

# Sprickriskberäkningar med antagna och verkliga produktionsförhållanden



LUNDS  
UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Avdelning Byggnadsmaterial, Institutionen för Bygg- och miljöteknologi

Examensarbete, Lund 2020

Tor Åkesson

*© Copyright Tor Åkesson*

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2020



## Förord

Detta är ett examensarbete på högskoleingenjörsutbildningen Byggteknik Väg – och trafikteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har gjorts på Avdelningen för Byggnadsmaterial i samarbete med Centerlöf & Holmberg. Handledare till examensarbetet har varit Magnus Åhs universitetslektor vid Avdelningen för Byggnadsmaterial och Anna Möller CAD-ingenjör på Centerlöf & Holmberg. Examinator för examensarbetet är Katja Fridh.

Ett extra tack till:

Magnus Åhs som gett välbehövd feedback och hjälpt mig att hålla fokus när jag svävat iväg. Anna Möller som stöttat och hjälpt till med beräkningarna i ConTeSt Pro. Även tack till Lena Bäckström som hjälpt till med korrekturläsning av arbetet.

Tor Åkesson

Lund, januari 2020





## Sammanfattning

Examensarbetet inleds med syfte och frågeställningar samt avgränsningar presenteras. Därefter följer metoddel, teoridel, fältstudie, resultat och analysdel. Arbetet avslutas med en slutsats och förslag till vidare forskning.

Teoridelen består av en litteraturstudie som ska ge en grundläggande förståelse för betongssammansättning och faktorerna som bidrar till tvången som kan leda till temperatursprickor. Även vilka åtgärder som kan motverka temperatursprickor behandlas i teoridelen.

I fältstudien betraktas en brogjutning som är uppdelad i två gjutetapper där faktisk temperatur, vindhastighet och utföranden samlats in för att användas i beräkningar. De förebyggande åtgärderna mot temperatursprickor dokumenterades inför varje gjutning och under gjutningarna registrerades även faktiska klimatförhållanden samt betongtemperaturer. Efter gjutningarna dokumenterades även tider för när gjutformarna avlägsnades. Inmätningarna från respektive gjutning sammanställdes och användes i beräkningsprogrammet ConTeSt Pro för att återskapa de faktiska produktionsförhållandena. Detta för att ge en återkoppling på de faktiska töjningarna i konstruktionen under gjutningen. ConTeSt Pro är ett beräkningsprogram utformat för temperatur- och spänningsberäkningar i ung betong. Beräkningsprogrammet använd för att simulera gjutningar för att hitta åtgärder som minimerar risken för temperatursprickor.

Resultaten av beräkningarna med de faktiska produktionsförhållandena visar att töjningarna i konstruktionen inte överskrider kraven på maximal tillåten töjning. Vid analyserna av resultaten från beräkningarna uppmärksammades att max temperaturerna i verkligheten var cirka 9 °C högre än i beräkningen. Trots den stora skillnaden hittades inga sprickor i konstruktionen efter avslutad härdningsprocess. Eftersom spänningsberäkningarna i ConTeSt Pro bygger på beräknade betongtemperaturer är det avgörande att få en simulerad värmeutveckling som stämmer överens med den faktiska. Därför läggs stort fokus i analysen på varför betongtemperaturerna skiljer sig åt mellan de faktiska och de beräknade i ConTeSt Pro.

Slutligen diskuteras eventuella förbättringar och förslag på vidare forskning om temperatursprickor.

Nyckelord: Betongtemperaturer, temperatursprickor, ConTeSt Pro, produktionsförhållanden, töjningar, spänningar, plattramsbro.



## Abstract

This master thesis starts with the purpose and questions and delimitations are presented. Then follows the method part, theory part, field study, results and analysis part. The work concludes with a conclusion and suggestions for further research.

The theory part consists of a literature study that will give a basic understanding of concrete composition and the factors that contribute to the compulsion that can lead to thermal cracks. The measures that can counteract thermal cracks are also dealt with in the theory section.

The field study considers a bridge casting which is divided into two casting stages where actual temperature, wind speed and designs are collected for use in voltage calculations. The preventive measures against thermal cracks were documented prior to each casting and during the casting actual climatic conditions as well as concrete temperatures were recorded. After the casting, times were also documented for when the molds were removed. The measurements from the respective casting were compiled and used in the calculation program ConTeSt Pro to recreate the actual production conditions. This is to give feedback on the actual stretches in the structure during casting. ConTeSt Pro is a calculation program designed for temperature and stress calculations in young concrete. The calculation program used to simulate castings to find measures that minimize the risk of thermal cracks.

The results of the calculations with the actual production conditions show that the elongations in the construction do not exceed the maximum allowable elongation requirements. When analyzing the results of the calculations, it was noted that the measured concrete temperatures and the calculated concrete temperatures differed. Since the stress calculations in ConTeSt Pro are based on calculated concrete temperatures, it is crucial to get a simulated heat generation that matches the actual. Therefore, the analysis focuses on why the concrete temperatures differ between the measured and the calculated in ConTeSt Pro.

Finally, any improvements and suggestions for further research on thermal cracks are discussed.

Keywords: Concrete temperatures, thermal cracks, ConTeSt Pro, production conditions, strains, stresses, flat frame bridge.



# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Målformulering .....	2
1.4	Frågeställning .....	2
1.5	Avgränsningar.....	2
2	Metod .....	3
3	Teori.....	5
3.1	Betongens olika delmaterial.....	5
3.1.1	Cement .....	5
3.1.2	Vatten .....	9
3.1.3	Ballast .....	9
3.2	Betongens utvecklingsfaser.....	10
3.3	Hållfasthetsutveckling .....	11
3.4	Armerad betong .....	11
3.5	Sprickor i betong .....	12
3.5.1	Temperaturspänningar i ung betong.....	12
3.5.2	Temperaturrelaterade sprickor i betong.....	13
3.6	Trafikverkets sprickmodell .....	15
3.7	Åtgärder för att minimera temperatursprickor .....	17
3.8	ConTeSt Pro .....	20
4	Fältstudie .....	28
4.1	Bro 4 .....	28
4.2	Åtgärder för sprickbegränsningar .....	34
4.3	Insamling av data för återkopplingsberäkningar i ConTeSt Pro .....	35
4.4	Beräkningsförutsättningar.....	40
4.4.1	Beräkningsförutsättningar från etapp 1.....	42

4.4.2	Beräkningsförutsättningar från etapp 2.....	45
5	Resultat.....	50
5.1	Bro 4 etapp 1 temperaturdiagram .....	50
5.2	Bro 4 etapp 1 sprickrisksnivå .....	52
5.3	Bro 4 etapp 2 temperaturdiagram .....	55
5.4	Bro 4 etapp 2 sprickrisksnivå .....	57
6	Diskussion.....	60
6.1	Analys av betongtemperaturerna .....	60
7	Slutsats .....	64
8	Vidare forskning .....	65
9	Terminologi .....	66
	Referenser .....	68
	Bilagor.....	71
A.	Arbetsbeskrivning – Åtgärder för sprickrisksbegränsningar.....	71
B.	Betongrecept.....	80
C.	Beräkningar från ConTeSt Pro med faktiska produktionsförhållanden .....	81
	Etapp I.....	81
	Etapp II.....	98
D.	Beräkningar från ConTeSt Pro med antagna produktionsförhållanden.....	115
	Etapp I.....	115
	Etapp II.....	130







# 1 Inledning

Examensarbetet redovisas inledningsvis med en bakgrund till examensarbetet följt av syftet med arbetet samt en frågeställning som examensarbetet är tänkt att analysera. Därefter följer en metoddel med en beskrivning av litteraturstudien som redovisas i teoridelen och en beskrivning av fältarbetet där alla mätdata för återkopplingen hämtats.

## 1.1 Bakgrund

Oönskade sprickor i betongkonstruktioner kan försämra beständigheten och bärförmågan hos dessa. För att minimera risken för temperatursprickor i betongkonstruktioner har Trafikverket krav på spricksäkerhet i AMA Anläggning 17 som måste uppfyllas vid nybyggnation. Kraven är uppdelade i tre olika metoder, där metod 1 har lägst krav och metod 3 högst krav. Vilken metod som ska användas avgörs av konstruktionens tjocklek, miljöpåverkan, cementmängd, vct, temperaturer i betongen och i omgivningen [1].

I det här examensarbetet har beräkningar utförts med ConTeSt Pro, både innan gjutning med antagna produktionsförhållande och efter gjutning med faktiska produktionsförhållanden. Resultaten av dessa beräkningar har jämförts med uppmätta betongtemperaturer för att få en uppfattning om hur känsliga beräkningarna är mot förändringar i klimat och utförandet.

För brokonstruktionen i detta examensarbete är kraven höga på beständigheten, vilket innebär att sprickrisksberäkningar ska tillämpas. Detta innebär att beräkningar med beprövade beräkningsprogram, t.ex. ConTeSt Pro, ska utföras för att kunna vidta rätt åtgärder mot temperatursprickor innan bron gjuts.

Beräkningarna i arbetsbeskrivningen är grundade på antagna produktionsförhållanden med hänsyn taget till årstiden när brokonstruktionen är planerad att gjutas. I examensarbetet görs dessa beräkningar i ConTeSt Pro utifrån de faktiska klimatförhållandena, gjuthastigheten och den faktiska tiden för formrivning under produktionen. Fältstudien är utförd på ett motorvägsprojekt i nordöstra Skåne och mätningarna av klimat samt utförandet är tagna under två gjutetapper av en plattramsbro.

När cementen i betong kommer i kontakt med vatten startar kemiska reaktioner. I denna process börjar betongen att hårdna och egenskaper som tryck- samt böjhallfastheten ökar. De kemiska reaktionerna är exoterma, vilket innebär att värme avges och temperaturen stiger i betongen. Till följd av värmeutvecklingen expanderar betongen under tiden som temperaturen ökar och när reaktionerna sedan avtar svalnar betongen, vilket medför att betongen kontraherar. Dessa volymförändringar i samband med hållfasthetstillväxten i betongen leder till spänningar i

konstruktionen. Blir dessa spänningar större än betongens aktuella draghållfasthet spricker betongen [2] [3].

Examensarbetet är uppdelat i en litteraturstudie och en fältstudie. I litteraturstudien ges en beskrivning av materialet betong och temperaturrelaterade sprickor i betongkonstruktioner. I fältstudien samlas de faktiska klimatförhållandena samt utförandet in för att användas i beräkningar där de faktiska förhållandena återskapas i ConTeSt Pro. Resultatet analyseras och jämförs med de tidigare beräkningarna från arbetsbeskrivningen rörande temperatursprickor.

## 1.2 Syfte

Syftet med det här examensarbetet är att analysera hur väl beräknade temperaturer stämmer med verkliga temperaturer. Detta görs genom att jämföra beräkningar från arbetsbeskrivningar baserade på antagna produktionsförhållanden med beräkningar där faktiska produktionsförhållanden från två gjutetapper används.

## 1.3 Målformulering

Öka samspelet mellan konstruktören och entreprenör för att minimera temperatursprickor. Genom att utvärdera hur känsliga sprickriskberäkningarna är mot faktiska förändringar i klimat och utföranden jämfört med de antagna produktionsförhållandena i arbetsbeskrivningen.

## 1.4 Frågeställning

Examensarbetet är tänkt att analysera följande frågor;

1. Hur skiljer sig resultaten från beräkningarna med antagna produktionsförhållanden mellan de beräkningarna med faktiskt produktionsförhållanden i ConTeSt Pro?
2. Hur tillförlitliga är sprickriskberäkningarna med antagna produktionsförhållanden och återkopplingsberäkningarna från ConTeSt Pro?

## 1.5 Avgränsningar

Sprickor som uppkommer i betongkonstruktioner kan bero på många faktorer. I arbetet har endast temperaturrelaterade sprickor behandlats i både teoridelen och fältstudien. Delmaterialen i betong beskrivs endast översiktligt för att få en förståelse kring temperatursprickor. Tillsatsmedel som luftporbildande- och flyttillsatsmedel utgör en liten del av det använda betongreceptet men nämns endast kort som en åtgärd för att minska cementmängden. Tillsatsmaterial används inte i betongreceptet till brogjutningen och nämns endast kort i teoridelen.

I det aktuella fallet används värmekabel för att värma upp motgjutningskonstruktioner, metoder som vatten- eller luftkyllning nämns endast som tänkbara alternativ.

Återkopplingsberäkningarna gjordes endast i ConTeSt Pro och inga andra beräkningsprogram har använts. Endast väderpåverkan som vind och temperatur har tagits med i beräkningarna. Väderpåverkan från regn och annan nederbörd har inte uppmärksammats.

## 2 Metod

Examensarbetet är uppdelat i två delar, en litteraturstudie och en fältstudie.

*Litteraturstudien* är genomförd för att ge en generell beskrivning av betong och ge en teoretisk grund till vilka faktorer som påverkar temperaturrelaterade sprickor. Även olika metoder för att begränsa dessa sprickor vid nyproduktion nämns.

*Fältstudien* är i sin tur uppdelad i tre delar, insamling av data från gjutningarna, beräkningar i ConTeSt Pro följt av analys av resultaten.

*Insamling av data* görs med ingjutna temperaturgivare som kopplas till en mätutrustning som registrerar och lagrar betongtemperaturerna. Temperaturgivarna placeras noga i konstruktionen och dess läge dokumenteras. Under brogjutningarna mäts även vindhastigheten och lufttemperaturen.

*Beräkningar i ConTeSt Pro* görs med det faktiska klimatet samt det faktiska utförandet från brogjutningarna. Där uppmätta lufttemperaturer och vindhastigheter från brogjutningarna används i ConTeSt Pro beräkningar för att återskapa de faktiska förhållandena som rådde under brogjutningen.

*Analys av resultaten* från beräkningarna med de verkliga produktionsförhållandena görs. Resultaten på spänningsberäkningarna jämförs med beräkningarna från arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållande. Sedan jämförs även de simulerade betongtemperaturerna från beräkningarna med de uppmätta betongtemperaturerna från brogjutningarna.

*Slutsats* och förslag på vidare forskning avslutar examensarbetet.



## 3 Teori

Betong är världens mest använda byggmaterial. Det används i både hus- och industribyggnation samt anläggningskonstruktioner. Betong har unika egenskaper som: hög tryckhållfasthet, god brandbeständighet, lång beständighet och bra formbarhet [2].

### 3.1 Betongens olika delmaterial

Betong är ett kompositmaterial vilket innebär att det består av olika delmaterial. De olika delmaterialen är i huvudsak: cement, vatten och ballast.

Cement är ett hydrauliskt material vilket innebär att det krävs vatten för att de kemiska reaktionerna ska börja. Ballasten är benämningen på samtliga fraktioner av det stenmaterial som används i betongen.

Cement tillsammans med vatten bildar cementpasta som är bindemedlet i betong och fungerar som ett lim vars uppgift är att hålla ihop ballasten. Det är viktigt att ballasten som används i betong uppfyller krav på porositet, hårdhet och alkanitet för att inte betongens egenskaper ska försämrats. Med bra ballast i betongen så är det bindemedlet, cementpastan, som ger betongen många av dess egenskaper. Koncentrationen på cementpastan bestäms av förhållandet mellan mängden vatten och mängden cement som benämns som vattencementtalet,  $v_{ct}$ , se ekvation 1 [2].

$$v_{ct} = \frac{W}{C} \quad (\text{ekv. 1})$$

Där  $W$  representerar mängden vatten i  $\text{kg}/\text{m}^3$  och  $C$  representerar cement mängden i  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Har betongen ett lågt  $v_{ct}$  innebär det att cementpastan blir tätare och betongen får högre tryckhållfasthet.

Idag används alternativa sätt att ange  $v_{ct}$ , t.ex. vattebindemedeltal,  $v_{bt}$ , eller ekvivalent vattencementtal,  $v_{ct_{ekv}}$ . Detta för att det används tillsatsmedel och/eller tillsatsmaterial med olika effektivitetsfaktorer,  $k$ , som påverkar koncentrationen på cementpastan, se ekvation 2 [2].

$$v_{ct_{ekv}} = \frac{W}{C+(k \cdot D)} \quad (\text{ekv. 2})$$

Där  $k$  representerar effektivitetsfaktorn för tillsatsmaterialet och  $D$  representerar mängden tillsatsmaterial i  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

#### 3.1.1 Cement

I Sverige brukar cement delas in i fyra produkter: anläggningscement, byggcement, bascement och snabbhårdnande cement (SH cement). Samtliga cementprodukter har cementklinker som bas och sedan är det mängden inblandningen av olika tillsatsmaterial samt hur finmald cementen är som

skiljer produkterna åt. Cementprodukternas finmaldhet brukar benämnas som cementets specifika yta (cementkornens totala yta per viktenhet, m<sup>2</sup>/kg). Ett mer finmalt cement ger en högre specifik yta vilket innebär att en större total yta av cement kommer i kontakt med vatten. Då blir värmeutvecklingen högre och betongens hållfasthetstillväxt går fortare, se tabell 1.

Tabell 1. Visar värmeutvecklingen för olika cementtyper [4], [5].

Cementtyp	Värmeutveckling [kJ/kg]		
	1 dygn	3 dygn	7 dygn
Anläggningscement	170	240	270
Bascement	198	276	283
Byggcement Slite	207	283	290
SH cement	290	350	370

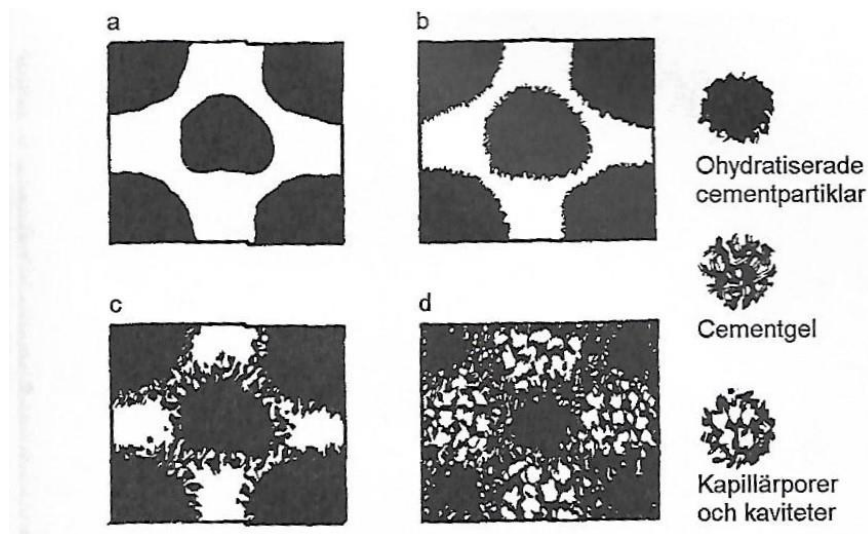
Värmeutvecklingen som uppstår i betongen under dess hållfasthetstillväxt är orsakad av de kemiska reaktioner som sker när cementkornen kommer i kontakt med fritt vatten. Reaktionen mellan cement och vatten kallas hydratation. I denna kemiska process anges kvoten mellan fullständigt reagerat cement och den totala mängden cement som hydratationsgrad,  $\alpha$ . Hydratationsgraden beräknas enligt ekvation 3, [2].

$$\alpha = \frac{C_n}{C} \quad (\text{ekv. 3})$$

Där  $\alpha$  är hydratationsgraden  $C_n$ , är mängden fullständigt hydratiserat cement i kg och  $C$  är den totala mängden cement i kg.

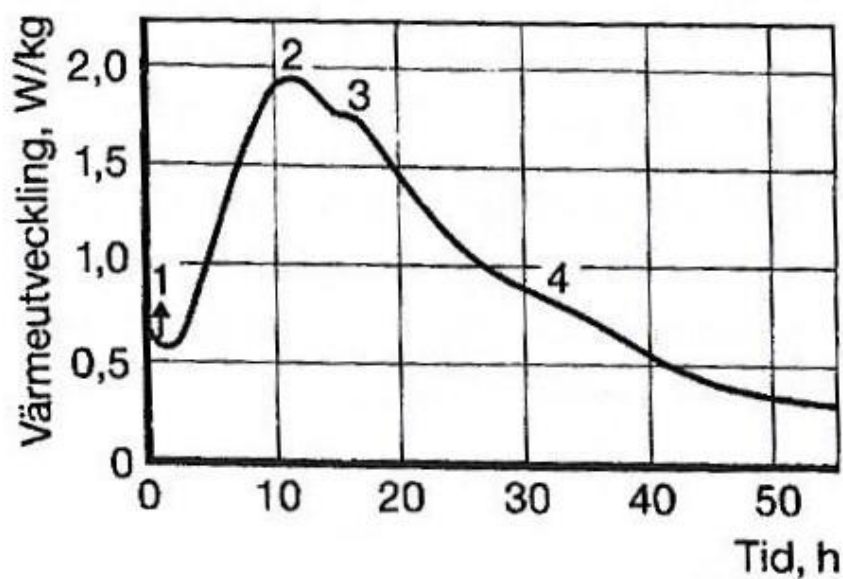
Under hydratationen bildas cementgel på cementkornens yta och dess volym ökar. I takt med att hydratationen fortgår minskar porutrymmena mellan cementkornen. Detta ökar betongens hållfasthet samt andra mekaniska egenskaper såsom tryck- och draghållfasthet, elasticitetmodul m.m. Även hydratationshastigheten påverkas då fritt vatten får svårare att komma i kontakt med oreagerat cement. Figur 1 visar hur cementpastan utvecklas under hydratationen från icke reagerat

cementkorn (a i figur 1) till cementkorn med utvecklat cementgel som binder ihop cementkornen (d i figur 1) [2].



Figur 1. Cementpastans utveckling. a) Direkt efter blandning. b) Efter några minuter. c) Vid bindning. d) Efter några månader [2].

När betongen blandas kommer cementet i kontakt med vatten och de första reaktionerna börjar nästan direkt vilket ger en värmeutveckling, markeras som (1) i figur 2.



Figur 2. Värmeutveckling för portlandcement vid 20 °C [6].

Efter dessa reaktioner avtar värmeutvecklingen en kort tid innan värmeutvecklingen börjar igen och når maximum omkring 10-20 timmar efter blandning, märkt som (2) i figur 2. Ju längre hydratationen pågår desto tätare blir betongen och fritt vatten får svårare att nå in till de oreagerade cementkornen. Detta leder till att hydratationen går allt saktare och värmeutvecklingen avtar [6].



Vid cementtillverkningen kan cementens egenskaper bestämmas av tre parametrar: andel cementklinker, finmaldhet och tillsatsmaterial. De viktigaste klinkermineralerna brukar förkortas enligt tabell 2 [6].

Tabell 2. Kemiska beteckningar på klinkermineraler [6].

Kemiska beteckningar	Förkortningar
CaO	C
SiO <sub>2</sub>	S
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F

Klinkermineralernas sammansättning, benämning samt en kort beskrivning av hur klinkermineralen påverkar betongen beskrivs nedan:

$C_3S$ , benämns som Alit och reagerar snabbt med vatten vilket medför en tidig värmeutveckling i betongen. Alit är viktig för hållfasthetstillväxten under de första 28 dyggen.

$C_2S$ , benämns som Belit och reagerar långsamt med vatten vilket påverkar värmeutvecklingen i ett senare skede. Belit är viktig för hållfastheten på lång sikt.

$C_3A$ , benämns som Aluminat och reagerar mycket snabbt med vatten vilket påverkar den tidiga värmeutvecklingen. För att förhindra snabb bindning behöver en viss mängd mald kalk blandas i portlandcement. Kalken motverkar att Aluminat reagerar direkt vid blandning. Denna mineral är viktig för beständigheten mot sulfater.

$C_4AF$ , benämns som Ferrit. Denna mineral har varierande reaktionshastighet som är beroende av sammansättningen. Oftast är reaktionshastigheten hög i ett tidigt skede vilket påverkar värmeutvecklingen i ett tidigt skede. Ferrit bidrar till hållfasthetstillväxten på lång sikt.

#### *Anläggningscement*

Anläggningscement tillhör CEM I vilket innebär att den måste innehålla minst 95% cementklinker. Det är ett grovmalt cement, specifik yta 320 m<sup>2</sup>/kg [7], med en lägre andel  $C_3S$  och högre andel  $C_2S$  vilket bidrar till lägre värmeutveckling under härdningen. Anläggningscementet har även en viss andel  $C_3A$  som bidrar till sulfatresistens och låg alkanitet. Den används främst i stora och grova konstruktioner som broar, dammar och anläggningskonstruktioner, där värmeutvecklingen behöver hållas nere för att minska risken för sprickbildning orsakad av hydratationsvärmen.

I Sverige används anläggningscement tillsammans med gjutmetoder med kylning för att hålla nere värmeutvecklingen i stora konstruktionen.

#### *Basement*

Basement tillhör CEM II vilket innebär att produkten måste innehålla minst 65% cementklinker och resten kan vara tillsatsmaterial, t.ex. kalk, flygaska, slagg eller silika. Basementet har en specifik yta på  $450 \text{ m}^2/\text{kg}$ , [4]. Värmeutvecklingen i basement är något lägre i byggcement. Basement innehåller normalt 80 % cementklinker samt 16 % flygaska och 4 % kalk. Basementet har minskat mängden cement och ersatt detta med flygaska. Detta gör att betong med basement istället för byggcement ger en mindre koldioxidbelastning på miljön och även förbättrar egenskaperna som 28-dygnshållfastheten. Basement har även bättre arbetsbarhet och minskat behov av vatten och tillsatsmedel jämfört med byggcement. Cementtypen används vid hus-, kontors- och prefabricerade konstruktioner, där risken för hög värmeutveckling i betongen anses liten [5].

#### *Byggcement*

Byggcement tillhör cementtypen CEM II som innebär att minst 65 % cementet måste bestå av cementklinker, resten kan vara tillsatsmaterial. Det är ett finmalt cement, specifik yta  $460 \text{ m}^2/\text{kg}$  [7]. med högre andel  $\text{C}_3\text{S}$  och lägre andel  $\text{C}_2\text{S}$  vilket bidrar till en högre värmeutveckling samt snabbare hållfasthetstillväxt än anläggningscement. Idag har byggcement nästan helt ersatts av basement.

#### *Snabbhårdnande cement*

Snabbhårdnande cement (SH) tillhör CEM I och är mycket finmald, specifik yta  $560 \text{ m}^2/\text{kg}$  [7]. Värmeutvecklingen i SH-cement är högre än övriga cementtyper och hårdnar snabbare. Efter ett dygn har SH-cement ungefär uppnått 50% högre hållfasthet än basement. Skillnaden i tryckhållfasthet mellan de olika cementtyperna minskar med tiden. SH-cement används främst i prefabricering, där tidig formrivning krävs [8].

### 3.1.2 Vatten

För att cement ska kunna hårdna och binda samman ballasten i betongen krävs som tidigare nämnts vatten. Kvalitén på vattnet kan påverka betongens hållfasthet och beständighet. I Sverige används endast sötvatten i betongrecept.

### 3.1.3 Ballast

En betong består till 65-75 % av ballast och ballastens egenskaper har därför stor inverkan på betongens egenskaper [2]. Viktiga egenskaper på ballast är korngraderingen, fillerhalten, kornformen samt låga humus- och slamhalter. Korngraderingen är fördelningen av stenfraktionerna i ballast. Denna har stor inverkan på mängden cementpasta som kommer att krävas för att betongen ska bli homogen och ha god arbetsbarhet. Fillerhalten är mängden finkornigt material med kornstorlek

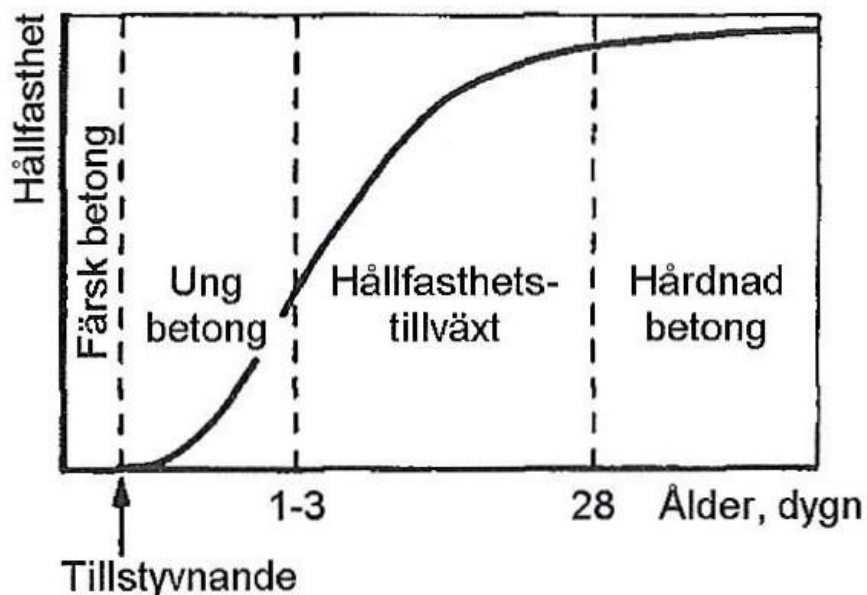
mindre än 0,125 mm och har stor betydelse för betongens pumpbarhet samt att betongen inte separerar. Kornformen på ballasten har stor betydelse på arbetsbarheten och även mängden cementpasta. Då ett krossat stenmaterial med kantiga korn i regel har större yta än naturgrus med rundade korn krävs det mer cementpasta för att binda samman ballasten till en homogen betong. Humus, som är organiska ämnen, kan verka retarderande på betong och ska undvikas. Även slam, som är benämningen på de allra finaste fraktionerna i ballasten, bör hållas nere då det kan ge en betong med låg bearbetbarhet, vardagligt upplevs den som kletig vid för höga halter [9].

Betong med mindre sten kräver mer cementpasta än en betong med större sten eftersom ballasten får en högre gemensam specifik yta med mindre stenar och kräver mer cementpasta för att omsluta alla stenar. Med mindre cementpasta blir även värmeutvecklingen i betongen lägre [3].

### 3.2 Betongens utvecklingsfaser

Betongens egenskaper så som hållfasthet och beständighet mäts oftast först efter 28 dygn, men det är tiden innan som är avgörande för dessa egenskaper. För att betongen ska få önskvärda egenskaper krävs att betongen behandlas på rätt sätt och skyddas mot yttre påfrestningar redan i ett tidigt skede.

Betongens utveckling kan delas in i fyra faser: färsk betong, ung betong, hållfasthetstillväxt och hårdnad betong, se figur 3.



Figur 3. Betongens fyra utvecklingsfaser [10].

Färsk betong är formbar och endast en liten hållfasthetstillväxt sker. Under nästa fas, ung betong, sker hårdnaden och hållfasthetstillväxten snabbt. Betongen är då mycket känslig för uttorkning, temperaturpåverknings som tidig frysning, betongens värmeutveckling och för belastning. Betong

övergår sedan i tredje fasen, hållfasthetsstillväxt, som påminner mycket om den hårdnade fasen (fas fyra) men påverkas då inte längre lika mycket av de yttre förhållandena [10].

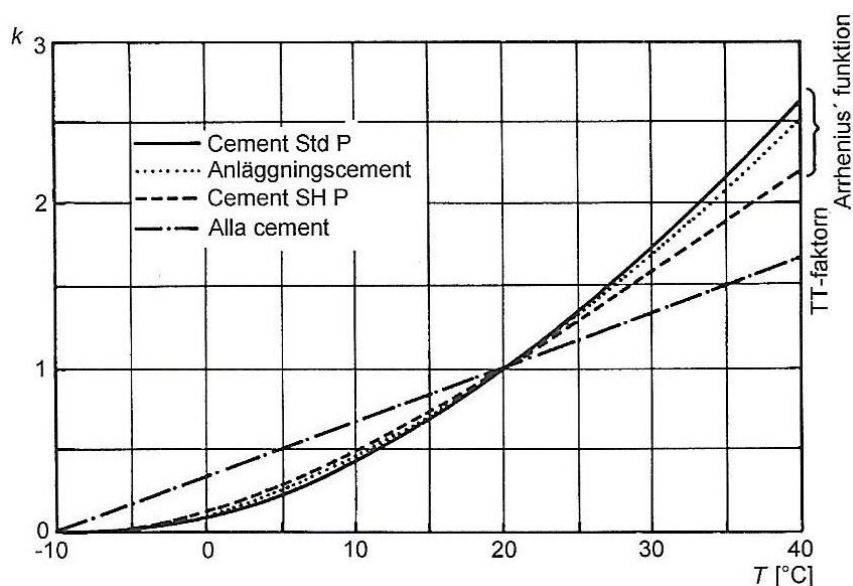
### 3.3 Hållfasthetsutveckling

Betongens hållfasthetsutveckling styrs av temperaturutvecklingen och tillgången till fukt i betongen. Hydratationen ökar med temperaturen och betongens egenskaper utvecklas snabbare, betongen mognar. Betongens faktiska mognadsgrad ( $t_e$ ) med avseende på temperaturutvecklingen i betongen och den faktiska tiden kan beräknas enligt ekvation 4 [2].

$$t_e = k_T \cdot t \quad (\text{ekv. 4})$$

Där  $k_T$  är den relativa härdningsfaktorn för betongen och  $t$  är den faktiska tiden.

Den relativa härdningsfaktorn avgörs av betongens temperatur och vilken cementprodukt som använts, se figur 4.



Figur 4. Visar funktionen för faktorn  $k$  för olika cementtyper med avseende på betongtemperaturen [2].

### 3.4 Armerad betong

Betong med sin höga tryckhållfasthet blir tillsammans med stålets höga draghållfasthet ett mycket komplett byggmaterial. Betong och stål har även nästan samma längdutvidgningskoefficient vilket gör att det inte bildas tvång mellan dessa material vid temperaturförändringar. Tvång är spänningar som uppstår när ett material hindras från att röra sig fritt. Vilket ger upphov till spänningar i materialet som kan leda till sprickor. Längdförändringen i ett material beräknas enligt ekvation 5, [2].

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \quad (\text{ekv. 5})$$

Där  $\Delta L$  är förändringen i längd,  $\alpha$  är materialets längdutvidgningskoefficient,  $L$  är materialets ursprungliga längd och  $\Delta T$  är temperaturförändringen hos materialet.

Ballast har liknande längdutvidgningskoefficient som betong och stål vilket är en förutsättning för att materialen ska kunna fungera ihop, se granit och gnejs i tabell 3.

Tabell 3. Längdutvidgningskoefficient för delmaterial i betong [2].

Material	$\alpha [10^{-6}/K]$
Stål, kolhalt 0,1 %	12
Granit, gnejs	8,5
Betong	8-12

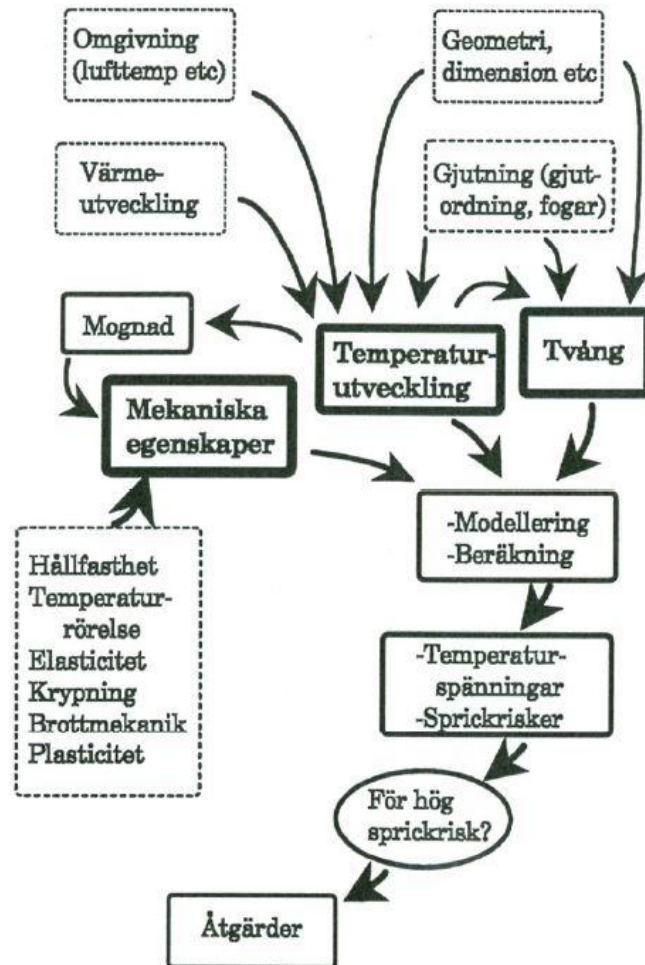
Att delmaterialen i betong har en liknande längdutvidgningskoefficient bidrar till att betongen inte spricker när den utsätts för temperaturförändringar.

### 3.5 Sprickor i betong

En betongkonstruktion spricker alltid, men sprickbildningen måste ske kontrollerat. För att motverka att betongen spricker okontrollerat används armering i betongen och tidiga åtgärder vid gjutning så som förhindrad uttorkning. Anledningen till att betong spricker beror på töjningsrörelser i betongen. Dessa rörelser kan vara orsakade av värmeutvecklingen i betongen som bidrar till en volymförändring, men också av yttre faktorer så som belastning som bildar tvång i konstruktionen. Betong spricker när töjningarna överskrider betongens töjningsgräns. Denna gräns varierar beroende på betongens ålder och töjningshastigheten [11].

#### 3.5.1 Temperaturspänningar i ung betong

Vid gjutning av konstruktioner där risken för temperatursprickor är stor krävs beräkningar för att kunna vidta åtgärder innan gjutningen för att motverka sprickrisken. Många faktorer har betydelse för sprickrisken: temperaturutvecklingen i betongen, den unga betongens mekaniska egenskaper, graden av tvång, temperaturen på anslutande konstruktioner och omgivningen, se figur 5 [12].



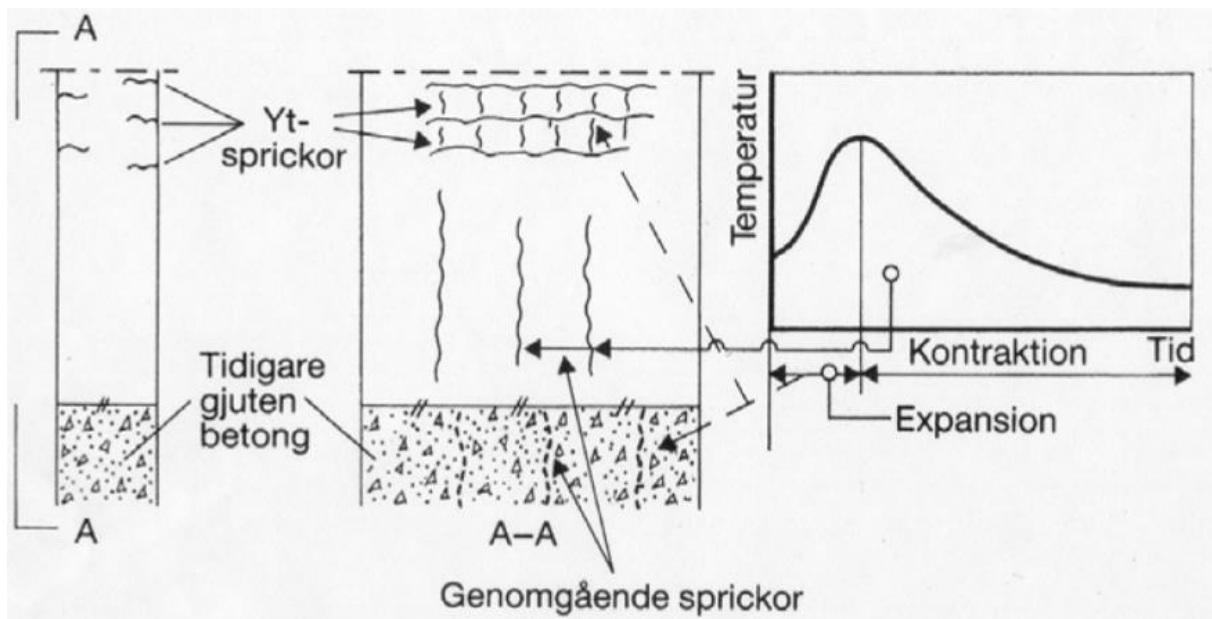
Figur 5. Faktorer som påverkar temperaturspänningar i betong [12].

Betongens mekaniska egenskaper utvecklas mycket under de första dyggen och egenskaperna är beroende av mognadsgraden på betongen.

### 3.5.2 Temperaturrelaterade sprickor i betong

Stora temperaturskillnader i betongkonstruktionen tillsammans med begränsade rörelsemöjligheter till följd av formar och motgjutningsytor kan ge sprickbildning. Det är främst i grövre konstruktioner, tjocklekar >0,7m, som temperatursprickor förekommer. Temperatursprickor kan uppstå i både uppvärmningsfasen och avsvältningsfasen [2].

Ytsprickor är oftast orsakade av den tidiga värmeutvecklingen i betongen. Då blir temperaturen inne i betongkonstruktionen högre än vid ytan vilket ger en temperaturskillnad som leder till att betongen expanderar olika mycket. I konstruktionens inre delar, där temperaturen är hög, expanderar betongen och vid ytan kyls betongen av omgivande klimat vilket leder till dragpåkänningar vid betongytan eftersom betongen expanderar olika mycket, se figur 6.

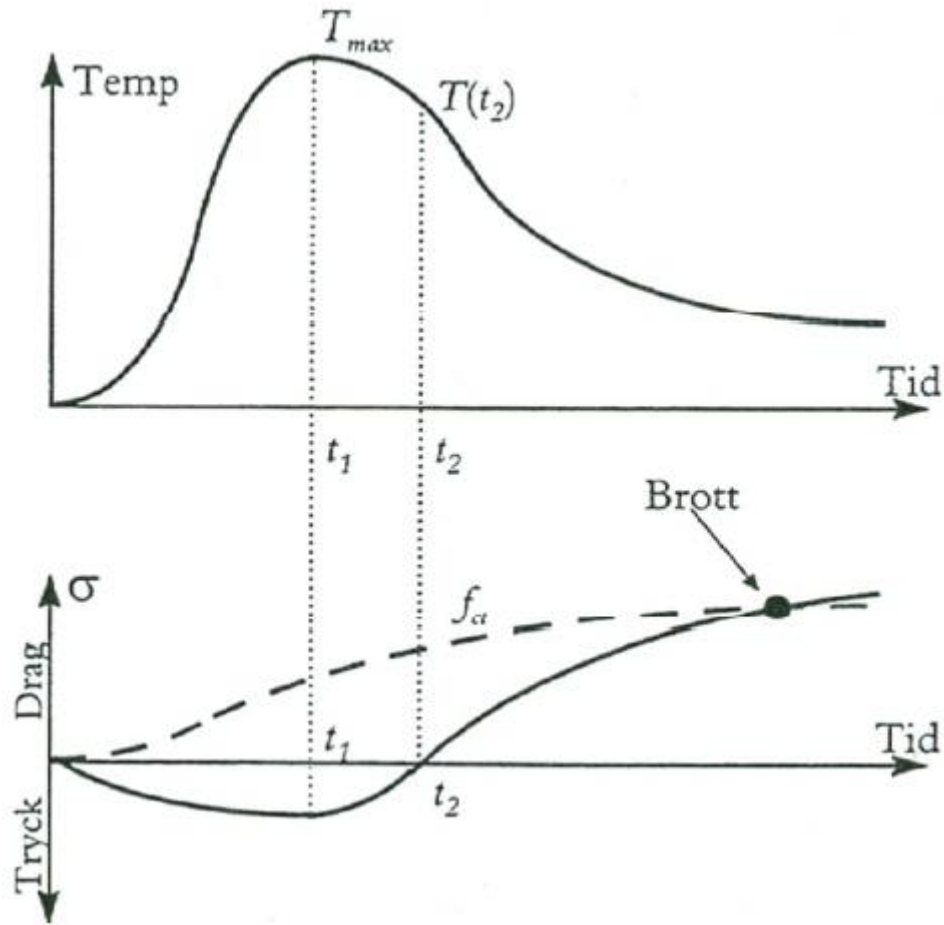


Figur 6. Temperatursprickor som kan uppkomma i expansionsfasen eller kontraktionsfasen [12].

Sprickor som uppkommer under uppvärmningsfasen kan sluta sig vid avsvältningsfasen, då betongen kontraherar. Dessa sprickor uppträder redan ett eller några dygn efter gjutning.

Sprickor som orsakats vid avsvältningen är oftast genomgående och kan uppträda först efter veckor, månader och i extrema fall år efter gjutningen. Dessa sprickor blir bestående och påverkar således beständigheten negativt då fukt, koldioxid samt klorider snabbare kan tränga in till armeringen som kan börjar rosta [12].

De initiala spänningarna orsakade av volymförändringarna av värmeutvecklingen blir ofta inte så stora då den unga betongen deformeras plastiskt. Mognadsgraden ökar dock snabbt under betongens första tid (1-3 dygn) och betongens draghållfasthet ökar. Detta medför att betongens plastiska formbarhet minskar och spänningar uppstår i betongen, se figur 7.



Figur 7. Visar samspelet mellan temperaturutvecklingen i betong, det övre diagrammet och spänningarna i betong, undre diagrammet [13].

När värmeutvecklingen (heldragna linjen i övre diagrammet) i betongen nått sitt maximum  $T_{max}$  är tryckspänningarna (heldragna linjen i undre diagrammet) i betongen som störst, se  $t_1$  i figur 7. Därefter börjar betongen svalna och tryckspänningarna minskar fram till en specifik temperatur,  $T_{(t_2)}$ , där tryckspänningarna övergår till dragspänningar. Betongen har vid denna tidpunkt nått en hög mognadsgrad och draghållfastheten (streckad linje) är hög. Betongens styvhet har ökat och volymförändringarna, orsakade av avsvälningen, ger nu upphov till att dragspänningarna ökar. Bli dragspänningarna högre än betongens draghållfasthet uppstår sprickor, se "brott" i figur 7 [13].

Genom att använda isolerade gjutformor samt låta gjutformarna sitta kvar efter gjutning förhindrar snabb avsvälning och minskar risken för temperatursprickor.

### 3.6 Trafikverkets sprickmodell

För att minimera sprickbildningen och dyra lagningar av nya betongkonstruktioner införde Vägverket, numera Trafikverket, på nittioalet krav på hur temperatursprickor ska minimeras i nya anläggningskonstruktioner. Kravet finns beskrivet i AMA Anläggning 17 [1], men nämns redan i Bro



94 [14]. Det ställs krav på cementhalten, vct, dimensionerna på konstruktionen, temperatur på betongen, motgjutningsytor och luften. Kraven är uppdelade i tre metoder, där metod 1 har lägst krav och metod 3 har högst krav. De tre metoderna beskrivs kort nedan:

*Metod 1* ställer krav på temperaturskillnader mellan omgivningen, betongtemperaturen samt cementhalten och dimensionen av konstruktionen. Generellt får inte cementhalten överstiga 430 kg/m<sup>3</sup> samt att  $vct_{ekv} \geq 0,40$ .

*Metod 2* gäller att krav i Teknisk rapport 1997:02, Temperatursprickor i betongkonstruktioner, Del A, B och C [15], ska tillämpas.

*Metod 3* är den metod som tillämpats i detta examensarbete. I denna metod ställs krav på att erkända beräkningsprogram eller beräkningsmodeller används samt att materialparametrarna för aktuell betong skall vara väl dokumenterade. Utförs beräkningarna med beräkningsprogram som förenklat spänningsdeformationsfälten till en- eller tvåaxiellt (t.ex. ConTeSt Pro) måste graden av fastlåsning mot underlag och omgivande motgjutningar vara dokumenterad.

Kraven är baserade på vilken miljöpåverkan som betongkonstruktionen kommer att utsättas för under sin livstid. Beroende på vilken miljöpåverkan som konstruktionen utsätts för bestäms betongens kvalitet. Miljöexponeringen delas in i olika exponeringsklasser, där klass 1 har lägst krav och klass 4 högst, se tabell 4.

Tabell 4. Visar exponeringsklasser för betong.

Exponeringsklasser	Klass	Typ av exponering	Beskrivning
X0	-	Ingen risk för angrepp	Oarmerad eller i torr inomhusmiljö
XC	1-4	Karbonatisering	Korrisionsangrepp orsakade av karbonatisering
XD	1-3	Tösalter	Korrisionsangrepp orsakade av klorider
XS	1-3	Saltvatten	Korrisionsangrepp orsakade av klorider
XF	1-4	Frost	Konstruktionen utsätts för frysningcykler
XA	1-3	Kemiska angrepp	Risk för kemiska angrepp

Beroende på vilken miljöpåverkan som betongkonstruktionen utsätts för under sin livstid ställs krav på betongens egenskaper. Specifika egenskaper i betongen, för att klara av den miljöpåverkan som råder, styrs av vilken cementprodukt, vilket vct, vilka tillsatsmaterial och tillsatsmedel som använd i betongreceptet. Med en aggressiv miljöpåverkan ställs höga krav på betongens beständighet och även högra krav på spricksäkerheten.

Spricksäkerheten,  $S$ , beräknas enligt ekvation 6 [1].

$$S = \frac{1}{\eta} \quad (\text{ekv. 6})$$

Där  $\eta$  är sprickrisknivån och beräknas enligt ekvation 7 [1].

$$\eta = \frac{\sigma_{ct}(t)}{f_{ct}(t)} \quad (\text{ekv. 7})$$

Där  $\sigma_{ct}(t)$  är beräknad dragspänning i betongen vid aktuella tidpunkten  $t$  och  $f_{ct}(t)$  är betongens draghållfasthet vid aktuella tidpunkten  $t$ .

Beräkningarna som görs i beräkningsprogrammen ska resultera i att spricksäkerheten,  $S$ , inte understiger värdet för aktuell exponeringsklass i tabell 5 [1].

Tabell 5. Visar spricksäkerhet för exponeringsklasserna [1].

Exponeringsklass	Fullständiga materialparametrar	Begränsade materialparametrar, endast cementmängd	
		$360 \leq C \leq 430 \text{ kg/m}^3$	$430 < C \leq 460 \text{ kg/m}^3$
XC2	1,05	1,18	1,33
XC4	1,11	1,25	1,42
XD1, XS2	1,18	1,33	1,54
XD3, XS3	1,25	1,42	1,67

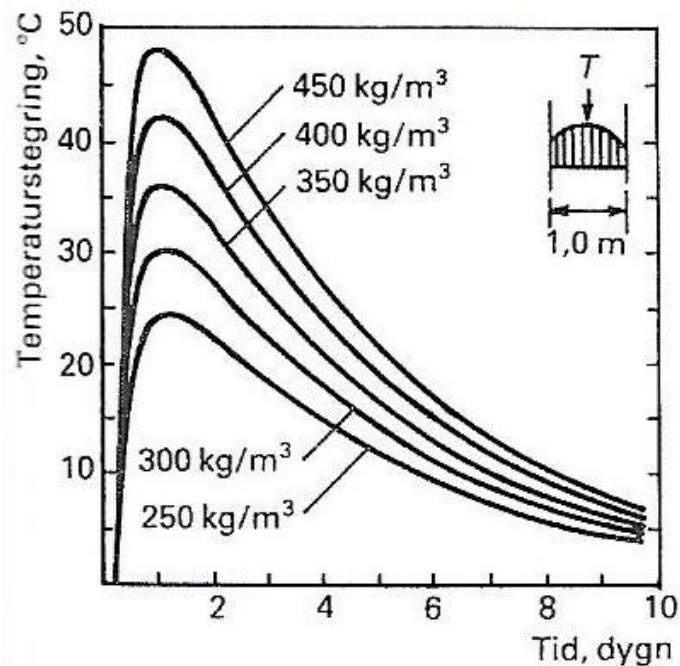
Används de lägre värdena i kolumn "Fullständiga materialparametrar" måste de mekaniska egenskaperna samt värmeutvecklingen för betongen vara bestämda, uppmätta och analyserade i laboratorieprovning. Det är kostsamt att utföra laboratorieprovning på betongrecept och därför används oftast materialparametrarna med högre säkerhet som endast tar hänsyn till cementhalten per kubikmeter i betongrecepten, se de två kolumnerna till höger i tabell 5.

### 3.7 Åtgärder för att minimera temperatursprickor

Temperaturutvecklingen i betong under hydratation kan påverkas på många olika sätt. Några åtgärder för att reducera temperaturhöjningen kan göras redan i betongrecept och under planeringskedet för betongarbetena [3].

I ett tidigt skede kan val av cementprodukt och cementhalten för betongen bestämmas. Genom att använda en cementprodukt som har lägre värmeutveckling kan risken för temperatursprickor minskas. I Sverige används anläggningscementet som med sin speciella sammansättning har måttlig

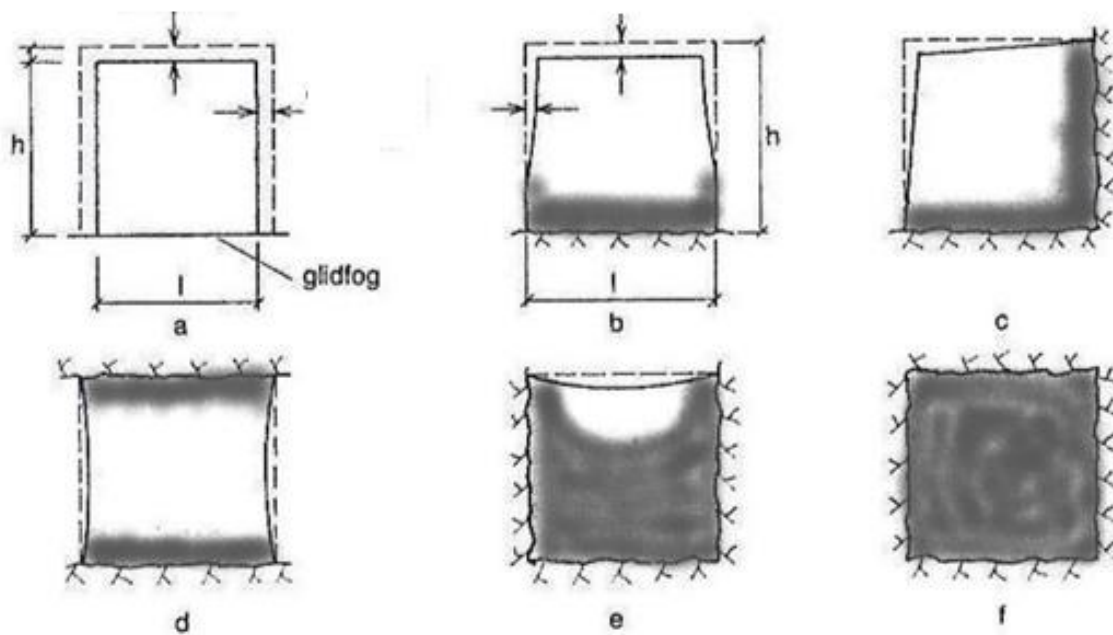
värmeutveckling och god hållfasthetstillväxt. Anläggningscement används vid gjutningar där värmeutvecklingen i betongen befaras blir hög och risken för temperatursprickar finns. Att välja ett betongrecept med tillsatsmedel och/eller tillsatsmaterial kan effektivt minska cementmängden i betongen utan att minska hållfastheten. Mindre cementmängd i betongreceptet bidrar till lägre värmeutveckling, se figur 8.



Figur 8. Visar värmeutvecklingen för Cement Silte Std med avseende på mängden cement i en 1 meter tjock konstruktion [3].

Ytterligare ett sätt att påverka cementmängden i betongreceptet kan vara att ändra stenstorleken i ballasten. Genom att använda en stensammansättning i ballasten med större stenar minskar den totala specifika ytan på ballasten och mindre volym cementpasta krävs för att omsluta all ballast, vilket innebär mindre mängd cement [3].

Genom att planera gjutordning och eventuella gjutfogar kan också risken för sprickbildning minskas. Under härdningsprocessen sker volymförändringar i betong, om dessa volymförändringar förhindras uppstår tvång. Beroende på motgjutningsytors styvhet och temperatur påverkas graden av tvång. I figur 9 syns hur tvång (mörkare på figuren) uppstår i motgjutningsytorna och hur betongen kan röra sig.



Figur 9. Exempel på betongens rörelsemöjlighet under härdning i olika motgjutningar [3].

Genom att planera gjutfogar och gjutordning kan tvång minimeras [3].

I planeringskedet går det även att planera för om gjutningarna ska kylas eller om motgjutningsytor ska värmas för att minimera risken för temperatursprickor. Genom att gjuta in rör i konstruktionen kan betongen kylas ner under härdningen, oftast genom att låta vatten strömma genom de ingjutna rören. Detta bidrar till en viss värmeöverföring från betong till det strömmande vattnet och temperaturen i betongen hålls nere. Metoden är effektiv och kan koncentreras på de inre delarna i konstruktionen där temperaturen oftast är som högst.

Ingjutna rör kan även användas till att värma upp eller kyla ner redan gjutna konstruktionsdelar för att motgjutningsytorna mot dessa ska bli så gynnsamma som möjligt.

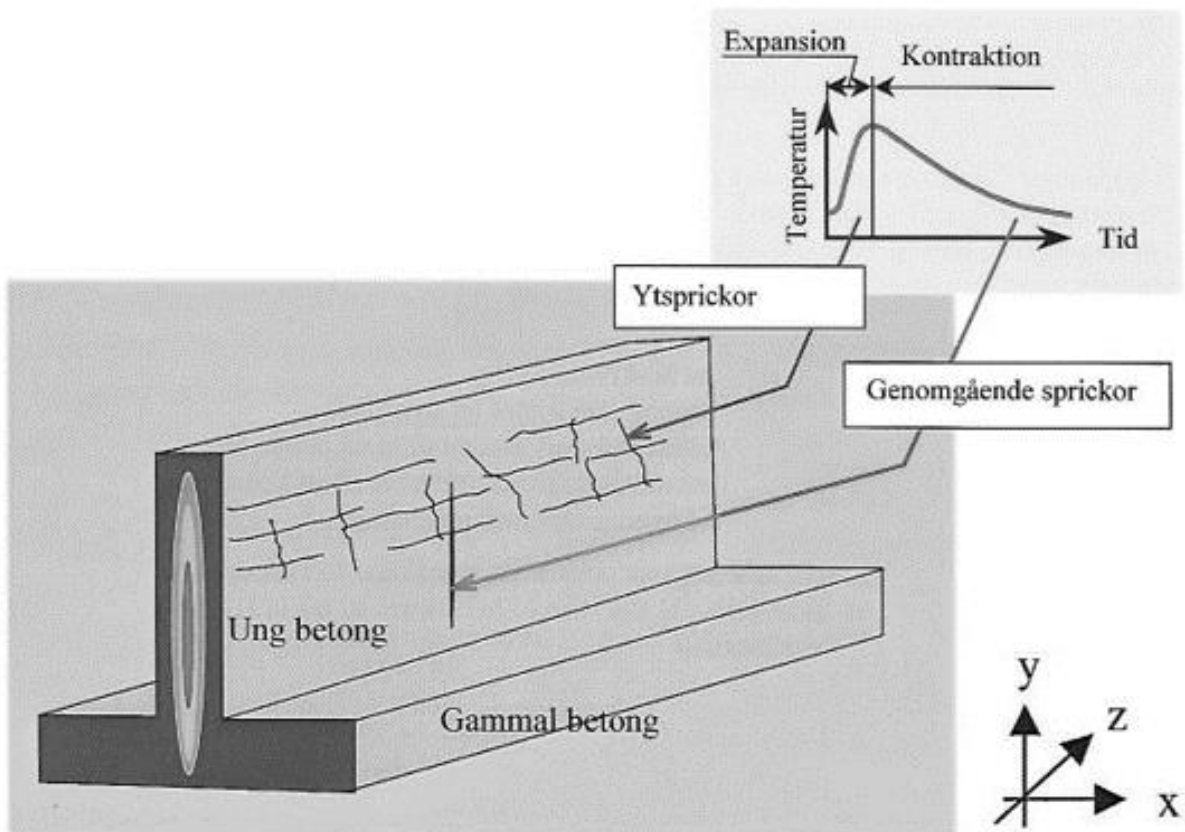
Temperaturutjämning kan även ske genom att gjuta in värmekablar i konstruktioner som ska pågjutras. Värmekablar kan värma upp motgjutningskonstruktioner så att temperaturskillnaden blir mindre vid värmeutvecklingen och sedan stängas av efter att värmeutvecklingen nått sitt maximum för att avsvälningen ska gå parallellt med den nygjutna konstruktionen för att minska uppkomsten av tvång.

Ett annat sätt att jämna ut temperaturskillnaderna mellan de inre delarna och de yttre kan vara att isolera gjutformarna samt den nygjutna betongytan. Detta leder till att betongen skyddas mot omgivningens klimat och betongkonstruktionen får en jämnare temperatur i tvärsnittet. Detta leder till mindre temperaturskillnader mellan konstruktionens inre delar och betongytan mot formen. Isoleringen bidrar även till att betongens avsvälning inte går för fort [3].

### 3.8 ConTeSt Pro

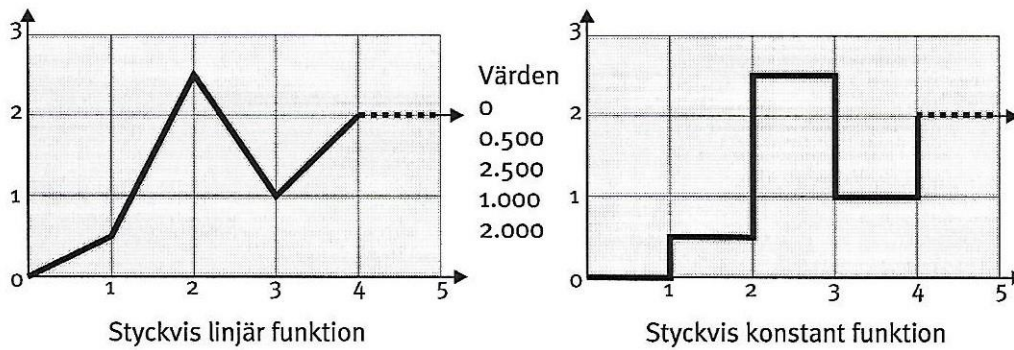
ConTeSt Pro kan användas för att uppfylla kraven i beräkningsmetod 3. I beräkningsprogrammet ConTeSt Pro betraktas temperaturberäkningar i en tvådimensionell yta, x- och y-planet. Det innebär att programmet räknar med att konstruktionen är såpass lång i z-led att värmeflödet i z-led kan betraktas som noll [16].

Alla spänningsberäkningar i programmet betraktas i den ortogonala riktningen mot temperaturberäkningarna, alltså spänningar i z-led ( $\sigma_z$ ). I konstruktioner som är långa i z-led kan övriga spänningar,  $\sigma_x$  och  $\sigma_y$ , betraktas som obetydliga. Spänningar i z-led kan orsaka sprickor som är vinkelräta mot z-axeln. Dessa sprickor kan vara genomgående, se figur 10 [16].



Figur 10. Visar en plattramskonstruktion med temperatursprickor från expansionsfasen och kontraktionsfasen. [17]

Används tidsvarierande indata i beräkningarna, som i återkopplingsberäkningarna i detta examensarbete, ges temperaturen en styckvis linjär funktion av tiden och övrig indata en styckvis konstant funktion av tiden, se figur 11 [18].

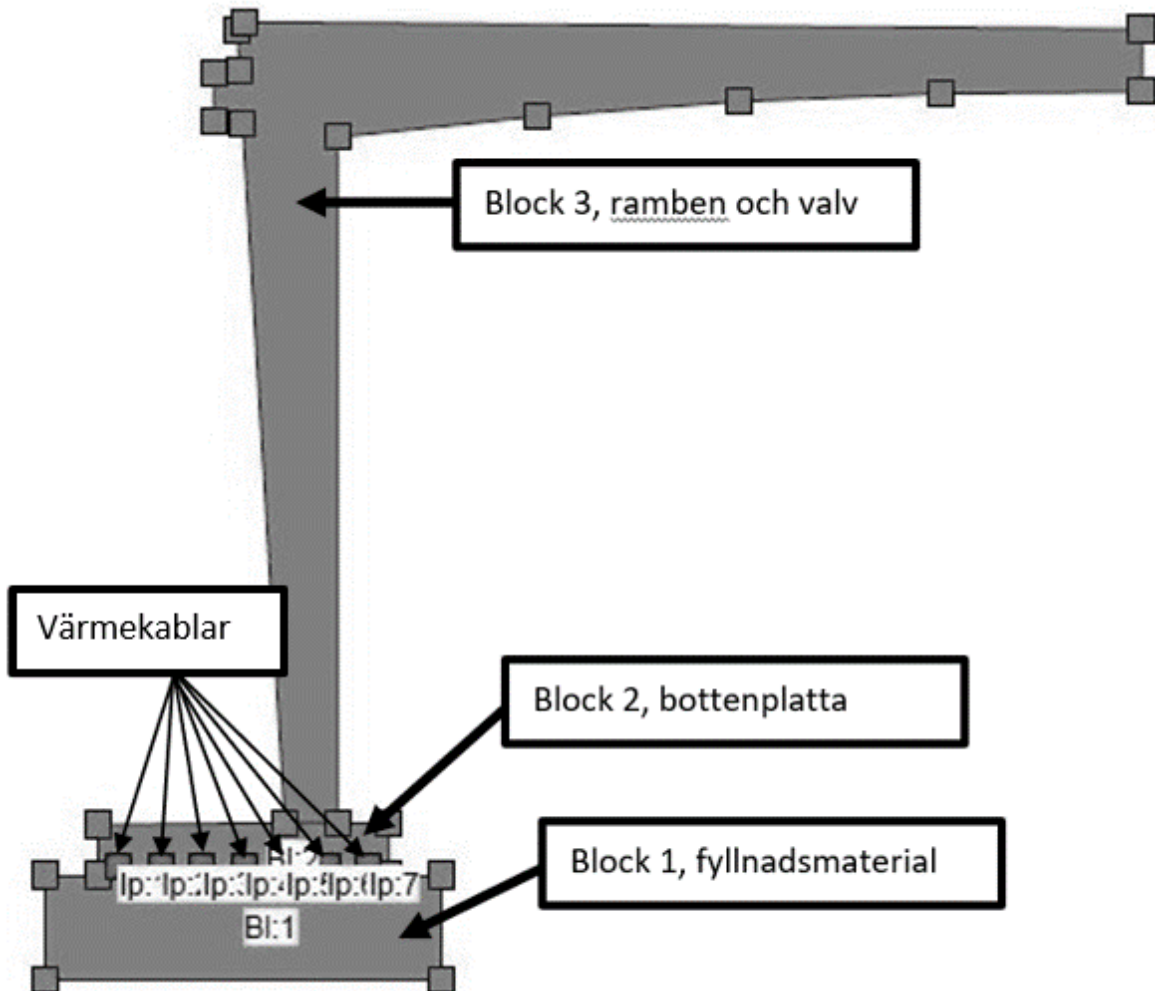


Figur 11. Visar skillnaden på styckvis linjär och styckvis konstant funktion [18].

I ConTeSt Pro byggs beräkningsmodellen stegvis upp där villkor och material läggs in efter hand. När modellen och alla villkor är inställda gör Contest Pro en beräkning där betongtemperaturer för gjutningen simuleras. Efteråt kan ConTeSt Pro göra spänningsberäkningar för konstruktionen som är baserade på de beräknade betongtemperaturerna.

Stegen i ConTeSt Pro beskrivs här kort:

Först ritas ett tvärsnitt av konstruktionens olika block upp i programmet. Där grundläggningen (fyllnadsmaterial), bottenplattan och rambenen med valv separeras genom att definieras som olika block. De olika delarna separeras på detta sätt för att kunna ge varje block olika materialparametrar. Även eventuella värmekablar eller kylrör ritas in, se figur 12.

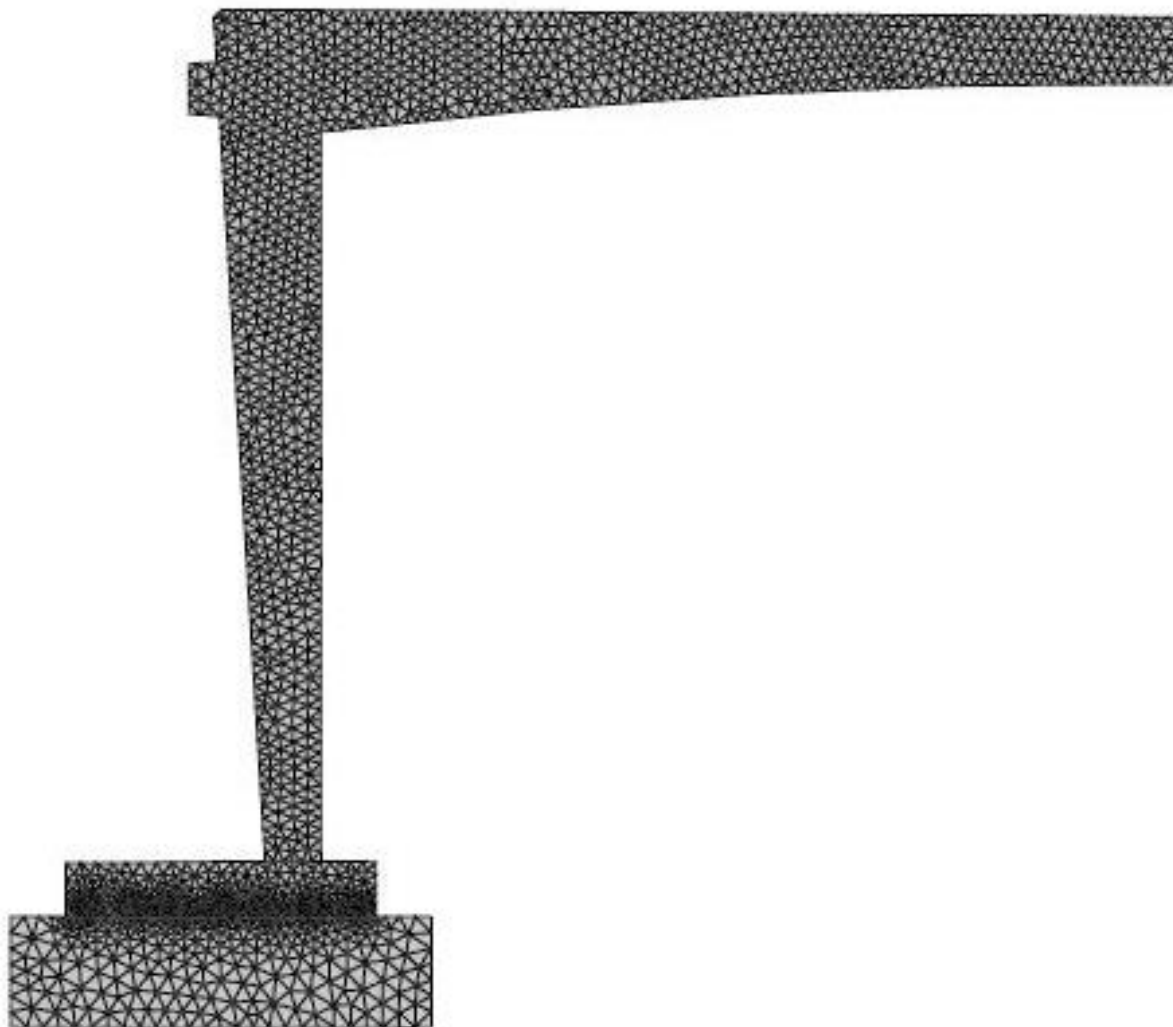


Figur 12. Visar geometrin för bro 4 inritad i ConTeSt Pro.

Tiden för hur länge beräkningsprogrammet skulle simulera temperaturutvecklingen angavs till 672 timmar (28 dygn) i samtliga beräkningar.

Beräkningstätheten för respektive block anges. Programmet ökar automatiskt beräkningstätheten vid värmekablar och i motgjutningsytor. Programmet bildar sedan ett beräkningsnät, se figur 13, med hänsyn till den inställda beräkningstätheten.





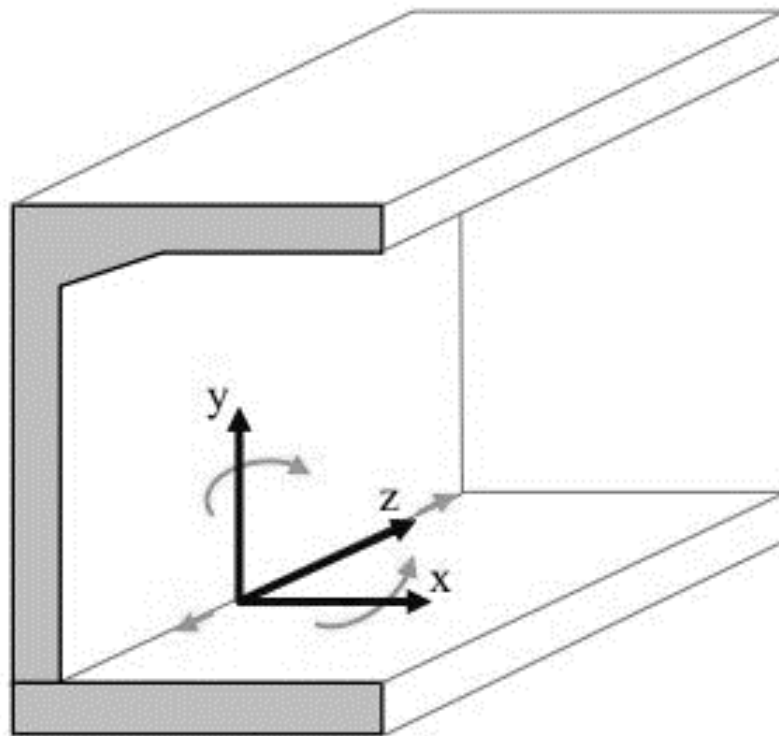
*Figur 13. Visar beräkningsnätet för bro 4.*

Därefter anges material för de uppdelade blocken som packad fyllning, mogen betong och ung betong. Materialparameterar för olika betongrecept och fyllnadsmaterial finns inlagda i programmet. Det går även att ändra på en del parametrar i de förinställda materialen. För betongen som användes i gjutningarna av bottenplattorna samt bron ändrades densiteten, cementmängden och 28-dygns hållfastheten. På fyllnadsmaterialet ändras inte de förinställda parametrarna.

Varje blockmaterial tilldelas även en starttemperatur. Sedan bestäms villkoren för varje blocks yttre ytor. I programmet finns förinställda parametrar för olika typer av formmaterial och isoleringsmaterial vars tjocklek, isoleringsförmåga samt varaktighet kan regleras. Temperatur- och vindpåverkan kan även ställas in för varje ytmaterial. Även gjuthastigheten anges samt temperatur- och vindpåverkan för den rörliga ytan ställs in, vilken är överytan för betongen som gjuts. Tiden och tillförd effekt från eventuella värmekablar ställs även in.



Beräkningsprogrammet behöver sedan ha indata om vilka fastlåsningar eller motgjutningar som förekommer under gjutningen. Fastlåsning kan ställas in i tre inspänningar; translationstvång, rotationstvång kring x-axeln respektive y-axeln se figur 14.



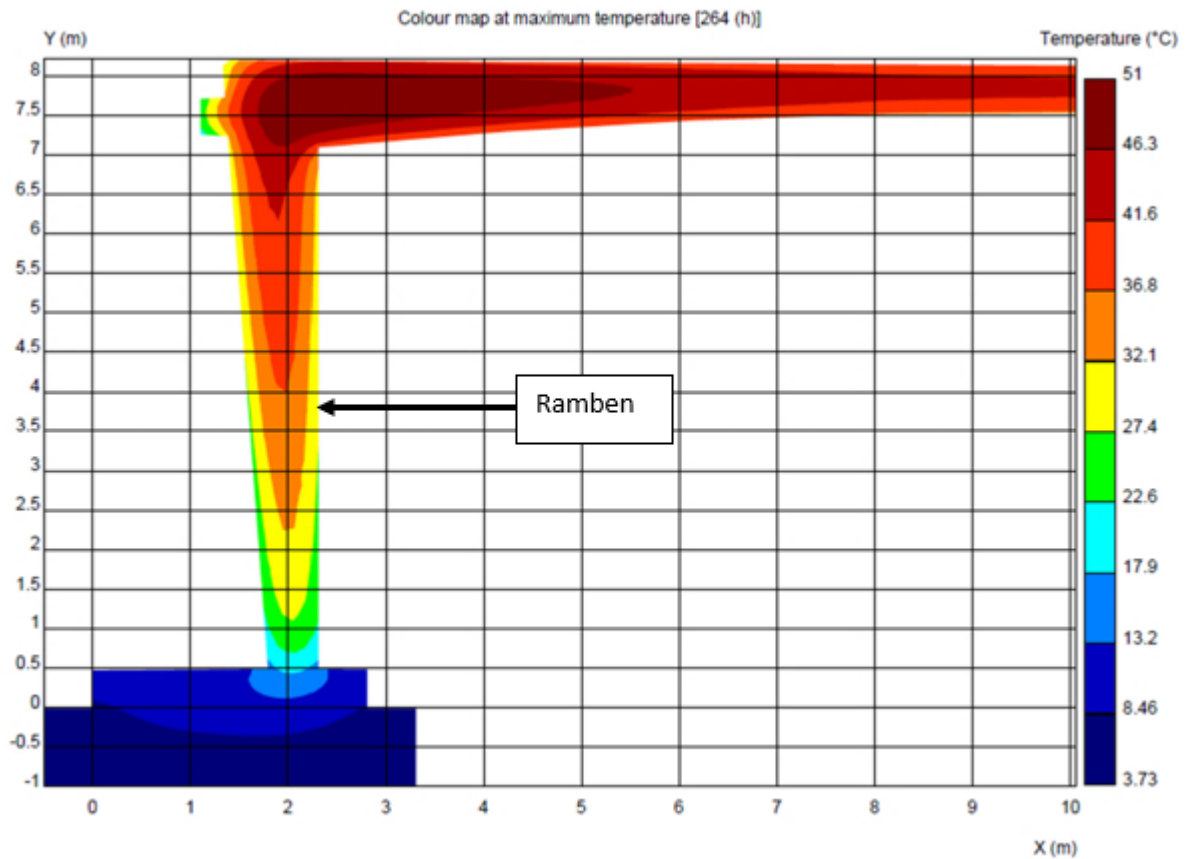
Figur 14. Visar en plattramskonstruktion med x-, y- och z-axel samt rotation kring x- och y-axeln.

Translationstvång är det tvång som byggs upp i den nygjutna konstruktionen om den hindras från att röra sig i z-led under expansionsfasen eller kontraktionsfasen.

Rotationstvång uppkommer som följd av temperaturskillnader i konstruktionen när inre och yttre delar expanderar/kontraherar olika mycket. Rotationstvånget är det tvång som uppkommer när denna rotation motverkas med fastlåsning, t.ex. i motgjutningsytor.

I ConTeSt Pro finns även empirisk data för de krympningar som sker i ung betong. Dessa krympningar är i ConTeSt Pro baserade på kvoten mellan konstruktionens längd och höjd, då de betraktas som en hög balk. Beräkningsprogrammet behöver därför indata om konstruktionens längd och höjd. Då det bildas en fastlåsning som hindrar den unga betongen i rambenen att röra sig fritt i motgjutningsytan mot bottenplatta angavs även motgjutningsytans längd. [16].

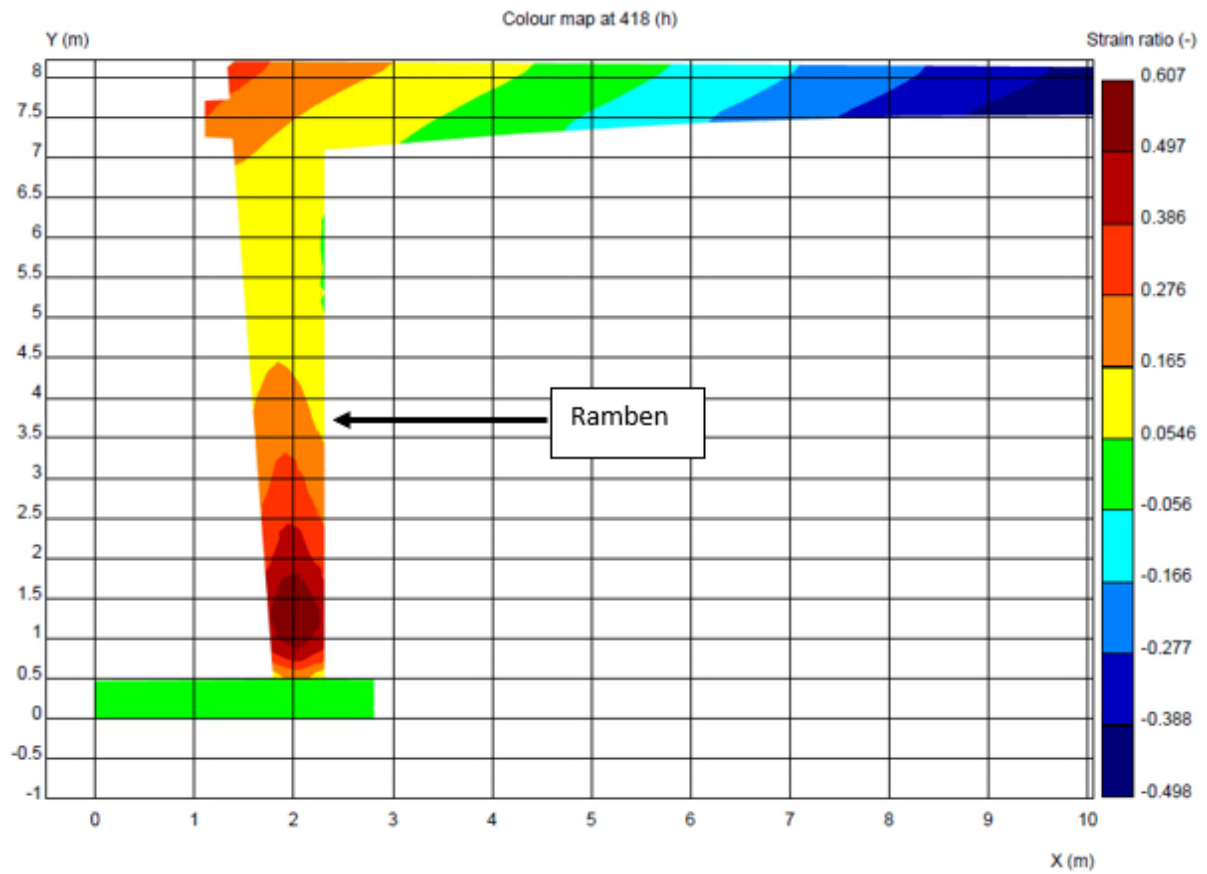
Resultaten från beräkningarna redovisas i tidsdiagram eller färgkartor för både temperatur och spänningar. Detta för att kunna se var och när temperaturen är som störst i konstruktionen, se figur 15.



Figur 15. Visar maximal betongtemperatur i en färgkarta från beräkningar med faktiska produktionsförhållanden från etapp 1.

För samtliga beräkningar i examensarbetet visar färgkartorna att maximal betongtemperatur uppnås i toppen av rambenet och lägst temperatur i bottenplattan som värms upp med värmekablar, se figur 15.

Störst töjning för alla beräkningarna redovisas på sammavis i tiddiagram och färgkartor, se figur 16.



Figur 16. Visar maximal töjning i färgkarta från beräkningarna med faktiska produktionsförhållanden från etapp 1.

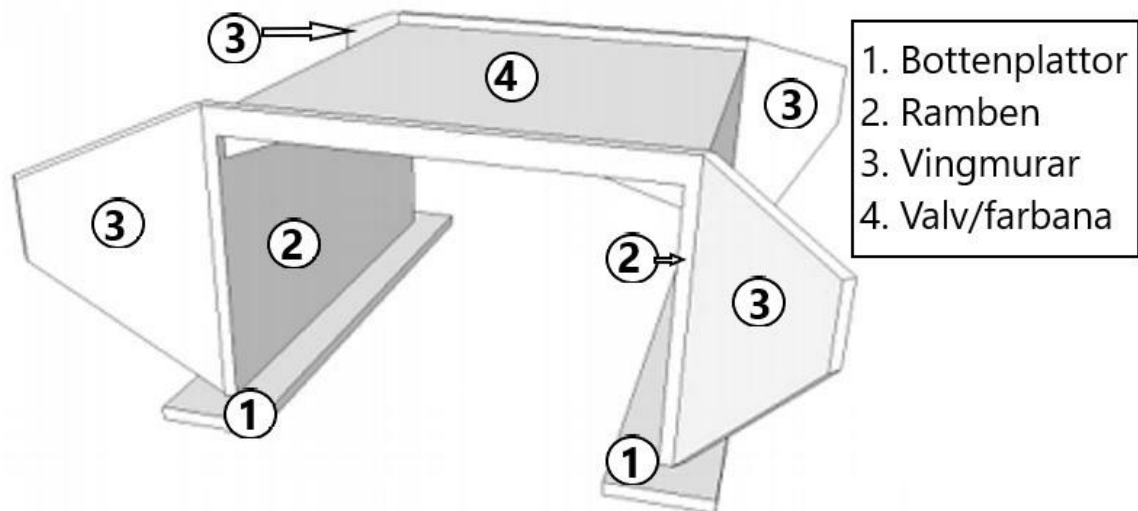
För samtliga beräkningar sker maximal töjning efter eller i samband med formrivning och i samma region i botten av rambenet, ungefär 1 meter ovanför bottenplattan, se figur 16.

Detta förenklar val av lämpliga åtgärder för att minska töjningarna i konstruktionen [18].



## 4 Fältstudie

I fältstudien behandlas en plattramsbro som benämns som bro 4 och är en öppen plattramsbro som gjuts på plats. En öppen plattramsbro har två separata bottenplattor, två ramben, fyra vingmurar och ett valv, se figur 17.



Figur 17. Typexempel på en öppen plattramsbro.

Plattramsbroar gjuts i två omgångar. Först gjuts bottenplattorna, markerade som (1) i figur 17, och sedan sker själva brogjutningen. Där gjuts rambenen med vingmurarna, markerade som (2) och (3) i figur 17, ihop med valvet, markerat som (4) i figur 17, i en gjutning. Detta medför att det sker en motgjutning mot bottenplattorna där ung betong gjuts mot mogen betong och spänningar uppstår under härdningsprocessen som sedan kan leda till temperatursprickor.

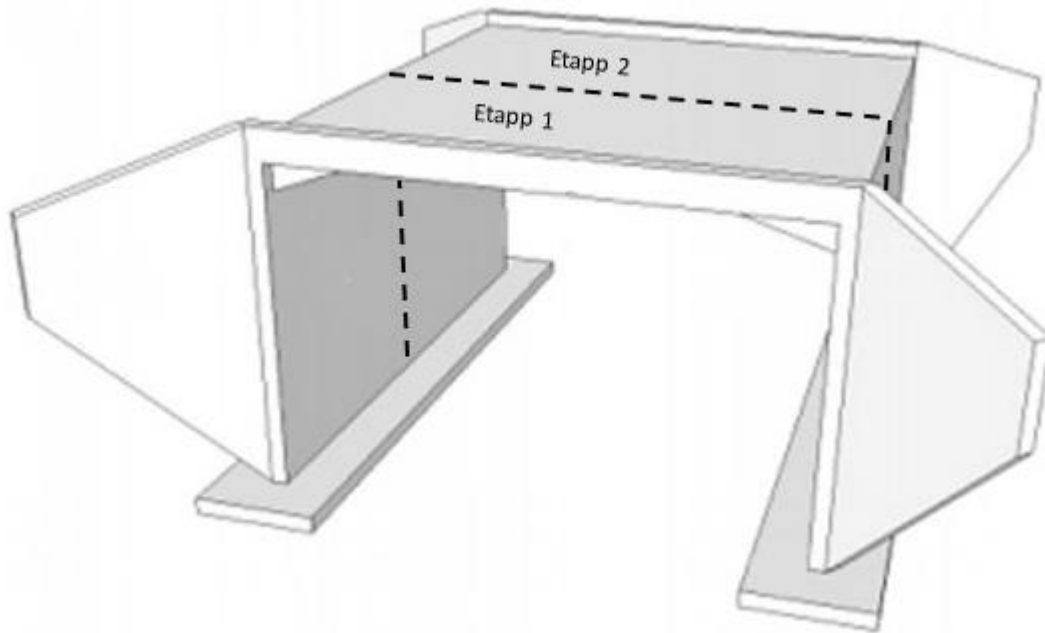
I fältstudien har faktiska mätningar från gjutningarna som vindhastighet, utetemperatur och betongtemperaturer utförts på plats. Även valet av formuppbyggnad, aktivering av värmekablar, arbets sätt under gjutning och tiden för när gjutformarna togs bort har dokumenterats. Detta används sedan för att göra en återkoppling på arbetsbeskrivningen som är baserad på antagna klimatförhållande och utförandet.

### 4.1 Bro 4

Bron ska leda en landsväg samt cykelväg under den nya motorvägen. Spännvidden mellan rambenen är 20 meter och längden på bron är 25 meter. Detta medför att ramben och valv blir tjocka samt kräver en stor mängd armering för att klara av de beräknade lasterna.

Med anledning av den stora mängden betong ( $650 \text{ m}^3$ ) som krävdes i brogjutningen togs beslutet att gjuta bron i två etapper. Detta var ett beslut taget av entreprenören med hänsyn till arbetsmiljön.

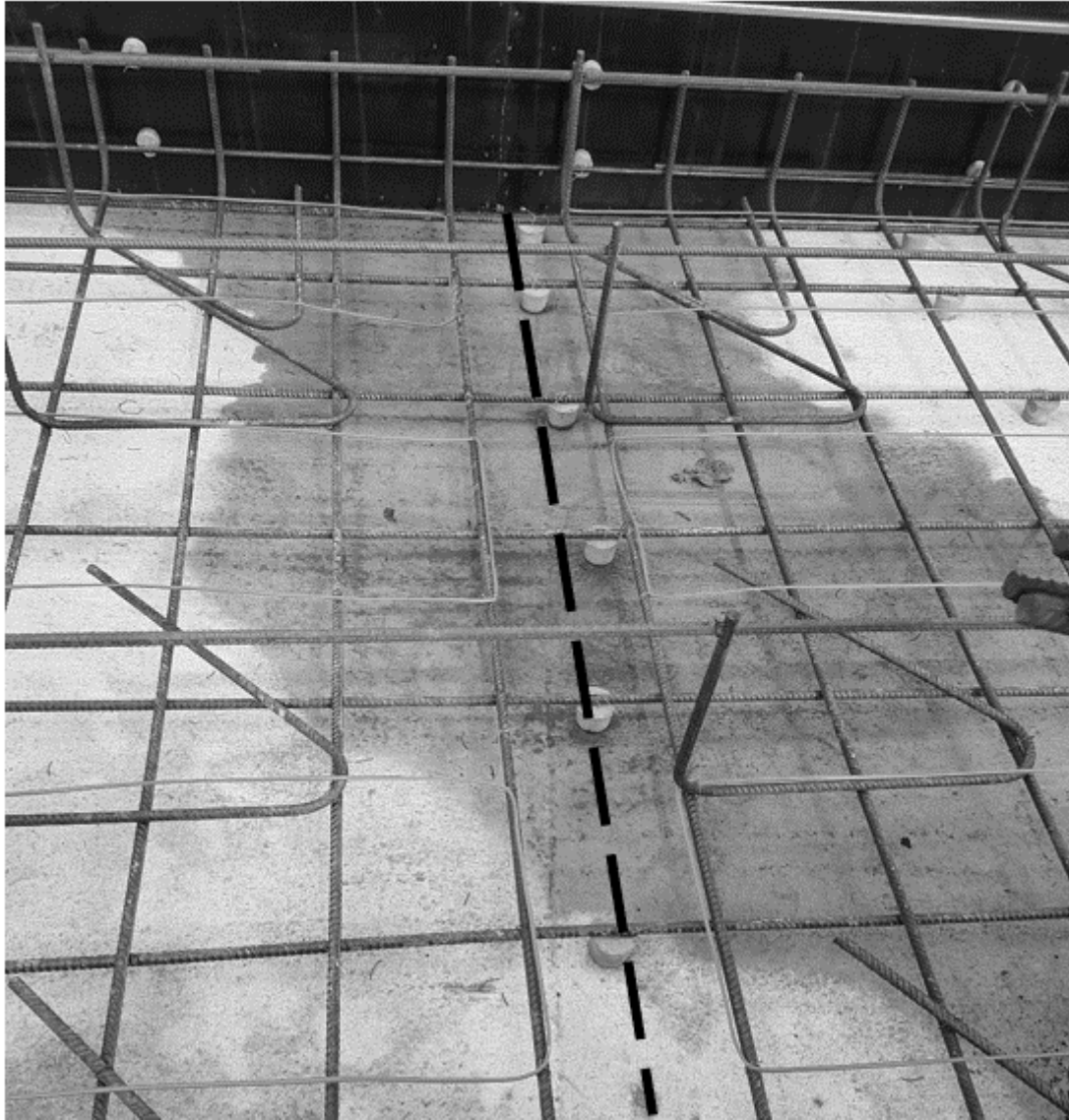
Entreprenören ansåg att det skulle bli en för lång gjutning tidsmässigt och ville hellre dela upp brogjutningen i två arbetspass. Gjutskarven placerades i mitten av bron och de två gjutningarna benämns som etapp 1 och etapp 2, se figur 18.



*Figur 18. Visar gjutskarven som en streckad linje mellan etapp 1 och etapp 2.*

Detta innebär att bron gjöts i tre omgångar; först de båda bottenplattorna, därefter gjöts etapp 1 och slutligen gjöts etapp 2.

Med anledning av att brogjutningen delades upp fick värmekabeln i bottenplattorna placeras på ett sådant sätt att de endast värmdes upp den aktuella gjutetappen. Detta för att inte öka risken för temperatursprickor genom att värma upp bottenplattan på redan gjuten del. Därför fick endast bottenplattorna under etapp 1 värmas inför etapp 1 gjutningen och samma gällde för etapp 2 gjutningen. Värmekablarna placerades så att de inte gick förbi gjutskarven mellan etapp 1 och 2, se figur 19.



*Figur 19. Visar hur värmekablarna möts och vänder utan att korsa gjutskarven (markerad som en streckad linje) för kommande brogjutningar.*

Bottenplattorna gjuts vanligtvis direkt på packat fyllnadsmaterial eller på en tunn oarmerad betongbädd, även kallad skyddsbetong. På bro 4 användes skyddsbetong. Skyddsbetongen ingår i

fyllnadsmaterialet och används främst för att få en jämn yta att ställa och fästa gjutformen i, se figur 20.



*Figur 20. Visar gjutning av bottenplatta. Även hur skyddsbetongen används som avjämning samt till att fästa och sträva gjutformen i.*

När bottenplattorna är gjutna påbörjas formningen av insidorna av rambenen samt insidorna av vingmurarna. Denna form brukar benämnas som enkling. Därefter byggs en formställning till undersidan av farbanan, även kallat valv, som byggs ihop med enklingarna på rambenen. Därefter armeras rambenen och farbanan innan formen på utsidorna av rambenen förs på. Formen på utsidorna brukar benämnas som dubbling.

För gjutningarna av båda etapperna av bro 4 gällde en stighastighet på max 1 m/h för betongen i rambenen. Detta för att inte påfresta gjutformarna med för högt formtryck men även för att hinna med komprimeringsarbetet av betongen och minimera risken för gjutsår. Komprimeringsarbetet



utfördes med väggstavar som vibrerade betongen så att oönskad luft transporterades ut ur betongen och att betongen omslöt samtlig armering. Innan valvgjutningarna påbörjades skulle betongen i rambenen få sätta sig minst en timme. Detta för att minimera risken för sättsprickor vid övergången från ramben och valv. Vid gjutningen av valven användes även en fackverksbrygga som effektivt vibrerade och avjämnade betongytan, se figur 21.



*Figur 21. Visar en fackverksbrygga som vibrerar och avjämnar betongytan.*

Efter att fackverksbryggan hade avjämnat betongytan och betongen fått hårdna något skulle ytan skuras. Detta utfördes med en åkglättare som bestod av två plattor som roterade mot betongytan vilket gav en tät och slät betongyta, se figur 22.



*Figur 22. Visar en åkglättare som bearbetar betongytan till en tät och slät yta.*

När betongytan var tät och slät täcktes ytan med 10 mm tjock isoleringsmatta samt presenningar. Detta för att motverka vattenavdunstning från betongytan och för att bevara värmen i betongen, se figur 23.



*Figur 23. Visar täckningen av betongytan av etapp 2 på bro 4.*

Efter brogjutningarna ska gjutformerna sitta kvar en bestämd tid för att avsvälningen av betongen inte ska gå för fort. Om avsvälningen går för fort ökar risken för temperatursprickor. Därefter följer rivningsarbetet av gjutformarna, först avlägsnas gjutformarna på utsidorna av rambenen sedan rivs



valvformen tillsammans med insidorna av rambenen. Efter rivningsarbetet påbörjar återfyllningen och betongarbetena är klara, se figur 24.



*Figur 24. Visar bro 4 färdiggjuten sett från landsvägen som går under motorvägen.*

#### 4.2 Åtgärder för sprickbegränsningar

För att motverka att temperatursprickor uppstår har beräkningar i ConTeSt Pro på förhand utförts av konstruktörer. Resultaten från dessa beräkningar har sedan sammanställts till en arbetsbeskrivning där åtgärder mot temperatursprickor beskrivs. Entreprenören ska sedan utföra de åtgärder som beskrivs i arbetsbeskrivningen för att försäkra sig att risken för temperaturspricker minimeras.

När konstruktörer utför sina sprickrisksberäkningar i ConTeSt Pro utgår de från geometrin på bron, en antagen vindhastighet och dygnsmedeltemperatur som är konstant för hela beräkningsförloppet. Därför används dygnsmedelvärden för temperatur och vindhastighet från SMHI.

I det aktuella fallet hade entreprenören önskat att få åtgärder med värmekablar istället för vatten- eller luftkylning. Detta för att det oftast är svårt att få tillgång till vatten och att få korrekt flöde av vatten i kylrören om bron är långt ifrån bebyggelse.

Värmekablarna aktiverades en bestämd tid innan gjutningen startades för att motgjutningskonstruktionen skulle hinna värmas upp innan gjutningen av den anslutande konstruktionsdelen påbörjades. Värmekablarna stängdes sedan av ett dygn efter gjutningen. Detta

för att motgjutningskonstruktionen och den nygjutna konstruktionen ska expandera samt kontrahera tillsammans.

Vanligtvis utförs flera beräkningsfall med olika dygnsmedeltemperaturer som redovisas i en tabell så att entreprenören kan se vilka åtgärder som behöver göras vid aktuell dygnsmedeltemperatur, se tabell 6.

Tabell 6. Visar åtgärder från arbetsbeskrivningen för gjutetapp ett och två på bro 4.

Gjutetapp	$T_{luft}$	$T_{btg}$	$T_{mark}$	Formrivning	Värmning	Täckning
	°C	°C	°C	dygn	Dygn	
Ett	-3	$\leq 13$	-3	6	2+1	Ja
Två	-3	$\leq 13$	-3	8	6+1	Ja
Ett	2	$\leq 13$	2	6	2+1	-
Två	2	$\leq 13$	2	7	5+1	Ja
Ett	5	$\leq 15$	5	6	2+1	-
Två	5	$\leq 15$	5	7	2+1	Ja

Under kolumnen "Gjutetapp" delas etapp ett och två in. I kolumnen " $T_{luft}$ " är en antagen dygnsmedeltemperatur angiven. Kolumnen " $T_{gjut}$ " är önskvärd betongtemperatur vid gjutstart och kolumnen " $T_{mark}$ " är antagen temperatur på markytan. Uppvärmningen redovisas i kolumnen "Värmning" med antal dygn innan gjutning som uppvärmningen ska starta och sedan antal dygn efter gjutningen som uppvärmningen ska vara aktiverad. Täckningen innebär att bottenplattornas ovansida ska täckas med 10 mm cellplast under uppvärmningstiden.

#### 4.3 Insamling av data för återkopplingsberäkningar i ConTeSt Pro

Till gjutningarna av bottenplattorna och båda etapperna av bro 4 användes samma betongrecept och samma mätutrustning för temperaturer. Bottenplattorna skulle värmas upp med värmekablar inför båda etapperna av bro 4. Utförandena under gjutningarna var likvärdiga, med vibrering och efterarbeten av betongytan samt täckning av betongytan. Men tiden för när gjutformarna fick avlägsnas skiljde sig åt mellan gjutetapperna.

Betongreceptet som användes vid båda bottenplattorna och under båda etapperna av bro 4 var en C35/45 med vct 0,40 av anläggningscement med ballast som var max 22/32 mm.

I tabell 7 redovisas betongreceptet där kolumnen "Typ" anges vilket delmaterial som avses, BA står för ballast, BM anger bindemedel, VA står för vatten och TM står för tillsatsmedel.

Tabell 7. Betongrecept som användes vid samtliga gjutningar för broarna.

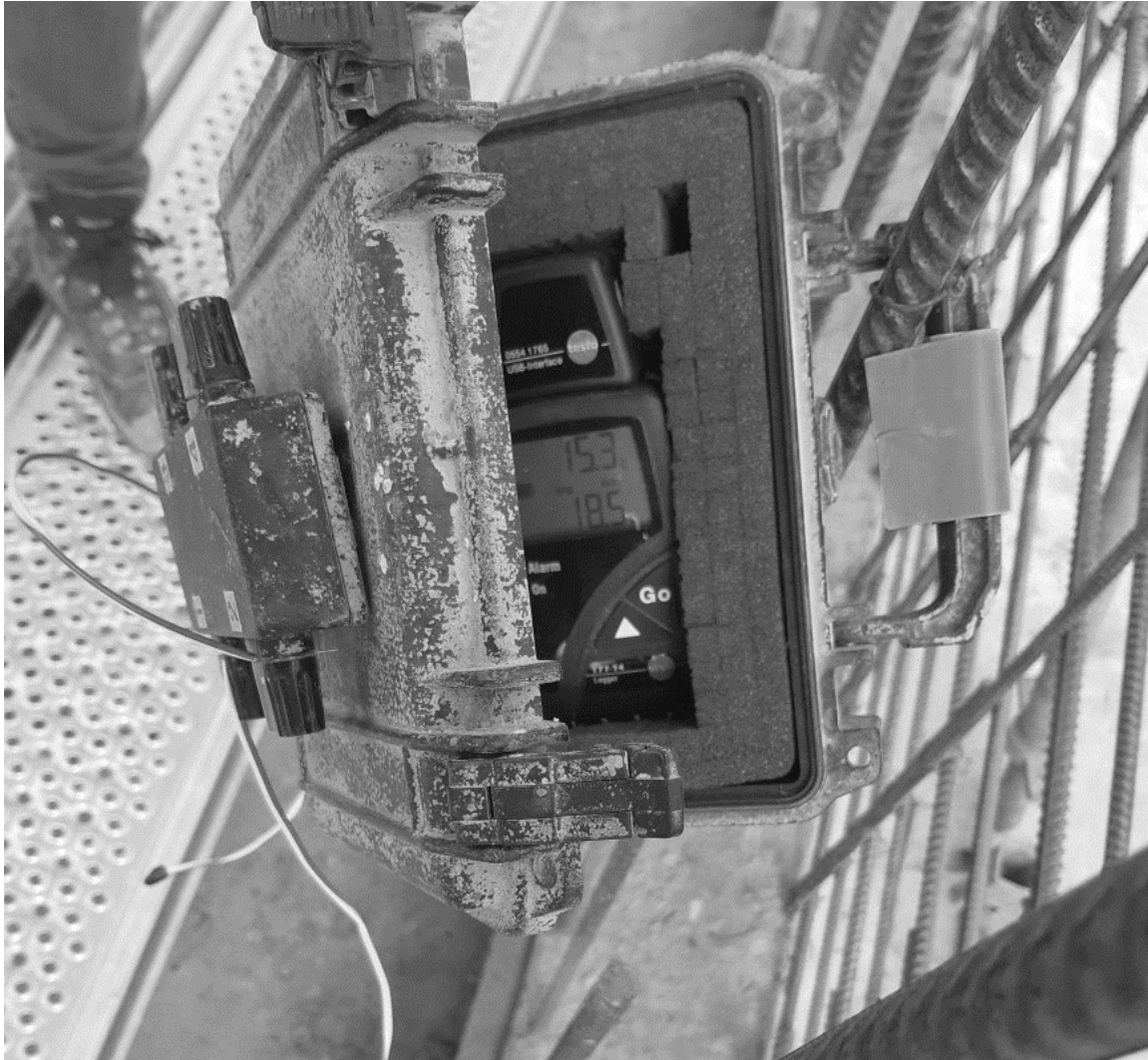
Mängd											
Typ	Nummer	Beskrivning	Tillverkare	Börvärde	Enhet	Vol (m <sup>3</sup> )	k-värde	O-torr (kg/m <sup>3</sup> )	F (%)	Vatten (kg)	Våt (kg/m <sup>3</sup> )
BA	1401	16/22 MAKADAM	Swerock AB	31,00	%	0,203		534		-2,7	531
BA	1303	8/16 MAKADAM	Swerock AB	15,00	%	0,098		258		-1,3	257
BA	1101	0/2 KROSS	Swerock AB	54,00	%	0,353		933		-4,6	928
BA	----	Summa	----			0,654		1725		-8,6	1716
BM	2020	CEM I 42,5 N - SR3 MH/LA ANL SLITE	Cementa AB	430,00	kg	0,134		430			430
VA	3001	KALLVATTEN		170,00	kg	0,166		166		174,1	174
TM	4009	MASTERGLENIUM SKY 558	BASF AB	0,70	%	0,003		3,01		2,0	3,01
TM	4301	MASTRAIR 100	BASF AB	0,17	%	0,001		0,73		0,7	0,73
TM	4409	MASTER SURE 910	BASF AB	0,50	%	0,002		2,15		1,8	2,15

Vatten för VCTekv (kg/m <sup>3</sup> )	Bindemedel för VCTekv (kg/m <sup>3</sup> )	VCTekv	Kompakt densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Bindemedel (kg/m <sup>3</sup> )	Pasta volym (m <sup>3</sup> )	Finmaterial (kg/m <sup>3</sup> )	Extra fin sand (kg/m <sup>3</sup> )	Kloridhalt (%)
170	430	0,40	2326	430	0,304	516	661	0,06

Där samtliga fraktioner i ballasten, BA, var av krossat stenmaterial. Bindemedlet, BM, var ett anläggningscement från Slite och i raden under benämns vattnet som VA. Tre tillsatsmedel, TM, användes i recepten. Flyttillsatsmedel, MasterGlenium Sky 558, som är speciellt framtaget för betong med endast krossat stenmaterial. Ett luftporbildande tillsatsmedel, MasterAir 100, som skyddar betongen mot frostsador och ett konsistensbevarande tillsatsmedel, Master Sure 910 [19].

Mätutrustningen som användes för att registrera temperaturerna i betongen samt lufttemperaturen under gjutningarna var en Testo 177-T4, se figur 25.



*Figur 25. Visar en Testo 177 T4 i en skyddsväska med fyra inkopplingskanaler.*

Till mätutrustningen kopplades ena änden av en termoelementtråd typ K, som består av två ledare, en chromel (nickel-kromlegering) och en Alumel (nickel-aluminiumlegering), [20]. I den andra änden tvinnades trådarna ihop och placerades i konstruktionen. Änden som gjöts in i konstruktionen isolerades för att undvika att den kom i kontakt med armeringsjärn vilket kan påverka temperaturmätningen, se figur 26.

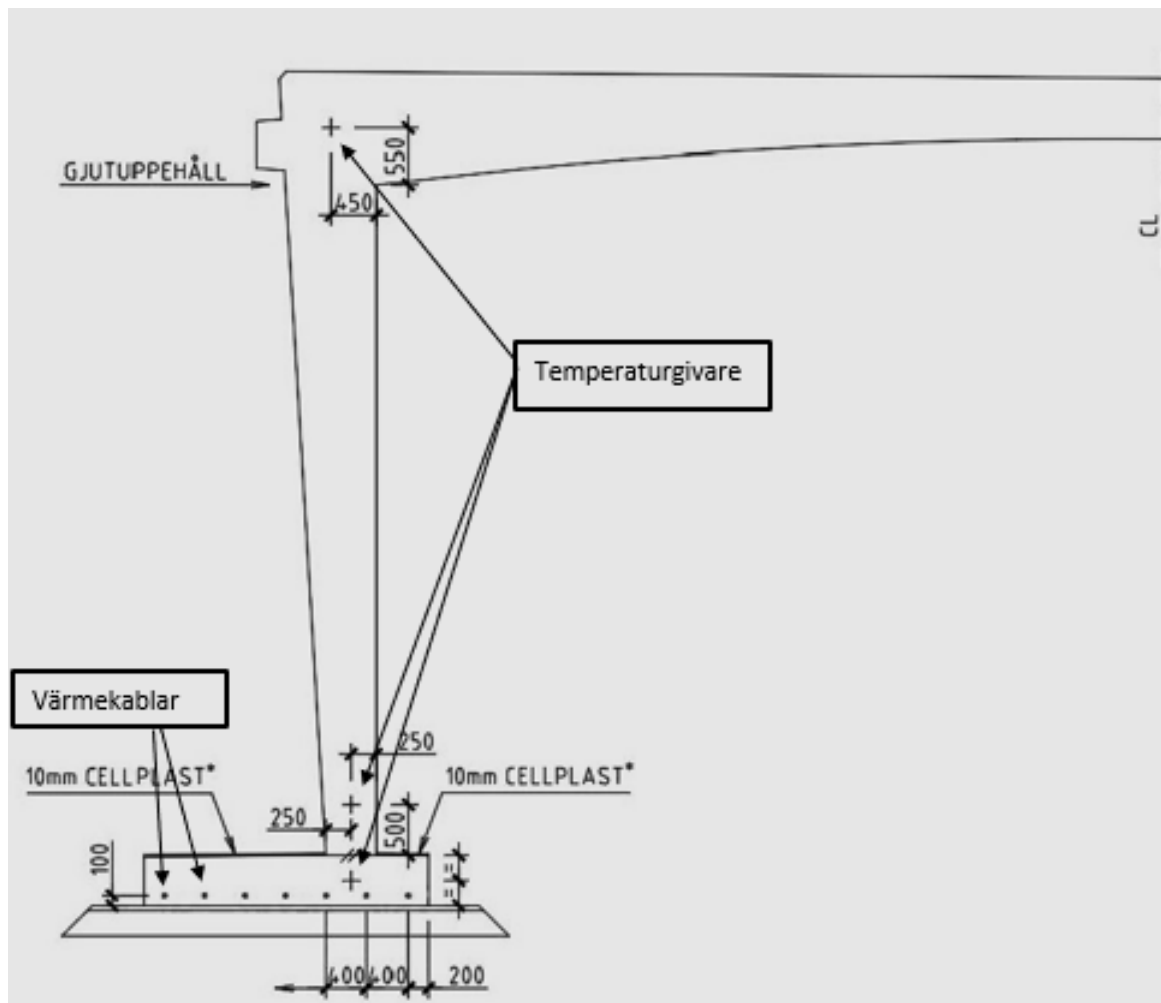




*Figur 26. Visar en temperaturgivare med isolering och infäst i armeringen med buntband.*

Till varje mätutrustning kunde fyra temperaturgivare kopplas in och tidsintervallen för avläsning sattes till var 30e minut. Mätutrustningen startades samtidigt som värmekablarna i bottenplattan aktiverades och stängdes av efter formrivningen.

Placering av temperaturgivarna var liknande på båda gjutetapperna av bro 4, en placerades i bottenplattan under motgjutningsytan, en placerades 500 mm ovanför bottenplattan i mitten av rambenet och en placerades i toppen på rambenet, se figur 27 där temperaturgivarna är markerade som plustecken (+).



Figur 27. Visar placeringen på temperaturgivare och värmekabeln för bro 4. Samtliga måttangivelse är i millimeter.

En temperaturgivare kopplades in i mätutrustningen för att registrera omgivande lufttemperatur. Temperaturgivarna som är placerade i rambenet var placerade där det, enligt ConTeSt Pro beräkningarna, uppstår störst spänning (givaren placerad 500 mm ovanför bottenplattan) och högst temperatur (givaren i toppen av rambenet).

Värmekablar som gjöts in i bottenplattorna hade alla samma effekt, 40 W/m. I samtliga bottenplattor skulle värmekabeln placeras på underkantsarmering med ett centrumavstånd på 400 mm, se figur 27 där värmekabeln är markerad som punkter i bottenplattan.

Tidpunkten för när värmekablarna skulle aktiveras skiljde sig åt för de två gjutetapperna av bro 4 och beroende på dygnsmedeltemperatur. Gemensamt för båda etapperna var att värmekabeln skulle avaktiveras 24 timmar efter avslutad gjutning. Detta för att inte värmekabeln skulle ge motsatt effekt och öka risken för temperatursprickor. Bottenplattorna skulle svalna parallellt med avsvälningen i rambenen för att motverka tvång.



#### 4.4 Beräkningsförutsättningar

I följande avsnitt presenteras det faktiska produktionsförhållandet från de två gjutetapperna på bro 4 samt de faktiska betongtemperaturerna. Detta för att kunna återskapa de faktiska produktionsförhållandena under brogjutningarna i ConTeSt Pro. Lufttemperatur samt vindförhållande från respektive brogjutning presenteras i temperaturdiagram och tabeller på det sätt som de presenteras i ConTeSt Pro beräkningarna. För varje gjutning utgår beräkningarna från att brogjutningen startar vid 200e timmen, detta för att effekten av värmekablarna i bottenplattorna ska kunna ingå i beräkningstiden.

För sprickrisksberäkningarna var det exponeringsklasserna på rambenen som var dimensionerande för spricksäkerhetsfaktorn från tabell 5 i avsnitt 3.6. Enligt arbetsbeskrivningen skulle rambenen gjas med en betong som minst uppfyller C35/45 vct  $\leq 0,4$  och exponeringsklass XD3/XF4. I tabell 5, avsnitt 3.6, ger detta en spricksäkerhet, S, på 1,42 och innebär att sprickrisknivån i betongen inte får överstiga 0,70.

Bro 4 grundlades nere i en schakt och i samråd med konstruktörerna bestämdes att vindhastigheten vid bottenplattorna kunde antas vara 1 m/s istället för den uppmätta vindhastigheten. Även

vindhastigheten mot formytorna diskuteras med konstruktörerna och med hänsyn till hur formarna var uppbyggda ansågs de skydda något mot vinden, se figur 28.

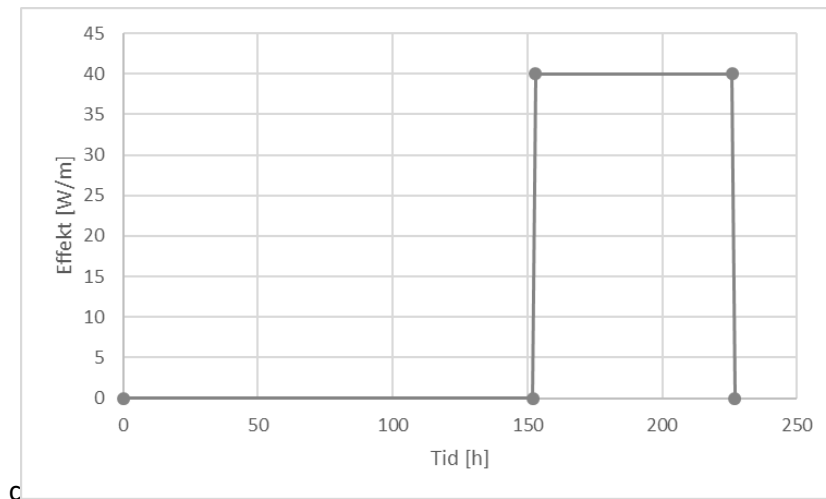


*Figur 28. Visar formen på utsidan av rambenet samt arbetsställningen.*

Formarna var uppbyggda med 120x45 mm spikreglar centrumavstånd 300 mm samt 120x45 mm bindreglar centrumavstånd 800 mm. Därför uppskattades att vindhastigheten mot formytorna var konstant 2 m/s. Vindhastigheten mot den rörliga fronten (betongytan) sattes till 0 m/s tills den nått underkant av valvet då gjutformarna fungerade som ett vindskydd. Först när betongytan nått underkanten av valvet ansågs den bli fullt påverkad av den beräknade medelvindhastigheten.

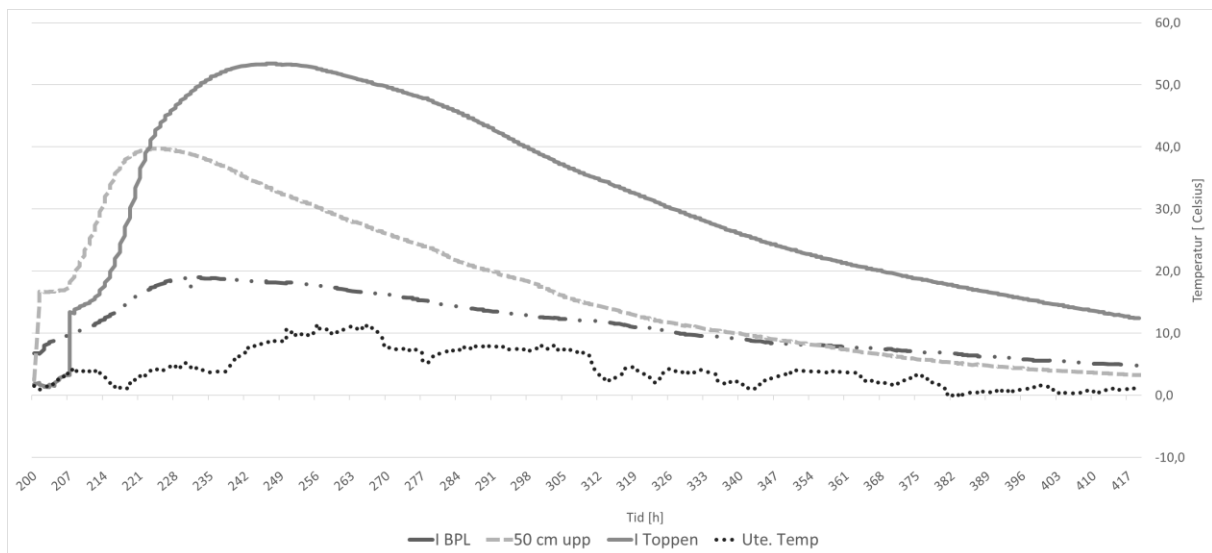
#### 4.4.1 Beräkningsförutsättningar från etapp 1

Värmekablarna aktiverades vid 153 timmen i beräkningen. I samband med att värmekablarna aktiverades sattes även mätutrustningen för temperaturmätning igång. Värmekablarna var aktiva fram till 226 timmen, se figur 29.



Figur 29. Visar tiden som värmekablarna var aktiva samt effekten.

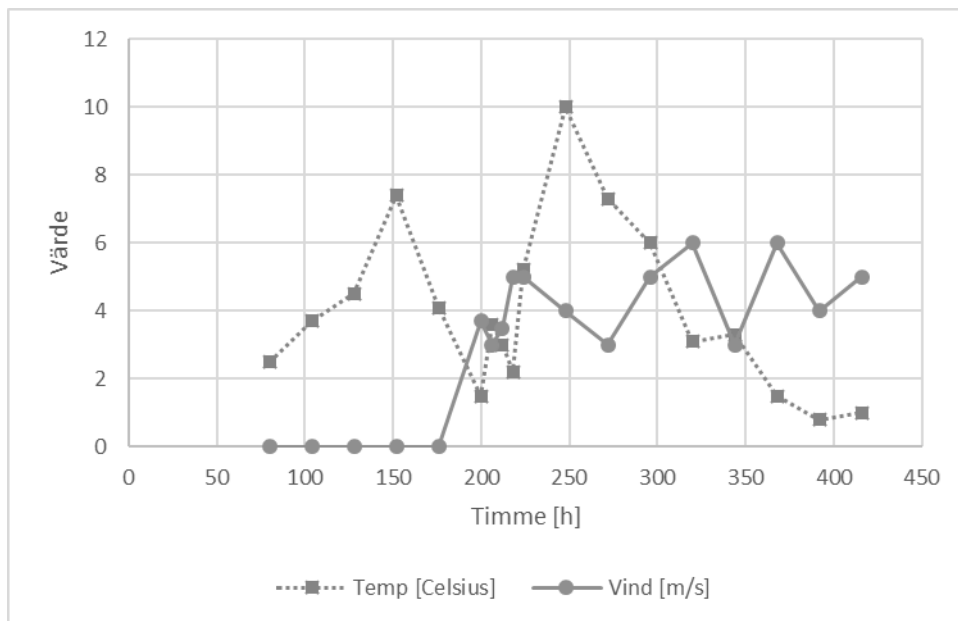
Temperaturmätningarna avslutades efter 420 timmar. Resultaten från temperaturmätningarna redovisas i figur 30.



Figur 30. Uppmätta temperaturer i betongen från etapp 1.

Där streck prick prickad linje (— ··) är temperaturgivaren som är ingjuten i bottenplattan (I BPL), 5 cm under motgjutningsytan. Streckad linjen (— —) är givaren som är 50 cm ovanför bottenplattan (50 cm upp) i centrum av rambenet. Heldragen linje är givaren som är placerad i toppen av rambenet (I Toppen) och prickad linje är givaren som avläser omgivningens lufttemperatur (Ute. Temp).

Mätningarna av utomhustemperaturen sammanställdes i diagram där medeldygnstemperaturen räknades ut för dygnet före och efter gjutning. Under gjutningen beräknades medeltemperatur vad sjätte timme för att få med temperaturskillnaderna under första dygnet, se figur 31.



Figur 31. Visar uträknade dygnsmedelvärden för temperatur samt vind innan och efter gjutningen. Under gjutningen har medelvärden var sjätte timme beräknats.

Gjutningen började klockan 6.00 den 5/12 2018 vilket 200e timmen. Betongtemperaturen mättes på de tre första betongbilarna. Medelvärdet på betongtemperaturerna beräknades och representerade starttemperaturen på ung betong, block 3, i ConTeSt Pro beräkningarna. Även temperaturen på motgjutningsytan mättes samt temperaturen på marken. Temperaturavläsningen från temperaturgivaren i bottenplattan vid gjutstart representerar starttemperaturen på mogen betong,

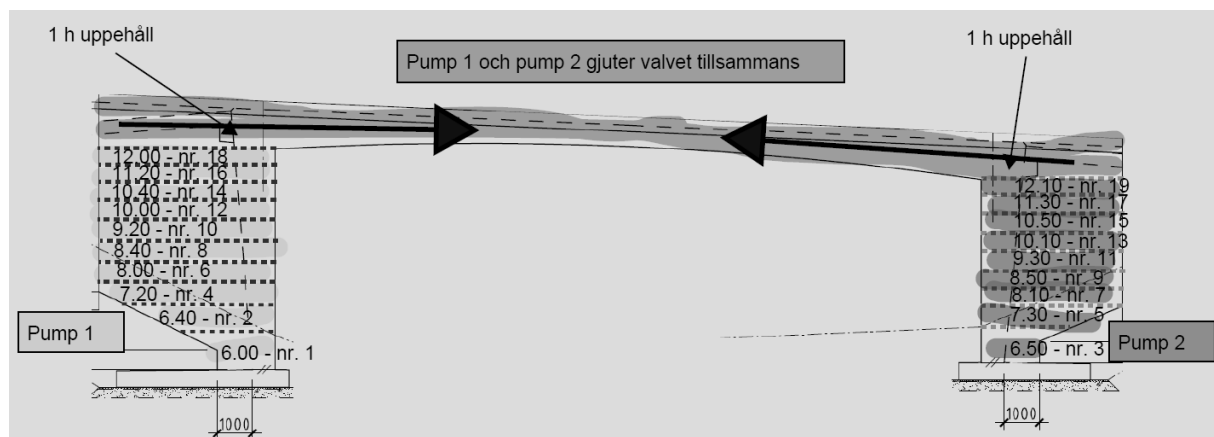
block 2, och starttemperaturen på packad fyllning, block 1, antas vara lika med utomhustemperaturen vid gjutstart, se tabell 8.

Tabell 8. Starttemperaturer på de tre blocken i ConTeSt Pro.

Bro 4 etapp 1, starttemperaturer	
Benämning	Temp [°C]
$T_{\text{mark}}$	1,5
$T_{\text{mot}}$	6,8
$T_{\text{btg}}$	14,3

Under gjutningen av etapp 1 användes två betongpumpbilar som pumpade ut den levererade betongen i rambenen. Anledningen till att använd två betongpumpbilar var att dels effektiviteten och för att få rambenen fyllda samtidigt för att inte riskera oönskade skjuvkrakter på formställningen.

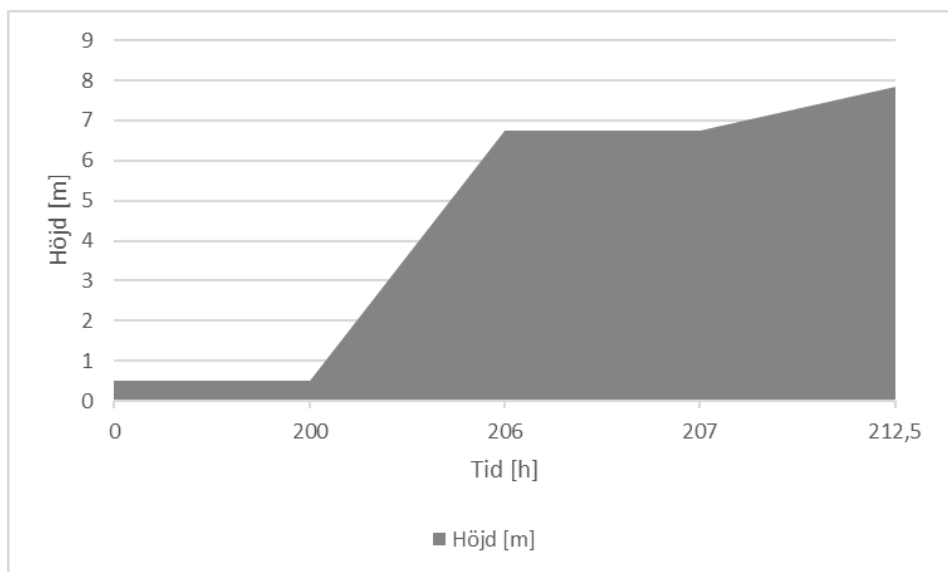
Planering för gjutningen av etapp 1 redovisas i figur 32.



Figur 32. Visar planerad gjutning av etapp 1 på bro 4.

Där betongpumpbil 1 pumpar betong i det vänstra rambenet och betongpumpbil 2 i det högra. Även leveranstiderna för betongbilarna är angivna i respektive ramben. När rambenen var fyllda hölls en timmes paus för att betongen skulle få sätta sig. Därefter fylldes valvet med hjälp av bägge betongpumparna.

Gjutningen startade 6.00 och var klar 18.30 på kvällen, totalt gick det åt 329 m<sup>3</sup> betong i gjutningen som tog 12,5 h. I ConTeSt Pro anges betonghöjden vid bestämda tider och redovisas i figur 33.



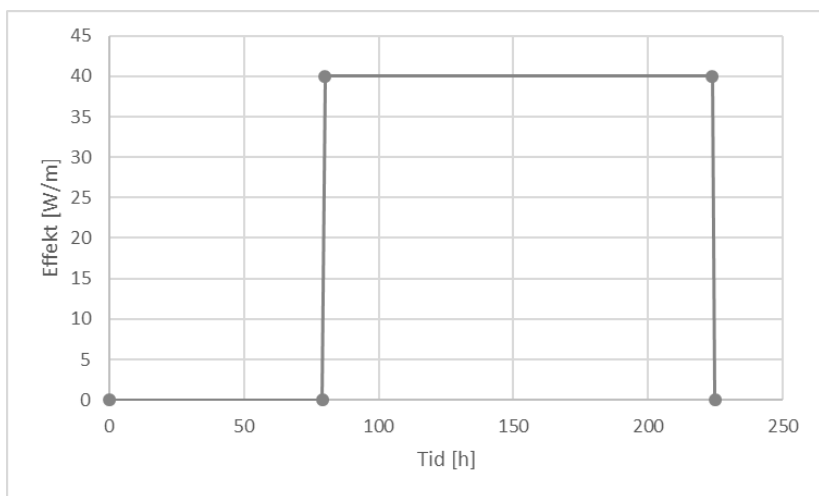
Figur 33. Visar betongens höjd vid bestämda tider.

Efter att gjutningen var avklarad och betongytan på ovasidan av valvet var färdig bearbetad täcktes betongytan med betongmatta samt presenningar.

Formrivningen av etapp 1 påbörjades fem dygn efter gjutning (320 h) vilket var en dag tidigare än vad arbetsbeskrivningen föreskrev. Därför täcktes betongytan med presenningar efter att formarna tagits av för att motverka att betongen svalnade av för fort. Anledningen till den tidigare formrivningen var att formarna till utsidan av rambenen skulle användas som dubblingsform till etapp 2, som först var planerad den 18/12-2018. Formen på insidan och valvformen revs först efter att etapp 2 var gjuten.

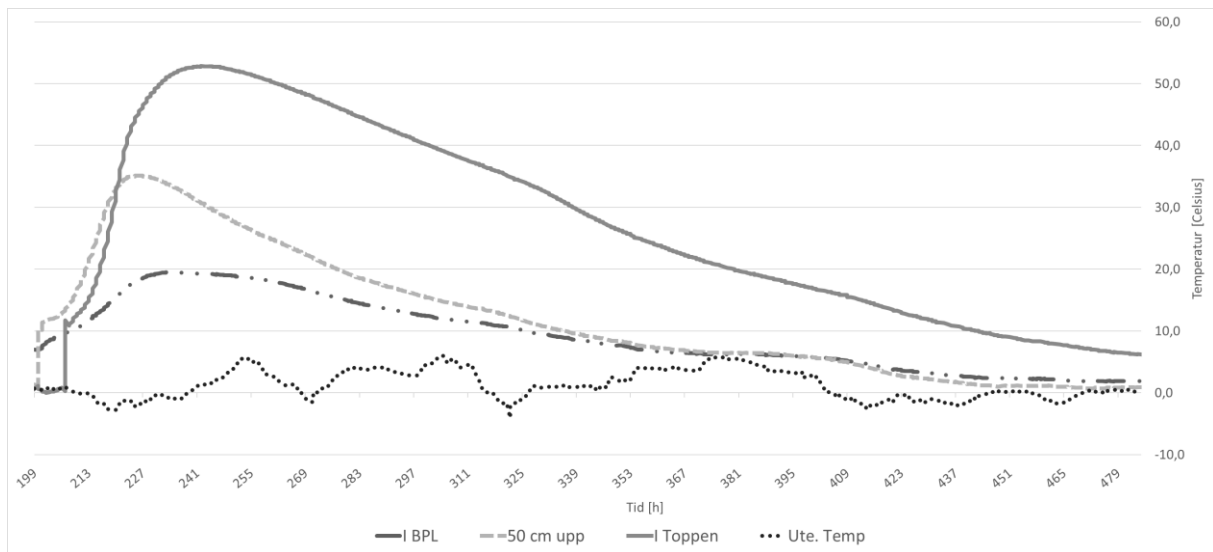
#### 4.4.2 Beräkningsförutsättningar från etapp 2

Inför gjutningen av etapp 2 startades värmekablarna och mätutrustningen för temperaturmätning vid timme 80 i beräkningarna. Värmekablarna avaktiverades sedan vid 224 timmen, se figur 34.



Figur 34. Visar tiden för när värmekabeln var aktiverad samt effekten.

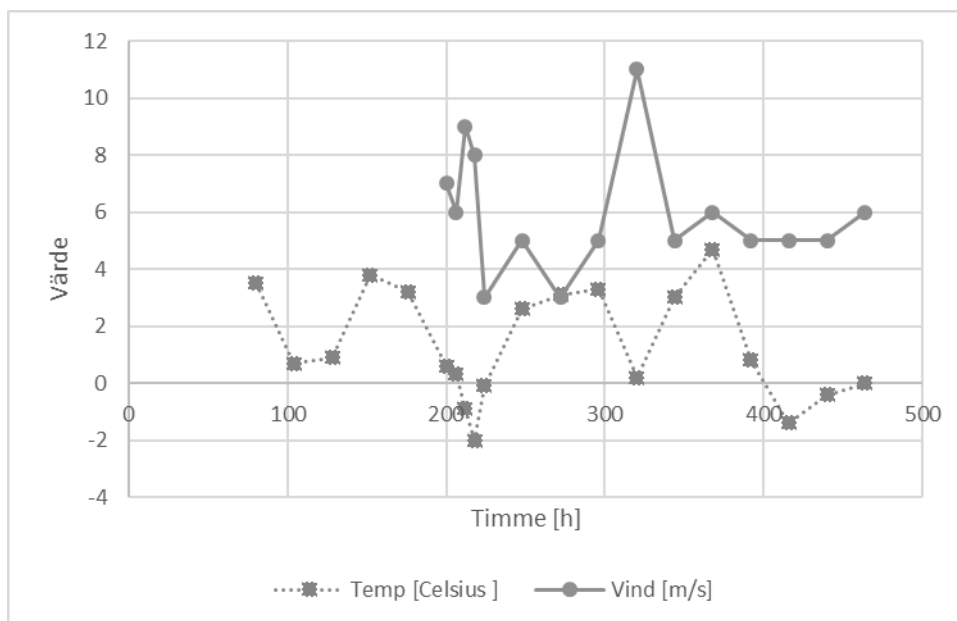
Temperaturmätningarna gjordes fram till 485 timmen och redovisas i figur 35.



Figur 35. Uppmätta temperaturer i betongen från etapp 2.

Där streck prick prickad linjen (— ··) är temperaturgivaren som är injuten i bottenplattan (I BPL), 5 cm under motgjutningsytan. Streckad linjen (— —) är givaren som sitter 50 cm ovanför bottenplattan (50 cm upp) i centrum av rambenet. Den heldragna linjen är givaren som sitter i toppen av rambenet (I Toppen) och den prickade linjen visar omgivningens lufttemperatur (Ute. Temp).

Medelvärden på lufttemperatur samt vindhastighet beräknas som i etapp 1, med dygnsmedelvärden fram till gjutstart och även dygnet efter avslutad gjutning. Under gjutningen gjordes beräkningarna på medelvärdena var sjätte timme, se figur 36.



Figur 36. Visar dygnsmedelvärden för temperatur samt vindhastighet före och efter gjutning. Under gjutningen beräknades medelvärden var sjätte timme.

Medelvärdena beräknas fram till 11 dygn efter gjutdatumet då all gjutform var borttagen.

Brogjutningen påbörjades klockan 5.30 den 9/1 2019 och avslutades 19.30 på kvällen.

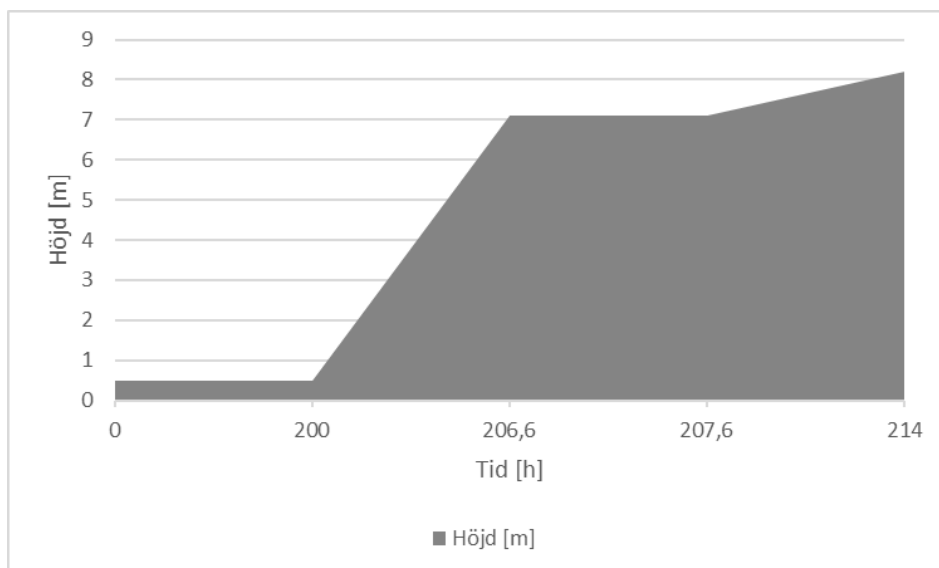
Starttemperaturerna för de tre blocken i ConTeSt Pro beräknades på samma vis som vid gjutningen av etapp 1 och redovisas i tabell 9.

Tabell 9. Starttemperaturer för blocken i ConTeSt Pro.

Bro 4 etapp 2, starttemperaturer	
Benämning	Temp [°C]
$T_{\text{mark}}$	0,6
$T_{\text{mot}}$	6,9
$T_{\text{btg}}$	12,8

Gjutningen av etapp 2 utfördes på samma sätt som för etapp 1, med två betongpumpar som gjöt upp varsitt ramben och med ett uppehåll i gjutningen innan valvet påbörjades. Gjutningsarbetet pågick i 14 timmar och totalt gick det åt 317 m<sup>3</sup> betong i etapp 2. Stigningen i formen redovisas i figur 37.





Figur 37. Gjuthöjden vid bestämda tidpunkter.

Efter att gjutningen var avklarad täcktes betongytan med betongmatta och presenningar. Formrivningen för etapp 2 påbörjades sju dygn efter brogjutningen (368 h), utsidan av rambenen som revs först. Tre dagar senare revs valvformen på hela bron (440 h) och dagen efter revs även insidan av rambenen på hela bron (468 h).

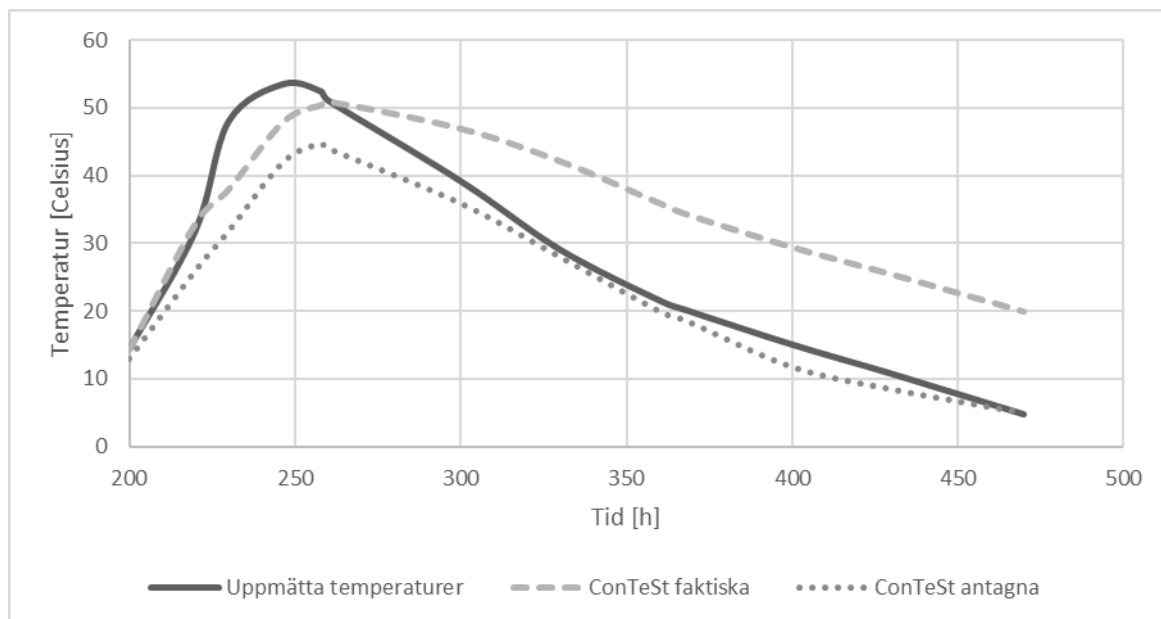


## 5 Resultat

Resultaten från beräkningar redovisas i figurer för båda etapperna. Först med ett diagram som visar betongtemperaturer med tre grafer: en från uppmätta betongtemperaturer, en med betongtemperaturer från ConTeSt Pro beräkningar med faktiska produktionsförhållanden och en med betongtemperaturer från ConTeSt Pro beräkningar med antagna produktionsförhållanden. Därefter visas de två diagrammen som visar sprickrisknivå för betongen, ett diagram från ConTeSt Pro med antagna produktionsförhållanden och ett från ConTeSt Pro beräkningar med faktiska produktionsförhållanden. Sprickrisknivån är kvoten mellan beräknad dragspänning och betongens draghållfasthet för den aktuella tidpunkten.

### 5.1 Bro 4 etapp 1 temperaturdiagram

För att jämföra betongtemperaturerna från de uppmätta temperaturerna med de båda simulerade från ConTeSt Pro beräkningarna med faktiska och antagna produktionsförhållande redovisas dessa tillsammans i ett diagram, se figur 38.



Figur 38. Visar betongtemperaturer från uppmätta temperaturer (heldragen linje), ConTeSt Pro beräkningar med faktiska produktionsförhållanden (streckad linje) och ConTeSt Pro beräkningar med antagna produktionsförhållande (prickad linje).

I figur 38 visas de uppmätta betongtemperaturerna från brogjutningen i den heldragna linjen.

ConTeSt Pro beräknade betongtemperatur med faktiska produktionsförhållanden i streckad linje och den prickade linjen visar betongtemperaturerna från ConTeSt Pro beräkningarna i arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållande.

ConTeSt Pro beräkningarna med faktiska produktionsförhållanden har en varierande väderpåverkan och ConTeSt Pro beräkningarna från arbetsbeskrivningen har konstanta klimatförhållanden.

Gjutformen avviker från den antagna i arbetsbeskrivningen både i formmaterialets tjocklek och tidpunkten för när formarna togs av. Endast insidan av rambenen var formad med 22 mm träform. Utsidan av rambenen var formad med 18 mm träform. Undersidan av valvet var formad med 45 mm träform. Det var endast utsidan av formen som revs under beräkningstiden. Denna form revs redan efter fem dygn och ersattes med presenningar som skulle motverka förhastig nedkylning.

Betongens maxtemperaturer redovisas i tabell 10.

*Tabell 10. Visar maxtemperaturerna från uppmätta betongtemperaturer, från beräkningen med faktiska produktionsförhållanden och från beräkningen med antagna produktionsförhållanden.*

Betongtemperaturer	Bro 4 Etapp 1
	$T_{btg}^{max}$
Uppmätta	53,4
ConTeSt Pro <sub>faktiska</sub>	51
ConTeSt Pro <sub>antagna</sub>	44,7

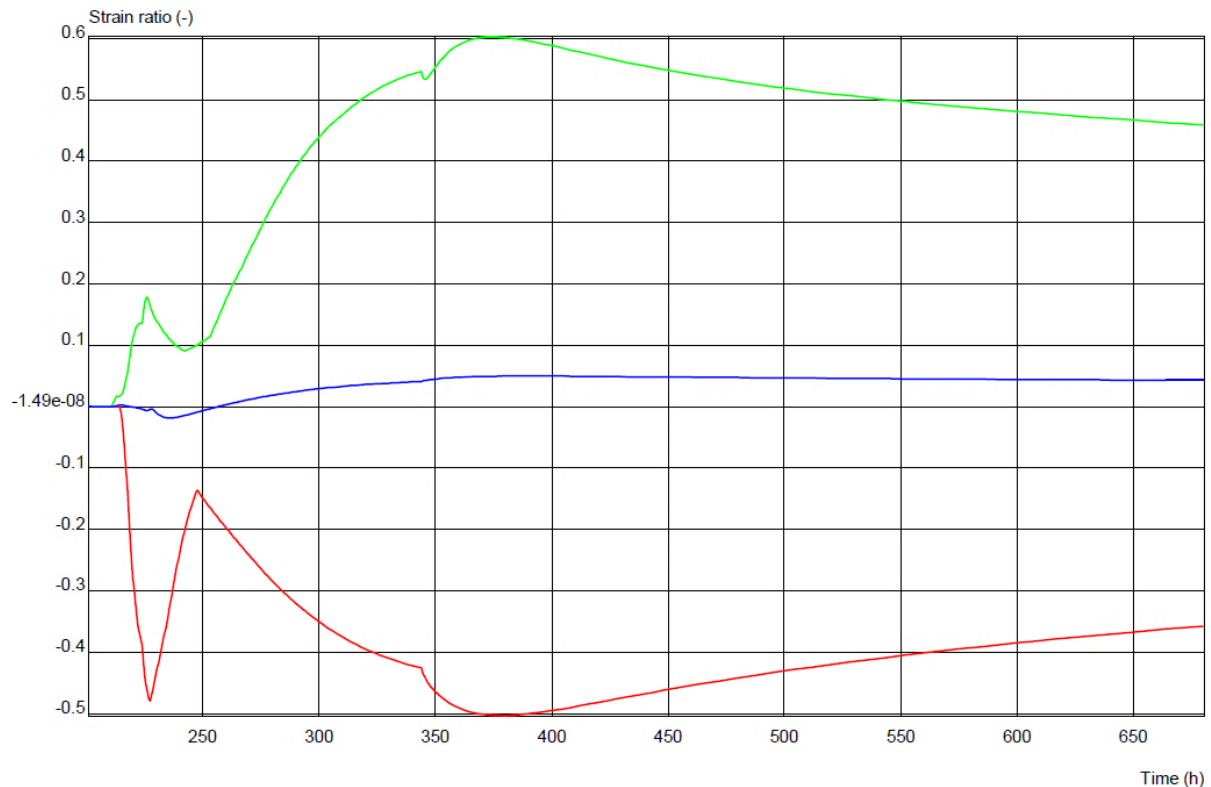
Under den faktiska gjutningen var stighastigheten 1 m/h vid gjutningen av rambenen och 0,2 m/h vid gjutningen av valvet. Detta ger en snitt stighastighet på 0,6 m/h under den faktiska gjutningen, vilket är något snabbare stigning än den antagna i arbetsbeskrivningen.

I arbetsbeskrivningen antogs en konstant väderpåverkan på samtliga ytor med en temperatur på 2°C och en vindhastighet på 5 m/s. Gjutformen var konstant 22 mm tjock träform och togs av sex dygn efter gjutning. Gjuthastigheten antogs till en konstant hastighet på 0,5 m/h.

Starttemperaturerna på de tre blocken, packad fyllning, gammal betong och ung betong skiljer också sig åt från de faktiska temperaturerna. Där starttemperaturerna i arbetsbeskrivningen var satta till 2 °C för marktemperaturen,  $T_{mark}$ , temperaturen på motgjutningsytan,  $T_{mot}$ , var 2 °C och betongtemperaturen,  $T_{btg}$ , var 13 °C. I den faktiska gjutningen var  $T_{mark}$  1,5 °C,  $T_{mot}$  6,8 °C och  $T_{btg}$  14,3 °C.

## 5.2 Bro 4 etapp 1 sprickrisksnivå

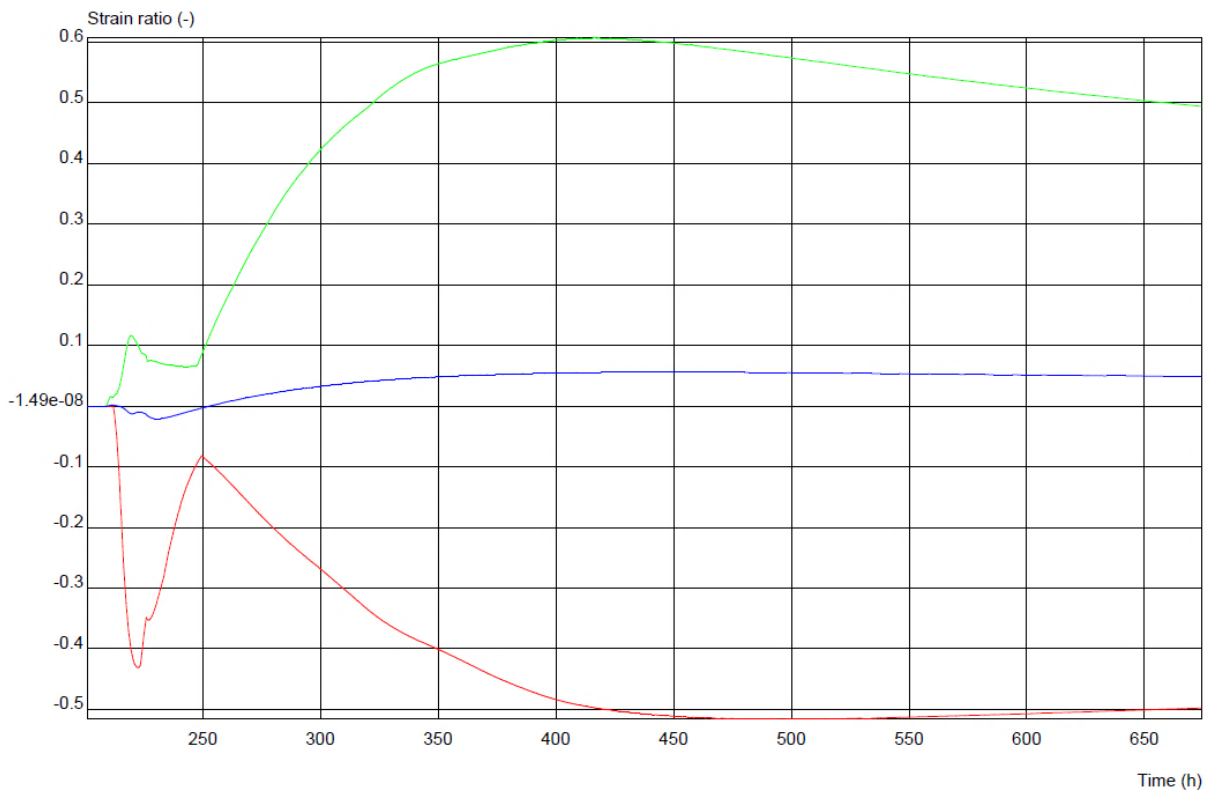
Resultaten från töjningsberäkningarna i arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållanden redovisas i figur 39.



Figur 39. Visar sprickrisksnivån från beräkningen med antaget klimat på etapp 1 gjutningen av bro 4. Maximal sprickrisksnivå (grön linje) är 0,604 vid 380 h. Blå linje visar medelvärdet för spänningarna och röd linje visar minsta spänningen i konstruktionen.

Diagrammet med sprickrisksnivån är baserade på beräkningarna i arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållande. Där grön linje är den maximala spänningen i konstruktionen under härdningen, blå linje är medelvärdet på spänningarna och röd linje är minsta spänningen. Enligt dessa beräkningar sker maximal sprickrisksnivå efter 380 h och beräknas till 0,604. Detta är 180 timmar efter gjutningen och 36 timmar efter att den antagna formrivningen skedde.

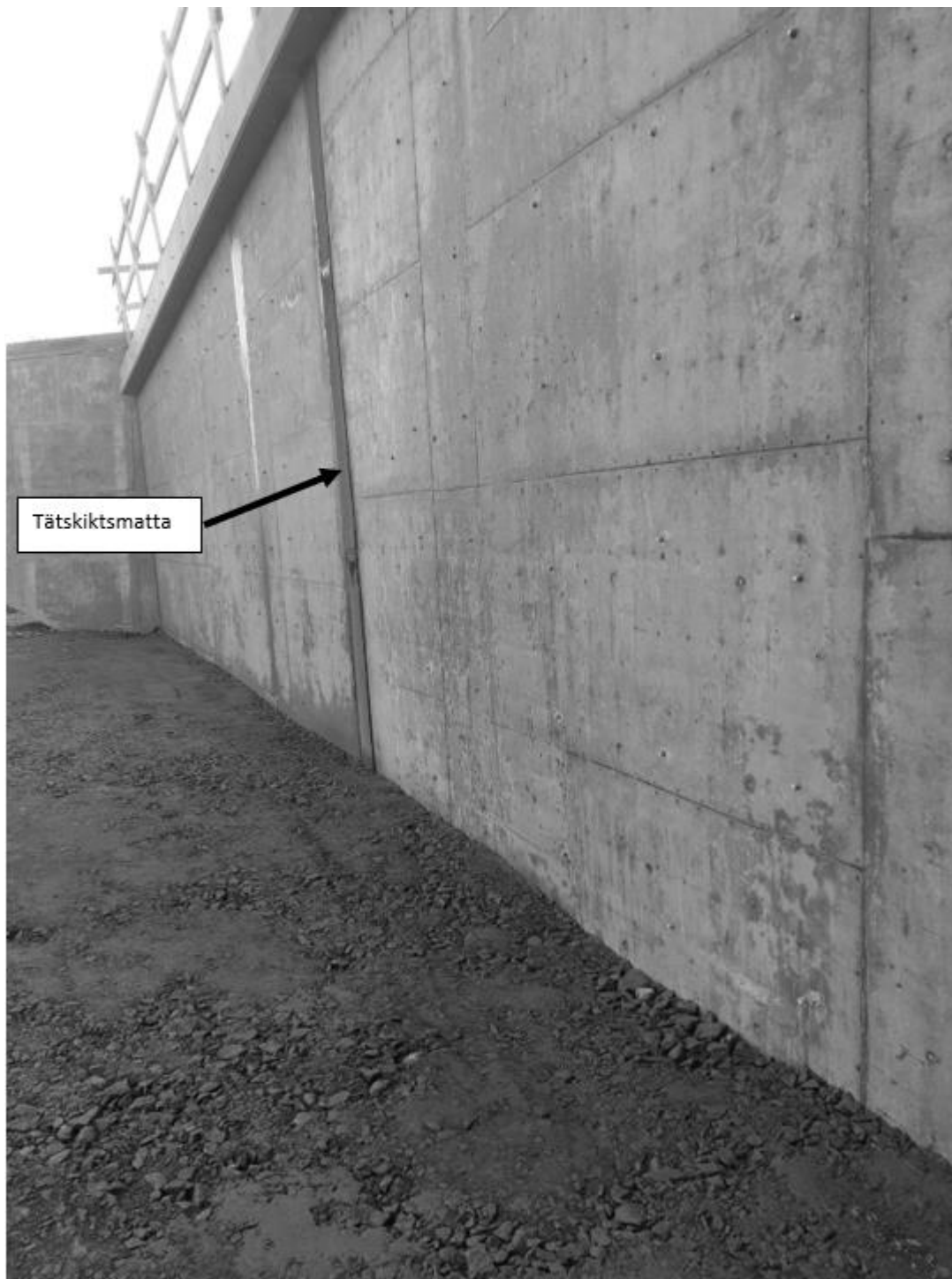
Resultaten från töjningsberäkningarna med faktiska produktionsförhållanden redovisas i figur 40.



Figur 40. Visar sprickrisknivå från beräkningen med faktiska produktionsförhållanden från etapp 1 gjutningen av bro 4. Maximal sprickrisknivå (grön linje) är 0,607 vid 420 h. Blå linje är medelvärdet på spänningarna och röd linje är minsta spänningen i konstruktionen.

Diagrammet visar sprickrisknivån från beräkningarna med de faktiska produktionsförhållandena under betongens härdning. Grön linje visar maximal spänning, blå linje visar medelvärdet på spänningarna och röd linje visar minsta spänningen i konstruktionen. Sprickrisknivån är som störst vid 420 h och beräknades till 0,607, vilket är under maximal tillåten sprickrisknivå på 0,7. Störst sprickrisknivå sker 220 timmar efter gjutningen, vilket är 100 timmar efter att gjutformen på utsidorna av rambenen tagits bort.

Efter att gjutformarna hade avlägsnats gjordes en okulär besiktning av betongytorna för eventuella sprickor, se figur 41.

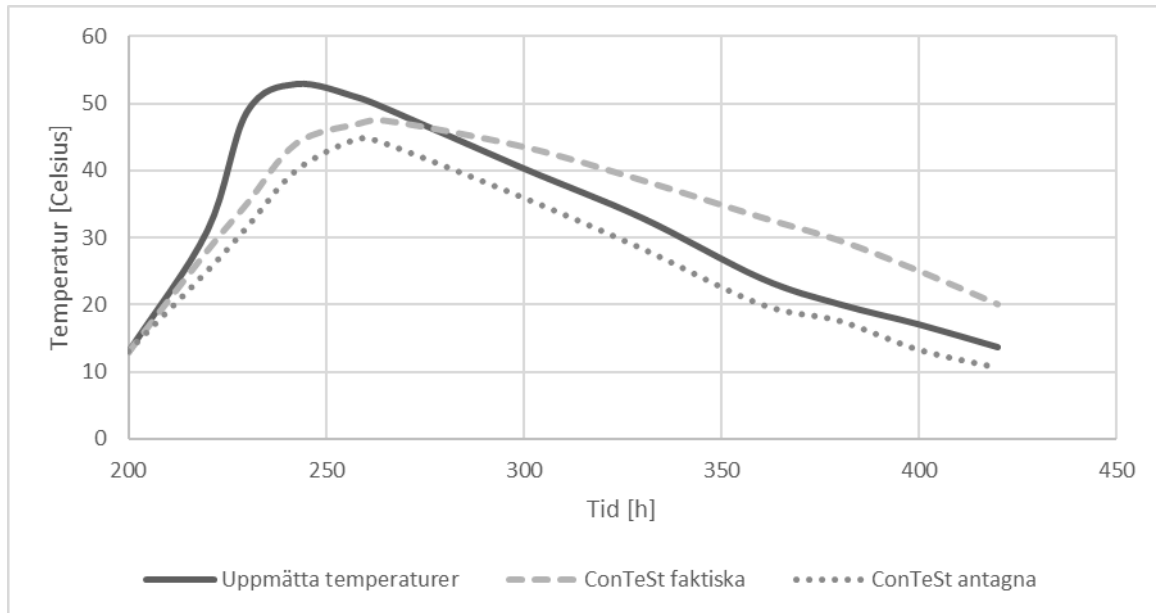


*Figur 41. Visar baksidan av ett ramben där inga synliga sprickor syntes.*

Inga synliga sprickor påträffade under den okulära besiktningen av betongytorna. Gjutskarven mellan etapp 1 och etapp 2 är tätad med en tätskiktsmatta för att förhindra att vatten tränger in i skarven från baksidan som motfylls.

### 5.3 Bro 4 etapp 2 temperaturdiagram

Resultaten från den uppmätta betongtemperaturen samt betongtemperaturen från ConTeSt Pro beräkningen med faktiska produktionsförhållanden och betongtemperaturerna från ConTeSt Pro beräkningen med antagna produktionsförhållanden visas i figur 42.



Figur 42. Visar betongtemperaturer från uppmätta temperaturer (heldragen linje), ConTeSt Pro beräkningar med faktiska produktionsförhållanden (streckad linje) och ConTeSt Pro beräkningar från arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållande (prickad linje).

I figur 42 visas betongtemperaturerna från uppmätta temperaturer som heldragen linje och från beräkningarna med faktiska produktionsförhållanden som streckad linje samt de beräknade med antagna produktionsförhållanden som prickad linje. Formrivningen på utsidorna av rambenen påbörjades sju dygn efter gjutningen. Efter ytterligare tre dygn påbörjades rivningen av valvformen och rivningen av insidorna av rambenen påbörjades ett dygn senare. Täckningen av betongytan på valvet avlägsnades i samband med att formrivningsarbetet på utsidorna av rambenen påbörjades.

I beräkningarna till arbetsbeskrivning användes konstanta klimatförhållanden på, 2°C och 5 m/s. Samtliga formytor var 22 mm tjocka och formen på samtliga ytor avlägsnades efter sju dygn, vid 368 timmen. Maxtemperaturerna presenteras i tabell 11.



Tabell 11. Visar maxtemperaturerna från uppmätta betongtemperaturer, de beräknade betongtemperaturerna från faktiska produktionsförhållanden och de beräknade betongtemperaturerna från antagna produktionsförhållanden.

Betongtemperaturer	Bro 4 Etapp 2
	$T_{btg}^{max}$
Uppmätta	52,9
ConTeSt Pro <sub>faktiska</sub>	47,4
ConTeSt Pro <sub>antagna</sub>	44,7

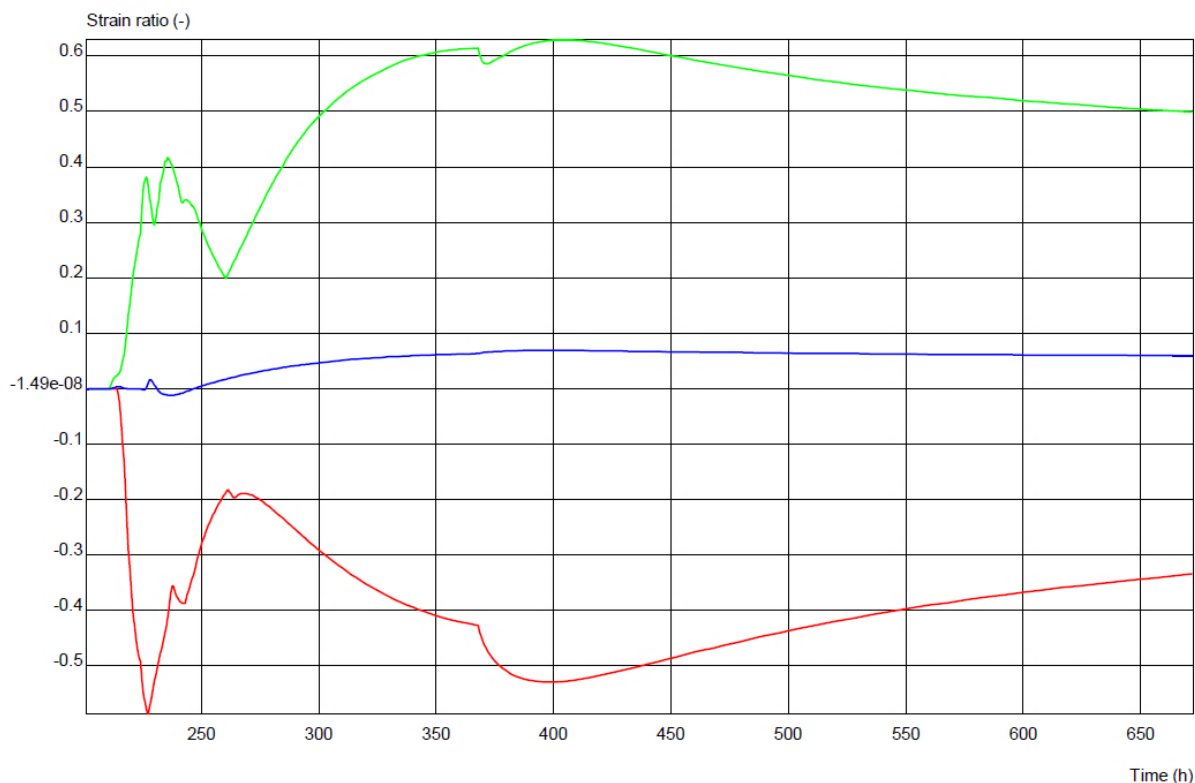
Skillnaden mellan beräkningarna med de faktiska produktionsförhållandena och de antagna produktionsförhållandena är formmaterialet samt tiden då formen avlägsnades. Skillnaderna mellan formmaterialen är samma som i etapp 1.

Gjuthastigheten var antagen till en konstant stighastighet på 0,5 m/h. Under gjutningen var stighastigheten 1 m/h under gjutningen av rambenen och 0,08 m/h vid gjutningen av valvet. Detta ger en snitt stighastighet på 0,55 m/h under den faktiska gjutningen.

Även starttemperaturerna för de tre blocken skiljde sig åt från de antagna i arbetsbeskrivningen. De antagna är samma som i etapp 1,  $T_{mark}$  samt  $T_{mot}$  2 °C och  $T_{btg}$  var 13 °C. I den faktiska gjutningen var  $T_{mark}$  0,6 °C,  $T_{mot}$  6,9 °C och  $T_{btg}$  12,8 °C.

## 5.4 Bro 4 etapp 2 sprickrisknivå

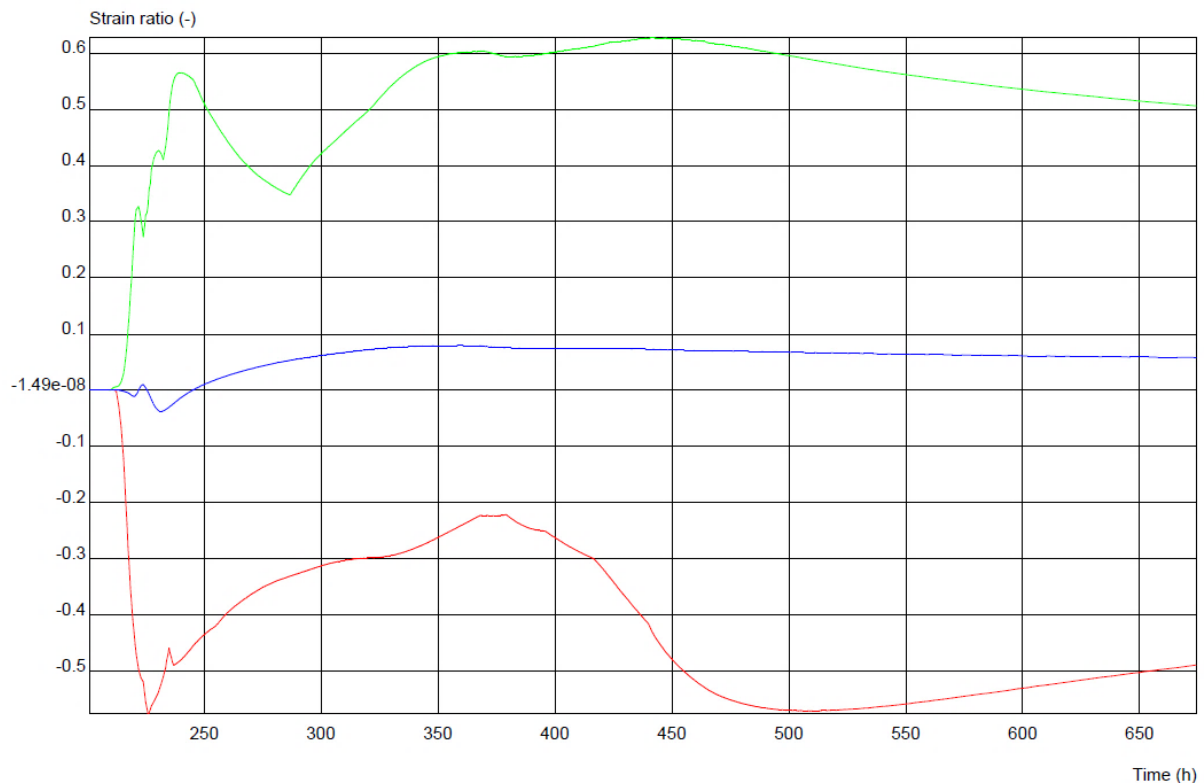
Resultaten på töjningsberäkningarna från arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållande visas i figur 43.



Figur 43. Visar sprickrisknivån från beräkningen med antagna produktionsförhållande från etapp 2 gjutningen av bro 4. Maximal sprickrisknivå (grön linje) är 0,630 vid 400 h. Blå linje är medelvärdet på spänningarna och röd linje är minsta spänningen i konstruktionen

Diagrammet visar sprickrisknivån över tiden från beräkningarna i arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållande. Grön linje visar störst spänningen, blå linje visar medelvärdet för spänningarna och röd linje visar den minsta spänningen i konstruktionen under betongens härdning. Där konstant temperatur och vindhastighet antogs samt formmaterial och utförandet antogs. Enligt figur 43 sker maximal sprickrisknivå vid 400 h och beräknas till 0,630. Det är 32 timmar efter att samtlig gjutform avlägsnats och 200 timmar efter att gjutningen påbörjats.

Resultaten från töjningsberäkningarna med de faktiska produktionsförhållandena från etapp 2 redovisas i figur 44.



Figur 44. Visar sprickrisknivån från beräkningen med faktiska produktionsförhållanden från etapp 2 gjutningen av bro 4. Maximal sprickrisknivå (grön linje) är 0,628 vid 440 h. Blå linje är medelvärdet på spänningarna och röd linje är minsta spänningen i konstruktionen

I diagrammet redovisas spricknivån från beräkningarna med faktiska förhållanden. Där grön linje visar störst spänning, blå linje visar medelvärdet på spänningarna och röd linje visar minsta spänningen i konstruktionen. Enligt beräkningen med de faktiska produktionsförhållandena är sprickrisknivån som högst vid 440 h, det är 240 timmar efter påbörjad gjutning och 72 timmar efter att formrivningen på utsidorna av rambenen påbörjas vid 368 h. Den största sprickrisknivån beräknas till 0,628 och är alltså under den maximala tillåtna sprickrisknivån på 0,7.

Efter att gjutformarna var avlägsnade gjordes en okulär besiktning av betongytorna för att se eventuella sprickor, se figur 45.



*Figur 45. Visar insidan av ramben där inga synliga sprickor syntes.*

Inga synliga sprickor upptäcktes på betongytorna. I figur 45 är gjutskarven mellan bottenplattan och ramben täckt med en tätskiktsmatta för att förhindra att vatten med vägsalter ska kunna tränga till armering via gjutskarven.

## 6 Diskussion

I detta avsnitt analyseras resultaten från ConTeSt Pro beräkningarna från gjutningarna. I återkopplingsberäkningarna har den faktiska gjutningen återskapats för att ge ett "faktiskt" resultat på sprickrisknivån i konstruktionen. Detta för att jämföra resultaten med beräkningarna från arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållanden.

De förebyggande åtgärderna från arbetsbeskrivningen följs väl. Det som skiljer är formmaterialet och formrivningstiderna. Trots detta visar beräkningarna med faktiska produktionsförhållanden liknande resultat i töjningsdiagrammen som beräkningarna i arbetsbeskrivningen med antagna produktionsförhållanden. Detta tyder på att det finns en viss säkerhetsmarginal för förändringar i utförandet och väderlek utan att sprickrisknivå ökar nämnvärt i konstruktionen.

För båda gjutetapperna av bro 4 är det enligt beräkningarna störst sprickrisknivå efter formrivningen. Alltså de töjningar som uppkommer när betongen svalnar och kontraherar.

Töjningsberäkningarna i ConTeSt Pro baseras på simulerade betongtemperaturer utifrån det angivna produktionsförhållandet. Det är avgörande att få de beräknade betongtemperaturerna i ConTeSt Pro att överensstämma med de uppmätta betongtemperaturerna för att spänningsberäkningarna ska bli korrekta.

De uppmätta betongtemperaturerna från brogjutningarna och de beräknade betongtemperaturerna från ConTeSt Pro överensstämmer inte. Huvudsakligen skiljer sig både uppnådd maxtemperatur och tidpunkten när den inträffar samt avsvalningshastigheten efteråt. Därför blir spänningsberäkningarna i återkopplingarna från brogjutningarna inte enligt de faktiska betongtemperaturerna.

### 6.1 Analys av betongtemperaturerna

I båda gjutningarna mäts en högre maxtemperatur än den beräknade maxtemperaturen från ConTeSt Pro, se tabell 12. I kolumnen "Betongtemperaturer" motsvaras "Uppmätta" av den faktiska maxtemperaturen på betongen från gjutningarna, "ConTeSt Pro<sub>faktiska</sub>" motsvarar den beräknade maxtemperaturen på betongen med dokumenterat klimat och utförande från fältstudien. "ConTeSt Pro<sub>antagna</sub>" är maxtemperaturen på betongen med antaget klimat och antaget utförande från arbetsbeskrivningen.

Tabell 12. Visar uppmätt maxtemperaturer på betongen samt de två beräknade maxtemperaturerna i ConTeSt Pro.

Betongtemperaturer	Bro 4 Etapp 1		Bro 4 Etapp 2	
	$T_{btg}^{max}$		$T_{btg}^{max}$	
Uppmätta	53,4		52,9	
ConTeSt Pro <sub>faktiska</sub>	51		47,4	
ConTeSt Pro <sub>antagna</sub>	44,7		44,7	

Maxtemperaturen som uppmätts i fält är 8,7 °C större i Etapp 1 än den beräknade maxtemperaturen från arbetsbeskrivningen. När betongen har en högre maxtemperatur än den beräknade ökar risken för tidiga temperatursprickor då temperaturskillnaden mellan konstruktionens inre och yttre blir större. Det innebär att betongkonstruktionen utsattes för högre sprickrisnivå än vad beräkningarna visar. Men trots detta uppmärksammas inga sprickor vid inspektionen av betongytorna. Ytsprickor som uppkommer i ett tidigt skede kan slutas när betongen svalnar av och kontraherar.

Värmeutvecklingen i betong påverkas av omgivningens temperatur och betongens starttemperatur. I tabell 13 visas de uppmätta starttemperaturer på betongen och lufttemperaturen från båda gjutetapperna, under "Faktiska", och de antagna starttemperaturerna, under "Antagna", från arbetsbeskrivningarna.

Tabell 13. Visar starttemperaturer från gjutningarna och de antagna från arbetsbeskrivningen.

Starttemperaturer	Bro 4 Etapp 1		Bro 4 Etapp 2	
	Faktiska	Antagna	Faktiska	Antagna
$T_{ute}$	2,6	2	-0,5	2
$T_{btg}$	14,3	≤13	12,8	≤13

I kolumnen "Starttemperaturer" är  $T_{ute}$  dygnsmedelvärdet av utomhustemperaturen för gjutdagen och  $T_{btg}$  är starttemperaturen för den unga betongen.

Betongtemperaturen mäts efter att betongen har pumpats igenom betongpumpen, för att få med en eventuell temperaturpåverkan från pumpningen. Under vintertid och i synnerhet om betongbilen färdats långt hinner pumprören på betongbilen kylas ned under färden till arbetsplatsen. Detta medför att den första betongen som pumpas igenom pumpbilen kyls ner av de kalla pumprören och temperaturen på betongen blir lägre. Detta kan ha lett till att den beräknade medeltemperaturen på

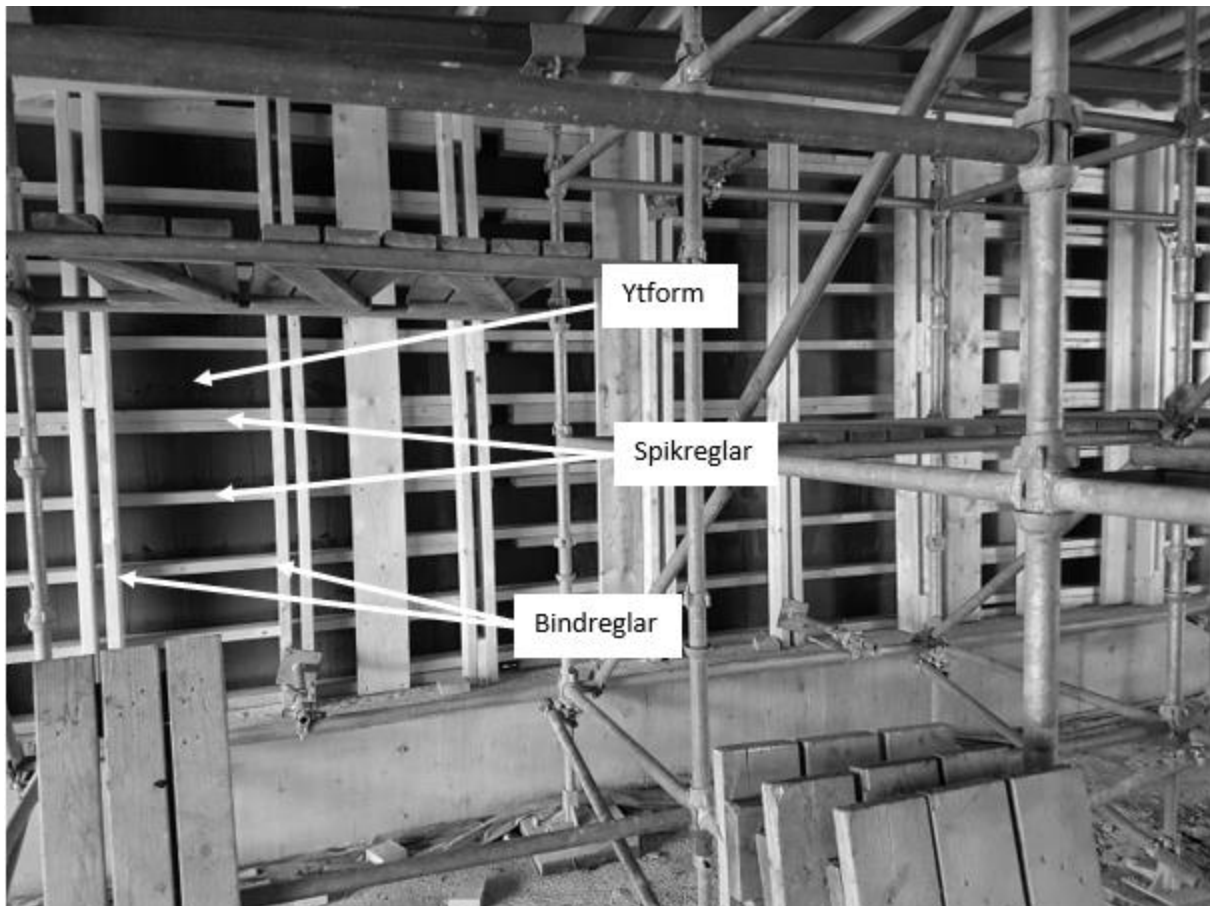
betongen fått en lägre temperatur än den faktiskt hade och starttemperaturerna på betongen som angetts i ConTeSt Pro beräkningarna varit för låg. Vilket skulle kunna vara en förklaring till att betongtemperaturerna i ConTeSt Pro beräkningarna blivit lägre än de uppmätta betongtemperaturerna.

Detta kan ha medfört att starttemperaturen på betongen var något högre än den som använts i beräkningarna. Eftersom medeltemperaturen av betongen beräknades på de tre första betongbilarna så kan den uppmätta temperaturen från den första betongbilen sänkt den beräknade medeltemperaturen, då den vara nedkyld av i pumprören.

Avsvalningen av de faktiska betongtemperaturerna från både etapp 1 och etapp 2 sker snabbare än i de simulerade betongtemperaturerna från beräkningarna i ConTeSt Pro. Detta borde resultera i högre töjningar i den faktiska gjutningen då betongen kontraherar snabbare än i beräkningarna. Vilket borde resultera i en högre sprickrisknivå än resultaten från ConTeSt Pro beräkningarna, då töjningarna är baserade på den beräknade betongtemperaturen. Trots detta uppkommer det inga synliga sprickor i betongkonstruktionen.

En förklaring till att avsvalningen går snabbare i verkligheten jämfört med i beräkningarna kan bero på att formen i verkligheten är annorlunda utformad jämfört med i beräkningen. I beräkningen inkluderas endast ytformen 18 mm formplywood. Formarna var i verkligheten uppbyggda av 18 mm formplywood, 45x120 mm spikreglar, centrumavstånd 300 mm och 45x120 mm bindreglar, centrumavstånd 800 mm, se figur 46.





Figur 46. Visar gjutformarnas uppbyggnad med formplywood som ytform, därefter horisontella spikreglar med centrumavstånd 300 mm och slutligen vertikala dubbla bindreglar på centrumavstånd 800 mm.

Både spikreglarna och bindreglarna fungerar som kylflänsar om temperaturen i omgivningen är lägre än i konstruktionen. Detta skulle kunna påverka avsvälningen hos konstruktionen.

Avsvälningshastigheten på bro 4 etapp 1 går fortare än för etapp 2 och en förklaring till detta kan vara att gjutformen på utsidan av rambenen revs redan efter fem dygn. När formen på utsidorna av rambenen var riven ersattes den med presenningar för att skydda mot för snabb nedkylning av betongytan. Detta var antagligen inte en tillräcklig åtgärd för att hindra nedkylningen av rambenen.

Fukt från nederbörd eller kondens kan även ha haft en påverkan på avsvälningen från de uppmätta betongtemperaturerna och har inte behandlats i beräkningarna.



## 7 Slutsats

ConTeSt Pro är ett beräkningsprogram som simulerar betongtemperaturer och töjningar i betongkonstruktioner. Programmet används för att utvärdera olika åtgärder för att minimera sprickrisker, i antagna produktionsförhållanden.

De faktiska betongtemperaturerna visar att betongen sannolikt utsatts för större sprickrisknivåer än vad beräkningarna visar. Men trots detta upptäcks inga synliga sprickor på konstruktionen, vilket indikerar på att de förebyggande åtgärderna varit tillräckliga och att det finns säkerhetsmarginaler i beräkningsprogrammet.

Frågeställningen besvaras här med hänsyn till vad som redovisats ovan:

1. Hur skiljer sig resultaten från beräkningar med antagna produktionsförhållanden mellan de beräkningarna med faktiskt produktionsförhållanden i ConTeSt Pro?

Den stora skillnaden är betongens temperaturutveckling, maxtemperatur och avsvlningshastighet i beräkningarna. I synnerhet hur snabbt betongen svalnar av. Skillnaden i hur snabbt betongen avsvlnar anses bero på när formrivningen sker samt att gjutformarna värmeledningsförmåga underskattats då spikreglarna fungerat som kylflänsar.

I beräkningarna med antagna produktionsförhållandena tas all form av samtidigt och kan vara en orsak till att betongen svalnar snabbare än i beräkningarna med faktiska produktionsförhållanden.

2. Hur tillförlitliga är sprickriskberäkningarna med antagna produktionsförhållanden och återkopplingsberäkningarna från ConTeSt Pro?

Att förutspå klimatförhållandena inför planerade gjutningar är svårt. Konstruktören kan med fördel göra fler beräkningar vid olika klimatförhållanden och på så vis gardera sig. Entreprenören måste anta en dygnsmedeltemperatur vid gjutningen i förväg för att starta uppvärmningen av motgjutningskonstruktionen i rätt tid. Detta kan medföra att motgjutningskonstruktionen har en annan starttemperatur än i beräkningarna och påverka betongtemperaturerna som i sin tur påverkar töjningarna.

Trots detta upptäcktes inga synliga sprickor vid den okulära besiktningen av betongkonstruktionen. Detta tyder på att de förebyggande åtgärderna varit tillräckliga och att en viss säkerhetsmarginal finns i beräkningsprogrammet.

## 8 Vidare forskning

Det här examensarbetet har visat att de förebyggande åtgärderna för att minimera temperatursprickor i betongkonstruktionen är nödvändiga. Trots att betongkonstruktionen utsattes för snabbare temperaturutveckling, högre maxtemperaturer och snabbare avsvälning än de beräknade förutsättningarna syntes inga sprickor i konstruktionen. Detta tyder på att det finns en säkerhetsmarginal i beräkningsprogrammet

Dock kan ett mer användarvänligt beräkningsprogram med moderna betongrecept med uppdaterade materialparametrar behöva utvecklas. Detta för att de beräknade betongtemperaturerna ska kunna efterlikna de faktiska betongtemperaturerna, vilket skulle innebära att beräkningarna på sprickrisknivån också skulle kunna stämma med de faktiska.

Även högre driftsäkerhet hade underlättat och varit tidsbesparande. ConTeSt Pro hade en benägenhet att stängas ner under pågående arbete. Vilket kunde resultera i att hela filen blev förstörd och beräkningsarbetet fick göras om.

Vidare forskning på betongrecept där cementprodukter med tillsatsmaterial används är nödvändigt för framtiden. Ett anläggningscement med en andel flygaska finns redan men det hade varit intressant att tillverka ett anläggningscement med slagg. Slagg ger betongen en lägre värmeutveckling och skulle alltså kunna vara gynnsam mot temperatursprickor.

## 9 Terminologi

<b>Arbetsbeskrivning</b>	En beskrivning på vilka åtgärder som ska vidtas för att minimera temperatursprickor. Denna beskrivning baseras på beräkningar från ConTeSt Pro med antagna produktionsförhållanden.
<b>Ballast</b>	En benämning för samtliga stenfraktioner i betongreceptet
<b>Betongbil</b>	En lastbil med en roterande trumma som levererar den färska betongen från betongfabriken till betongpumpbilen.
<b>Betongpumpbil</b>	En benämning på en lastbil utrustad med en pump som tar emot betong från roterbilar och sedan pumpar betongen igenom en mast för att få betongen i gjutformen.
<b>Bindemedel</b>	Material som reagerar med varandra och binder samman ballasten till en fast form.
<b>Bottenplattor</b>	Fundament som bronns ramben står på.
<b>C35/45</b>	Ett uttryck på betongens hållfasthet efter 28 dygn. Där "35" innebär att cylinder tryckhållfastheten ska vara 35 MPa och "45" innebär att kubhållfastheten ska vara 45 MPa.
<b>CEM I</b>	Cementprodukt som innehåller minst 95 % portlandklinker.
<b>CEM II</b>	Cementprodukt som innehåller minst 65 % portlandklinker och resterande del tillsatsmaterial.
<b>Cementgel</b>	Bildas av reaktionerna mellan cement och vatten
<b>ConTeSt Pro</b>	Ett beräkningsprogram som simulerar betongtemperaturer och spänningarna i betongkonstruktioner.
<b>Dubbling</b>	Gjutformen som sitter mot den icke synliga betongytan kallas för dubbling.
<b>Enkling</b>	Gjutformen som sitter mot den synliga betongytan kallas för enkling.
<b>Fackverksbrygga</b>	Är en balk som används för att komprimera och jämna av en horisontell betongyta. Balken glider på överkantsarmeringen med skenor som motsvara tjockleken på betongtäckskitet samtidigt som den vibrerar.
<b>Gjutskarv</b>	En benämning på en planerad skarv mellan mogen och ugn betong, t.ex mellan bottenplatta och ramben.
<b>Gjutsår</b>	En benämning på betongskador som orsakas av att betongen inte blivit tillräckligt komprimerad under gjutning.
<b>Okulär besiktning</b>	En besiktning där defekter/sprickor som går att se med ögat noteras.
<b>Plattramsbro</b>	En brokonstruktion med två separata bottenplattor och två ramben som bär upp ett valv.

<b>Produktionsförhållande</b>	Ett uttryck för de temperatur- och vindpåverkningarna som konstruktionen utsätts för under produktionen samt val av formmaterial och utförande.
<b>Ramben</b>	Är muren som står på bottenplattan och bär upp brovalvet.
<b>Skura</b>	Menas att betongytan bearbetas med roterande rörelser för att göra ytan tät och slät.
<b>Valv</b>	Brodelen som bilda samman rambenen.
<b>Väggstav</b>	Handverktyg som används för att komprimera färsk betong med vibrationer.
<b>Åkglättare</b>	En maskin som är försedd med roterande plattor som bearbetar betongytan och gör den slät och tät.

## Referenser

- [1] Svensk Byggtjänst, AMA Anläggning 17 - Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten, Stockholm, 2017.
- [2] P. G. Burström, Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper, Lund: Studentlitteratur, 2003.
- [3] S. Bernander och M. Emborg, "Temperaturförhållanden och sprickberäkning i grova konstruktioner," i *Betonghandbok - Arbetsutförande*, Kållerød, AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 2012, p. 647.
- [4] Cementa AB, "Bascement Slite - Teknisk Beskrivning," [Online]. Available: [https://www.cementa.se/en/system/files\\_force/assets/document/4b/fc/bascement\\_teknisk\\_beskrivning.pdf?download=1](https://www.cementa.se/en/system/files_force/assets/document/4b/fc/bascement_teknisk_beskrivning.pdf?download=1). [Använd 16 Augusti 2019].
- [5] Cementa AB, "Anläggningscement Slite - Produktblad Anläggningscement Slite," Cementa AB, [Online]. Available: [https://www.cementa.se/system/files\\_force/assets/document/anlaggningscement\\_produkblad\\_slite\\_2017\\_swe.pdf?download=1](https://www.cementa.se/system/files_force/assets/document/anlaggningscement_produkblad_slite_2017_swe.pdf?download=1). [Använd 16 augusti 2018].
- [6] S.-E. Johansson, "Cement," i *Betonghandbok - Material*, Kållerød, AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 2012, pp. 33-54.
- [7] T. Almgren, M. Sköld, T. Rapp, B. Norlén och J. Pyykkö, *Betong- och Armeringsteknik*, Borås/Göteborg: Sveriges Byggindustrier, 2016.
- [8] Cementa AB, "Snabbhårdnande cement - Pruduktblad SH-cement," [Online]. Available: [https://www.cementa.se/system/files\\_force/assets/document/sh-cement\\_produkblad\\_swe.pdf?download=1](https://www.cementa.se/system/files_force/assets/document/sh-cement_produkblad_swe.pdf?download=1). [Använd 16 augusti 2018].
- [9] L. Johansson, "Ballast," i *Betonghandbok - Material*, Kållerød, AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 2012, pp. 69-80.
- [10] C. Ljungkrantz, G. Möller och N. Petersons, "Ung betong," i *Betonghandbok - Material*, Kållerød, AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 2012, pp. 249-250.

- [1 N. Petersons, "Sprickor," i *Betonghandbok - Material*, Kållerød, AB Svensk Byggtjänst och  
1] Cementa AB, 2012, pp. 669-673.
- [1 J.-E. Jonasson, M. Emborg och S. Bernander, "Temperatur, mognadsutveckling och  
2] egenspänningar i ung betong," i *Betonghandbok - Material*, Kållerød, AB Svensk Byggtjänst och  
Cementa AB, 2012, pp. 584-586.
- [1 M. Emborg och S. Bernander, "Temperatur, mognadsutveckling och egenspänningar i ung  
3] betong," i *Betonghandbok - Material*, Kållerød, AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 2012, pp.  
573-586.
- [1 Vägverket, Avdelning för bro och tunnel, "Allmän teknisk beskrivning för broar - BRO94 - 9.  
4] Förteckning," Vägverket, Enheten för statlig väghållning, Borlänge, 1999.
- [1 M. Emborg, S. Bernander, K. Ekerfors, P. Groth och H. Hedlund, "Temperatursprickor i  
5] betongkonstruktioner - Del A, B och C," Luleå Tekniska Universitet, Luleå, 1997.
- [1 JEJMS Concret, "ConTeSt Pro," i *Användarhandbok Bilaga 1-4*, 1999.  
6]
- [1 J.-E. Jonasson, K. Wallin, M. Emborg, A. Gram, I. Saleh, M. Nilsson, M. Larson och H. Hedlund,  
7] "Temperatursprickor i betongkonstruktioner - Del D," Luleå Tekniska Universitet, Luleå, 2001.
- [1 JEJMS Concrete AB, ConTeSt Pro - Användarhandbok, Program för temperatur- och  
8] spänningsberäkning i betong, 1999.
- [1 Master Builders Solutions, "Produkter: Master Builders Solutions," BASF Group, [Online].  
9] Available: <https://www.master-builders-solutions.basf.se/sv-se/products>. [Använd 12 Oktober  
2019].
- [2 Nordtec Instrument AB, "Termoelementtråd," Nordtec, 2019. [Online]. Available:  
0] <https://www.nordtec.se/givare/termoelementtrad>. [Använd 3 Juni 2019].



## Bilagor

### A. Arbetsbeskrivning – Åtgärder för sprickriskbegränsningar



**E22 Sätaröd-Vä, Bro 4**  
**24204 Bro över allmän väg samt GC-väg i Sätaröd**

---

### Arbetsbeskrivning

### Åtgärder för sprickriskbegränsningar

Bottenplattor och ram


Konstbyggnads nr. / Förvaltnings nr.: 11-1051-1

Handlings nr.: 1 K 07 44 22

Denna handling har kontrollerats av Trafikverket. Avvikelser som hindrar att konstruktionen tas i bruk har inte påträffats.

Trafikverkets beteckning: 11-1051-1 nr. 3

TRVAT 2018/2575 2018-10-02

Handläggare: Anna Möller	Projektansvarig: Ola Kristensson
Projektansvarig Malmö 2018-09-12	

#### Revideringshistorik:

Rev	Datum	Beskrivning	Projektansvarig
A1	2018-09-12	Granskning	OK
A	2018-10-04	Godtagen	OK
B1	2018-10-24	Nya gjuttemperaturer	OK
B	2018-11-14	Godtagen TRVAT 2018/3092 2018-11-13	OK

## Innehåll

1	Inledning.....	3
2	Föreskrifter .....	3
2.1	Gällande föreskrifter och handlingar .....	3
2.2	Tillhörande handling .....	3
3	Material .....	3
3.1	Betong .....	3
3.2	Form .....	4
3.3	Isolering.....	4
4	Värmning .....	4
4.1	Värmekablar .....	4
5	Temperatur.....	4
5.1	Lufttemperatur .....	4
5.2	Betongmassans temperatur .....	4
5.3	Temperatur i motgjuten konstruktionsdel .....	4
5.4	Temperaturmätningar – allmänt .....	5
6	Åtgärdsplaner .....	6
6.1	Bottenplatta.....	6
6.2	Ram .....	6
6.3	Härdning .....	7
6.4	Formrivning/isolering/täckning .....	7
6.5	Anmärkingar .....	7
7	Skiss – placering av temperaturgivare .....	8

## 1 Inledning

---

Syftet med denna arbetsbeskrivning är att med utgångspunkt från en spricksäkerhetsanalys fastställa erforderliga åtgärder för att med föreskriven spricksäkerhet begränsa uppkomst av temperatursprickor under betongens härdningsförlopp. För aktuellt objekt tillkommer krav enligt nedanstående.

## 2 Föreskrifter

---

### 2.1 Gällande föreskrifter och handlingar

TDOK 2016:0204 Krav Brobyggande

TK Geo 13 (Krav) TDOK 2013:0667

Beskrivning – Material, utförande och kontroll (BMUK)

Ritningar: 1 44 K 20 21, 1 44 K 20 22

### 2.2 Tillhörande handling

Konstruktionsberäkning – åtgärder för sprickriskbegränsningar.

## 3 Material

---

### 3.1 Betong

Cementhalt  $\leq 430 \text{ kg/m}^3$

Bottenplatta, uk C35/45 vct  $\leq 0,5$ . Exponeringsklass XC2/XF3.

Bottenplatta, ök C35/45 vct  $\leq 0,45$ . Exponeringsklass XD1/XF4.

Ramben, bakkant C35/45 vct  $\leq 0,45$ . Exponeringsklass XD1/XF4.

Ramben, övrigt C35/45 vct  $\leq 0,4$ . Exponeringsklass XD3/XF4.

Valv, uk C35/45 vct  $\leq 0,4$ . Exponeringsklass XD3/XF4.

Valv, övrigt C35/45 vct  $\leq 0,45$ . Exponeringsklass XD1/XF4.

Om högre cementhalt än ovan används så ska Centerlöf & Holmberg kontaktas innan gjutning för eventuell korrigerande åtgärder.

### 3.2 Form

Oisolerad träform 22mm.

Ma p temperatursprickrisk får rivning av form ske tidigast fyra dygn efter gjutning om inget annat anges för specifik byggnadsdel.

### 3.3 Isolering

Täckning av bottenplatta utförs med 10mm cellplast. Täckningsbehovet redovisas under punkt 6.

## 4 Värmning

---

### 4.1 Värmekablar

Ingjutna värmekablar ska ha effekten 40W/m.

Tid för uppvärmning, avstängning och krav på formrivning redovisas under punkt 6.2.

## 5 Temperatur

---

### 5.1 Lufttemperatur

Lufttemperatur ( $T_{luft}$ ) avser luftens dygnsmedeltemperatur.

Denna beskrivning förutsätter en dygnsmedeltemperatur i intervallet  $-3^{\circ}\text{C}$  -  $+17^{\circ}\text{C}$ .

### 5.2 Betongmassans temperatur

Gjuttemperatur ( $T_{gjut}$ ) avser betongens temperatur.

Betongmassans temperatur skall hållas så låg som möjligt, dock ej lägre än  $+10^{\circ}\text{C}$ .

Betongmassans temperatur mäts på de tre första lassen både vid fabrik och arbetsplats. Därefter registreras temperaturen på fabriken, såvida inga ändringar i receptet sker.

### 5.3 Temperatur i motgjuten konstruktionsdel

Vid gjutning förutsätter detta dokument att temperatur i motgjuten konstruktion är lägst lika med dygnslufttemperaturen, dock ej lägre än  $+5^{\circ}\text{C}$ .

#### 5.4 Temperaturmätningar – allmänt

Mätning av temperaturen i betongkonstruktionen utförs med hjälp av ingjutna givare enligt skiss.

Givarnas placering mäts in och dokumenteras.

Avläsning av temperaturgivare placerad i konstruktionen samt mätning av lufttemperatur görs minst 2ggr/dygn fram till minst 2 dygn efter formrivning.

I protokollet ska även anges när gjutningen startas, avslutas samt betongens gjuttemperatur  $T_{gjut}$ .

## 6 Åtgärdsplaner

---

### 6.1 Bottenplatta

Inga extra åtgärder erfordras. Se dock nedan.

Formen ska vara oisolerad och rivas tidigast fyra dygn efter gjutning.

### 6.2 Ram

Bottenplattorna värms upp med ingjutna värmekablar.

Kablarna placeras med c/c 0,4m i underkant enligt skiss.

Temperaturkrav enligt tabell nedan.

För mellanliggande värden godtas linjär interpolering.

Gjutetapp	T <sub>luft</sub>	T <sub>gjut</sub>	T <sub>mark</sub>	Formrivning	Värmning	Täckning
	°C	°C	°C	dygn	dygn	
I	-3	≤13	-3	6*	2+1**	JA***
II	-3	≤13	-3	8	6+1	JA
I	2	≤13	2	6	2+1	-
II	2	≤13	2	7	5+1	JA
I	5	≤15	5	6	2+1	-
II	5	≤15	5	7	2+1	JA
I	12	≤20	12	6	2+1	-
II	12	≤20	12	7	5+1	JA
I	17	≤24	17	6	2+1	-
II	17	≤24	17	7	5+1	JA

\*) Formen rivs tidigast sex dygn efter gjutning.

\*\*) Uppvärmning startar två dygn före gjutning och avslutas ett dygn efter gjutning.

\*\*\*) Bottenplattans ovansida täcks med 10mm cellplast under värmning som rivs i samband med formrivning.

**OBS! KABLARNA MÅSTE SEPARERAS SÅ ATT VÄRMNING EJ SKER UNDER REDAN GJUTEN DEL.**

### 6.3 Härdning

- Konstruktionen härdas enligt BMUK EBE.11.
- Uppvärmning av den nygjutna konstruktionen med byggtork får inte utföras om beräkningsansvarig inte kontaktas för kontrollberäkning.
- För minsta risken för tidiga plastiska sprickor samt för att begränsa tidig krympning orsakad av vattenförlust under gjutningsarbetet är det viktigt att ersätta eventuella vattenförluster så tidigt som möjligt. När överytan nås bör den dimmas fram till en täckning och eftervattning kan utföras.

### 6.4 Formrivning/isolering/täckning

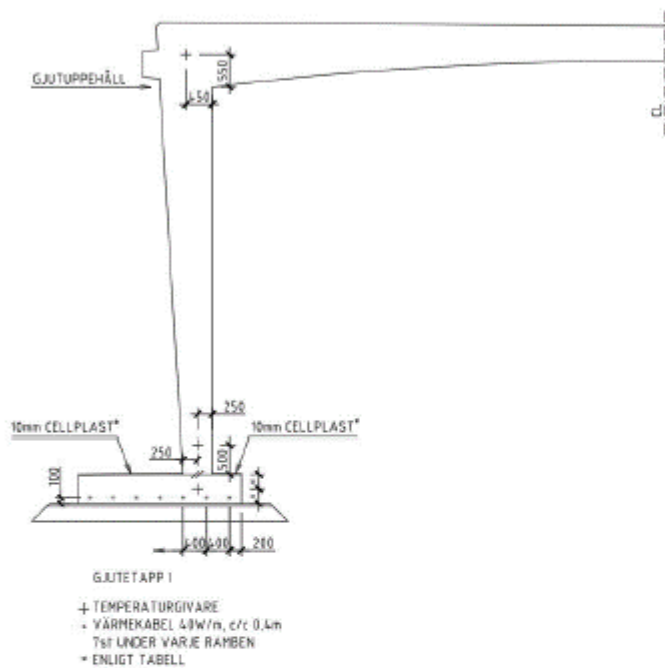
- Vid risk för frysning täcks bottenplattorna med 10mm cellplast.
- Formrivning ska inte ske vid kraftig blåst eller när kraftigt temperaturfall förväntas.
- Om formen kvarsitter längre än minimitiden är detta positivt med avseende på sprickrisk och härdning.

### 6.5 Anmärkningar

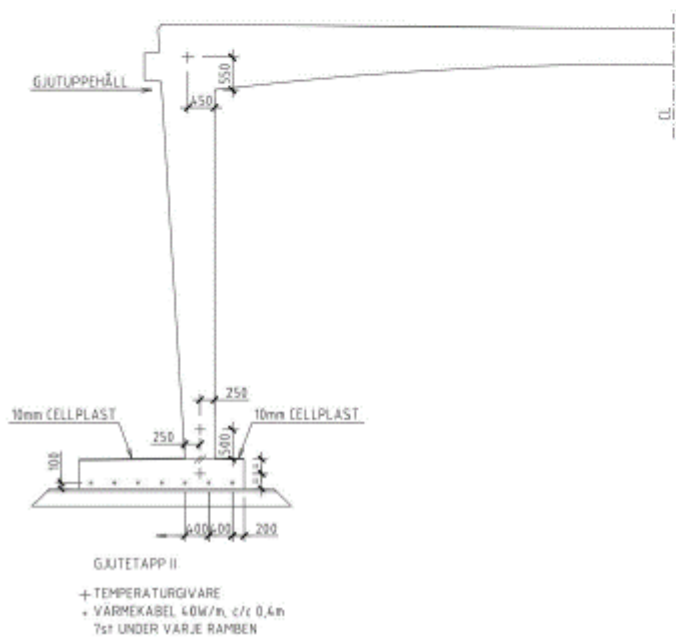
Om kraven på betongens luft- och gjuttemperatur ligger  $\geq 2^{\circ}\text{C}$  utanför angivna intervall så ska Centerlöf & Holmberg kontaktas innan gjutning för eventuell korrigerad åtgärd.

## 7 Skiss – placering av temperaturgivare

EJ I SKALA!



**OBS! KABLARNA MÅSTE SEPARERAS SÅ ATT VÄRMNING EJ SKER UNDER REDAN GJUTEN DEL.**





B. Betongrecept

# SWEROCK

Box 1281, 262 24 ÄNGELHOLM

Fabrik	Recept	Kortbeteckning	Beskrivning
350 Önnestad	16134200	SWEFRYS45	C35/45 Vct0,40 Dmax22/32 S3 Anl Fry

Betongdata							
Betongtyp	Grupp	Kvalitetskontroll	Provålder	Exponeringsklasser			
Standardbetong		Ja	28	0,40 FRYSTEST, XC4, XS3, XD3, XF4, XA2			
Hållfasthetsklass	Mål-fast (MPa)	Hållfasthetsutv.	Lufthalt (%)	Konsistens Klass	Målkonsistens	Kloridklass	Övervakningsklass
C35/45	50,0		4,0	S3	160	0,10	
Skrymden-klass	Målkompaktdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	BA-typ	D-max (mm)	Siktkurvområde	Siktkurvennr	Max-restvatten (%)	
			22		010300	0	
Användning				Egenskaper			
				Anl			
Efterbehandlingstid (dagar)	Bearbetningstid (h)	Min-cement (kg/m <sup>3</sup> )	Min-bindemedel (kg/m <sup>3</sup> )	Max-VCTekv	Betongtemperatur (°C)		
			340	0,40	Min	Max	

Följesedel						
Överv-tecken		ZTV-Ing (tysk standard')	Cement bör(kg/m <sup>3</sup> )	Vct-bör	Följesedeltyp	
Nej	Ja	Nej	Nej	0,40	Utan bör och ärvärden	
Följesedel text						

Doseringsanläggning							
Blandare		Förloppsprogram		Satsstorlek (m <sup>3</sup> )		Blandningstid (s)	
1		1		0		90	
Konsistens				Betongfukt			
Visningstyp	Kalibreringsk	Kontroll	Min	Max	Kontroll	Min	Max
Lineär	1	Nej			Nej		

Mängd											
Typ	Nummer	Beskrivning	Tillverkare	Börvärde	Enhet	Vol (m <sup>3</sup> )	k-värde	O-torr (kg/m <sup>3</sup> )	F (%)	Vatten (kg)	Våt (kg/m <sup>3</sup> )
BA	1401	16/22 MAKADAM	Swerock AB	31,00	%	0,203		534		-2,7	531
BA	1303	8/16 MAKADAM	Swerock AB	15,00	%	0,098		258		-1,3	257
BA	1101	0/2 KROSS	Swerock AB	54,00	%	0,353		933		-4,6	928
BA	----	Summa	----			0,654		1725		-8,6	1718
BM	2020	CEM I 42,5 N - SR3 MH/LA ANL SLITE	Cementa AB	430,00	kg	0,134		430			430
VA	3001	KALLVATTEN		170,00	kg	0,186		186		174,1	174
TM	4009	MASTERGLENIUM SKY 558	BASF AB	0,70	%	0,003		3,01		2,0	3,01
TM	4301	MASTERAIR 100	BASF AB	0,17	%	0,001		0,73		0,7	0,73
TM	4409	MASTER SURE 910	BASF AB	0,50	%	0,002		2,15		1,8	2,15

Vatten för VCTekv (kg/m <sup>3</sup> )	Bindemedel för VCTekv (kg/m <sup>3</sup> )	VCTekv	Kompakt densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Bindemedel (kg/m <sup>3</sup> )	Pasta volym (m <sup>3</sup> )	Finmaterial (kg/m <sup>3</sup> )	Extra fin sand (kg/m <sup>3</sup> )	Kloridhalt (%)
170	430	0,40	2326	430	0,304	516	661	0,06

Signatur \_\_\_\_\_ Provningsschef \_\_\_\_\_  
Önnestadsfabriken

den 6 juli 2018 09:07

Sida 1/1

## Swerock AB

Huvudkontor  
Box 1281  
262 24 ÄNGELHOLM  
Tel: 0101-500 440  
support@swerock.se

Besöksadress  
Valhall Park  
Tunnavägen 35  
Org.nr  
556081-3031

VAT.No.  
SE556081303101  
Innehar F-skattebevis

Plusgiro/OCR  
3 41 53-7  
4838004-4  
Bankgiro  
657-3471

Bank: Nordea  
IBAN: SE 13 9500 0099 8026 0034 1537  
Swift/BIC NDEASESS

C. Beräkningar från ConTeSt Pro med faktiska produktionsförhållanden  
Etapp I

## **Bro4\_etapp1\_hjöder\_vind\_temp\_MB\_VK\_tid**

Report

## Contents

<b>1 Software &amp; Project Information</b>	<b>2</b>
1.1 Software	2
1.2 Project	2
<b>2 Geometry &amp; Time</b>	<b>3</b>
2.1 Description	3
2.1.1 Blocks	3
2.1.2 Inner points	3
2.1.3 Computation time	3
<b>3 Element Size</b>	<b>4</b>
<b>4 Computation Mesh</b>	<b>5</b>
<b>5 Heat Properties</b>	<b>6</b>
5.1 Description	6
5.1.4 Block type list	6
5.1.5 Block connection list	7
5.1.6 Boundary type list	7
5.1.7 Boundary connection list	8
5.1.8 Inner point type list	9
5.1.9 Inner point connection list	9
5.1.10 Simulation of filling process for young concrete	9
<b>6 Plane-Surface Analysis</b>	<b>10</b>
6.1 Description	10
6.1.11 Stress case	10
6.1.12 Block data list	10
6.1.13 Block type list	11
<b>7 Heat Computation Results</b>	<b>12</b>
7.1 Temp diagram	13
7.2 Max temp	14
7.3 Temp vid max strain	15
<b>8 Plane-Surface Computation Results</b>	<b>16</b>
8.1 Strain diagram	17
8.2 Max strain	18

## 1 Software & Project Information

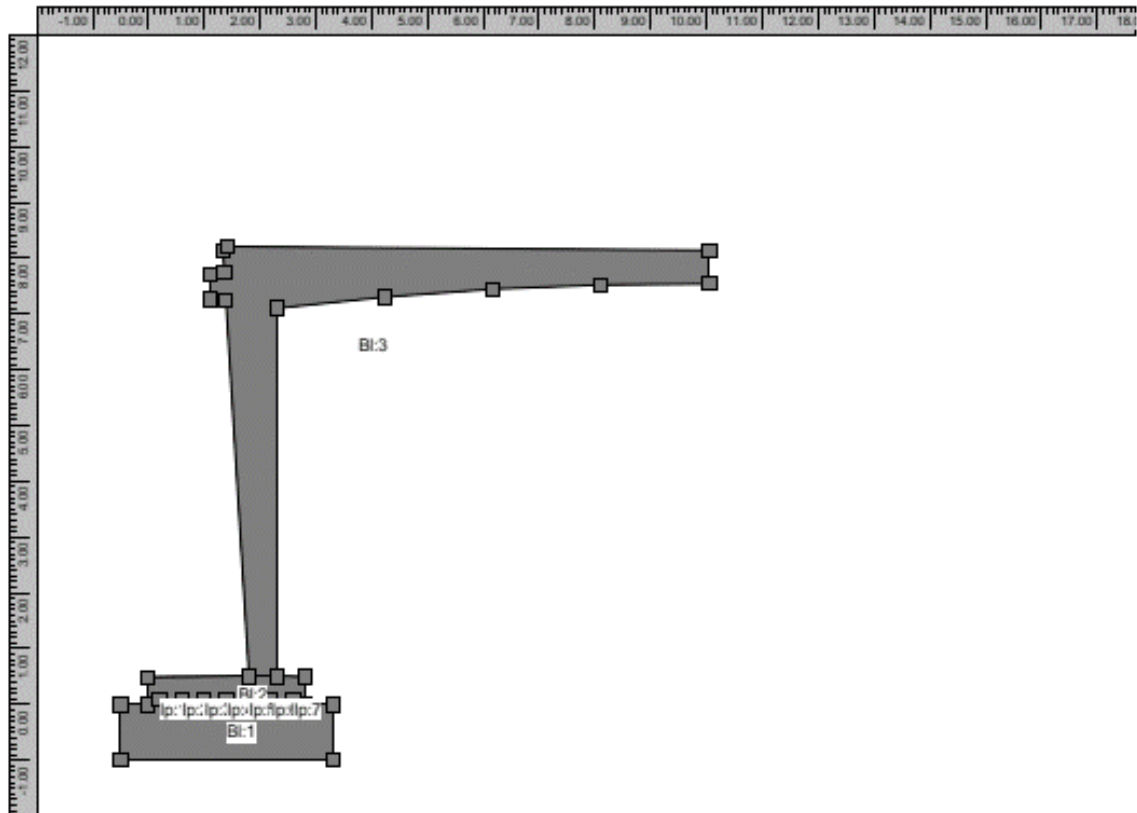
### 1.1 Software

System name: ConTeSt  
System version: 1.4  
Developed by: JEJMS Concrete AB

### 1.2 Project

Original filename: C:\Programs\ConTeSt\Working\Bro4\Ram2\_gjut1.CPR  
Created: 2019.05.03 08.40.19  
Created by: tan on CH74  
Current filename: C:\Programs\ConTeSt\Working\Bro4\Bro4\_etapp1\_hjöder\_vind\_temp\_MB\_VK\_tid.CPR  
Last change: 2019.05.10 09.14.06  
Last change by: tan on CH74

## 2 Geometry & Time



### 2.1 Description

#### 2.1.1 Blocks

Block 1: (-0.500;0.000) - (-0.500;-1.000) - (3.300;-1.000) - (3.300;0.000) - (2.800;0.000) - (0.000;0.000)

Block 2: (2.800;0.000) - (2.800;0.495) - (2.300;0.500) - (1.800;0.500) - (0.000;0.482) - (0.000;0.000)

Block 3: (2.300;0.500) - (2.300;7.100) - (4.232;7.302) - (6.169;7.443) - (8.110;7.521) - (10.052;7.537) - (10.052;8.137) - (1.408;8.207) - (1.337;8.133) - (1.361;7.733) - (1.111;7.713) - (1.111;7.263) - (1.390;7.241) - (1.800;0.500)

#### 2.1.2 Inner points

Inner point 1: Position (0.200;0.082)

Inner point 2: Position (0.600;0.082)

Inner point 3: Position (1.000;0.082)

Inner point 4: Position (1.400;0.082)

Inner point 5: Position (1.800;0.082)

Inner point 6: Position (2.200;0.082)

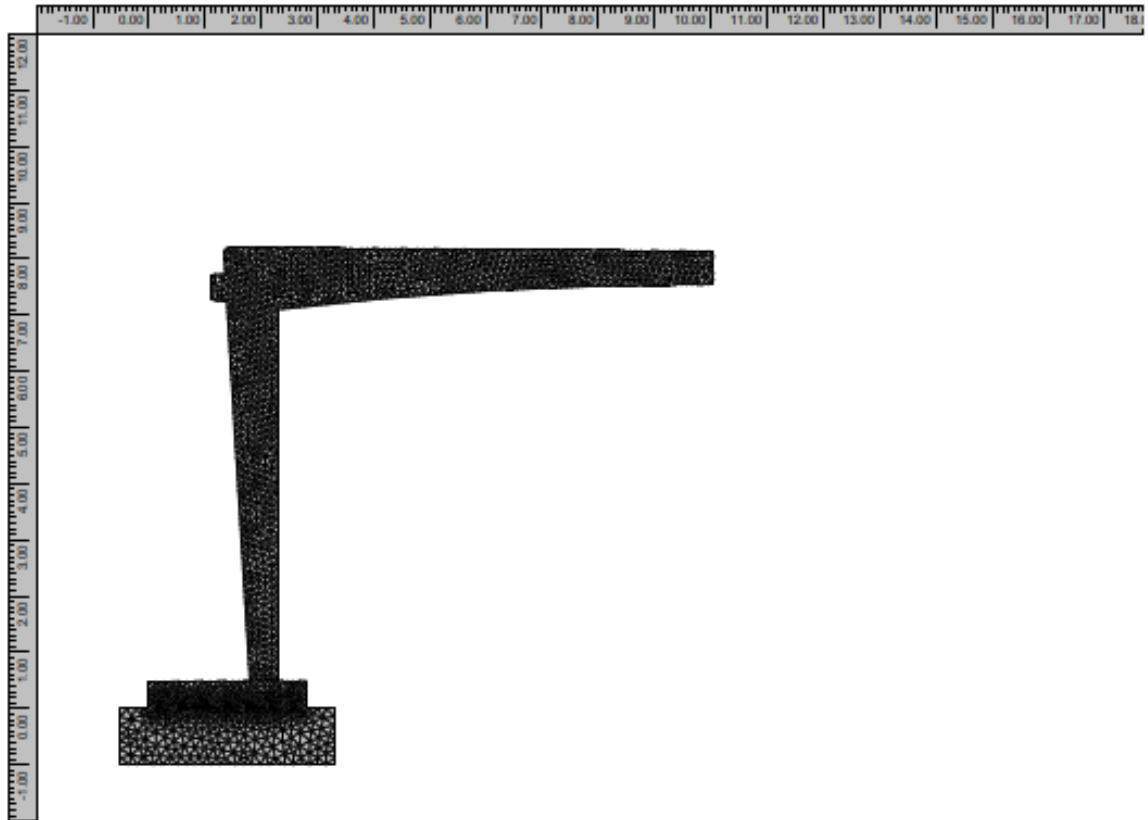
Inner point 7: Position (2.600;0.082)

#### 2.1.3 Computation time

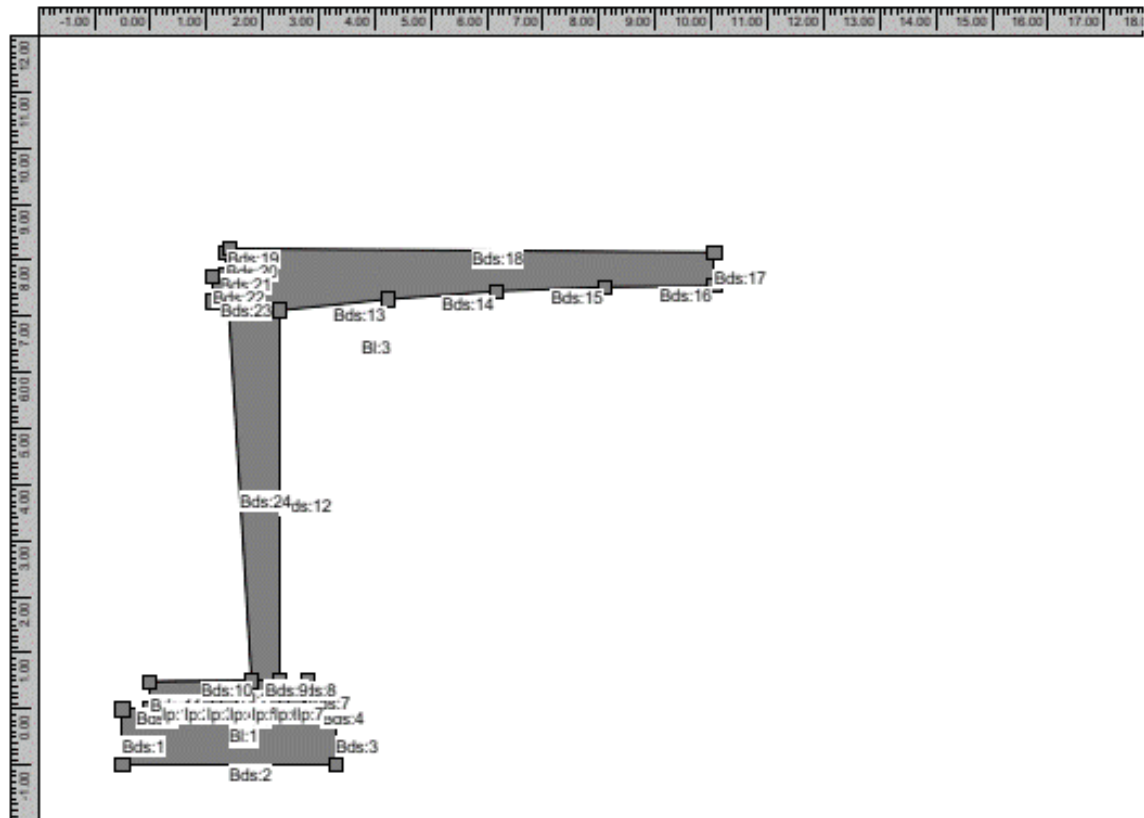
Total time length: 672 (h)



## 4 Computation Mesh



## 5 Heat Properties



### 5.1 Description

#### 5.1.4 Block type list

Ung betong: Young concrete

Start temperature:

Constant: 14.3

Material definition: C35/45 w0/C = 0.40 Air entrainment (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cementa AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Density: 2350 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1000 (J/(kg·K))

Heat cond. (W/m<sup>2</sup>K) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; heat cond.): (0;2.1), (12;2.1), (24;1.7), (10000;1.7),

C 425 (kg/m<sup>3</sup>), Wc 325000 (J/kg), Lambda1 2.2 (-), t1 4.75 (h), Kappal 1.65 (-)

te0 0 (h), BetaD 1 (-), ThetaRef 4200 (K), Kappa3 0.5 (-)

s 0.331 (-), tS 5.556 (h), tA 8.334 (h), nA 1.148 (-)

Lambda2 0 (-), Tr2 1 (°C), Kappa2 0 (-)

Fcc28 53 (MPa)

Following material parameters are changed by the user



Density: 2326 (kg/m<sup>3</sup>)  
C 430 (kg/m<sup>3</sup>)  
Fcc28 56 (MPa)

**Mogen betong: Other material**

Start temperature:

Constant: 6.8

Material definition: Mature C35/45 w0/C = 0.40 AEA (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cementa AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Density: 2350 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1000 (J/(kg·K))

Heat cond. (W/m<sup>2</sup>K) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; heat cond.): (0;1.7), (12;2.1), (24;1.7), (10000;1.7).

Following material parameters are changed by the user

Density: 2326 (kg/m<sup>3</sup>)

**Packad fylning: Other material**

Start temperature:

Constant: 1.5

Material definition: Coarse grained soil

Source

Luleå University of Technology 1997

Description

e.g. till, moraine and gravel

Original material parameters

Density: 2200 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1400 (J/(kg·K))

Heat cond. 2.1 (W/m<sup>2</sup>K)

**5.1.5 Block connection list**

Block 1: Packad fylning

Block 2: Mogen betong

Block 3: Ung betong, simulate filling

**5.1.6 Boundary type list**

Fri yta

Temperature

Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))

(0;4.2) (80;2.5) (104;3.7) (128;4.5) (152;7.4) (176;4.1) (200;1.5) (206;3.6) (212;3) (218;2.2) (224;5.2) (248;10) (272;7.3) (296;6) (320;3.1) (344;3.3) (368;1.5) (396;0.8) (416;1)

Wind velocity

Constant 1 (m/s)

Heat transfer coefficient

Constant 500 (W/m<sup>2</sup>K)

Free Surface

Supplied heat

Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

Isoleringsmatta

Temperature

Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))

(0;4.5) (80;2.5) (104;3.7) (128;4.5) (152;7.4) (176;4.1) (200;1.5) (206;3.6) (212;3) (218;2.2) (224;5.2) (248;10) (272;7.3) (296;6) (320;3.1) (344;3.3) (368;1.5) (392;0.8) (416;1)

Wind velocity

Constant 1 (m/s)

Heat transfer coefficient

Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))

(80;3.6)

Cellular plastic 0.01 (m)

Supplied heat

Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

18 mm träform  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;4.5) (80;2.5) (104;3.7) (128;4.5) (152;7.2) (176;4.1) (200;1.5) (206;3.6) (212;3) (218;2.2) (224;5.2) (248;10) (272;7.3)  
(296;6) (320;3.1) (344;3.3) (368;1.5) (392;0.8) (416;1)  
Wind velocity  
Constant 2 (m/s)  
Heat transfer coefficient  
Piece-wise constant (time (h);htc (W/m²K))  
(200;7.77778)  
Wood 0.018 (m)  
(320;7.2)  
Cellular plastic 0.005 (m)  
Supplied heat  
Constant 0 (W/m²)

45 mm träform  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;4.5) (80;2.5) (104;3.7) (128;4.5) (152;7.4) (176;4.1) (200;1.5) (206;3.6) (212;3) (218;2.2) (224;5.2) (248;10) (272;7.3)  
(296;6) (320;3.1) (344;3.3) (368;1.5) (392;0.8) (416;1)  
Wind velocity  
Constant 2 (m/s)  
Heat transfer coefficient  
Piece-wise constant (time (h);htc (W/m²K))  
(200;3.11111)  
Wood 0.045 (m)  
Supplied heat  
Constant 0 (W/m²)

Betongyta  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;4.5) (80;2.5) (104;3.7) (128;4.5) (152;7.2) (176;4.1) (200;1.5) (206;3.6) (212;3) (218;2.2) (224;5.2) (248;10) (272;7.3)  
(296;6) (320;3.1) (344;3.3) (368;1.5) (392;0.8) (416;1)  
Wind velocity  
Piece-wise constant (time (h);velocity (m/s))  
(0;4.5) (200;3.7) (206;3) (212;3.5) (218;5) (224;5) (248;4) (272;3) (296;5) (320;6) (344;3) (368;6) (392;4) (416;5)  
Heat transfer coefficient  
Piece-wise constant (time (h);htc (W/m²K))  
(214;2.4)  
Cellular plastic 0.015 (m)  
Supplied heat  
Constant 0 (W/m²)

22 mm träform  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;4.5) (80;2.5) (104;3.7) (128;4.5) (152;7.4) (176;4.1) (200;1.5) (206;3.6) (212;3) (218;2.2) (224;5.2) (248;10) (272;7.3)  
(296;6) (320;3.1) (344;3.3) (368;1.5) (392;0.8) (416;1)  
Wind velocity  
Constant 2 (m/s)  
Heat transfer coefficient  
Piece-wise constant (time (h);htc (W/m²K))  
(200;6.36364)  
Wood 0.022 (m)  
Supplied heat  
Constant 0 (W/m²)

Moving Boundary: Moving boundary  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;4.5) (80;2.5) (104;3.7) (128;4.5) (152;7.4) (176;4.1) (200;1.5) (206;3.6) (212;3) (218;2.2) (224;5.2) (248;10) (272;7.3)  
(296;6) (320;3.1) (344;3.3) (368;1.5) (392;0.8) (416;1)  
Wind velocity  
Piece-wise constant (time (h);velocity (m/s))  
(0;0) (206;3) (212;3.5) (218;5) (224;5) (248;4) (272;3) (296;5) (320;6) (344;3) (368;6) (392;4) (416;5)  
Heat transfer coefficient  
Constant 500 (W/m²K)  
Free Surface  
Supplied heat  
Constant 0 (W/m²)

### 5.1.7 Boundary connection list

Boundary segment 1: adiabatic (no heat flow)  
Boundary segment 2: adiabatic (no heat flow)  
Boundary segment 3: adiabatic (no heat flow)  
Boundary segment 4: Fri yta  
Boundary segment 5: inner segment (full thermal contact)  
Boundary segment 6: Fri yta  
Boundary segment 7: Fri yta  
Boundary segment 8: Isoleringsmatta  
Boundary segment 9: inner segment (full thermal contact)  
Boundary segment 10: Isoleringsmatta  
Boundary segment 11: Fri yta  
Boundary segment 12: 22 mm träform  
Boundary segment 13: 45 mm träform  
Boundary segment 14: 45 mm träform  
Boundary segment 15: 45 mm träform  
Boundary segment 16: 45 mm träform  
Boundary segment 17: adiabatic (no heat flow)  
Boundary segment 18: Betongyta  
Boundary segment 19: 45 mm träform  
Boundary segment 20: 18 mm träform  
Boundary segment 21: Betongyta  
Boundary segment 22: 18 mm träform  
Boundary segment 23: 18 mm träform  
Boundary segment 24: 18 mm träform

#### 5.1.8 Inner point type list

Värmekabel

Supplied heat

Piece-wise constant (time (h):power (W/m))  
(0;0) (153;40) (226;0)

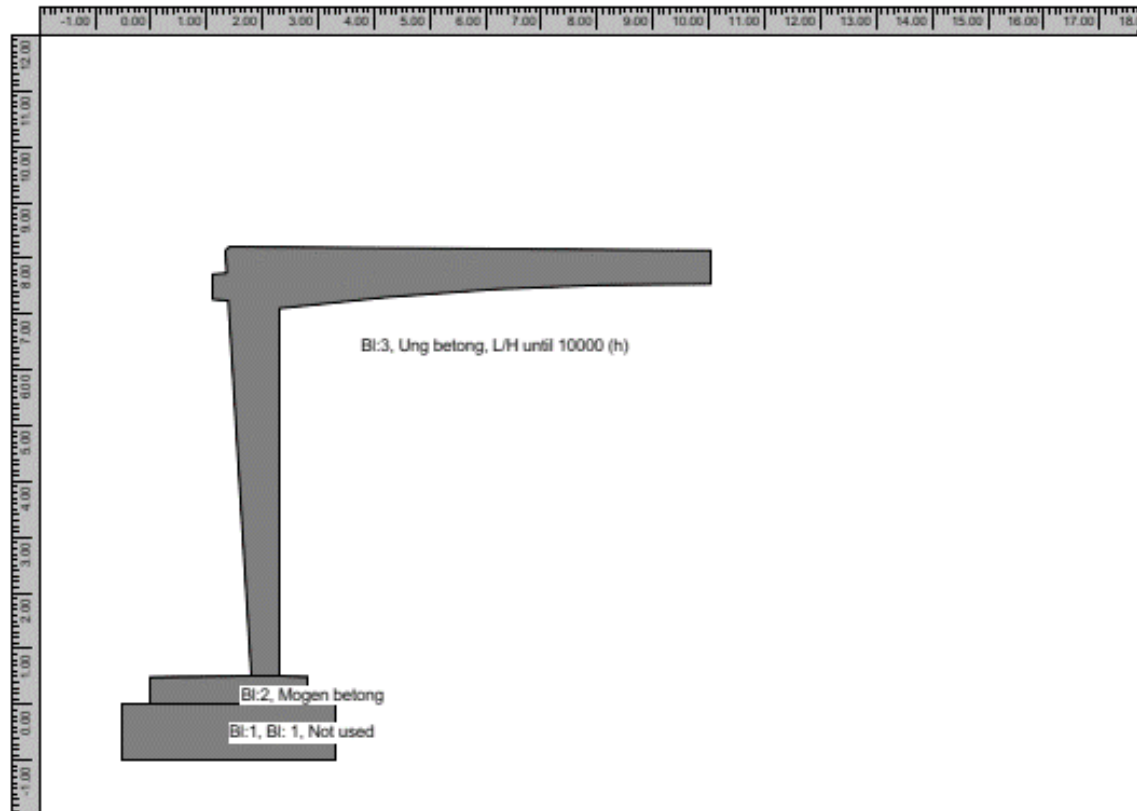
#### 5.1.9 Inner point connection list

Inner point 1: Värmekabel  
Inner point 2: Värmekabel  
Inner point 3: Värmekabel  
Inner point 4: Värmekabel  
Inner point 5: Värmekabel  
Inner point 6: Värmekabel  
Inner point 7: Värmekabel

#### 5.1.10 Simulation of filling process for young concrete

Surface position as a piece-wise linear func. of time (time (h); y-coord. (m))  
(0;0.5), (200;0.5), (206.6;7.1), (207;7.1), (207.6;7.1), (214;8.207),

## 6 Plane-Surface Analysis



### 6.1 Description

#### 6.1.11 Stress case

##### Default time stepping

###### Translation

Free (0.000)

###### Rotation around X-axis

Free (0.000)

###### Rotation around Y-axis

Full restraint (1.000)

##### Resilience: LH-based

Structure length: 12.356 (m)

Data source: Standard

##### Resilience reduction length and width dependent

Data source: External file C:\Programs\ConTeSt\redH4.0m.rvt

Length = 0.000 (m) : [width(m).red]

(0.400;0.500) (0.800;0.500) (1.200;0.500)

Length = 4.000 (m) : [width(m).red]

(0.400;0.500) (0.800;0.500) (1.200;0.500)

Length = 8.000 (m) : [width(m).red]

(0.400;0.720) (0.800;0.750) (1.200;0.780)

Length = 20.000 (m) : [width(m).red]

(0.400;1.000) (0.800;1.000) (1.200;1.000)

#### 6.1.12 Block data list

Block 2: Mogen betong

Block 3: Ung betong, L/H until 10000 (h)

### 6.1.13 Block type list

Ung betong: Young concrete

Material definition: C35/45 w0/C = 0.40 Air entrainment (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Po-ratio 0.18 (-), AlfaHeat 1.1e-05 (1/K), AlfaCool 9e-06 (1/K)

ThetaT 5000 (K), RelaxTime1 0.005 (d), TimeZero 0.25 (d)

Fcc28 53 (MPa), FcRef 53 (MPa), Ftref 3.68 (MPa)

Beta1 0.667 (-), Alfafact 0.9 (-), RaaT 0 (-), RaaFi 0.9 (-)

KFi 2 (-), Eps1 0 (-), TimeS1 6 (h)

Eps2 -0.0001368 (-), TimeS2 24 (h), ThetaSH 120 (h), EthaSH 0.3 (-)

Relax: Age 0.249 (d), Units (GPa) 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

Relax: Age 0.5 (d), Units (GPa) 0.857221 0.256405 3.50511 1.16388 0.786528 0.439177 0.122558 0.101706

Relax: Age 1.077 (d), Units (GPa) 2.67304 4.80813 9.03774 3.7919 4.01799 2.19963 0.705556 0.754292

Relax: Age 2.321 (d), Units (GPa) 2.11587 4.25012 8.20966 7.23161 6.34904 3.5086 1.10078 0.684051

Relax: Age 5 (d), Units (GPa) 1.26691 2.75358 5.95473 8.32677 7.27362 3.96807 1.25504 3.14366

Relax: Age 10.772 (d), Units (GPa) 0.801966 1.78874 4.18532 7.43422 7.50287 4.12974 1.31843 7.05465

Relax: Age 23.208 (d), Units (GPa) 0.539145 1.25091 2.9427 6.22062 7.65742 4.43895 1.40975 9.90401

Relax: Age 50 (d), Units (GPa) 0.399024 0.941339 2.22694 5.08507 7.71281 5.01355 1.56935 11.4966

Relax: Age 107.722 (d), Units (GPa) 0.327423 0.75879 1.85384 4.2392 7.64612 5.8679 1.86341 11.9331

Relax: Age 232.079 (d), Units (GPa) 0.290016 0.655347 1.65703 3.71388 7.45375 6.88487 2.37315 11.4866

Following material parameters are changed by the user

Mogen betong: Other material

Material definition: Mature C35/45 w0/C = 0.40 AEA (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

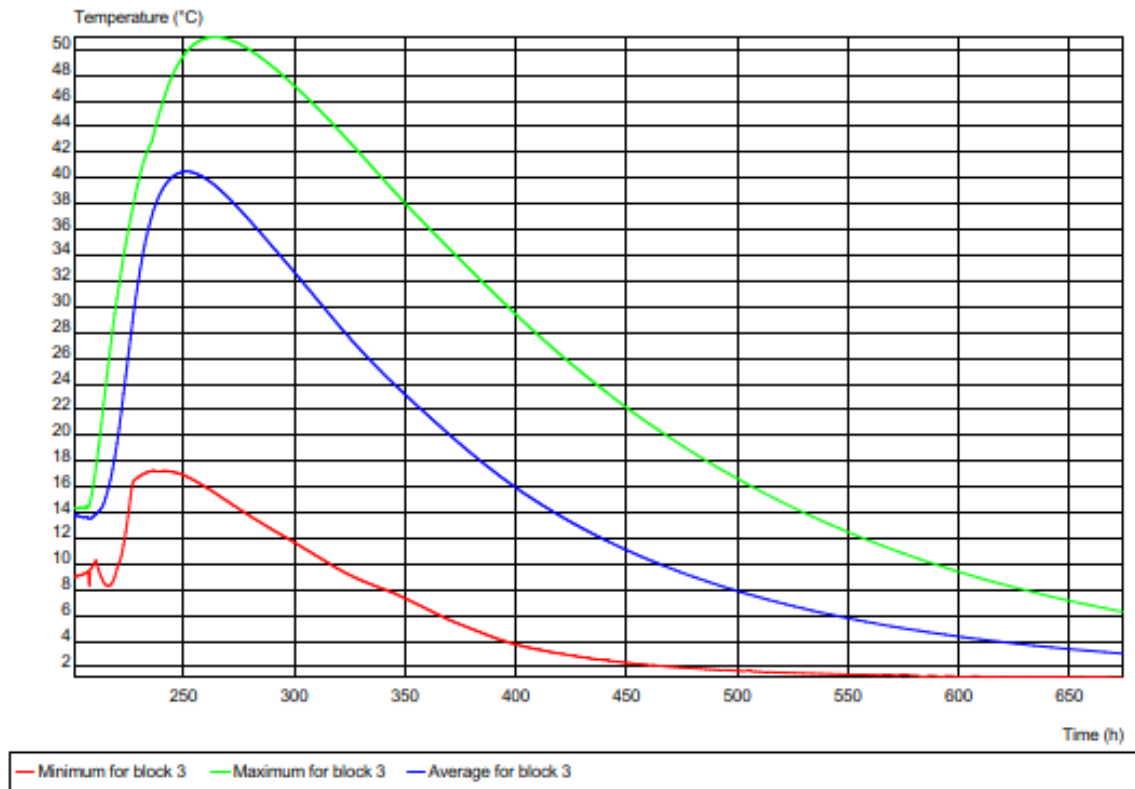
Po-ratio 0.18 (-), E-modulus 34.4 (GPa), AlfaHeat 1e-05 (1/K)

Fcc 53 (MPa), Ftref 3.68 (MPa)

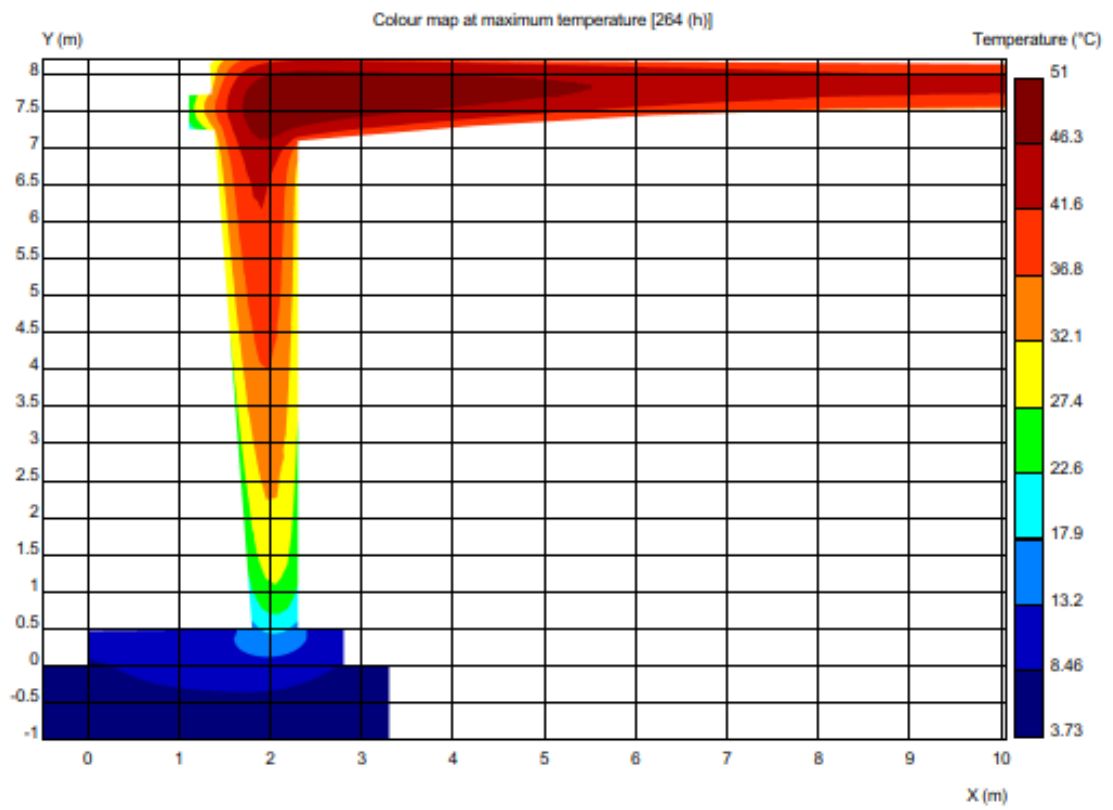
Following material parameters are changed by the user

## 7 Heat Computation Results

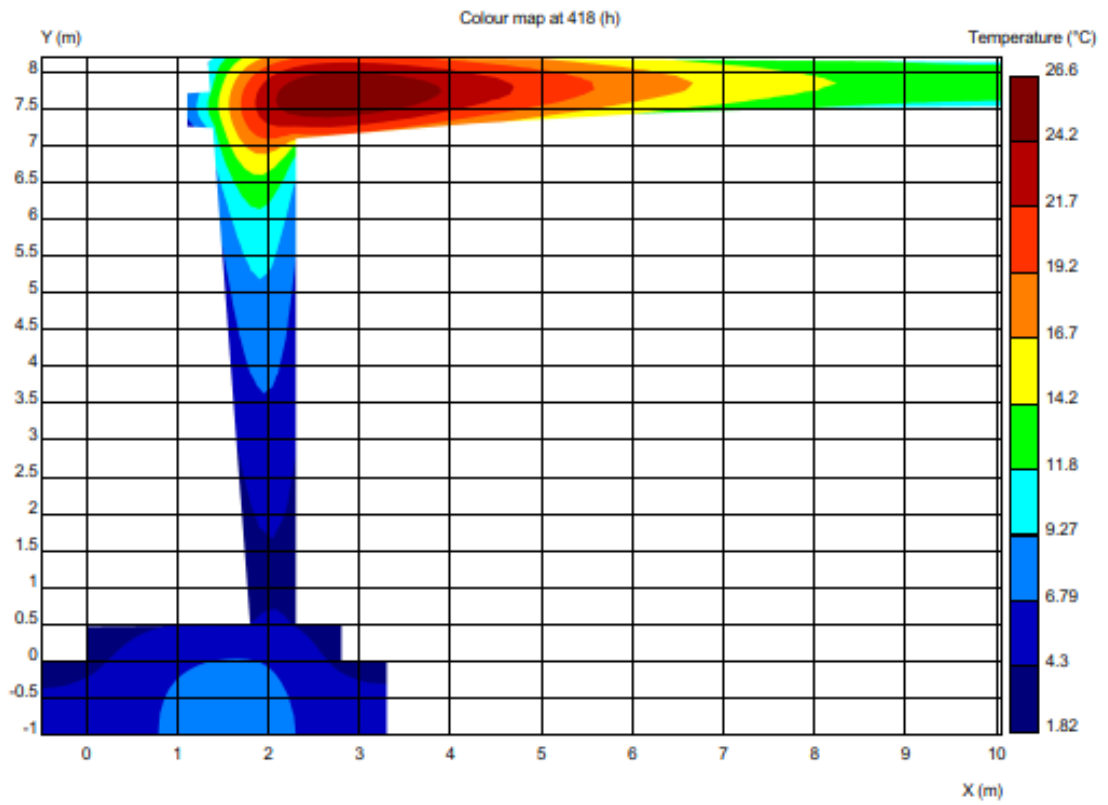
### 7.1 Temp diagram



## 7.2 Max temp



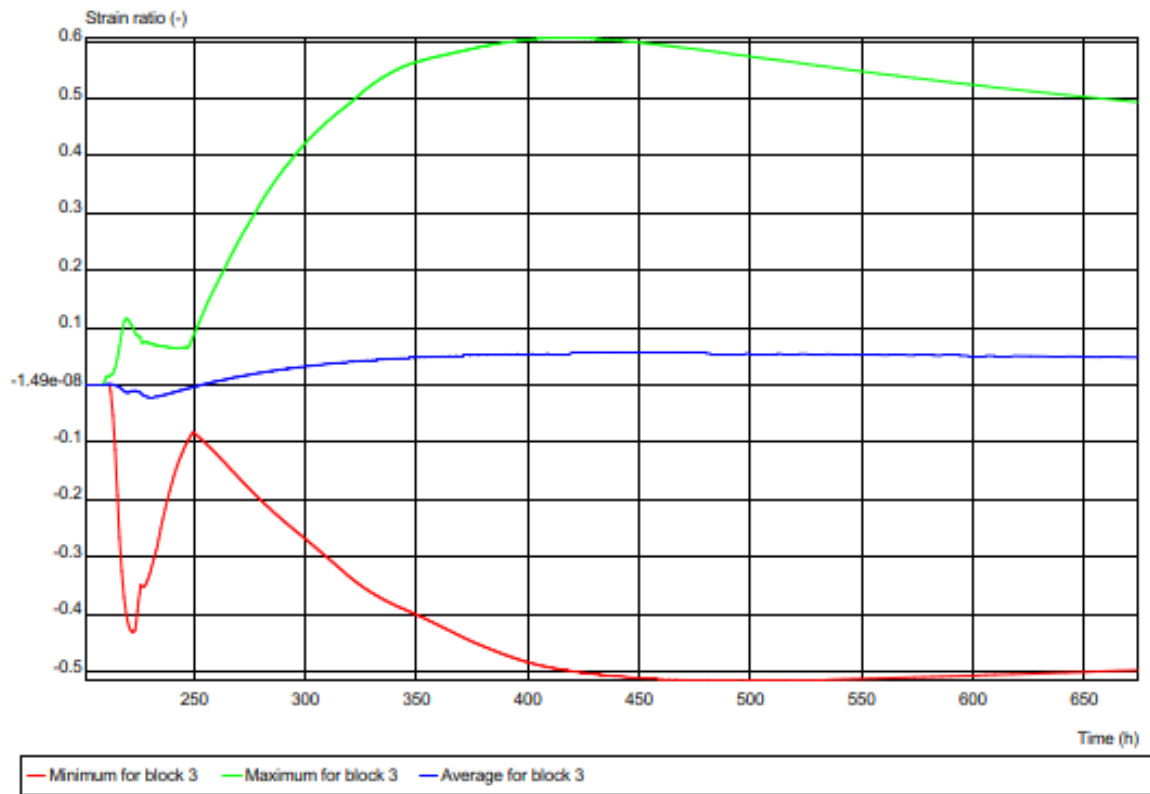
### 7.3 Temp vid max strain



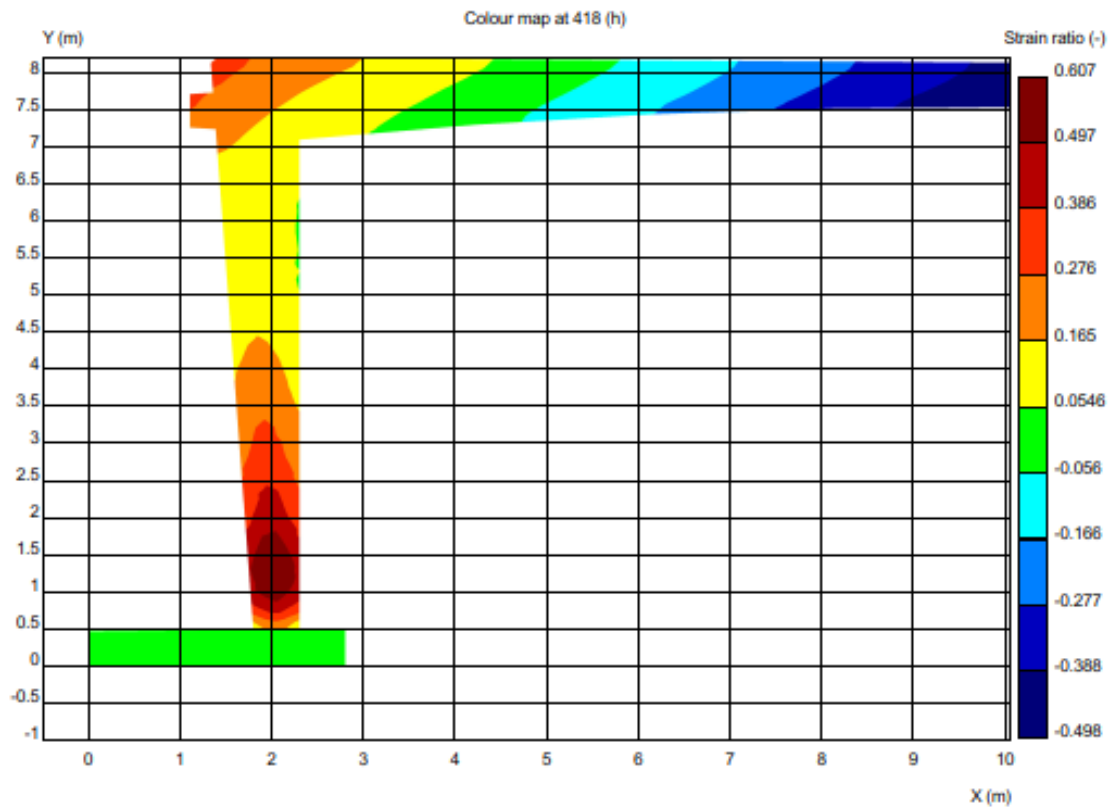


## 8 Plane-Surface Computation Results

### 8.1 Strain diagram



## 8.2 Max strain



Etapp II

## **C:Bro4\_etapp2\_höjder\_gjuthast.CPR**

Report

## Contents

<b>1 Software &amp; Project Information</b>	<b>2</b>
1.1 Software	2
1.2 Project	2
<b>2 Geometry &amp; Time</b>	<b>3</b>
2.1 Description	3
2.1.1 Blocks	3
2.1.2 Inner points	3
2.1.3 Computation time	3
<b>3 Element Size</b>	<b>4</b>
<b>4 Computation Mesh</b>	<b>5</b>
<b>5 Heat Properties</b>	<b>6</b>
5.1 Description	6
5.1.4 Block type list	6
5.1.5 Block connection list	7
5.1.6 Boundary type list	7
5.1.7 Boundary connection list	9
5.1.8 Inner point type list	9
5.1.9 Inner point connection list	9
5.1.10 Simulation of filling process for young concrete	9
<b>6 Plane-Surface Analysis</b>	<b>10</b>
6.1 Description	10
6.1.11 Stress case	10
6.1.12 Block data list	10
6.1.13 Block type list	11
<b>7 Heat Computation Results</b>	<b>12</b>
7.1 Temp diagram	13
7.2 Max temp	14
7.3 Temp vid max strain	15
<b>8 Plane-Surface Computation Results</b>	<b>16</b>
8.1 Strain diagram	17
8.2 Max strain	18

## **1 Software & Project Information**

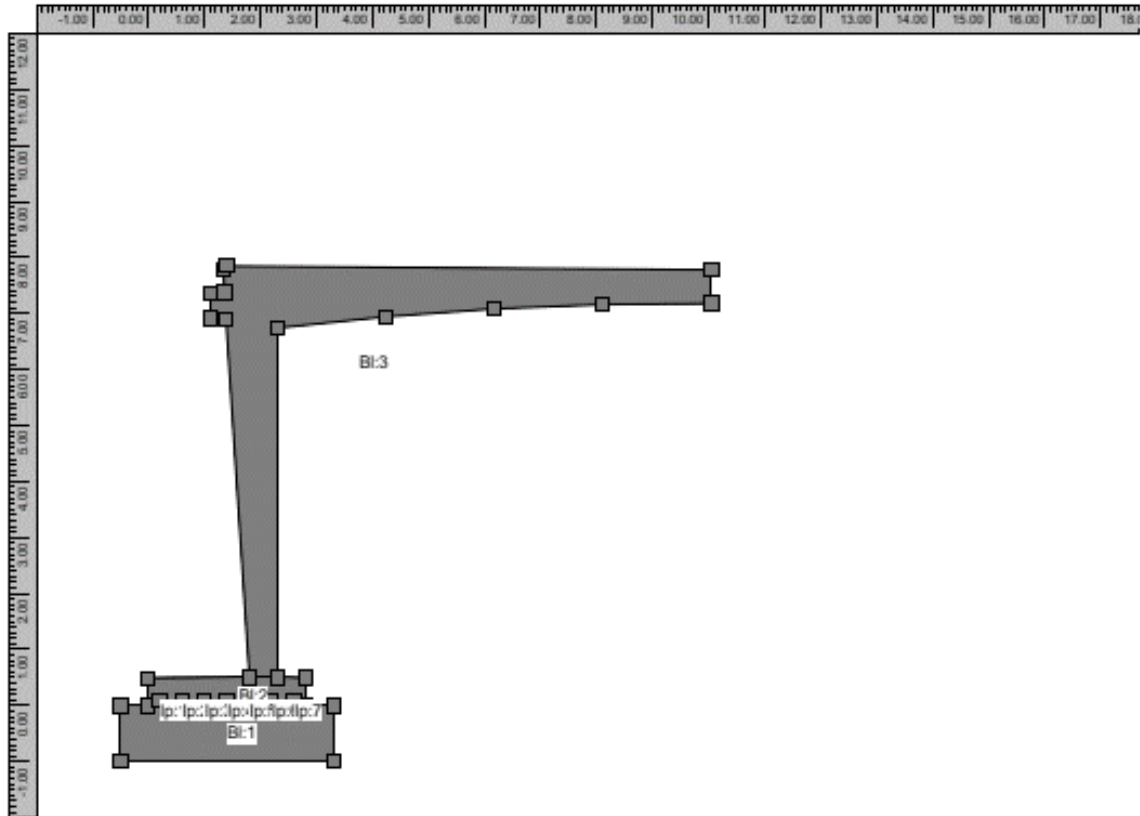
### **1.1 Software**

System name: ConTeSt  
System version: 1.4  
Developed by: JEJMS Concrete AB

### **1.2 Project**

Original filename: C:\Programs\ConTeSt\Working\Bro4\Ram2\_gjut1.CPR  
Created: 2019.05.03 08.40.19  
Created by: tan on CH74  
Current filename: C:\Programs\ConTeSt\Working\Bro4\Bro4\_etapp2\_höjder\_gjuthast.CPR  
Last change: 2019.05.10 08.31.56  
Last change by: tan on CH74

## 2 Geometry & Time



### 2.1 Description

#### 2.1.1 Blocks

Block 1: (-0.500;0.000) - (-0.500;-1.000) - (3.300;-1.000) - (3.300;0.000) - (2.800;0.000) - (0.000;0.000)

Block 2: (2.800;0.000) - (2.800;0.495) - (2.300;0.500) - (1.800;0.500) - (0.000;0.482) - (0.000;0.000)

Block 3: (2.300;0.500) - (2.300;6.740) - (4.232;6.942) - (6.169;7.083) - (8.110;7.161) - (10.052;7.177) - (10.052;7.777) - (1.404;7.847) - (1.334;7.773) - (1.359;7.373) - (1.109;7.353) - (1.109;6.903) - (1.386;6.881) - (1.800;0.500)

#### 2.1.2 Inner points

Inner point 1: Position (0.200;0.082)

Inner point 2: Position (0.600;0.082)

Inner point 3: Position (1.000;0.082)

Inner point 4: Position (1.400;0.082)

Inner point 5: Position (1.800;0.082)

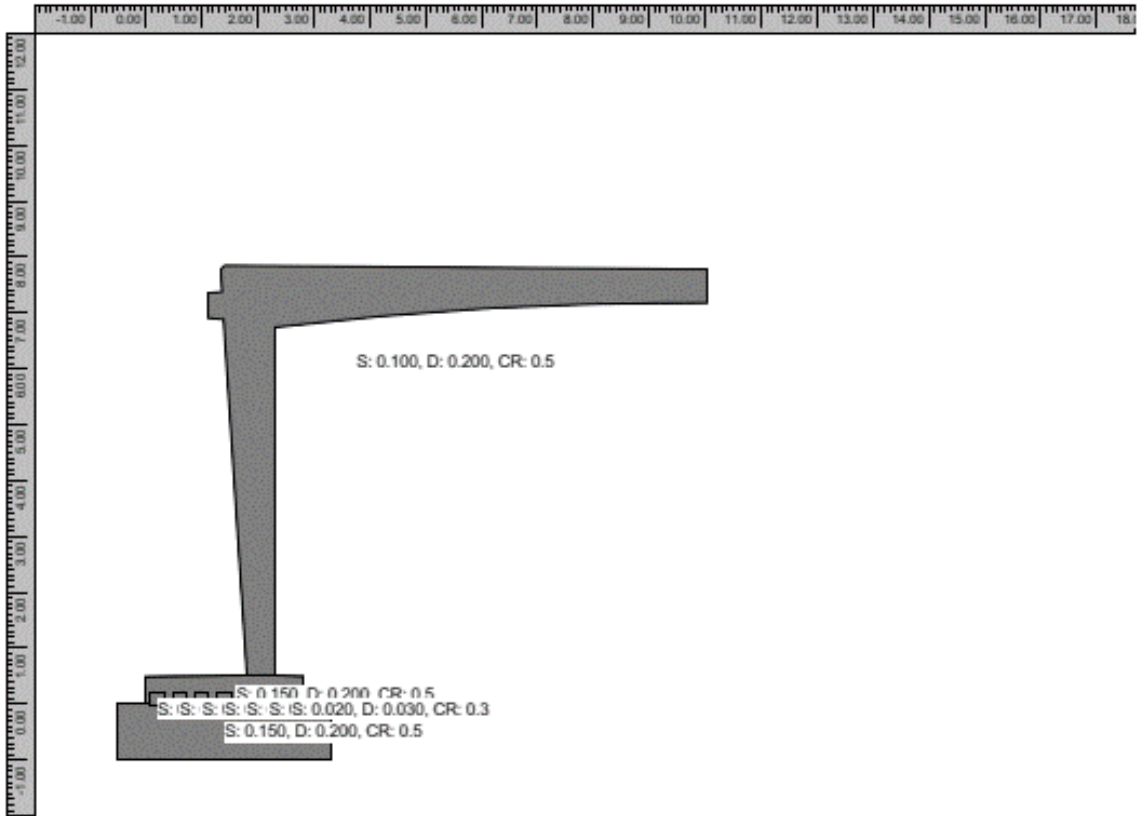
Inner point 6: Position (2.200;0.082)

Inner point 7: Position (2.600;0.082)

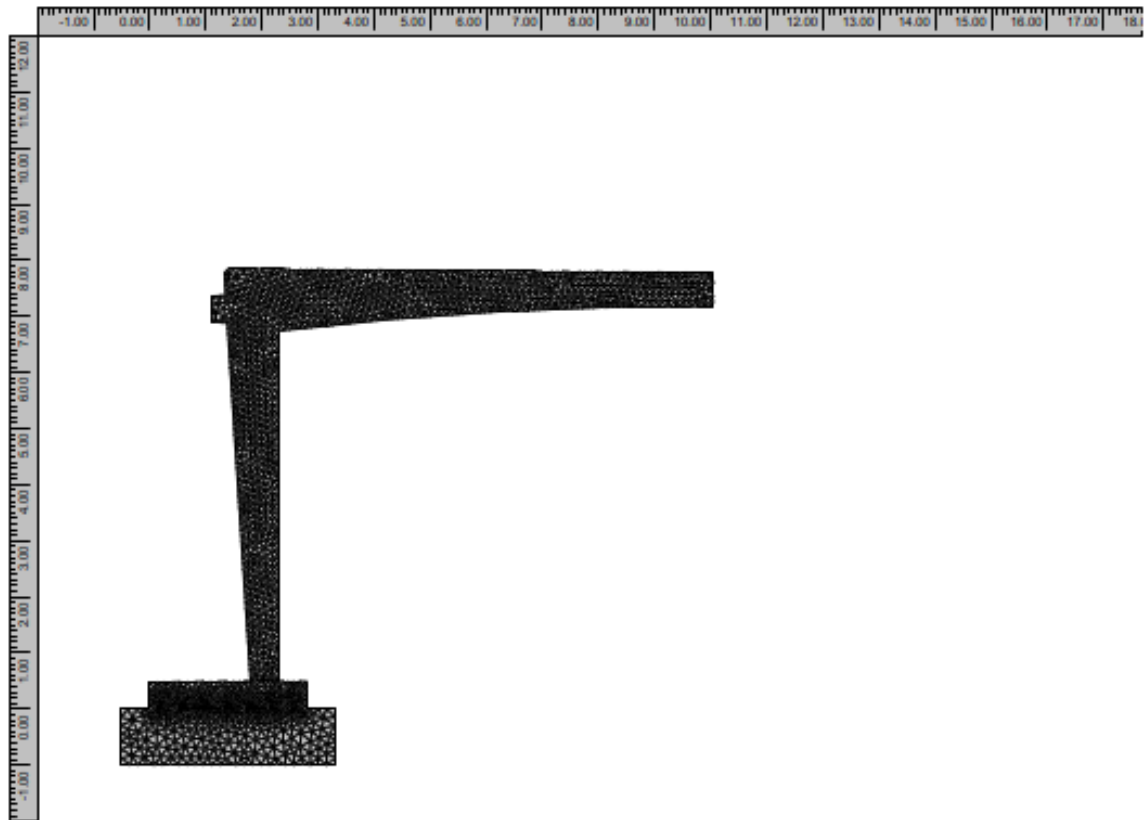
#### 2.1.3 Computation time

Total time length: 672 (h)

### 3 Element Size

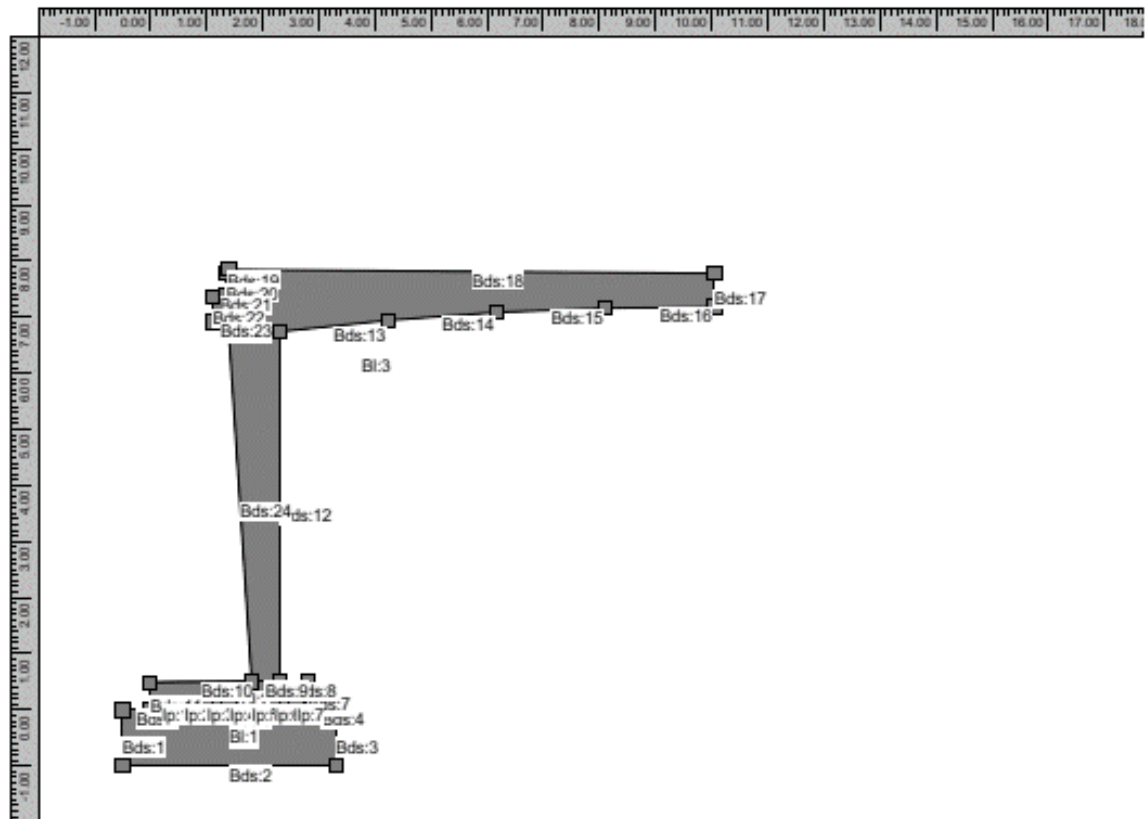


## 4 Computation Mesh





## 5 Heat Properties



### 5.1 Description

#### 5.1.4 Block type list

Ung betong: Young concrete

Start temperature:

Constant: 12.8

Material definition: C35/45 w0/C = 0.40 Air entrainment (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cementa AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Density: 2350 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1000 (J/(kg·K))

Heat cond. (W/m<sup>2</sup>K) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; heat cond.): (0;2.1), (12;2.1), (24;1.7), (10000;1.7),

C 425 (kg/m<sup>3</sup>), Wc 325000 (J/kg), Lambda1 2.2 (-), t1 4.75 (h), Kappa1 1.65 (-)

te0 0 (h), BetaD 1 (-), ThetaRef 4200 (K), Kappa3 0.5 (-)

s 0.331 (-), tS 5.556 (h), tA 8.334 (h), nA 1.148 (-)

Lambda2 0 (-), Tr2 1 (°C), Kappa2 0 (-)

Fcc28 53 (MPa)

Following material parameters are changed by the user

Density: 2326 (kg/m<sup>3</sup>)  
C 430 (kg/m<sup>3</sup>)  
Fcc28 56 (MPa)

**Mogen betong: Other material**

Start temperature:

Constant: 6.9

Material definition: Mature C35/45 w0/C = 0.40 AEA (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Density: 2350 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1000 (J/(kg·K))

Heat cond. (W/m<sup>2</sup>K) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; heat cond.): (0;1.7), (12;2.1), (24;1.7), (10000;1.7).

Following material parameters are changed by the user

Density: 2326 (kg/m<sup>3</sup>)

**Packad fyllning: Other material**

Start temperature:

Constant: 0.6

Material definition: Coarse grained soil

Source

Luleå University of Technology 1997

Description

e.g. till, moraine and gravel

Original material parameters

Density: 2200 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1400 (J/(kg·K))

Heat cond. 2.1 (W/m<sup>2</sup>K)

**5.1.5 Block connection list**

Block 1: Packad fyllning

Block 2: Mogen betong

Block 3: Ung betong, simulate filling

**5.1.6 Boundary type list**

Fri yta

Temperature

Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))

(0;3.5) (80;3.5) (104;0.7) (128;0.9) (152;3.8) (176;3.2) (200;0.6) (206;0.3) (212;-0.9) (218;-2) (224;-0.1) (248;2.6) (272;3.1) (296;3.3) (320;0.2) (344;3) (368;4.7) (392;0.8) (416;-1.4) (440;-0.4) (464;0)

Wind velocity

Constant 1 (m/s)

Heat transfer coefficient

Constant 500 (W/m<sup>2</sup>K)

Free Surface

Supplied heat

Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

Isoleringsmatta

Temperature

Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))

(0;3.5) (80;3.5) (104;0.7) (128;0.9) (152;3.8) (176;3.2) (200;0.6) (206;0.3) (212;-0.9) (218;-2) (224;-0.1) (248;2.6) (272;3.1) (296;3.3) (320;0.2) (344;3) (368;4.7) (392;0.8) (416;-1.4) (440;-0.9) (464;0)

Wind velocity

Constant 1 (m/s)

Heat transfer coefficient

Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))

(80;3.6)

Cellular plastic 0.01 (m)

(368;500)

Free Surface

Supplied heat  
Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

18 mm träform  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;3.5) (80;3.5) (104;0.7) (128;0.9) (152;3.8) (176;3.2) (200;0.6) (206;0.3) (212;-0.9) (218;-2) (224;-0.1) (248;2.6) (272;3.1)  
(296;3.3) (320;0.2) (344;3) (368;4.7) (392;0.8) (416;-1.4) (440;-0.4) (464;0)

Wind velocity  
Constant 2 (m/s)

Heat transfer coefficient  
Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))  
(200;7.77778)  
Wood 0.018 (m)  
(368;500)  
Free Surface

Supplied heat  
Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

45 mm träform  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;3.5) (80;3.5) (104;0.7) (128;0.9) (152;3.8) (176;3.2) (200;0.6) (206;0.3) (212;-0.9) (218;-2) (224;-0.1) (248;2.6) (272;3.1)  
(296;3.3) (320;0.2) (344;3) (368;4.7) (392;0.8) (416;-1.4) (440;-0.4) (464;0)

Wind velocity  
Constant 2 (m/s)

Heat transfer coefficient  
Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))  
(200;3.11111)  
Wood 0.045 (m)  
(440;500)  
Free Surface

Supplied heat  
Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

Betongyta  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;3.5) (80;3.5) (104;0.7) (128;0.9) (152;3.8) (176;3.2) (200;0.6) (206;0.3) (212;-0.9) (218;-2) (224;-0.1) (248;2.6) (272;3.1)  
(296;3.3) (320;0.2) (344;3) (368;4.7) (392;0.8) (416;-1.4) (440;-0.9) (464;0)

Wind velocity  
Piece-wise constant (time (h);velocity (m/s))  
(0;6) (200;7) (206;6) (212;9) (218;8) (224;3) (248;5) (272;3) (296;5) (320;11) (344;5) (368;6) (392;5) (416;5) (440;5) (464;6)

Heat transfer coefficient  
Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))  
(214;2.4)  
Cellular plastic 0.015 (m)  
(368;500)  
Free Surface

Supplied heat  
Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

22 mm träform  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;3.5) (80;3.5) (104;0.7) (128;0.9) (152;3.8) (176;3.2) (200;0.6) (206;0.3) (212;-0.9) (218;-2) (224;-0.1) (248;2.6) (272;3.1)  
(296;3.3) (320;0.2) (344;3) (368;4.7) (392;0.8) (416;-1.4) (440;-0.4) (464;0)

Wind velocity  
Constant 2 (m/s)

Heat transfer coefficient  
Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))  
(200;6.36364)  
Wood 0.022 (m)  
(464;500)  
Free Surface

Supplied heat  
Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

Moving Boundary: Moving boundary  
Temperature  
Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))  
(0;3.5) (80;3.5) (104;0.7) (128;0.9) (152;3.8) (176;3.2) (200;0.6) (206;0.3) (212;-0.9) (218;-2) (224;-0.1) (248;2.6) (272;3.1)  
(296;3.3) (320;0.2) (344;3) (368;4.7) (392;0.8) (416;-1.4) (440;-0.4) (464;0)

Wind velocity  
Piece-wise constant (time (h);velocity (m/s))

(0;0) (206;6) (212;9) (218;8) (224;3) (248;5) (272;3) (296;5) (320;11) (344;5) (368;6) (392;5) (416;5) (440;5) (464;6)  
Heat transfer coefficient  
Constant 500 (W/m<sup>2</sup>K)  
Free Surface  
Supplied heat  
Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

#### 5.1.7 Boundary connection list

Boundary segment 1: adiabatic (no heat flow)  
Boundary segment 2: adiabatic (no heat flow)  
Boundary segment 3: adiabatic (no heat flow)  
Boundary segment 4: Fri yta  
Boundary segment 5: inner segment (full thermal contact)  
Boundary segment 6: Fri yta  
Boundary segment 7: Fri yta  
Boundary segment 8: Isoleringsmatta  
Boundary segment 9: inner segment (full thermal contact)  
Boundary segment 10: Isoleringsmatta  
Boundary segment 11: Fri yta  
Boundary segment 12: 22 mm träform  
Boundary segment 13: 45 mm träform  
Boundary segment 14: 45 mm träform  
Boundary segment 15: 45 mm träform  
Boundary segment 16: 45 mm träform  
Boundary segment 17: adiabatic (no heat flow)  
Boundary segment 18: Betongyta  
Boundary segment 19: 45 mm träform  
Boundary segment 20: 18 mm träform  
Boundary segment 21: Betongyta  
Boundary segment 22: 18 mm träform  
Boundary segment 23: 18 mm träform  
Boundary segment 24: 18 mm träform

#### 5.1.8 Inner point type list

Värmekabel  
Supplied heat  
Piece-wise constant (time (h);power (W/m))  
(0;0) (80;40) (224;0)

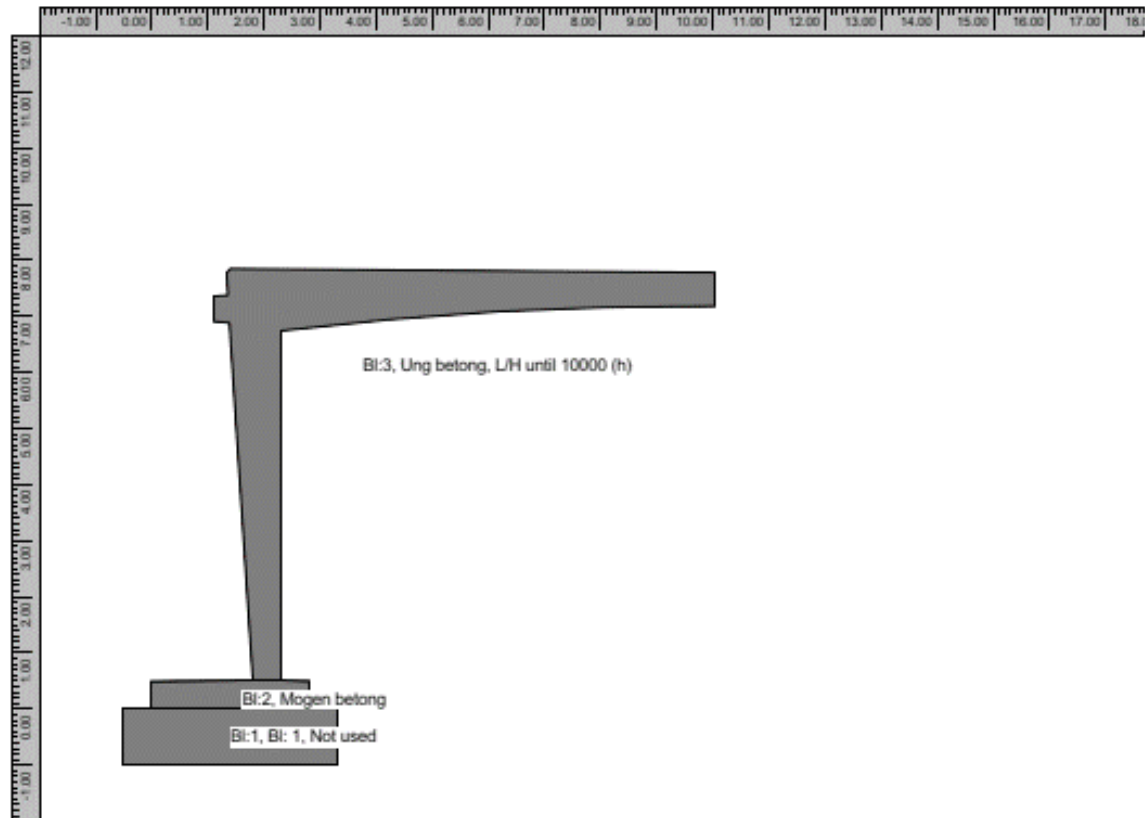
#### 5.1.9 Inner point connection list

Inner point 1: Värmekabel  
Inner point 2: Värmekabel  
Inner point 3: Värmekabel  
Inner point 4: Värmekabel  
Inner point 5: Värmekabel  
Inner point 6: Värmekabel  
Inner point 7: Värmekabel

#### 5.1.10 Simulation of filling process for young concrete

Surface position as a piece-wise linear func. of time (time (h); y-coord. (m))  
(0;0.5), (200;0.5), (206;6.74), (207;6.74), (212.5;7.847),

## 6 Plane-Surface Analysis



### 6.1 Description

#### 6.1.11 Stress case

##### Default time stepping

###### Translation

Free (0.000)

###### Rotation around X-axis

Free (0.000)

###### Rotation around Y-axis

Full restraint (1.000)

###### Resilience: LH-based

Structure length: 24.177 (m)

Data source: Standard

###### Resilience reduction length and width dependent

Data source: External file C:\Programs\ConTeSt\redH4.0m.rtt

Length = 0.000 (m) : [width(m),red]

(0.400;0.500) (0.800;0.500) (1.200;0.500)

Length = 4.000 (m) : [width(m),red]

(0.400;0.500) (0.800;0.500) (1.200;0.500)

Length = 8.000 (m) : [width(m),red]

(0.400;0.720) (0.800;0.750) (1.200;0.780)

Length = 20.000 (m) : [width(m),red]

(0.400;1.000) (0.800;1.000) (1.200;1.000)

#### 6.1.12 Block data list

Block 2: Mogen betong

Block 3: Ung betong, L/H until 10000 (h)

### 6.1.13 Block type list

Ung betong: Young concrete

Material definition: C35/45 w0/C = 0.40 Air entrainment (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Po-ratio 0.18 (-), AlfaHeat 1.1e-05 (1/K), AlfaCool 9e-06 (1/K)

ThetaT 5000 (K), RelaxTime1 0.005 (d), TimeZero 0.25 (d)

Fcc28 53 (MPa), FcRef 53 (MPa), Ftref 3.68 (MPa)

Beta1 0.667 (-), Alfafact 0.9 (-), RaaT 0 (-), RaaFi 0.9 (-)

KFi 2 (-), Eps1 0 (-), TimeS1 6 (h)

Eps2 -0.0001368 (-), TimeS2 24 (h), ThetaSH 120 (h), EthaSH 0.3 (-)

Relax: Age 0.249 (d), Units (GPa) 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

Relax: Age 0.5 (d), Units (GPa) 0.857221 0.256405 3.50511 1.16388 0.786528 0.439177 0.122558 0.101706

Relax: Age 1.077 (d), Units (GPa) 2.67304 4.80813 9.03774 3.7919 4.01799 2.19963 0.705556 0.754292

Relax: Age 2.321 (d), Units (GPa) 2.11587 4.25012 8.20966 7.23161 6.34904 3.5086 1.10078 0.684051

Relax: Age 5 (d), Units (GPa) 1.26691 2.75358 5.95473 8.32677 7.27362 3.96807 1.25504 3.14366

Relax: Age 10.772 (d), Units (GPa) 0.801966 1.78874 4.18532 7.43422 7.50287 4.12974 1.31843 7.05465

Relax: Age 23.208 (d), Units (GPa) 0.539145 1.25091 2.9427 6.22062 7.65742 4.43895 1.40975 9.90401

Relax: Age 50 (d), Units (GPa) 0.399024 0.941339 2.22694 5.08507 7.71281 5.01355 1.56935 11.4966

Relax: Age 107.722 (d), Units (GPa) 0.327423 0.75879 1.85384 4.2392 7.64612 5.8679 1.86341 11.9331

Relax: Age 232.079 (d), Units (GPa) 0.290016 0.655347 1.65703 3.71388 7.45375 6.88487 2.37315 11.4866

Following material parameters are changed by the user

Mogen betong: Other material

Material definition: Mature C35/45 w0/C = 0.40 AEA (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

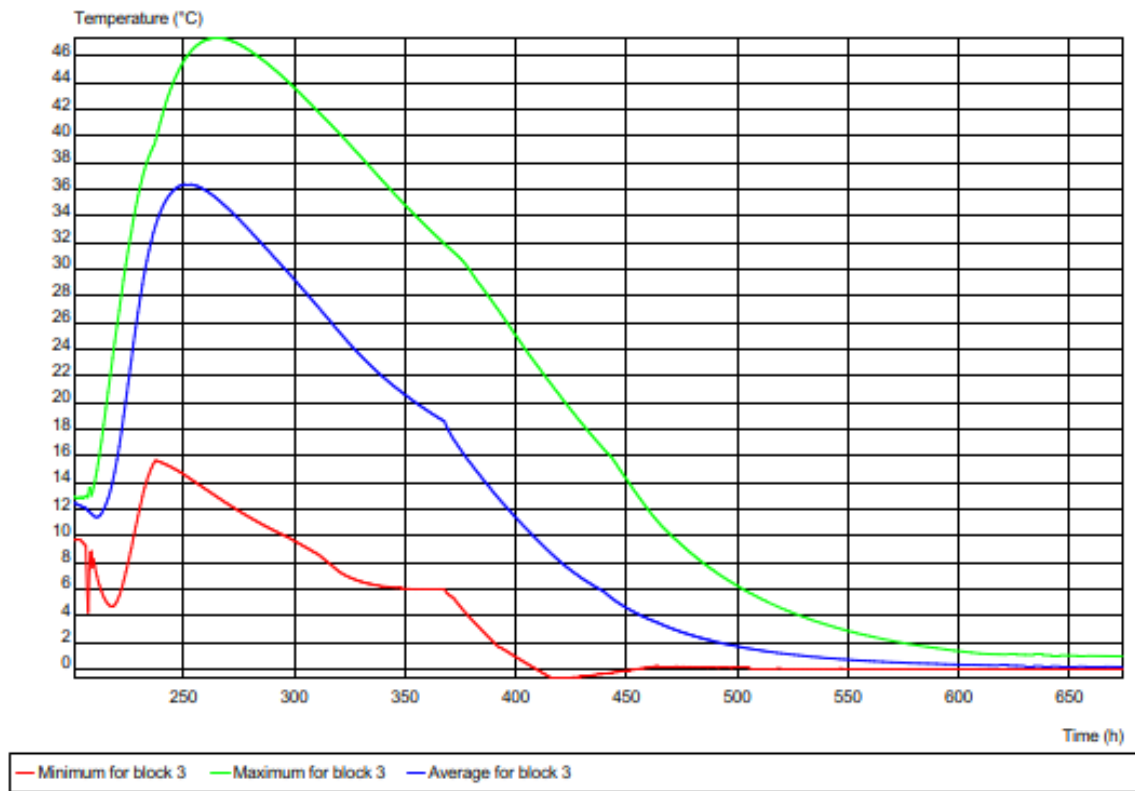
Po-ratio 0.18 (-), E-modulus 34.4 (GPa), AlfaHeat 1e-05 (1/K)

Fcc 53 (MPa), Ftref 3.68 (MPa)

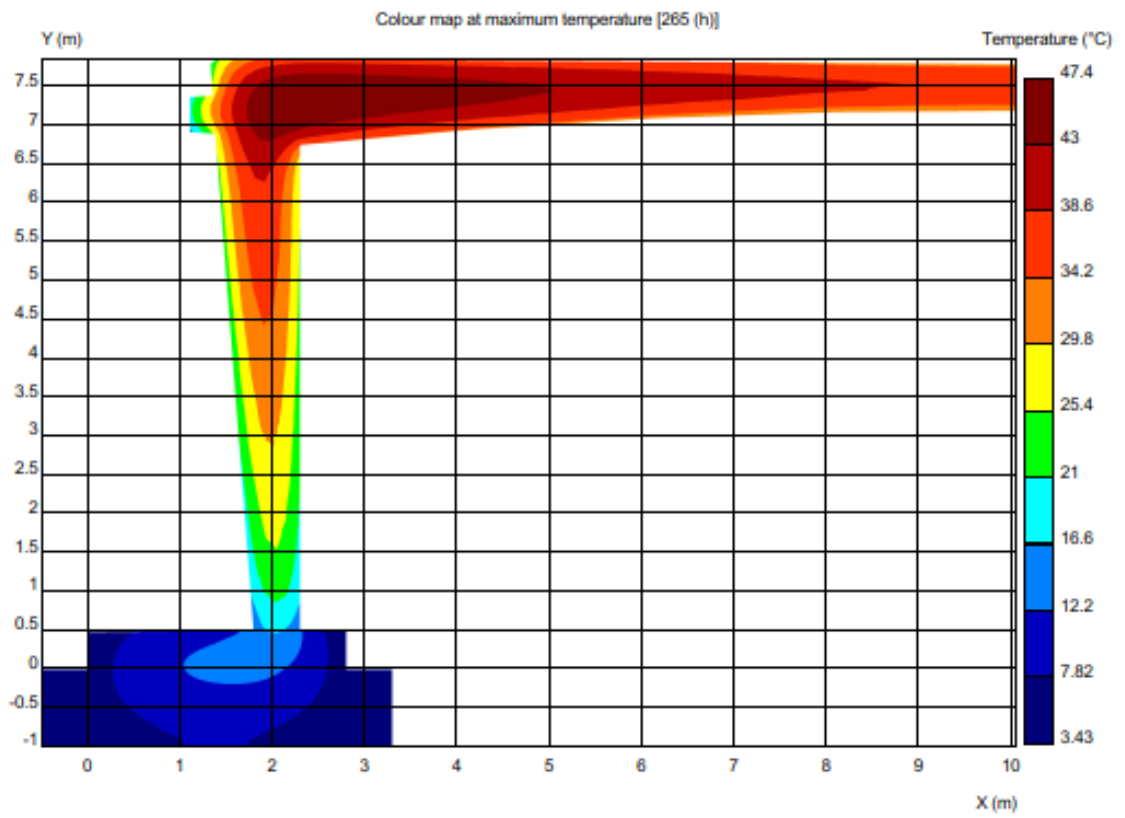
Following material parameters are changed by the user

## 7 Heat Computation Results

### 7.1 Temp diagram

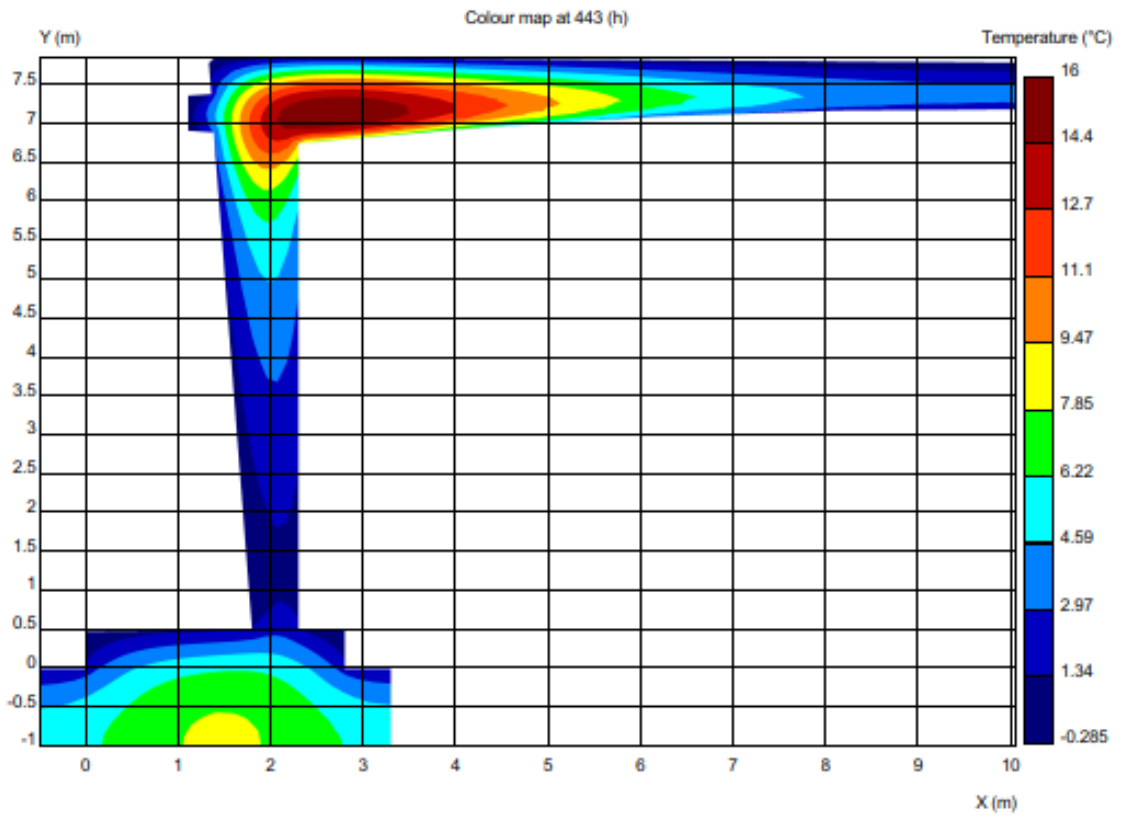


## 7.2 Max temp



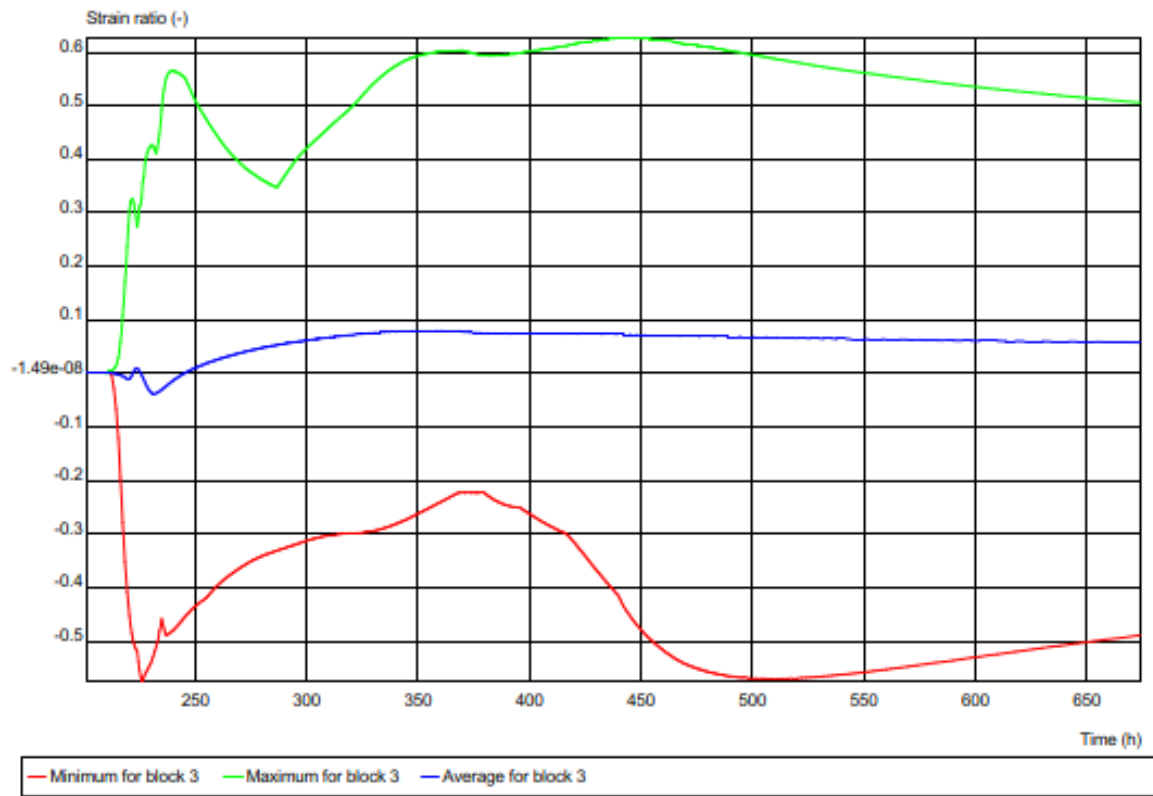


### 7.3 Temp vid max strain

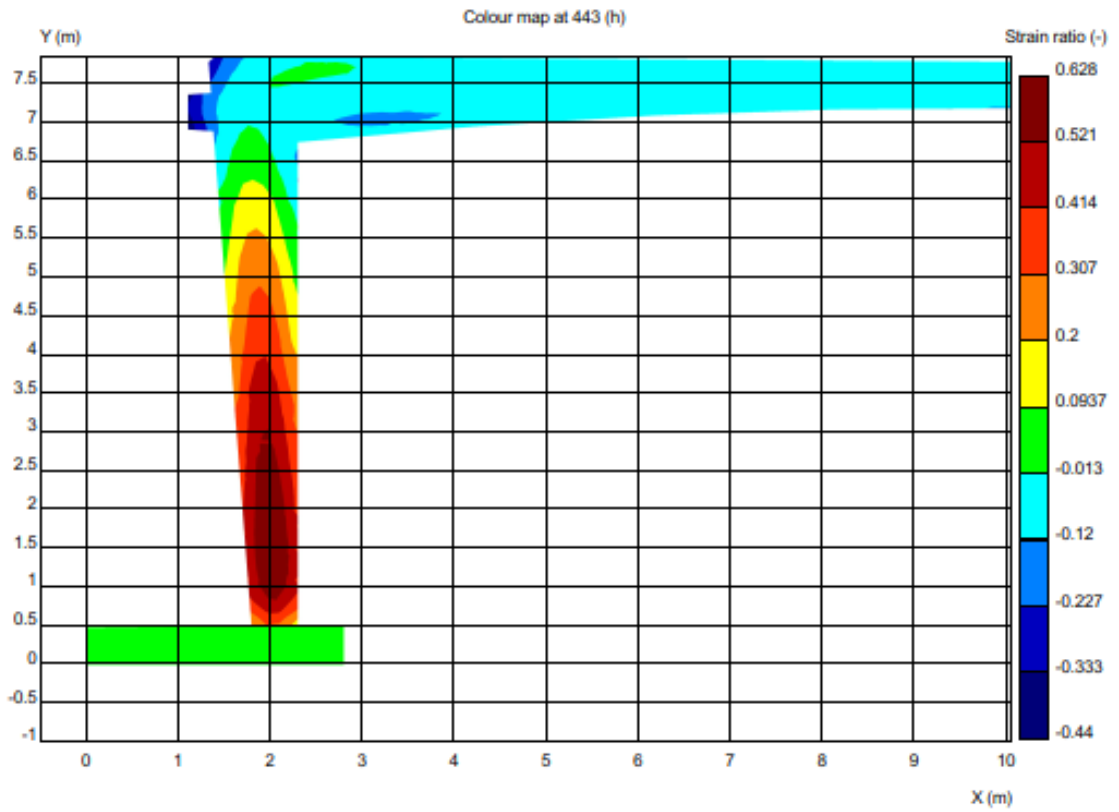


## 8 Plane-Surface Computation Results

### 8.1 Strain diagram



## 8.2 Max strain



D. Beräkningar från ConTeSt Pro med antagna produktionsförhållanden  
Ettapp I

## **C:24204 Ram 2 gjutI.CPR**

**Report**

## Contents

<b>1 Software &amp; Project Information</b>	<b>2</b>
1.1 Software	2
1.2 Project	2
<b>2 Geometry &amp; Time</b>	<b>3</b>
2.1 Description	3
2.1.1 Blocks	3
2.1.2 Inner points	3
2.1.3 Computation time	3
<b>3 Element Size</b>	<b>4</b>
<b>4 Computation Mesh</b>	<b>5</b>
<b>5 Heat Properties</b>	<b>6</b>
5.1 Description	6
5.1.4 Block type list	6
5.1.5 Block connection list	7
5.1.6 Boundary type list	7
5.1.7 Boundary connection list	8
5.1.8 Inner point type list	8
5.1.9 Inner point connection list	8
5.1.10 Simulation of filling process for young concrete	8
<b>6 Plane-Surface Analysis</b>	<b>9</b>
6.1 Description	9
6.1.11 Stress case	9
6.1.12 Block data list	9
6.1.13 Block type list	10
<b>7 Heat Computation Results</b>	<b>11</b>
7.1 Temperatur	11
7.2 Tmax	12
<b>8 Plane-Surface Computation Results</b>	<b>13</b>
8.1 Strain	13
8.2 S 376h	14

## **1 Software & Project Information**

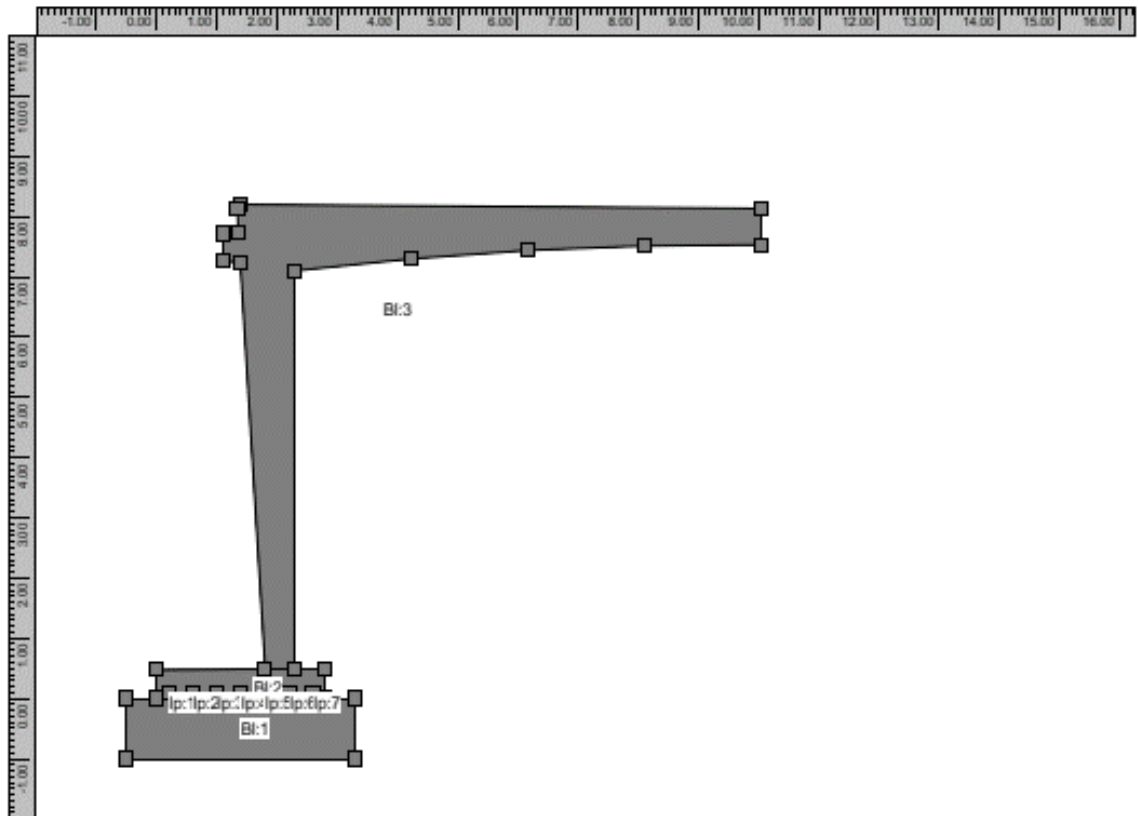
### **1.1 Software**

System name: ConTeSt  
System version: 1.4  
Developed by: JEJMS Concrete AB

### **1.2 Project**

Original filename: C:\Programs\ConTeSt\Working\24204 Ram 12.CPR  
Created: 2018.06.19 13.14.45  
Created by: amr on CH46  
Current filename: C:\Programs\ConTeSt\Working\24204 Ram 2 gjuf.CPR  
Last change: 2019.05.03 08.02.49  
Last change by: amr on CH46

## 2 Geometry & Time



### 2.1 Description

#### 2.1.1 Blocks

Block 1: (0.000;0.000) - (-0.500;0.000) - (-0.500;-1.000) - (3.300;-1.000) - (3.300;0.000) - (2.800;0.000)

Block 2: (0.000;0.000) - (2.800;0.000) - (2.800;0.495) - (2.300;0.500) - (1.800;0.500) - (0.000;0.482)

Block 3: (1.800;0.500) - (2.300;0.500) - (2.300;7.100) - (4.232;7.302) - (6.169;7.443) - (8.110;7.521) - (10.052;7.537) - (10.052;8.137) - (1.408;8.207) - (1.337;8.133) - (1.361;7.733) - (1.111;7.713) - (1.111;7.263) - (1.390;7.241)

#### 2.1.2 Inner points

Inner point 1: Position (0.200;0.100)

Inner point 2: Position (0.600;0.100)

Inner point 3: Position (1.000;0.100)

Inner point 4: Position (1.400;0.100)

Inner point 5: Position (1.800;0.100)

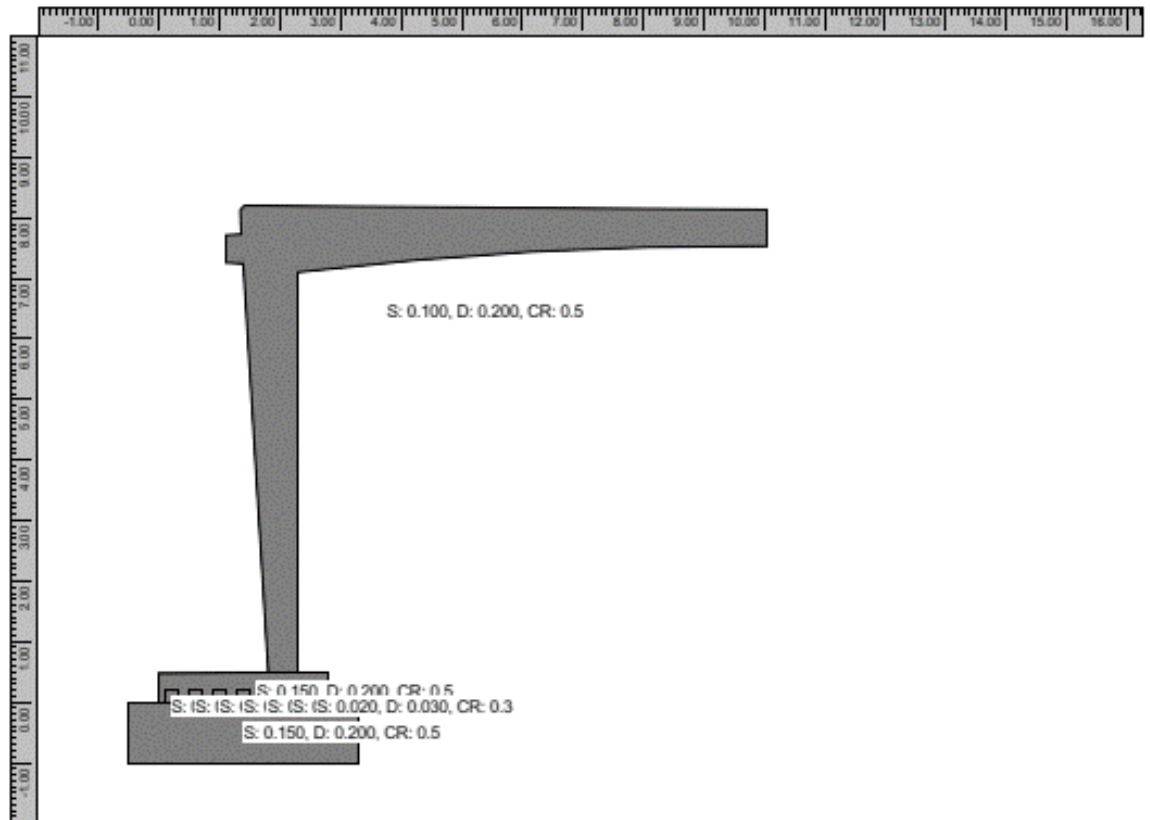
Inner point 6: Position (2.200;0.100)

Inner point 7: Position (2.600;0.100)

#### 2.1.3 Computation time

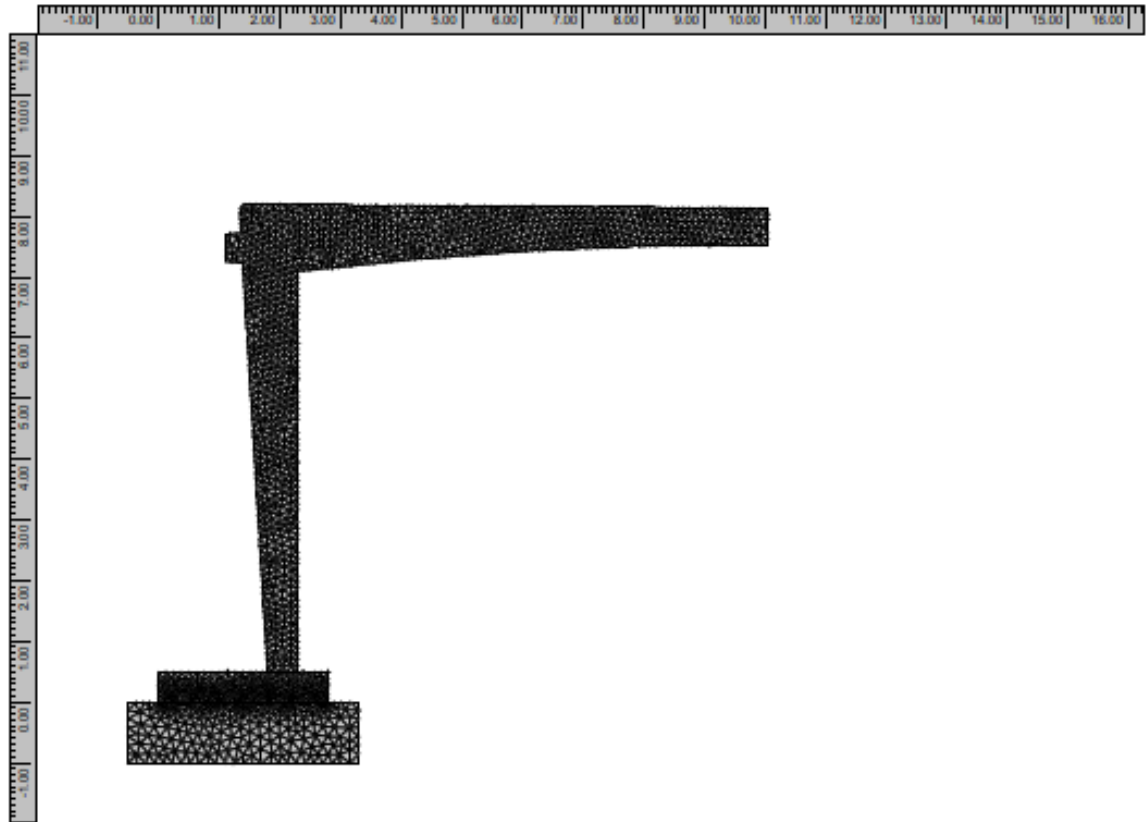
Total time length: 672 (h)

### 3 Element Size

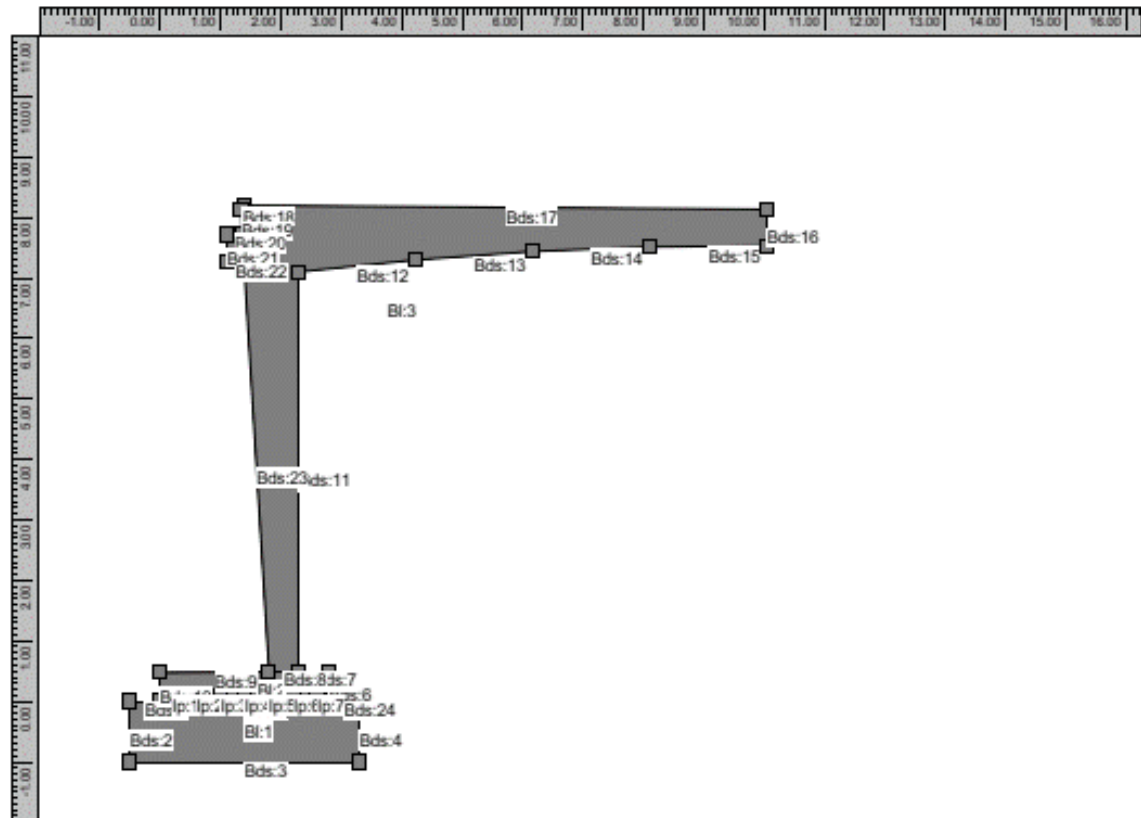




## 4 Computation Mesh



## 5 Heat Properties



### 5.1 Description

#### 5.1.4 Block type list

##### Packad fyllning: Other material

Start temperature:

Constant: 2.0

Material definition: Coarse grained soil

Source

Luleå University of Technology 1997

Description

e.g. till, moraine and gravel

Original material parameters

Density: 2200 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1400 (J/(kg·K))

Heat cond. 2.1 (W/m·K)

##### Mogen betong: Other material

Start temperature:

Constant: 2.0

Material definition: Mature C35/45 w0/C = 0.40 AEA (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Density: 2350 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1000 (J/(kg·K))

Heat cond. (W/m<sup>2</sup>K) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; heat cond.): (0;1.7), (12;2.1), (24;1.7), (10000;1.7),

Ung betong: Young concrete

Start temperature:

Constant: 13.0

Material definition: C35/45 w0/C = 0.40 Air entrainment (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cementa AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Density: 2350 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1000 (J/(kg·K))

Heat cond. (W/m<sup>2</sup>K) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; heat cond.): (0;2.1), (12;2.1), (24;1.7), (10000;1.7),

C 425 (kg/m<sup>3</sup>), Wc 325000 (J/kg), Lambda1 2.2 (-), t1 4.75 (h), Kappa1 1.65 (-)

te0 0 (h), BetaD 1 (-), ThetaRef 4200 (K), Kappa3 0.5 (-)

s 0.331 (-), tS 5.556 (h), tA 8.334 (h), nA 1.148 (-)

Lambda2 0 (-), Tr2 1 (°C), Kappa2 0 (-)

Fcc28 53 (MPa)

Following material parameters are changed by the user

C 430 (kg/m<sup>3</sup>)

### 5.1.5 Block connection list

Block 1: Packad fyllning

Block 2: Mogen betong

Block 3: Ung betong, simulate filling

### 5.1.6 Boundary type list

Fri yta

Temperature

Constant 2 (°C)

Wind velocity

Constant 5 (m/s)

Heat transfer coefficient

Constant 500 (W/m<sup>2</sup>K)

Free Surface

Supplied heat

Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

Form

Temperature

Constant 2 (°C)

Wind velocity

Constant 5 (m/s)

Heat transfer coefficient

Piece-wise constant (time (h):htc (W/m<sup>2</sup>K))

(200:6.36364)

Wood 0.022 (m)

(344:500)

Free Surface

Supplied heat

Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

Cellplast

Temperature

Constant 2 (°C)

Wind velocity

Constant 5 (m/s)  
 Heat transfer coefficient  
 Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))  
 (152;3.6)  
 Cellular plastic 0.01 (m)  
 (344;500)  
 Free Surface  
 Supplied heat  
 Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)  
 Moving Boundary: Moving boundary  
 Temperature  
 Constant 2 (°C)  
 Wind velocity  
 Constant 5 (m/s)  
 Heat transfer coefficient  
 Constant 500 (W/m<sup>2</sup>K)  
 Free Surface  
 Supplied heat  
 Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

### 5.1.7 Boundary connection list

Boundary segment 1: Fri yta  
 Boundary segment 2: adiabatic (no heat flow)  
 Boundary segment 3: adiabatic (no heat flow)  
 Boundary segment 4: adiabatic (no heat flow)  
 Boundary segment 5: inner segment (full thermal contact)  
 Boundary segment 6: Fri yta  
 Boundary segment 7: Form  
 Boundary segment 8: inner segment (full thermal contact)  
 Boundary segment 9: Form  
 Boundary segment 10: Fri yta  
 Boundary segment 11: Form  
 Boundary segment 12: Form  
 Boundary segment 13: Form  
 Boundary segment 14: Form  
 Boundary segment 15: Form  
 Boundary segment 16: adiabatic (no heat flow)  
 Boundary segment 17: Fri yta  
 Boundary segment 18: Form  
 Boundary segment 19: Form  
 Boundary segment 20: Form  
 Boundary segment 21: Form  
 Boundary segment 22: Form  
 Boundary segment 23: Form  
 Boundary segment 24: Fri yta

### 5.1.8 Inner point type list

Värmekablar  
 Supplied heat  
 Piece-wise constant (time (h);power (W/m))  
 (0;0) (152;40) (224;0)

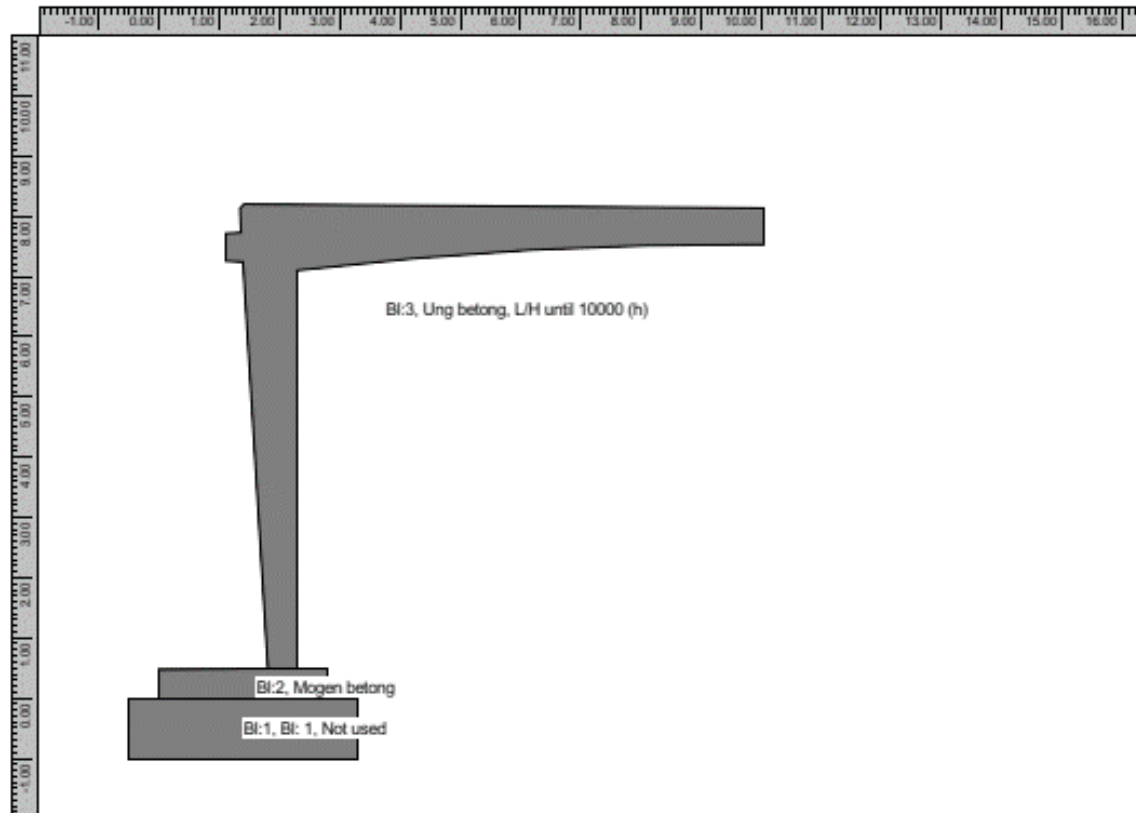
### 5.1.9 Inner point connection list

Inner point 1: Värmekablar  
 Inner point 2: Värmekablar  
 Inner point 3: Värmekablar  
 Inner point 4: Värmekablar  
 Inner point 5: Värmekablar  
 Inner point 6: Värmekablar  
 Inner point 7: Värmekablar

### 5.1.10 Simulation of filling process for young concrete

Surface position as a piece-wise linear func. of time (time (h); y-coord. (m))  
 (0;0.5), (200;0.5), (213;7.1), (215;7.1), (217;8.207),

## 6 Plane-Surface Analysis



### 6.1 Description

#### 6.1.11 Stress case

##### Default time stepping

###### Translation

Free (0.000)

###### Rotation around X-axis

Free (0.000)

###### Rotation around Y-axis

Full restraint (1.000)

##### Resilience: LH-based

Structure length: 12.356 (m)

Data source: Standard

##### Resilience reduction length and width dependent

Data source: External file C:\Programs\ConTeSt\redH4.0m.rtt

Length = 0.000 (m) : [width(m),red]  
(0.400;0.500) (0.800;0.500) (1.200;0.500)

Length = 4.000 (m) : [width(m),red]  
(0.400;0.500) (0.800;0.500) (1.200;0.500)

Length = 8.000 (m) : [width(m),red]  
(0.400;0.720) (0.800;0.750) (1.200;0.780)

Length = 20.000 (m) : [width(m),red]  
(0.400;1.000) (0.800;1.000) (1.200;1.000)

#### 6.1.12 Block data list

Block 2: Mogen betong  
Block 3: Ung betong, L/H until 10000 (h)

### 6.1.13 Block type list

Mogen betong: Other material

Material definition: Mature C35/45 w0/C = 0.40 AEA (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden  
Tests during 1995 to 2004  
Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Po-ratio 0.18 (-), E-modulus 34.4 (GPa), AlfaHeat 1e-05 (1/K)  
Fcc 53 (MPa), Ftref 3.68 (MPa)

Ung betong: Young concrete

Material definition: C35/45 w0/C = 0.40 Air entrainment (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden  
Tests during 1995 to 2004  
Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

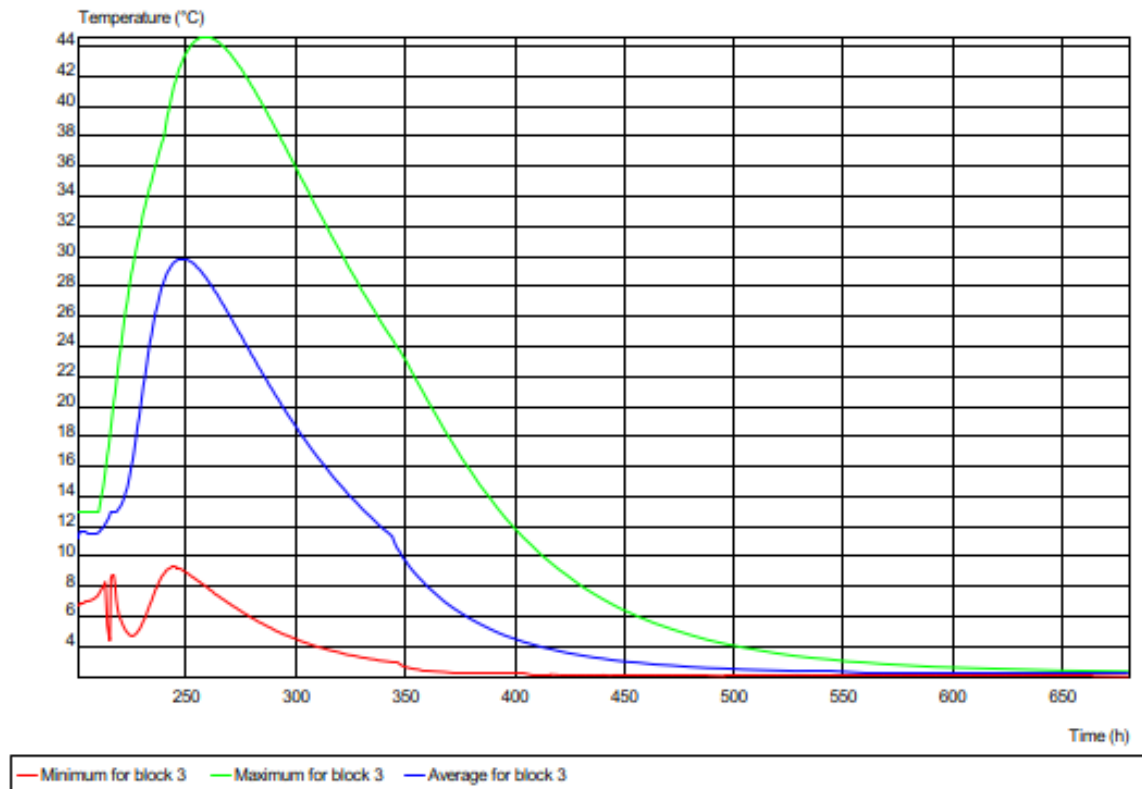
Original material parameters

Po-ratio 0.18 (-), AlfaHeat 1.1e-05 (1/K), AlfaCool 9e-06 (1/K)  
ThetaT 5000 (K), RelaxTime1 0.005 (d), TimeZero 0.25 (d)  
Fcc28 53 (MPa), FcRef 53 (MPa), Ftref 3.68 (MPa)  
Beta1 0.667 (-), Alfact 0.9 (-), RaaT 0 (-), RaaFi 0.9 (-)  
KFi 2 (-), Eps1 0 (-), TumeS1 6 (h)  
Eps2 -0.0001368 (-), TimeS2 24 (h), ThetaSH 120 (h), EthaSH 0.3 (-)  
Relax: Age 0.249 (d), Units (GPa) 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
Relax: Age 0.5 (d), Units (GPa) 0.857221 0.256405 3.50511 1.16388 0.786528 0.439177 0.122558 0.101706  
Relax: Age 1.077 (d), Units (GPa) 2.67304 4.80813 9.03774 3.7919 4.01799 2.19963 0.705556 0.754292  
Relax: Age 2.321 (d), Units (GPa) 2.11587 4.25012 8.20966 7.23161 6.34904 3.5086 1.10078 0.684051  
Relax: Age 5 (d), Units (GPa) 1.26691 2.75358 5.95473 8.32677 7.27362 3.96807 1.25504 3.14366  
Relax: Age 10.772 (d), Units (GPa) 0.801966 1.78874 4.18532 7.43422 7.50287 4.12974 1.31843 7.05465  
Relax: Age 23.208 (d), Units (GPa) 0.539145 1.25091 2.9427 6.22062 7.65742 4.43895 1.40975 9.90401  
Relax: Age 50 (d), Units (GPa) 0.399024 0.941339 2.22694 5.08507 7.71281 5.01355 1.56935 11.4966  
Relax: Age 107.722 (d), Units (GPa) 0.327423 0.75879 1.85384 4.2392 7.64612 5.8679 1.86341 11.9331  
Relax: Age 232.079 (d), Units (GPa) 0.290016 0.655347 1.65703 3.71388 7.45375 6.88487 2.37315 11.4866

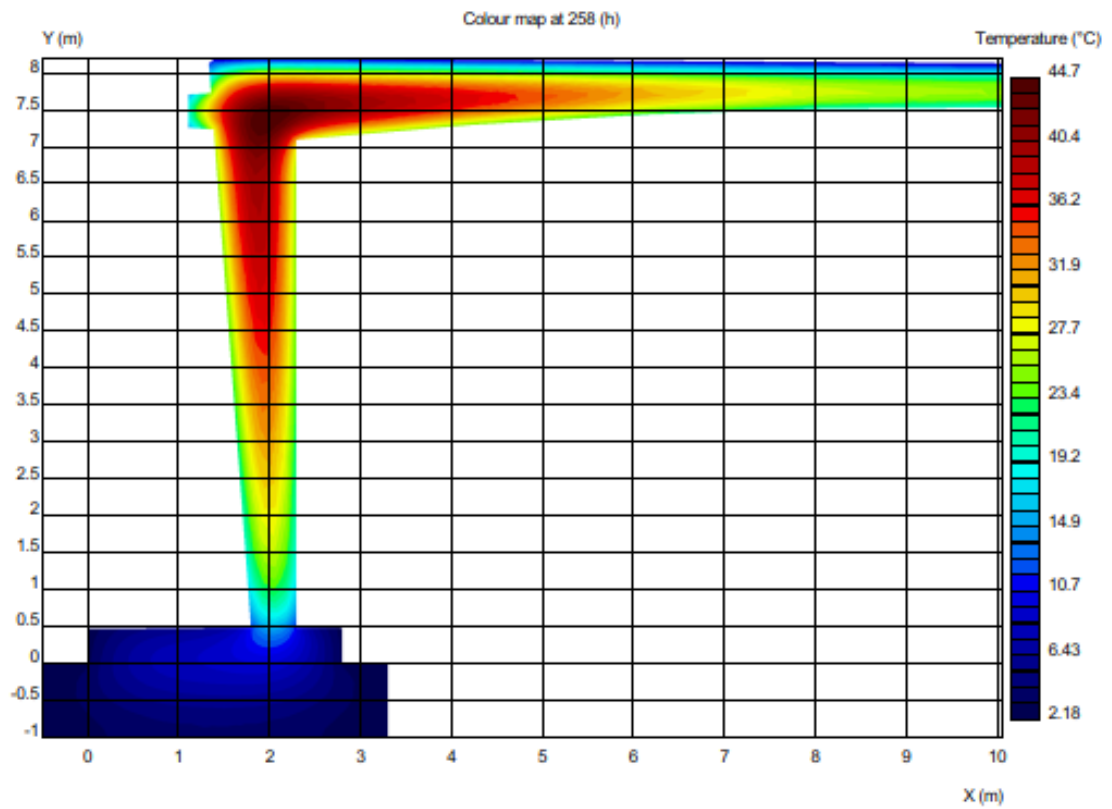
Following material parameters are changed by the user

## 7 Heat Computation Results

### 7.1 Temperatur



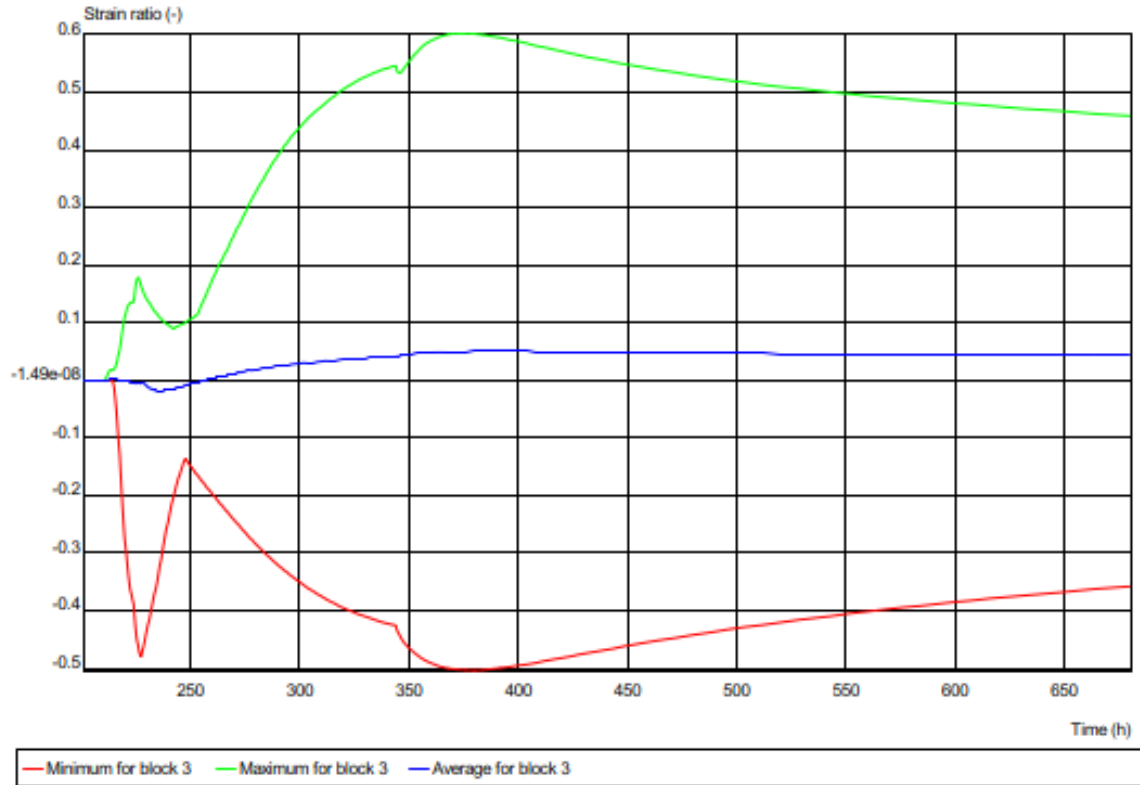
## 7.2 Tmax



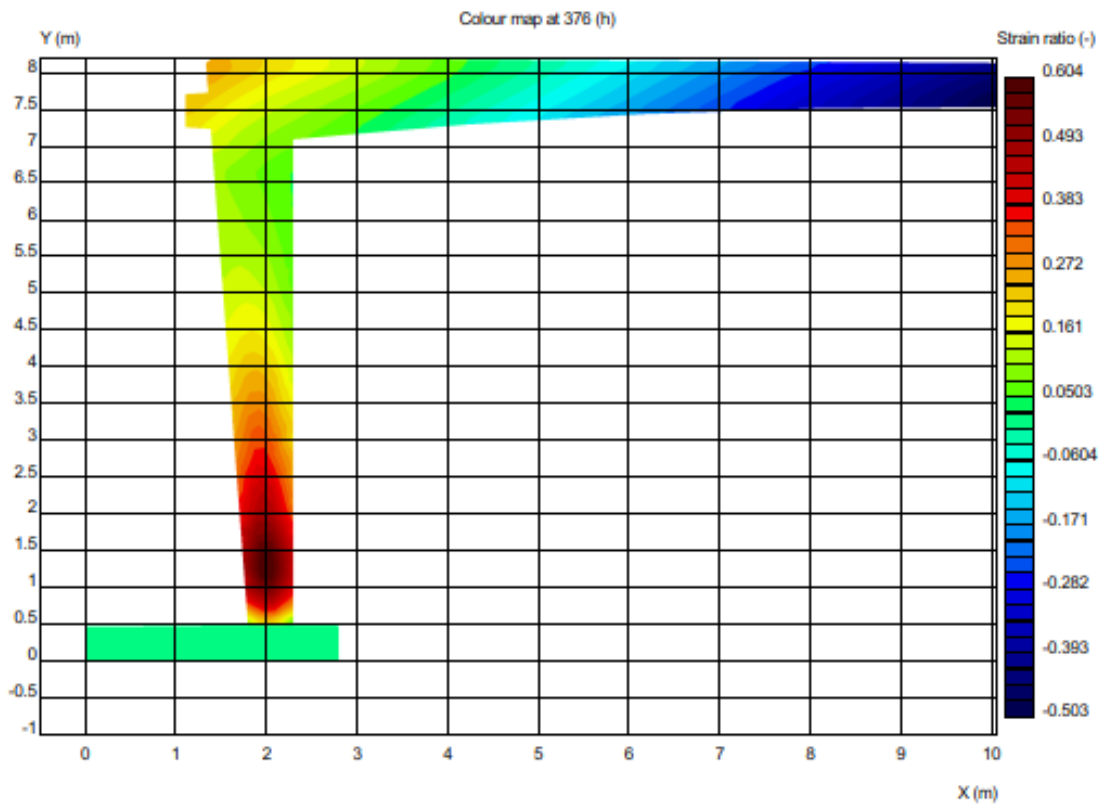


## 8 Plane-Surface Computation Results

### 8.1 Strain



## 8.2 S 376h



Etapp II

## **C:24204 Ram 2 gjutII cellplast.CPR**

Report

## Contents

<b>1 Software &amp; Project Information</b>	<b>2</b>
1.1 Software	2
1.2 Project	2
<b>2 Geometry &amp; Time</b>	<b>3</b>
2.1 Description	3
2.1.1 Blocks	3
2.1.2 Inner points	3
2.1.3 Computation time	3
<b>3 Element Size</b>	<b>4</b>
<b>4 Computation Mesh</b>	<b>5</b>
<b>5 Heat Properties</b>	<b>6</b>
5.1 Description	6
5.1.4 Block type list	6
5.1.5 Block connection list	7
5.1.6 Boundary type list	7
5.1.7 Boundary connection list	8
5.1.8 Inner point type list	8
5.1.9 Inner point connection list	8
5.1.10 Simulation of filling process for young concrete	8
<b>6 Plane-Surface Analysis</b>	<b>9</b>
6.1 Description	9
6.1.11 Stress case	9
6.1.12 Block data list	9
6.1.13 Block type list	10
<b>7 Heat Computation Results</b>	<b>11</b>
7.1 Temperatur	11
7.2 Tmax	12
<b>8 Plane-Surface Computation Results</b>	<b>13</b>
8.1 Strain	13
8.2 S 402h	14

## **1 Software & Project Information**

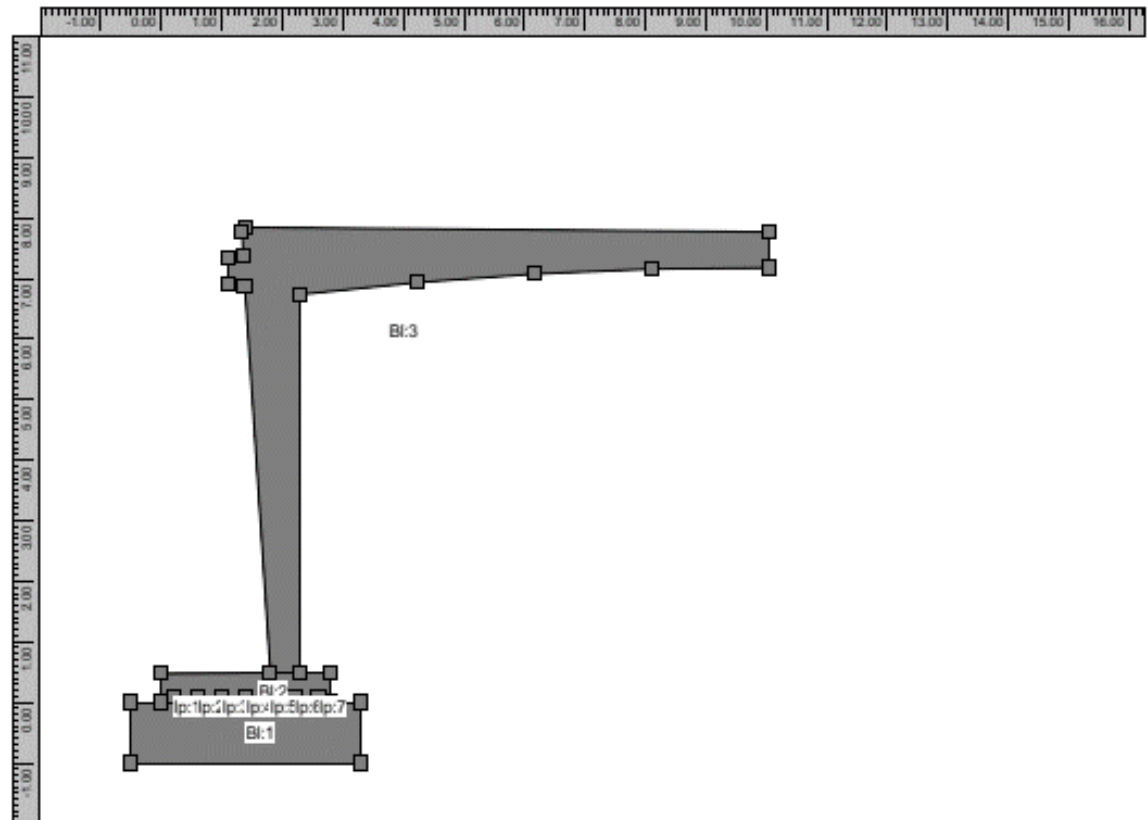
### **1.1 Software**

System name: ConTeSt  
System version: 1.4  
Developed by: JEJMS Concrete AB

### **1.2 Project**

Original filename: C:\Programs\ConTeSt\Working\24204 Ram 12.CPR  
Created: 2018.06.19 13.14.45  
Created by: amr on CH46  
Current filename: C:\Programs\ConTeSt\Working\24204 Ram 2 gjutII cellplast.CPR  
Last change: 2019.05.03 08.04.06  
Last change by: amr on CH46

## 2 Geometry & Time



### 2.1 Description

#### 2.1.1 Blocks

Block 1: (0.000;0.000) - (-0.500;0.000) - (-0.500;-1.000) - (3.300;-1.000) - (3.300;0.000) - (2.800;0.000)

Block 2: (0.000;0.000) - (2.800;0.000) - (2.800;0.495) - (2.300;0.500) - (1.800;0.500) - (0.000;0.482)

Block 3: (1.800;0.500) - (2.300;0.500) - (2.300;6.740) - (4.232;6.942) - (6.169;7.083) - (8.110;7.161) - (10.052;7.177) - (10.052;7.777) - (1.404;7.847) - (1.334;7.773) - (1.359;7.373) - (1.109;7.353) - (1.109;6.903) - (1.386;6.881)

#### 2.1.2 Inner points

Inner point 1: Position (0.200;0.100)

Inner point 2: Position (0.600;0.100)

Inner point 3: Position (1.000;0.100)

Inner point 4: Position (1.400;0.100)

Inner point 5: Position (1.800;0.100)

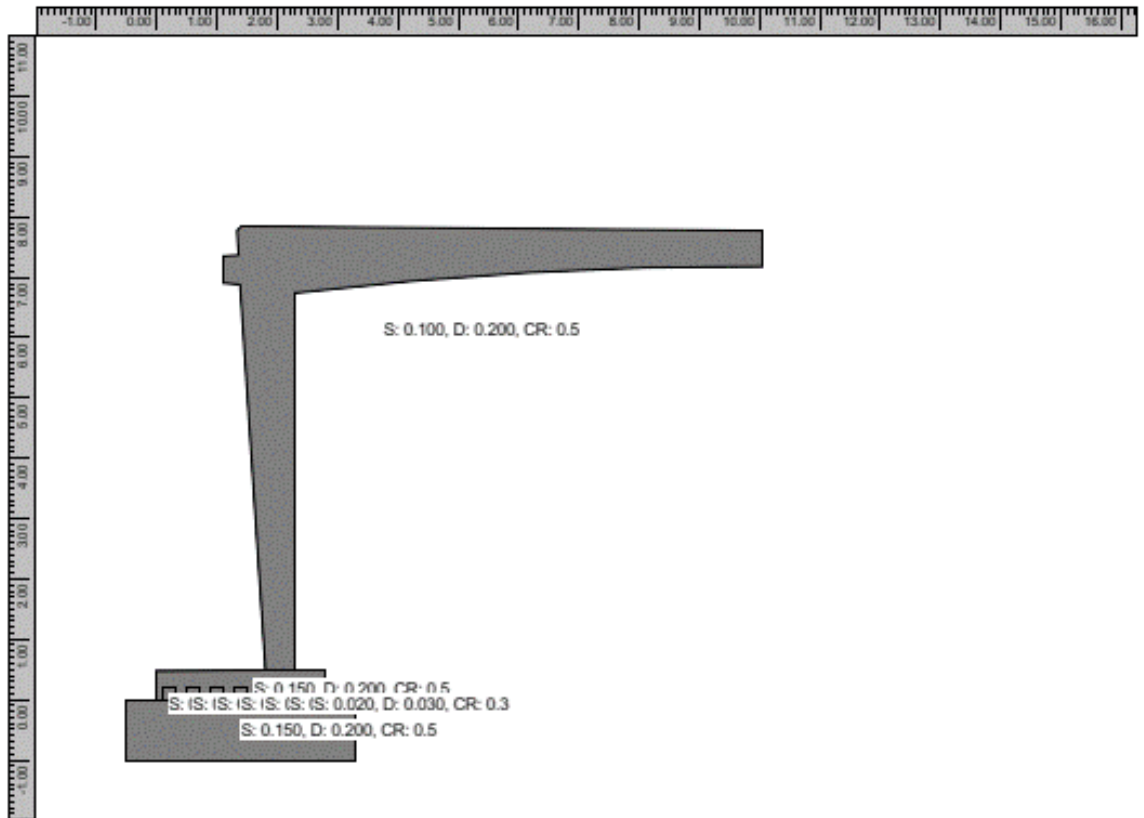
Inner point 6: Position (2.200;0.100)

Inner point 7: Position (2.600;0.100)

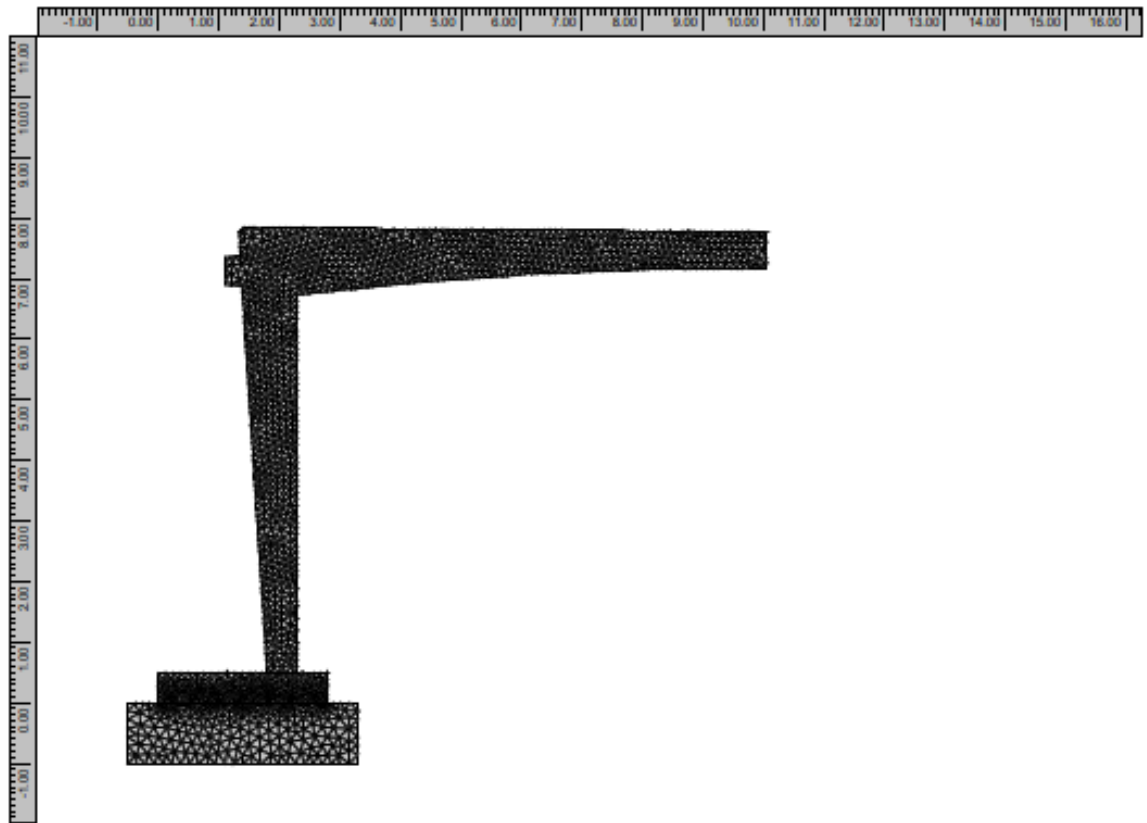
#### 2.1.3 Computation time

Total time length: 672 (h)

### 3 Element Size

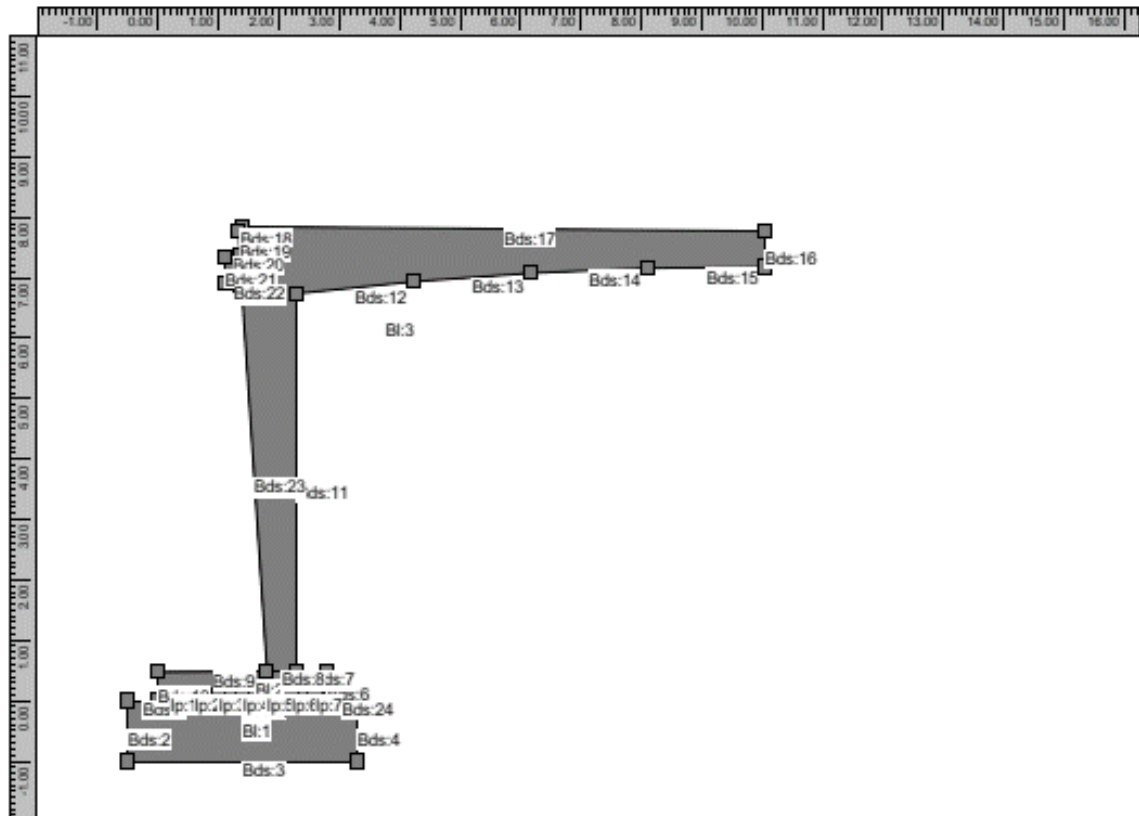


## 4 Computation Mesh





## 5 Heat Properties



### 5.1 Description

#### 5.1.4 Block type list

Packad fyllning: Other material

Start temperature:

Constant: 2.0

Material definition: Coarse grained soil

Source

Luleå University of Technology 1997

Description

e.g. till, moraine and gravel

Original material parameters

Density: 2200 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1400 (J/(kg·K))

Heat cond. 2.1 (W/m<sup>2</sup>·K)

Mogen betong: Other material

Start temperature:

Constant: 2.0

Material definition: Mature C35/45 w0/C = 0.40 AEA (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Density: 2350 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1000 (J/(kg K))

Heat cond. (W/m<sup>2</sup>K) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; heat cond.): (0;1.7), (12;2.1), (24;1.7), (10000;1.7),

Ung betong: Young concrete

Start temperature:

Constant: 13.0

Material definition: C35/45 w0/C = 0.40 Air entrainment (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden

Tests during 1995 to 2004

Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Density: 2350 (kg/m<sup>3</sup>), Heat cap. 1000 (J/(kg K))

Heat cond. (W/m<sup>2</sup>K) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; heat cond.): (0;2.1), (12;2.1), (24;1.7), (10000;1.7),

C 425 (kg/m<sup>3</sup>), Wc 325000 (J/kg), Lambda1 2.2 (-), t1 4.75 (h), Kappa1 1.65 (-)

te0 0 (h), BetaD 1 (-), ThetaRef 4200 (K), Kappa3 0.5 (-)

s 0.331 (-), tS 5.556 (h), tA 8.334 (h), nA 1.148 (-)

Lambda2 0 (-), Tr2 1 (°C), Kappa2 0 (-)

Fcc28 53 (MPa)

Following material parameters are changed by the user

C 430 (kg/m<sup>3</sup>)

### 5.1.5 Block connection list

Block 1: Packad fylning

Block 2: Mogen betong

Block 3: Ung betong, simulate filling

### 5.1.6 Boundary type list

Fri yta

Temperature

Constant 2 (°C)

Wind velocity

Constant 5 (m/s)

Heat transfer coefficient

Constant 500 (W/m<sup>2</sup>K)

Free Surface

Supplied heat

Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

Form

Temperature

Constant 2 (°C)

Wind velocity

Constant 5 (m/s)

Heat transfer coefficient

Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))

(200:6.36364)

Wood 0.022 (m)

(368:500)

Free Surface

Supplied heat

Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

Cellplast

Temperature

Constant 2 (°C)

Wind velocity

Constant 5 (m/s)  
 Heat transfer coefficient  
 Piece-wise constant (time (h);htc (W/m<sup>2</sup>K))  
 (80;3.6)  
 Cellular plastic 0.01 (m)  
 (368;500)  
 Free Surface  
 Supplied heat  
 Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)  
 Moving Boundary: Moving boundary  
 Temperature  
 Constant 2 (°C)  
 Wind velocity  
 Constant 5 (m/s)  
 Heat transfer coefficient  
 Constant 500 (W/m<sup>2</sup>K)  
 Free Surface  
 Supplied heat  
 Constant 0 (W/m<sup>2</sup>)

#### 5.1.7 Boundary connection list

Boundary segment 1: Fri yta  
 Boundary segment 2: adiabatic (no heat flow)  
 Boundary segment 3: adiabatic (no heat flow)  
 Boundary segment 4: adiabatic (no heat flow)  
 Boundary segment 5: inner segment (full thermal contact)  
 Boundary segment 6: Fri yta  
 Boundary segment 7: Cellplast  
 Boundary segment 8: inner segment (full thermal contact)  
 Boundary segment 9: Cellplast  
 Boundary segment 10: Fri yta  
 Boundary segment 11: Form  
 Boundary segment 12: Form  
 Boundary segment 13: Form  
 Boundary segment 14: Form  
 Boundary segment 15: Form  
 Boundary segment 16: adiabatic (no heat flow)  
 Boundary segment 17: Fri yta  
 Boundary segment 18: Form  
 Boundary segment 19: Form  
 Boundary segment 20: Form  
 Boundary segment 21: Form  
 Boundary segment 22: Form  
 Boundary segment 23: Form  
 Boundary segment 24: Fri yta

#### 5.1.8 Inner point type list

Värmekablar  
 Supplied heat  
 Piece-wise constant (time (h);power (W/m))  
 (0;0) (80;40) (224;0)

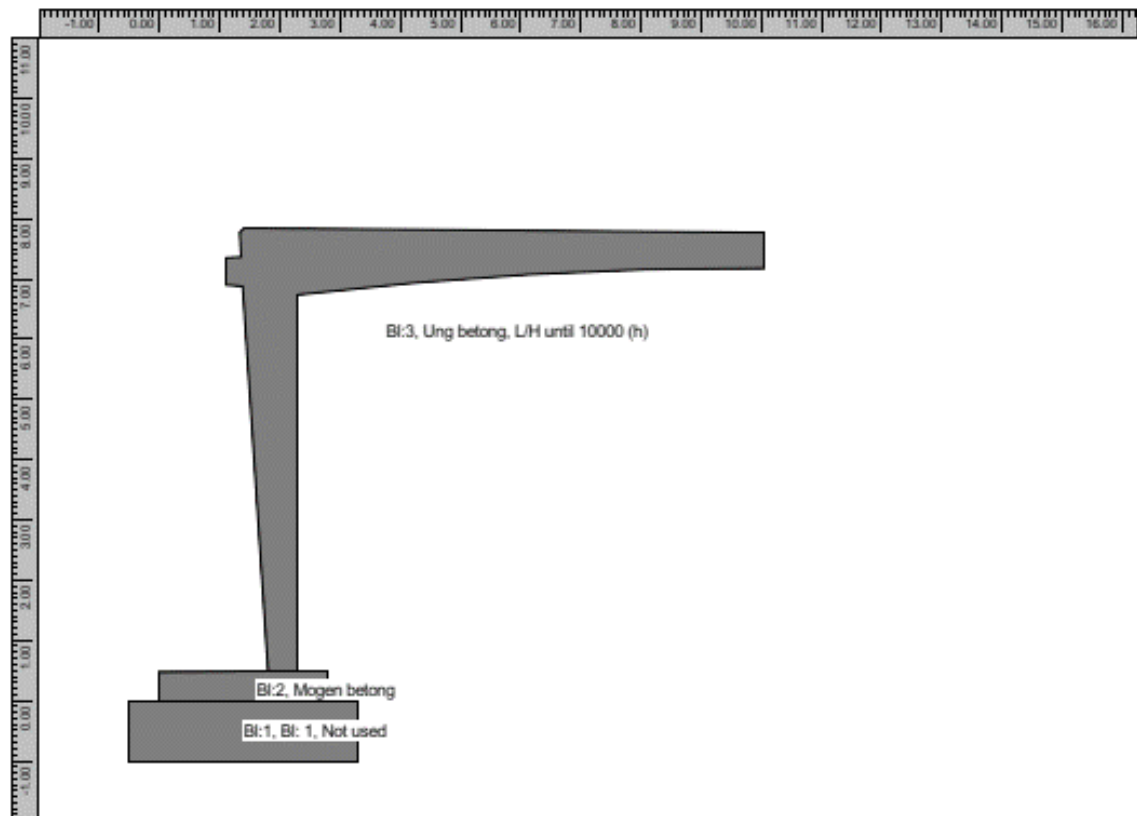
#### 5.1.9 Inner point connection list

Inner point 1: Värmekablar  
 Inner point 2: Värmekablar  
 Inner point 3: Värmekablar  
 Inner point 4: Värmekablar  
 Inner point 5: Värmekablar  
 Inner point 6: Värmekablar  
 Inner point 7: Värmekablar

#### 5.1.10 Simulation of filling process for young concrete

Surface position as a piece-wise linear func. of time (time (h); y-coord. (m))  
 (0;0.5), (200;0.5), (213;6.74), (215;6.74), (217;7.847),

## 6 Plane-Surface Analysis



### 6.1 Description

#### 6.1.11 Stress case

##### Default time stepping

###### Translation

Free (0.000)

###### Rotation around X-axis

Free (0.000)

###### Rotation around Y-axis

Full restraint (1.000)

##### Resilience: LH-based

Structure length: 24.177 (m)

Data source: Standard

##### Resilience reduction length and width dependent

Data source: External file C:\Programs\ConTeSt\redH4.0m.rtt

Length = 0.000 (m) : [width(m),red]

(0.400;0.500) (0.800;0.500) (1.200;0.500)

Length = 4.000 (m) : [width(m),red]

(0.400;0.500) (0.800;0.500) (1.200;0.500)

Length = 8.000 (m) : [width(m),red]

(0.400;0.720) (0.800;0.750) (1.200;0.780)

Length = 20.000 (m) : [width(m),red]

(0.400;1.000) (0.800;1.000) (1.200;1.000)

#### 6.1.12 Block data list

Block 2: Mogen betong  
Block 3: Ung betong, L/H until 10000 (h)

### 6.1.13 Block type list

Mogen betong: Other material

Material definition: Mature C35/45 w0/C = 0.40 AEA (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden  
Tests during 1995 to 2004  
Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

Original material parameters

Po-ratio 0.18 (-), E-modulus 34.4 (GPa), AlfaHeat 1e-05 (1/K)  
Fcc 53 (MPa), Ftref 3.68 (MPa)

Ung betong: Young concrete

Material definition: C35/45 w0/C = 0.40 Air entrainment (str)

Source

Luleå University of Technology, Sweden  
Tests during 1995 to 2004  
Adjustment to a "general" data base 2006

Description

Moderate heat cement (Degerhamn OPC) from Cements AB in Sweden.

Primarily aimed for use in civil engineering structures.

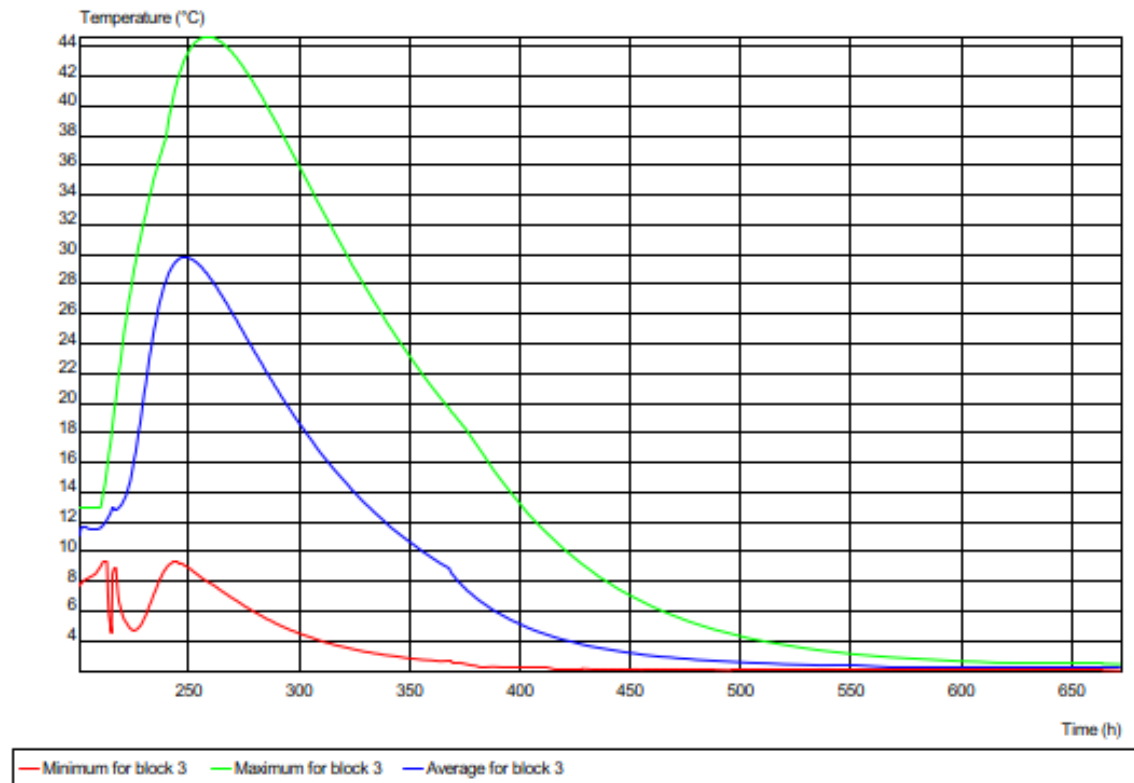
Original material parameters

Po-ratio 0.18 (-), AlfaHeat 1.1e-05 (1/K), AlfaCool 9e-06 (1/K)  
ThetaT 5000 (K), RelaxTime1 0.005 (d), TimeZero 0.25 (d)  
Fcc28 53 (MPa), Fccref 53 (MPa), Ftref 3.68 (MPa)  
Beta1 0.667 (-), Alfafact 0.9 (-), RaaT 0 (-), RaaFi 0.9 (-)  
KFi 2 (-), Eps1 0 (-), TimeS1 6 (h)  
Eps2 -0.0001368 (-), TimeS2 24 (h), ThetaSH 120 (h), EthaSH 0.3 (-)  
Relax: Age 0.249 (d), Units (GPa) 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
Relax: Age 0.5 (d), Units (GPa) 0.857221 0.256405 3.50511 1.16388 0.786528 0.439177 0.122558 0.101706  
Relax: Age 1.077 (d), Units (GPa) 2.67304 4.80813 9.03774 3.7919 4.01799 2.19963 0.705556 0.754292  
Relax: Age 2.321 (d), Units (GPa) 2.11587 4.25012 8.20966 7.23161 6.34904 3.5086 1.10078 0.684051  
Relax: Age 5 (d), Units (GPa) 1.26691 2.75358 5.95473 8.32677 7.27362 3.96807 1.25504 3.14366  
Relax: Age 10.772 (d), Units (GPa) 0.801966 1.78874 4.18532 7.43422 7.50287 4.12974 1.31843 7.05465  
Relax: Age 23.208 (d), Units (GPa) 0.539145 1.25091 2.9427 6.22062 7.65742 4.43895 1.40975 9.90401  
Relax: Age 50 (d), Units (GPa) 0.399024 0.941339 2.22694 5.08507 7.71281 5.01355 1.56935 11.4966  
Relax: Age 107.722 (d), Units (GPa) 0.327423 0.75879 1.85384 4.2392 7.64612 5.8679 1.86341 11.9331  
Relax: Age 232.079 (d), Units (GPa) 0.290016 0.655347 1.65703 3.71388 7.45375 6.88487 2.37315 11.4866

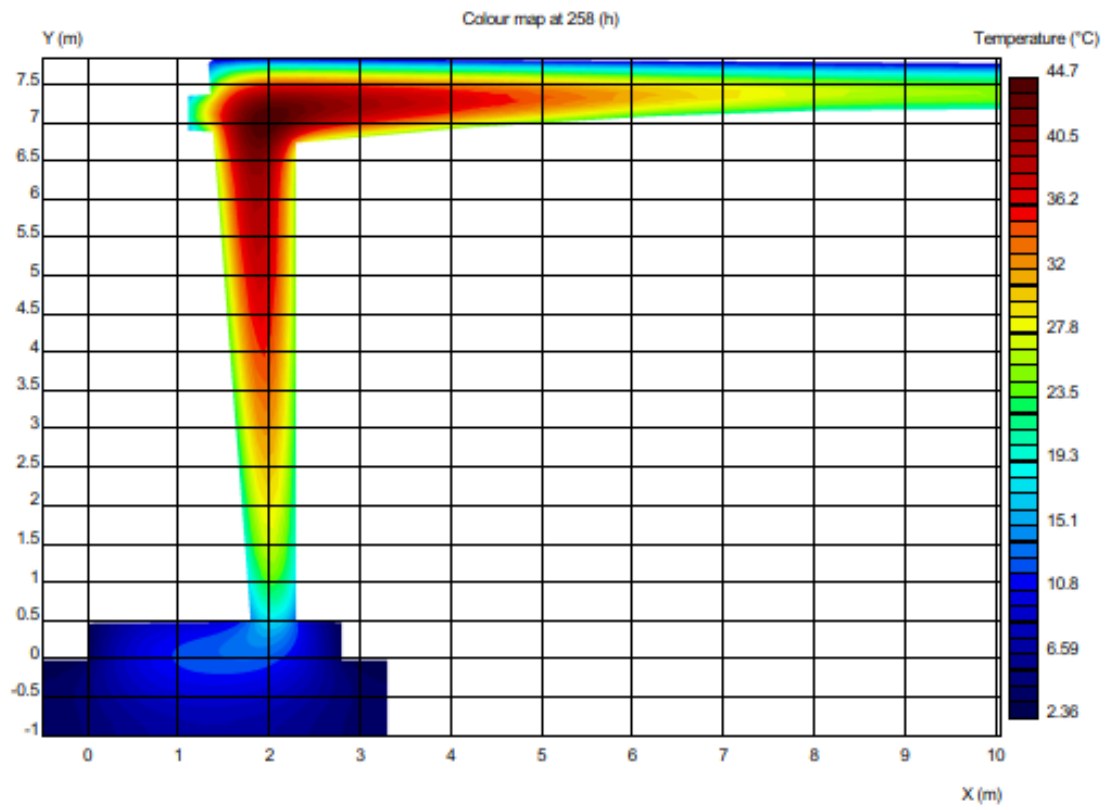
Following material parameters are changed by the user

## 7 Heat Computation Results

### 7.1 Temperatur

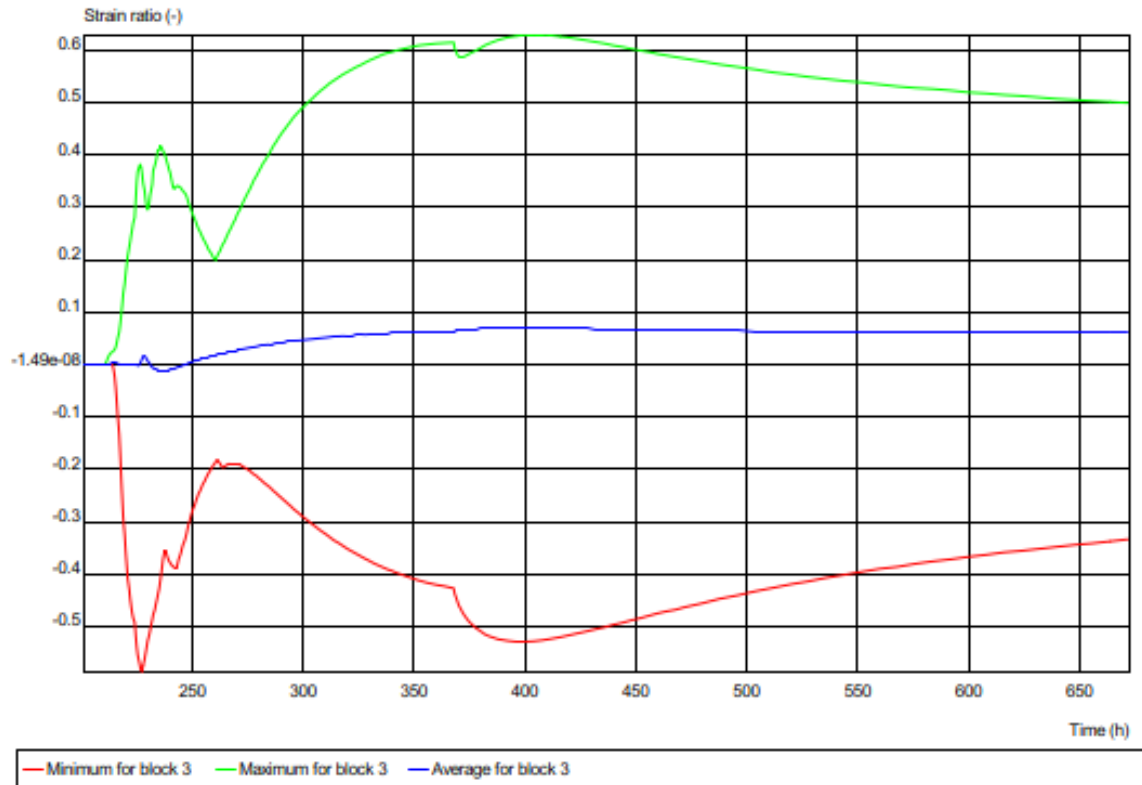


## 7.2 Tmax



## 8 Plane-Surface Computation Results

### 8.1 Strain





## 8.2 S 402h

