

Siltakannen jäähdytyksen toiminnan varmistaminen mallintamalla – Case ratasilta

Siltatekniikan päivät 4.2.2025

Teemu Vanha-Viitakoski
Teknologiapäällikkö, DI

Esityksen sisältö

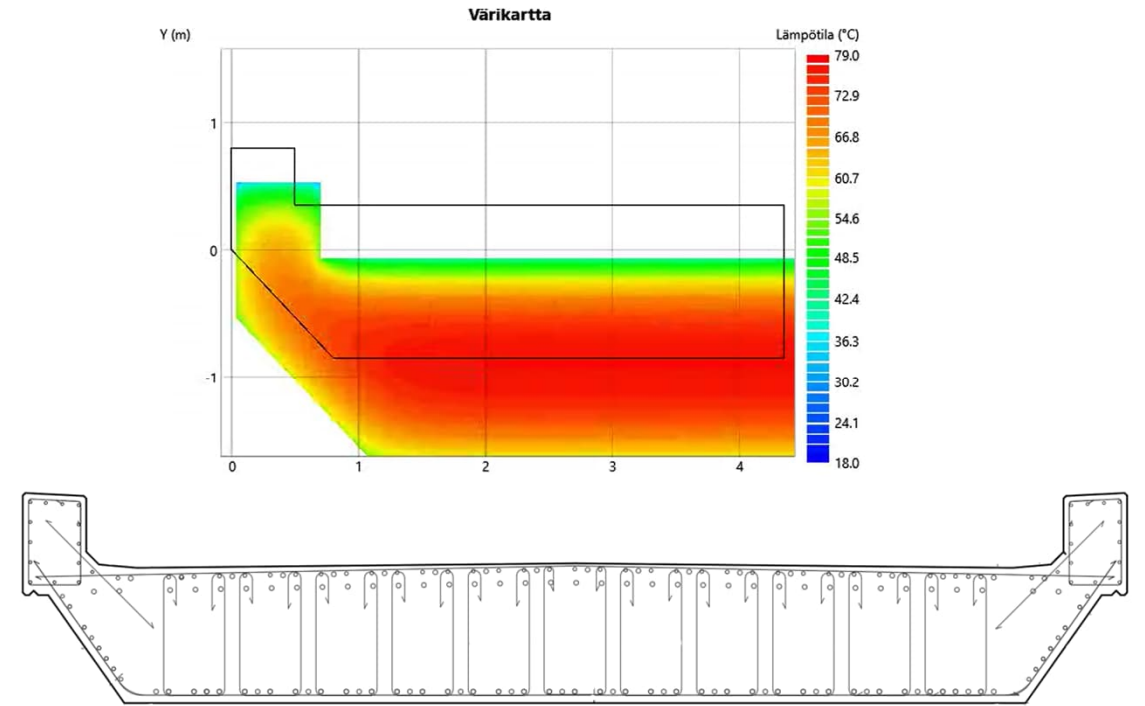
Case-kohde

Laskentatarkastelut

Yhteenvedo

Case-kohde

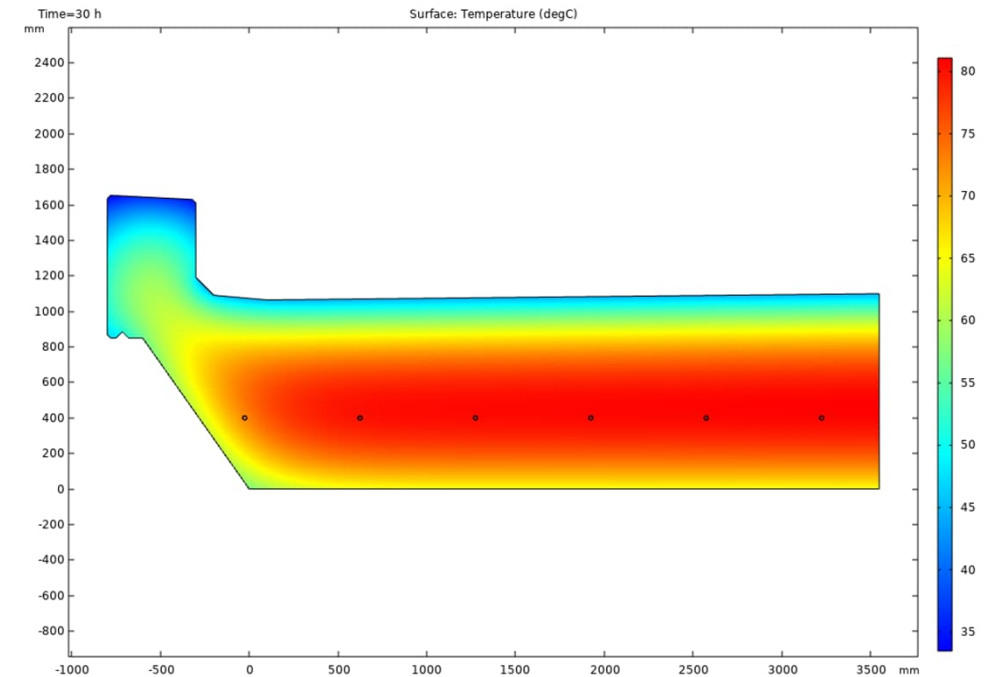
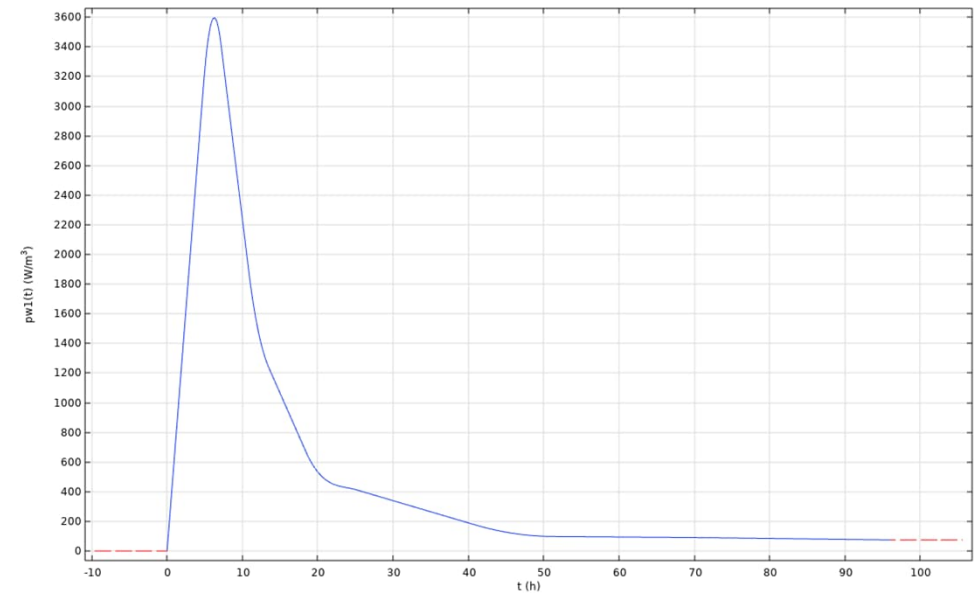
- Ratasilta meriympäristössä
- Betonivalu suunniteltu loppukesään / alkusyksyyn
- Betonitoimittajan laskelmien mukaan betonin lämpötila nousee ilman jäähtytystä **79 °C** hydrataatiolämmön vaikutuksesta
- Aikataulu haasteellinen – raudoitustyöt tehty
- **Valun onnistuminen edellyttää tehokasta jäähtytystä**
 - Rakennusfysiikan asiantuntijoina mukaan
 - Tehtiin laskennallisia mallinnuksia betonin lämpötiloista eri jäähtytysratkaisuilla toimivan ratkaisun löytämiseksi
 - Laadittiin yhteistyössä jäähtytysuunnitelma
 - Laskelmat ja analysointi Ins. YAMK Ilari Stenroos & DI Teemu Vanha-Viitakoski



P-LUKUBETONIT					1 m rakenne		2 m rakenne	
					Kylmä	Lämmin	Kylmä	Lämmin
C35/45 P50	CEM I	440	180	0,41	4	4	4	4
	CEM II/B	450	180	0,40	2	3	3	4
	CEM III/A	485	170	0,35	1	2	3	3
C45/55 P50	CEM I	460	180	0,39	4	4	4	4
	CEM II/B	470	180	0,38	2	3	3	4
	CEM III/A	500	170	0,34	1	2	3	3

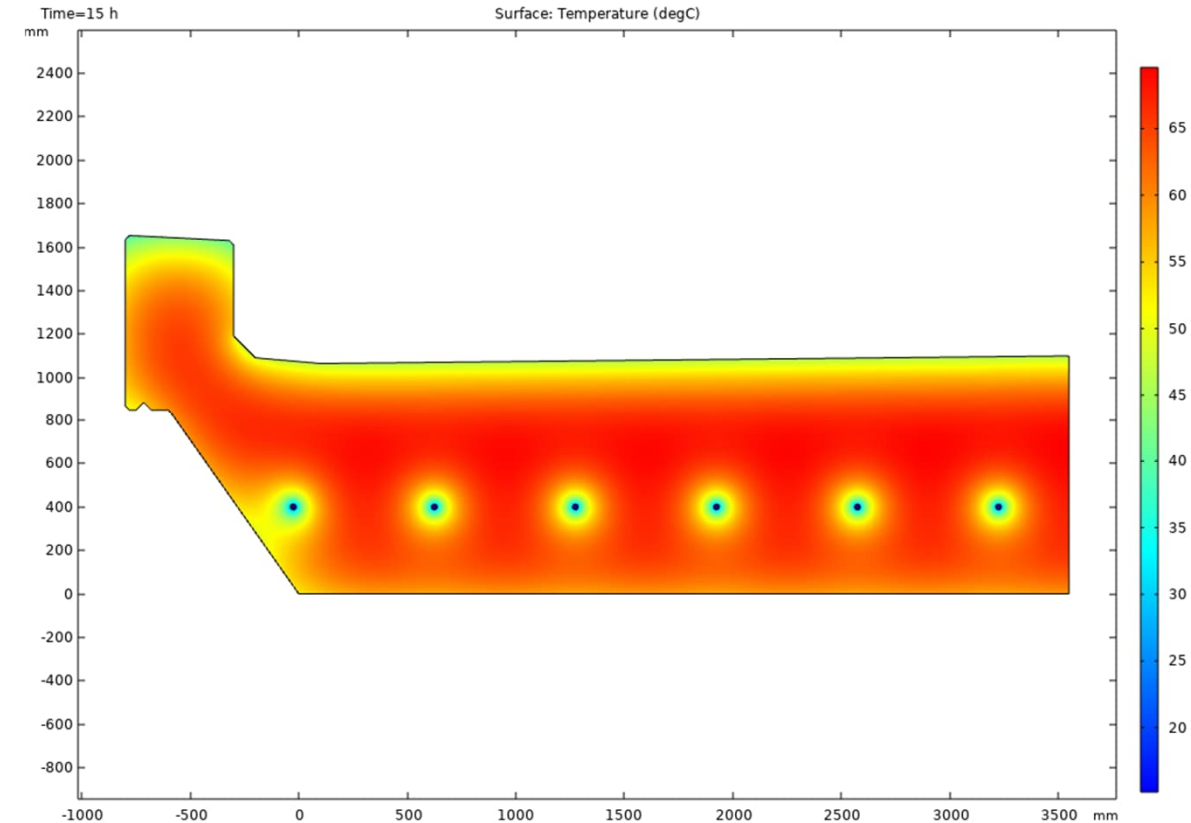
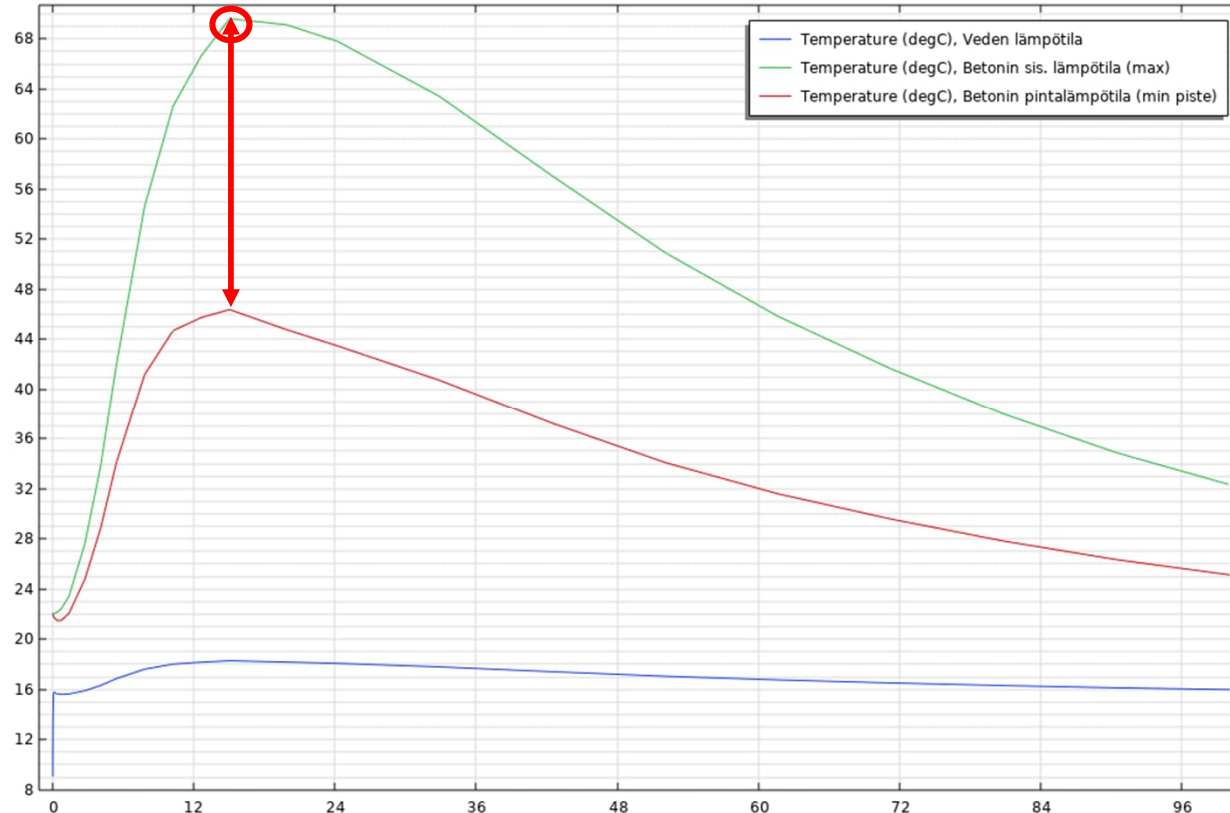
Laskennan kulku

- Laskentatyökaluna Comsol Multiphysics 6.2
- Betonitoimittajan lämpötilamallinnusten perusteella iteroitiin ajasta riippuva lämmönkehityskäyrä käytettävälle betonille (h, W/m³)
- Jäähdytysputkina teräsputket ja jäähdytysvesi merivettä
- Jäähdytysputkien jäähdytystehoa arvioitiin BY78 esimerkkien ja urakoitsijan kokemusperäisten tietojen perusteella sekä käsin laskennalla
- Varioitiin mm. jäähdytysputkien sijaintia, määrää, jakoa ja betonin alkulämpötilaa sekä olosuhteita
- Muottien lämmönvastukset ja pintojen lämmönsiirtokerroimet kohteen mukaisesti
- Sääolosuhteet oletetun valupäivän sääennusteen mukaan, joita tarkennettiin ennen valua
- Herkkyystarkastelut, validointi ja riskiarviot



Tapaus 1 – urakoitsijan 1. ehdotus

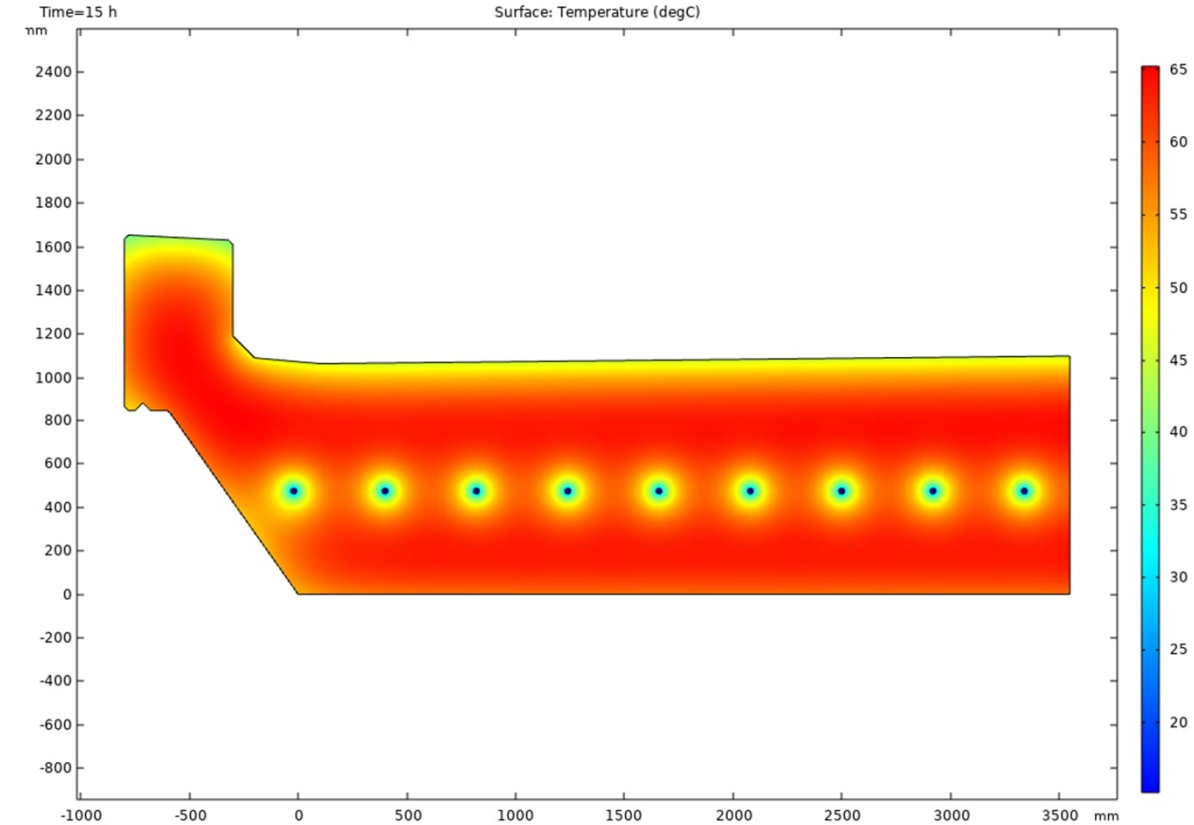
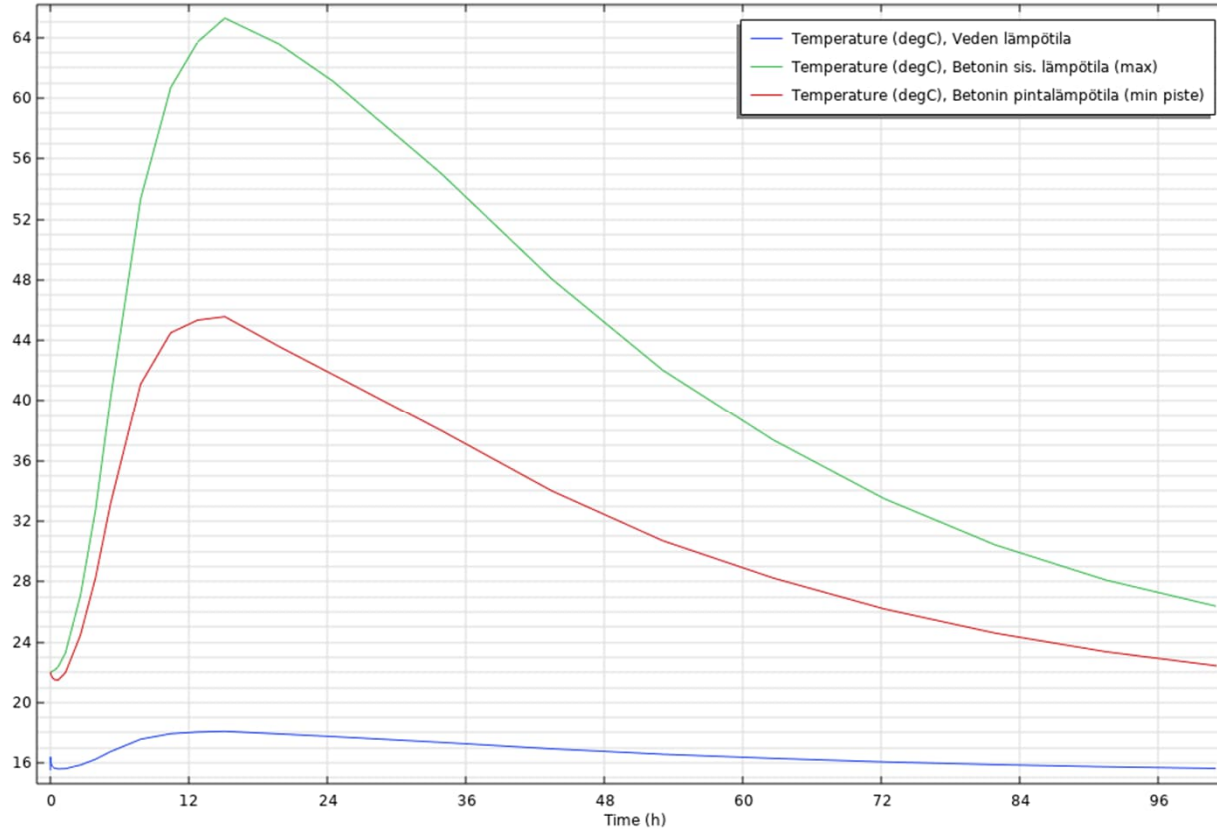
- Jäähdytysputket kk650 ja etäisyys alapinnasta 400 mm. Jäähdytysteho siten, että veden lämpötila pysyy +16...18 °C välillä.



- **Lämpimin kohta +69°C** ja yläpinnan pintalämpötilan +46°C. **Lämpötilaero 23 °C.**
- Suuremmalla jäähdytysteholla (vesi +8...12 °C) ei käytännön vaikutusta tuloksiin.

Tapaus 2 – tihennetty putkijako ja nosto ylemmäs

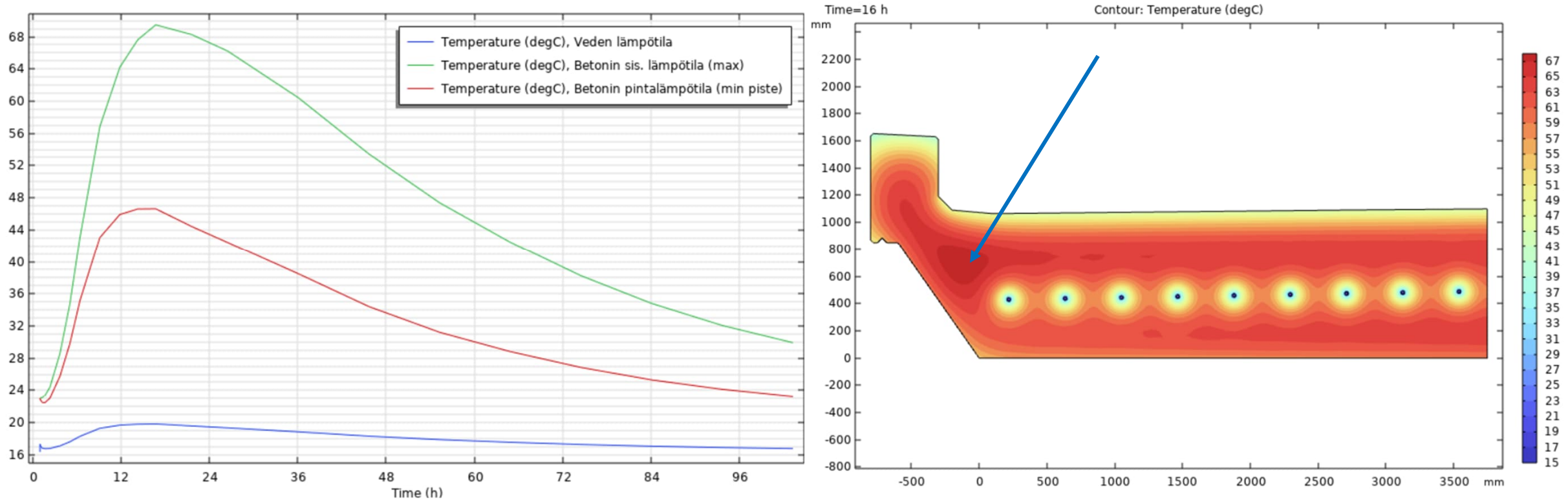
- Jäähdytysputket kk420 ja etäisyys alapinnasta 475 mm.



- Lämpimin kohta +65°C ja yläpinnan lämpötila +46°C. Lämpötilaero 19 °C.

Tapaus 3 – tarkennettu geometria

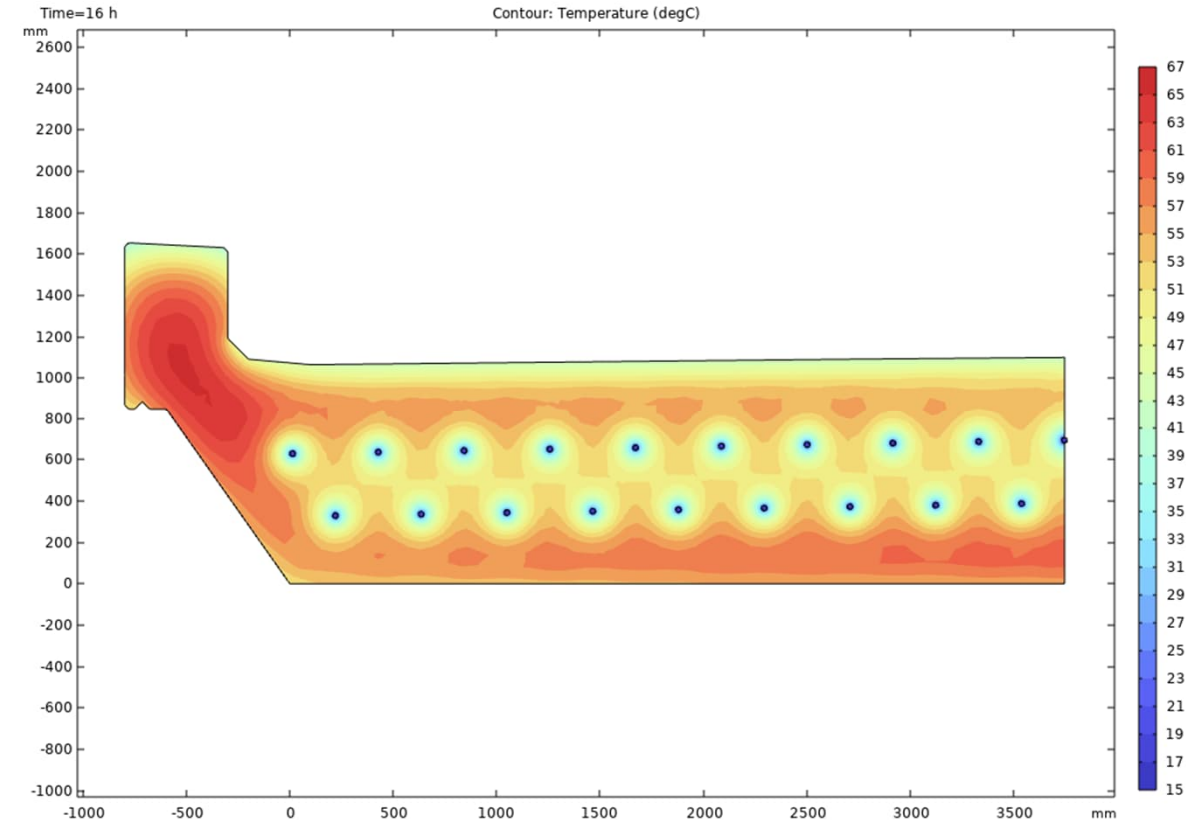
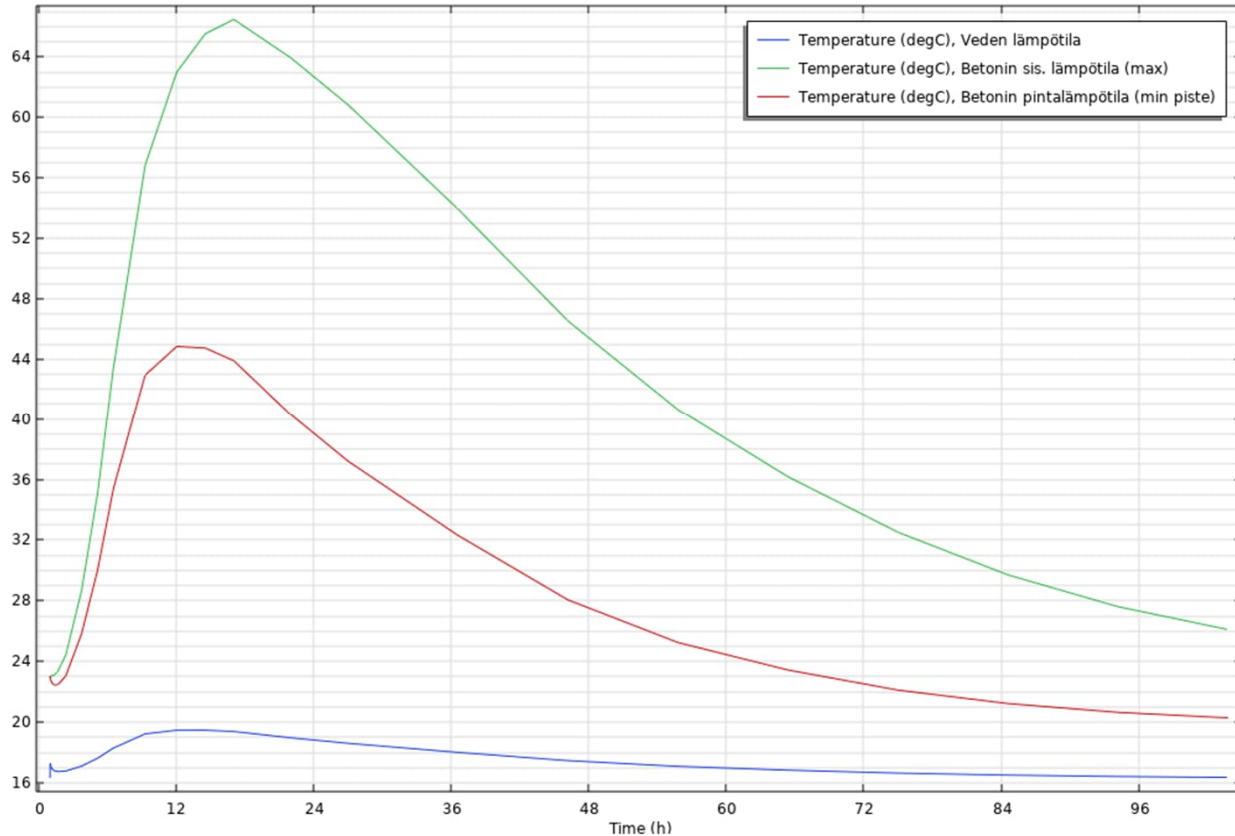
- Jäähdytysputket **kk415**. Reunimmaista putkea siirretty kesemmälle ja linjaa kierretty 1°. Veden lämpötila pysyy +16...20 °C välillä.



- Lämpötila nousee reunimmaisen putken ja reunakorotuksen välissä, **+68 °C**. Muualla pääosin korkeintaan **+63 °C**
- Lämpötilaero reunan kuumemmasta kohdasta johtuen 23 °C

Lisätarkastelu – putket kahdessa tasossa

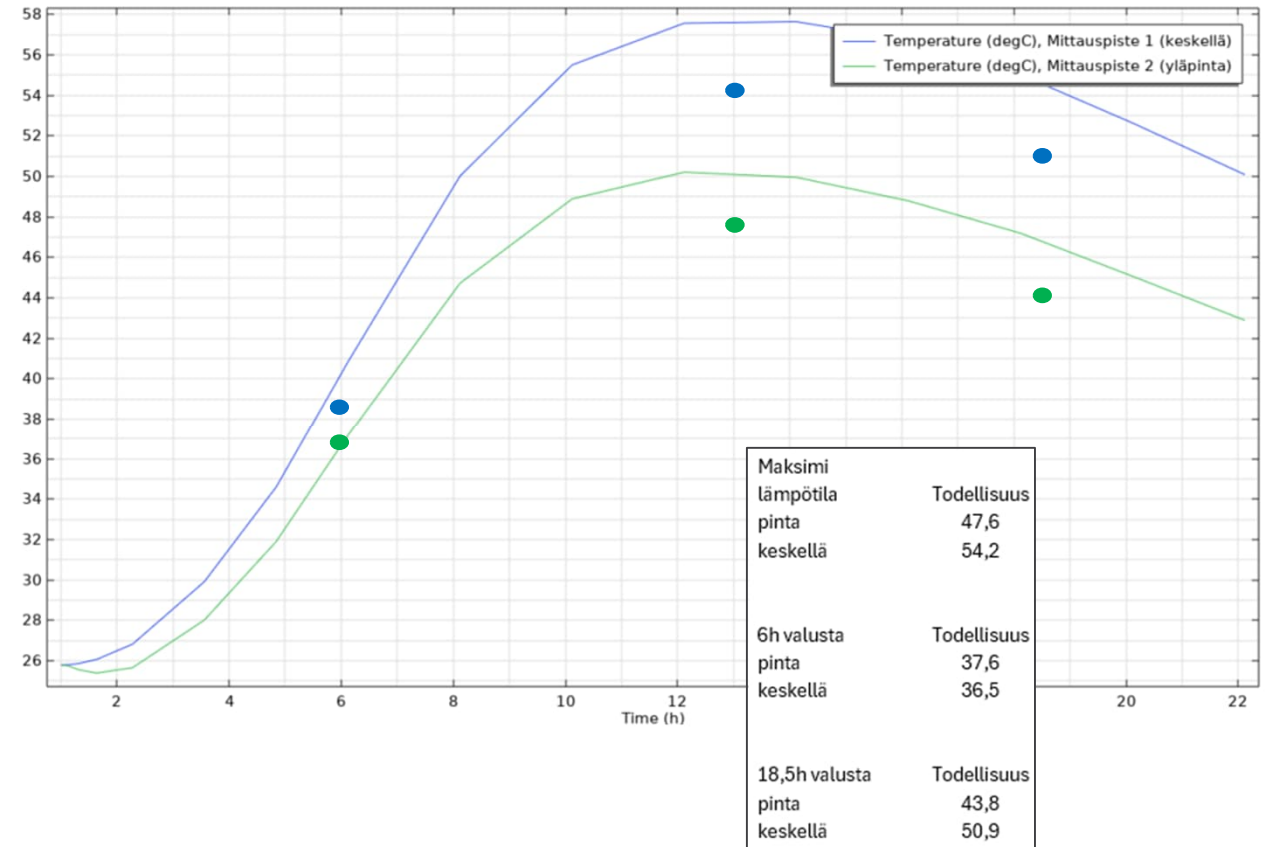
- Jähdytysputket **kk415** kahdessa rivissä.



- Lämpötila korkein reunakorotuksen kohdalla, +66 °C. **Mualla pääosin korkeintaan +59 °C**
- **Putket kahdessa rivissä edellyttäisi raudotteiden purkua ja valuaukkojen lisäämistä, tiivistäminen ongelmallista jne.**

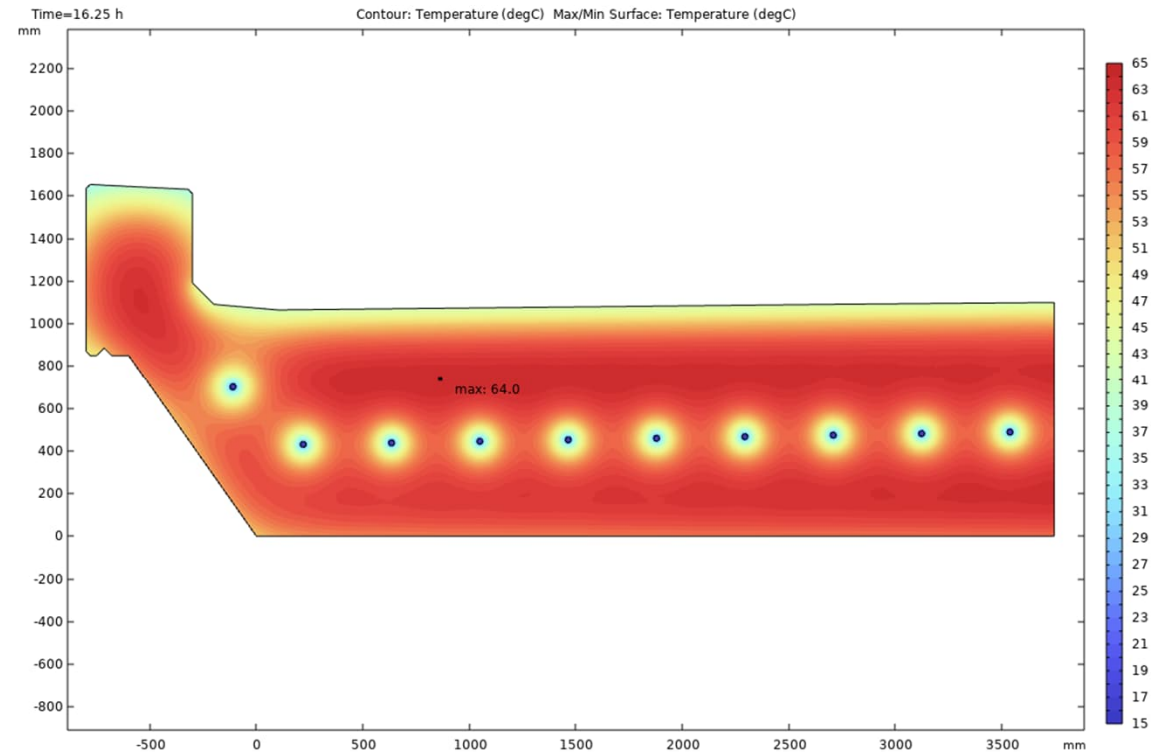
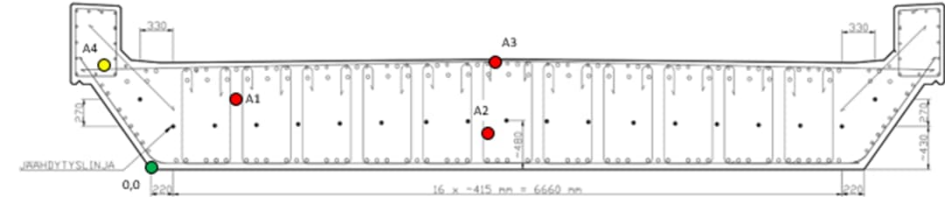
Laskentatulosten validointi ja riskiarviointi

- Saatiin urakoitsijalta samalla betonimassalla valetun 350 mm paksun siirtymälaatan mittaustulokset –toteuma 2...3 °C viileämpi rakenne kuin laskennallisesti
- Betonin lämmönjohtavuuden (2,0...2,5W/mK) vaikutus ±1 °C
- Betonin alkulämpötilan vaikutus. Maksimilämpötila laski 0,5 °C, betonin alkulämpötilan laskiessa 22->20°C



Jäähdytys suunnitelma

- Laadittiin yhteistyössä jäähdytys suunnitelma
- Ennakkokokeiden perusteella betonin puristuslujuus 52,4 MPa. Lujuuden alenema pysyisi riittävän pienenä, mikäli lämpötila jää alle 70 °C
- Lisättiin reuna-alueelle jäähdytysputki
- Maksimi laskennallinen lämpötila 64 ± 1 °C
- Jäähdytyksen kestoksi määriteltiin vähintään 48 h. Mikäli jäähdytys sammutettaisiin 24 h kohdalla lämpötilat uudelleen nousuun lisäten tarpeettomasti lämpötilaeroja (<60°C / 48h)
- Mittapisteiden määrittäminen
- Laadunvarmistustoimenpiteet: lämpötilojen seuranta, häiriöihin varautuminen jne.



Betonivalu ja lämpötilaseuranta

- Valu syyskuun lopussa n. 2 viikkoa alkuperäisestä aikataulusta myöhässä
- Toimitetun massan lämpötila vaihteli – valun alussa 21 °C ja valun lopussa toisessa päässä siltaa 25 °C
- Jäähdytysveden lämpötila alussa 14 °C ja kuumimpana hetkenä 19 °C
- Korkein mitattu lämpötila kansirakenteessa **68,0 °C** massan alkulämpötilan ollessa 25 °C ja reunapalkissa **69,7 °C**
- Lämpötilaerot < 20 °C
- **Maksimilämpötila pysyi alle kohteessa hyväksytyn 70 °C ja lämpötilaero pysyi hallinnassa**
- **Valu onnistui – ei tarvetta jatkoselvityksille**

Kello	1. Yläpinnan rauditus	2. Jäähdytysputkien välissä keskellä	3. Jäähdytysputkien reunasta 100mm sivussa tai päältä	4. Kannen pohjasta 200mm	Vesi
9.20	16.0	24.7	24.5	25.2	14.7
10.30	17.9	25.4	24.3	25.6	13.5
11.24	16.6	26.3	24.3	26.8	14.1
12.20	23.1	27.9	24.6	27.8	
13.00	24.0	29.7	25.4	29.4	15
14.15	28.9	34.3	25.4 27.7	27.8 33.5	
15.05	24.7	29.6	29.4	32.9	15.6
16.45	32.9	48.7	36.1	46.4	16.0
14.00	29.8	52.5	41.0	50.9	16.4
19.15	48.4	59.6	46.3	53.6	
19.55	51.5	56.2	47.8	54.6	17.2
20.35	54.7	57.6	49.0	55.6	
21.20	56.5	58.6	50.2	56.5	
22.23	58.9	59.6	51.9	57.6	
23.56	60.5	60.2	53.5	58.5	19
01.03	61.1	60.5	54.4	58.9	18.5
02.06	61.4	60.6	55.0	59.4	
03.46	61.1	60.4	55.5	59.7	
05.36	60.3	59.7	55.5	58.8	
07.00	59.3	59.4	55.2	58.4	
08.47	57.8	58.6	54.6	57.9	
10.01	56.6	58.2	54.4	57.5	
11.20	55.7	57.3	53.5	56.7	
15.05	53.2	55.2	51.5	55.1	

Yhteenveto

- Yhteistyö eri osapuolten välillä oli sujuvaa haastavista lähtökohdista huolimatta, mikä mahdollisti työn onnistuneen lopputuloksen
- BY78 ohje antaa hyvää perustietoa jäähdytystarpeen arviointiin
- Mittauksilla nähdään kuinka onnistuttiin - vaikutusmahdollisuudet valun aikana etenkin voimakkaasti lämpöä kehittäville massoilla erittäin pienet
- Laskentaohjelmistot eivät aseta rajoitteita – ilmiöt ja työkalut tulee tuntea
- Muuttujia on monia, niiden oikeanlainen huomiointi on avainasemassa
- Kohdekohtaisten laskelmien avulla:
 - Ylilämpenemiseen liittyvät riskit paremmin hallintaan
 - Päätökset tietoon pohjautuen
 - Optimaalinen ja turvallinen ratkaisu (€)
 - Positiiviset laatu- ja elinkaarivaikutukset



Transforming society together

Teemu Vanha-Viitakoski, DI
teemu.vanha-viitakoski@sweco.fi