekä asennuksen suunnittelu on ollut mahdollista vain 3D-tuotemallin ansiosta. Projektissa on toteutettu myös laajamittainen kohteen suunnitelmien tarkastusmenettely. Joensuun kaupunki valitsi KVR-kilpailulla toteuttajat Suomen suurimmalle puurakennukselle Joensuu Areenalle. Tästä syystä kilpailuun osallistuneet ehdotukset kilpailivat hinnan sijasta toteutuksen teknisellä ja arkkitehtonisilla arvoilla. Rakennuksen mittasuhteiden ja materiaalivalinnan johdosta rakenteiden mitoitus osoittautui erittäin haasteelliseksi.

RAKENNEJÄRJESTELMÄN JA MUODON VALINTA

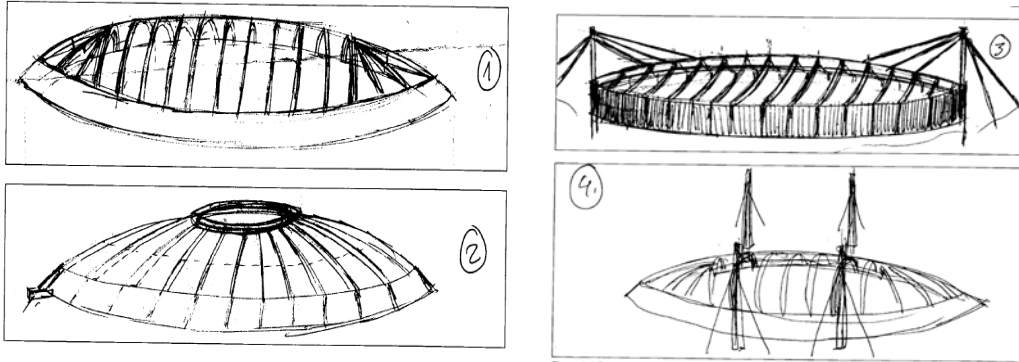
KVR-kilpailussa reunaehdoja pyrittiin asettamaan viitesuunnitelmalla. Viitesuunnitelmassa rakennuksen pohjan muoto oli ovaali, joka toimintojen sijoittelun kannalta osoitautui selkeästi toimivimmaksi, mutta rakennusteknisesti melko haasteelliseksi. Kilpailuehdotusta laadittaessa työtä tehtiin usealla taholla yhtäaikaaisesti. Rakennesuunnittelijoiden tehtäväksi alkuvaiheessa tuli erilaisten runkojärjestelmien vertailu. Näillä saataisiin rakenteellisesti mahdollisimman tehokas ja edullinen muoto, joka olisi myös rakentamisen kannalta edullinen ja arkkitehtoniset sekä toiminnalliset vaatimukset täyttävä.

Rakennusliikkeen hankintaorganisaatio hankki kustannustietoa eri vaihtoehtojen arvioimiseksi sekä mahdollisia toteuttajia puurakenteille ja liitostekniikoille. Saatu palaute pyrittiin huomioimaan muodon ja dimensioiden valinnassa.

Arkkitehti tutki muunneltavuuden vaikutuksia ja vaatimuksia tilan tarve skriteerinä eri vaihtoehtoisissa sekä muotoili rakennuksen poikkileikkausta tilavaatimusten mukaiseksi.

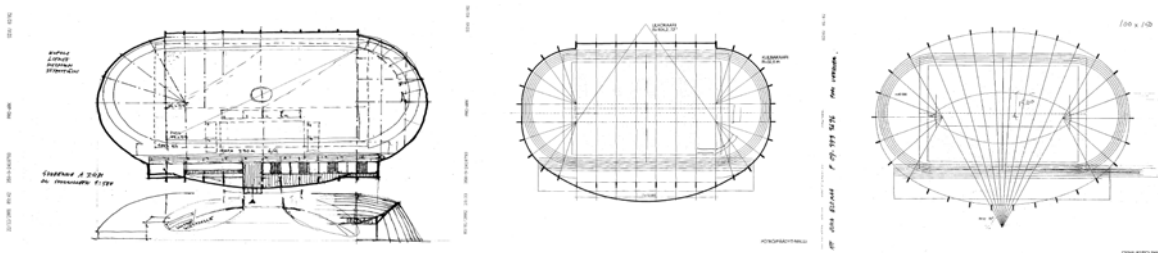
Ideointivaiheen jälkeen keskityttiin tutkimaan neljää erilaista rakennejärjestelmää (ks. Kuvat 1) FEM-laskelmin ja vertailtiin rakenteisiin kuluvan materiaalin määriä ja rakentamiskustannuksia. Haruksia ja pyloneita sisältävät vaihtoehdot hylättiin rakenteiden massiivisuuden ja mahdollisesti kalliin toteutuksen vuoksi. Vaihtoehtodoista 1 ja 2

kehitettiin vaihtoehtoa 2 mukaileva järjestelmä, jossa rakennuksen kaaret ovat sivugeometrialtaan yhteneviä ja rakennusosien toistettavuus on siten mahdollisimman suuri.



Kuva 1 Vertailtavat rakennejärjestelmät.

Arkkitehti pystyi sovittamaan tarvittavat tilat kolmeen erityyppiseen kuvassa 2 esitettyyn hallin pohjamuotoon, joita voidaan kuvailla nimillä: 1. pötkö+päädyt, 2. munuainen ja 3. Ovaali.

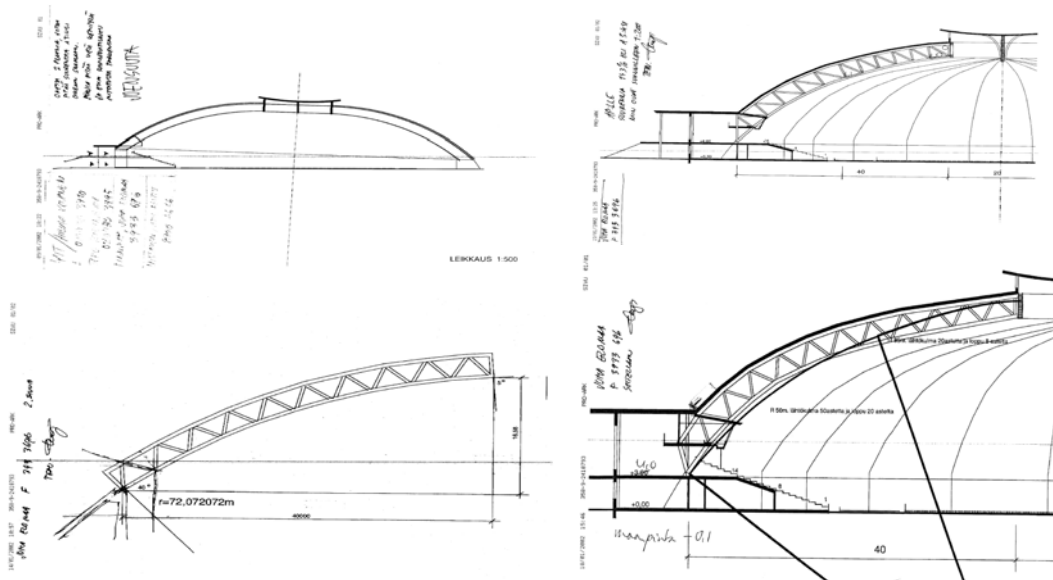


Kuva 2 Ovaalimaiset pohjamuodot.

Rakennuksen pohjan muodon lisäksi kupolin poikkileikkauksen muoto oli myös etsittävä siten, että vaadittava vapaa tila saavutetaan ja kaarien muoto on samalla rakenteellisesti riittävän tehokas ja valmistustekniset näkökohdat on huomioitu (kuva 3).

Kaaren muotoa etsittiin arkkitehdin luonnosten ja FEM-laskelmien avulla, joilla pyrittiin varmistamaan rakenteellinen toiminta ja voimasuureiden jakaantuminen järkevästi oletetuilla epäsymmetrisillä kuormilla. Rakennekorkeus on valittu siten, ettei paarteisiin syntyisi laikaan vetorasituksia edes epäsymmetrisillä kinoskuormilla.

Kaarikupolin toiminta on muodon valinnan jälkeen analysoitu 3D FEM-mallilla epälineaarilla analyysillä ja varmistettu, ettei kupolin läpilyönti-ilmiötä esiinny. Analyysin mukaan alin stabiliteetin menetyksen aiheuttavat nurjahdusmuoto on kaarien sivulle tapahtuva avaruusnurjahdus, jossa kaikki kaaret liikkuvat samaan suuntaan.



Kuva 3 Poikkileikkauksen muodon kehittyminen.

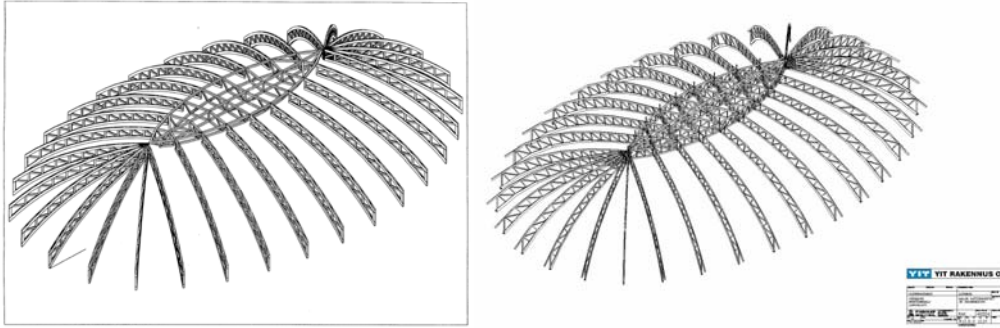
Kaaren muodon valinnassa otettiin huomioon myös liimapuukaarien valmistustekniikka ja ylä- sekä alapaarteille valittiin sellaiset kaarevuussäteet, että ne voidaan liimata yhdellä kerralla samassa jigissä päällekkäin jättäen vain liimaus pois yhdestä lamellivälistä. Näin saadut paarteet liitettiin sisäsaavoilla toisiinsa siten, että kaaren korkeus kasvaa hallin ulkoseiniä kohti.

Tiiviissä yhteistyössä KVR-urakoitsijan ja arkkitehdin kanssa päädyttiin alla listatun mukaiseen rakennejärjestelmään

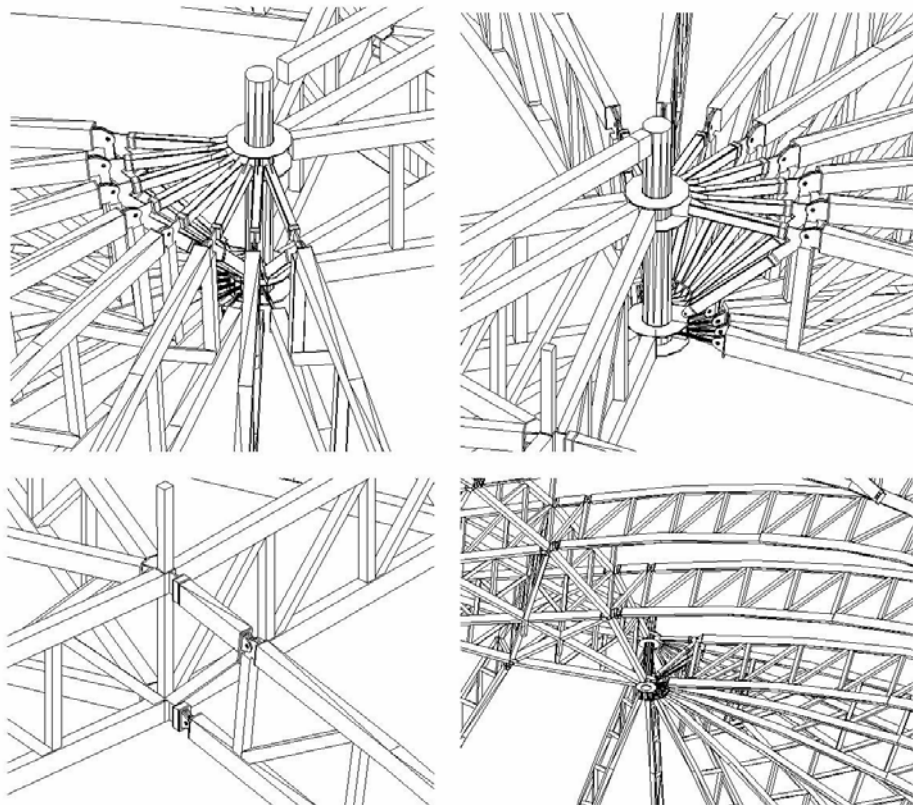
- Ovaalipohjalla oleva ristiinkantava kupoli
- Päämitat noin 145 m * 100 m * 31 m
- Pääkannattajat puurakentesia ristikkokaaria
- kaaripuolikkaiden geometria sama, 28 kpl
- Keskellä kaaret yhtyvät veneenmuotoiseen avaruusristikkorakenteeseen.
- Veneen päämitat noin 55 m * 11 m * 6 m , rungon paino noin 90 tn.
- Kaarten alapääät tukeutuvat teräsbetoniin siipimuureihin
- Tukiseinien perustukset paaluanturoita
- Vinopaalut vibrattuja teräspalkkupaaluja, vinopaalujen kaltevuus 1:1

3D TUTKIELMAT JA ASENNUKSEN SIMULOINTI

Kilpailuvaiheen alusta asti rungosta laadittiin 3D-havainnekuvia, jotta voitaisiin arvioida asentamisen vaikeutta, LVI-tekniikan sijoitusmahdollisuuksia sekä tarvittavien liitosten muotoja. Lopullinen toteutettu runko muuttui hyvin vähän kilpailuehdotuksesta ja pääasiassa vain siksi, että hallia haluttiin pienentää tilaajan toivomuksesta kustannusten säästämiseksi (kuva 4).



Kuva 3 Rungon 3D-visualisointeja.



Kuva 5 Rungon Liitosten visualisointeja kilpailuvaiheessa

Liitosten mallinnus hyvin aikaisessa vaiheessa osoittautui myös hyvin hyödylliseksi. Useiden osien liittyessä samaan pisteeseen on asentamisen onnistumisen varmistamisessa syytä tehdä simulointi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Asennustapa ja järjestys

pitäisi olla myös ratkaistuna, kun liitoksia muotoillaan. Liitokset ovat toteutuneessa rakennuksessa pääosin kilpailuehdotuksen mukaisia ja asennustapa kilpailuvaiheessa ideoidun mukainen.

PUURAKENTEIDEN MITOITUS

Rakenteiden mitoitus perustuu pääasiassa Euronormeihin. Puurakenteiden ja etenkin liitosten mitoitukseen nämä tarjoavat parhaimmat työvälineet. Areenan puurakenteiden mitoituksessa on käytetty Euronormia EC5 ja Suomen kansallista sovellusasiakirjaa (NAD) sekä VTT:n laatimia lausuntoja sekä laskenta- ja sovellusohjeita. Teräsrakenteet on mitoittu käyttäen Euronormia EC3. Perustukset, paalut sekä betoniorakenteet on mitoitettu SRMK:n mukaisilla menettelyillä siten, että myös kuormitukset ovat SRMK:n mukaisia.

Puurakenteiden mitoitus osoittautui erittäin haasteelliseksi ja työmäärältään hyvin suureksi. Laskelmien ja tarkistusten määrää lisäsi oleellisesti suunnittelun ja rakentamisen aikana tapahtuneet urheiluhallien ja tappivaarnaristikkokaton sortumat.

Kaikki mitoituksessa käytetyt voimasuureet perustuvat samaan FEM-malliin johtaen siihen, että liitosten ja rakennekomponenttien mitoitus materiaalista riippumatta perustuu samoihin kuormitus- ja geometrialähtötietoihin ja oletuksiin. FEM-mallista saatuja voimasuureita, siirtymiä ja geometriatietoja on jälkikäsitelty Microsoft Excel-pohjaisilla VisualBasic-makroilla, jolloin lukuisten liitosten ja sauvojen mitoitus on pystytty tekemään kaikille kuormitustapauksille. Mitoituksessa geometrialtaan samantyyppiset osat on ryhmitelty ja liitokset on mitoitettu ryhmän maksimirasituksille ja näin useita osia on saatu täysin identtisiksi. Esimerkiksi ristikkokaaria on vain kolmea tyyppiä: päätykaari ja sivukaaret, joissa pieniä eroavaisuuksia aulan ja huolto-osan johdosta.

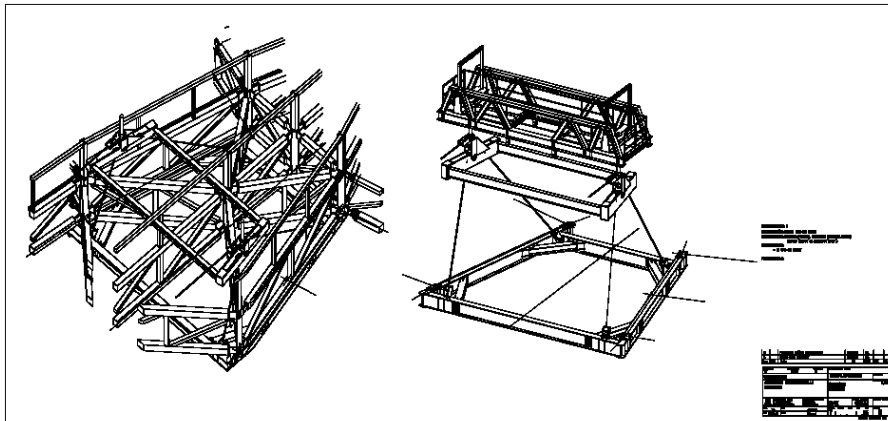
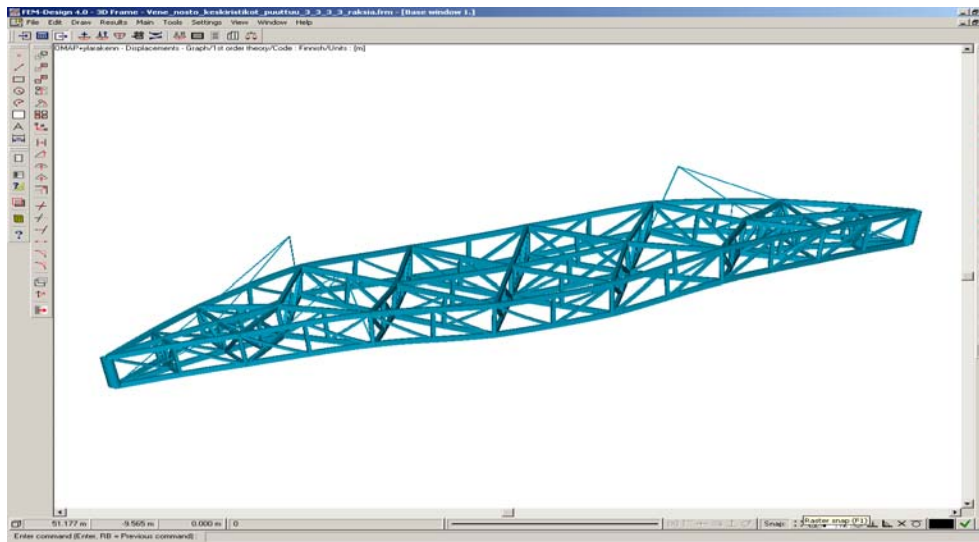
Automaattinen jälkikäsitely mahdollisti myös mitoitusrutiinien muokkaamisen siinä vaiheessa, kun laadunvalvontakokeissa havaittiin kertopuun lohkeamamurron tapahtuvan pienemmällä kuormilla kuin liimapuulla.

ASENNUSTILANNE

Rungon asennustilanteiden analysointi vaati myös useita FEM-analyyseja, koska runkolohkojen ja etenkin rakennuksen kekellä olevan ”venemäisen” osan rasitukset asennustilanteessa ovat täysin erilaiset kuin valmiissa rakennuksessa. Lopputilanteessa pääsääntöisesti puristuksen vallassa oleva vene joutui toimimaan suurten tavutus ja vetorasitusten alaisena. Veneen kärjissä oli asennusvaiheen aikana noin 10 tonnin painoiset liitososat ja veneen kärjet olivat ulokkeellisena noin 8 metriä pitkiä.

Veneen nostoa varten suunniteltiin teräksiset nostoelimet ja ansarakenne, jolla rajoitettiin rasitukset puusauvojen liitoksissa turvalliselle tasolle asennusvaiheen aikana. Vene osoittautui erittäin jäykäksi ja taipumat olivat laskelmien mukaisella tasolla. Venemäi-

nen osa riippui asennustorneista koko kaarilohkojen kokoamisen ja asennuksen ajan.



Kuva 6 Asennusaikaisen tilanteen FEM-analyysi ja tukirakenteet

TUOTEMALLI

Rakennuksen valmistuspiirustusten laatimiseksi laadittiin XSteel-tuotemalli, jolla on tuotettu kaikki teräслиitososien, liitoslevyjen ja puuosien sekä katon poimulevyjen mittapiirustukset ja asennuskaaviot. Rakennuksen koosta, muodosta ja erilaisten liitosten lukumäärästä johtuen tuotemallin käyttö on aivan välttämätöntä. Tuotemallilla on hallittu myös pohjan muodon geometria ja laadittu liittymäpisteiden geometriatiedot, perustusten asemoimista varten.

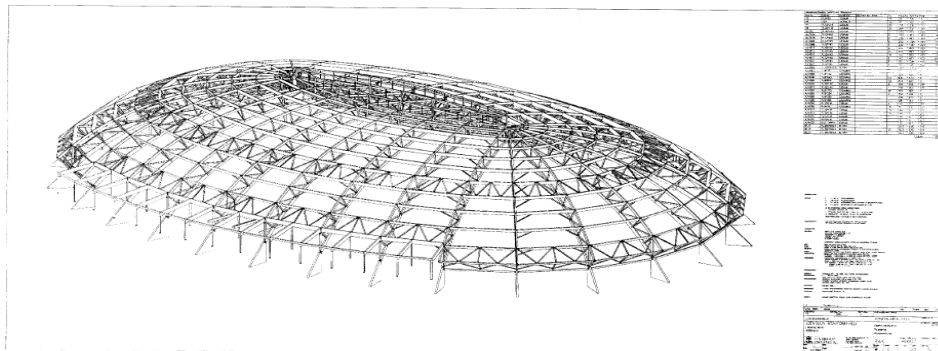
Rakennuksen muoto osoittautui XSteel-mallinusohjelmalle haasteelliseksi, mutta mah-

dolliseksi. Ohjelma kehittyi vaadittavien ominaisuuksien suhteen suunnittelun aikana.



Kuva 7 Asennustilanne ja tukirakenteen liitos

Tuotemalliin on lisätty myös asennusaikaiset tukirakenteet veneen nostoa varten, jolloin on voitu varmistua nostoelimien geometrinen sopivuus rakenteeseen. Tuotemallilla laadittiin asennuksesta simulaatio, millä varmistettiin asennuksessa liikuteltavien kaarilohkojen veneen yhteensopivuus sekä tehtiin asennusnostojen törmäystarkastelut.

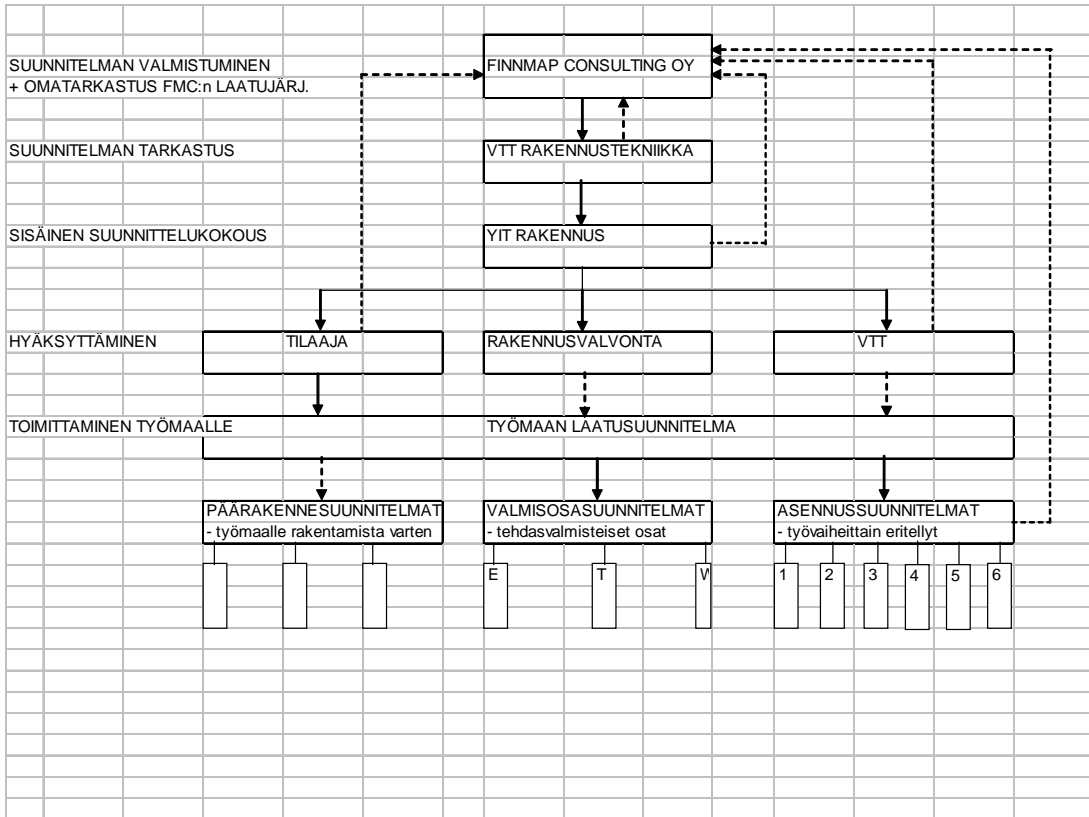


Kuva 7 Tuotemalli ja kaarilohko

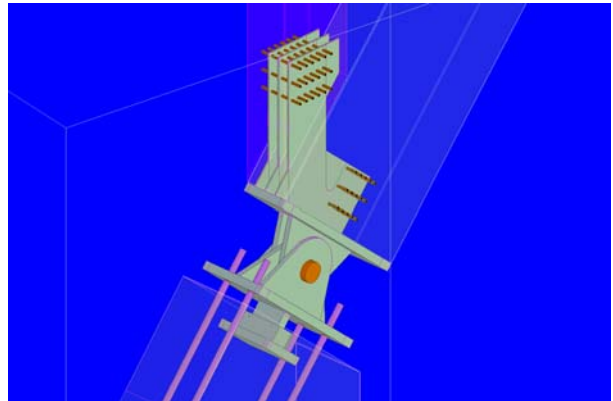
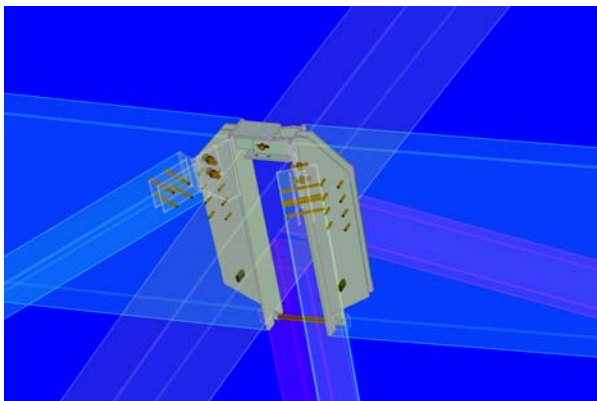
SUUNNITELMIEN TARKASTUSMENETTELY

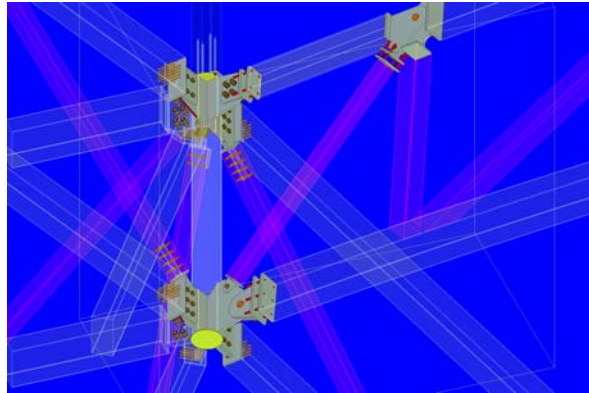
Suunnitelmien tarkastus on kohteessa toteutettu monivaiheisesti, koska kyseessä on KVR-kohde. Suunnitteluratkaisut ja suunnitelmat on pitänyt hyväksyttää KVR-urakoit-

sijan sisäisessä menettelyssä, tilaajalla sekä ulkopuolisella suunnitelmien tarkastajalla, jossa tarkastavana tahona on ollut VTT. Tarkastusmenettely oli erittäin raskas ja runsaasti resursseja kuluttava, mutta kohteen vaikeusasteen ja laajuuden huomioon ottaen ehdottomasti välttämätön.



Kuva 8 Suunnitelmien tarkastusmenettelyn vuokaavio





Kuva 9 Liitosdetaljeja



Kuva 10 Runko asennusvaiheessa

Juha Elomaa,
Dipl.ins, Finnmap Consulting Oy,
www.finnmapcons.fi