

# **Konstruktive utfordringer for bassengkonstruksjoner i betong**

Structural problems for concrete pool structures

**Trondheim Mai 2023**

Karen Anette Erichsen

Ha-Ny Lene Nguyen Vo

Intern veileder:

Arne Mathias Selberg

Ekstern veileder:

Terje Kristoffersen

Prosjektnr.:

2023 - 05

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for konstruksjonsteknikk

## Problemdefinering / Problembeskrivelse og resultatmål

Bygging av bade- og svømmeanlegg er store investeringer for eiere. Det er derfor viktig å sikre at anleggene har lang levetid, og er bestandige med lavt vedlikeholdsbehov. Ved prosjektering og bygging av betongbasseng er betongens bestandighet derfor et forhold som vektlegges.

Omfanget av riss har betydning for en betongkonstruksjons levetid. Størrelsen og omfanget av riss er spesielt viktig for vanntette betongkonstruksjoner som svømmebasseng. For å sikre tilfredsstillende levetid og bestandighet er det viktig å prosjektere og å bygge bassengkonstruksjonen med tanke på å minimere rissutvikling.

Det er utviklet nye løsninger som kan bidra til å redusere riss. Disse løsningene er tatt i bruk av Statens Vegvesen. Vi har imidlertid ikke funnet at disse er tatt i bruk ved prosjektering og bygging av bassengkonstruksjoner.

I denne oppgaven er det gjort beregninger for dimensjonering av et betongbasseng, dette med utgangspunkt i Tromsøbadet som ble ferdigstilt i 2019. Beregningene er gjort analytisk og ved hjelp av FEM-programmer. Beregningene er gjort for bruddgrensetilstand, der bæreevne og dimensjoner er bestemt. Og i bruksgrensetilstanden der det er beregnet minimumsarmering, svinn, kryp og rissutvikling. Gjennom arbeid med oppgaven har gruppen lært seg FEM-analyseprogrammer.

Det er beregnet riss som følge av ytre laster, og i tillegg er fastholdingspenninger etter støpning vurdert for bassengvegger.

Temperaturutvikling under støping og herding er beregnet med hjelp av programmet HETT<sup>22</sup>. Fastholdningskrefter mellom støpeetapper er beregnet analytisk med utgangspunkt i temperaturdifferanser mellom støpeetappene. Temperaturdifferansen er beregnet med HETT<sup>22</sup>.

Rissberegninger er gjort ihht. EK2.

Ved befaring av eksisterende badeanlegg ble problemstillinger rundt vedlikehold og bestandighet registrert.

Målet med oppgaven er å undersøke om det finnes bedre løsninger enn de som er tatt i bruk, både for prosjektering og bygging av betongbasseng. Løsningene skal kunne benyttes ved prosjektering og bygging av bassengkonstruksjoner i ettertid.

Stikkord	Keywords
Betong, betongdimensjonering, fiberarmering, vanntett betong, fastholdningskrefter, fastholdningsriss, riss, herdevarme	Concrete, concrete design, fiber reinforcement, water-tight concrete, restraint forces, cracking, cracking due to restraint, cracking, concrete hardening heat

## Forord

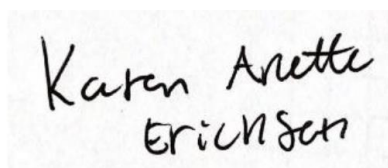
Bacheloroppgaven er avsluttende arbeid for den treårige byggingeniørutdanningen ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Vi ønsket oss en oppgave hvor vi fikk arbeidsrelevant erfaring til vi skal starte i jobben som byggingeniør, men også en oppgave hvor vi kan se på en problemstilling som er etterspurt av bransjen. Målet vårt har hele tiden vært å få et resultat som kan anvendes i kommende prosjekter med vanntette betongkonstruksjoner.

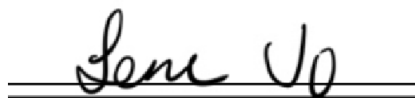
Vi ønsker å takke alle som har hjulpet oss i vårt arbeid med oppgaven. Først og fremst Arne Mathias Selberg som har vært vår interne veileder for oppgaven ved NTNU og Terje Kristoffersen i Asplan Viak som har vært vår eksterne veileder. Vi vil også rette en takk til Trond Sigernes som er teknisk leder i Pirbadet, som har vist oss rundt og gitt oss tilgang til anlegget. Takk til Terje Kanstad ved NTNU som har gitt oss tilgang til nyeste utkast til ny Eurokode 2, og Tom Fredvik i Heidelberg Materials, som har gitt oss informasjon om Heidelberg Materials og programvaren HETT<sup>22</sup>. Vi vil også takke ansatte i Bygg gruppa i Asplan Viak i Trondheim som har bidratt med kompetanse innenfor området og har vært et hyggelig miljø å arbeide i, de har bidratt til at vi har holdt motivasjonen oppe.

Sist ønsker vi å takke hverandre for et godt samarbeid.

Trondheim, 22.mai 2023



Karen Anette Erichsen



Ha-Ny Lene Nguyen Vo

## Sammendrag

I denne oppgaven er det undersøkt hvordan en bassengkonstruksjon kan optimaliseres med hensyn til riss og hvilke utfordringer vanntett betong står ovenfor.

Målet med oppgaven er å undersøke om det finnes bedre løsninger enn de som er tatt i bruk, både for prosjektering og bygging av betongbasseng. Løsningene skal kunne benyttes ved prosjektering og bygging av bassengkonstruksjoner i ettertid.

I bacheloroppgaven dimensjoneres det et betongbasseng, basert på forutsetningene til det olympiske bassenget i Tromsøbadet. Dette for å se hvordan konstruksjonen må prosjekteres for å oppnå kravene som stilles til en slik konstruksjon.

Gjennom oppgaven er det gjennomført befaringer ved Pirbadet i Trondheim, for å se på hvilken problematikk som oppstår ved slike konstruksjoner etter lengre tid. Dette er av interesse da kunnskapen rundt vanntette konstruksjoner var en annen for 20 år siden, da Pirbadet ble bygget.

Riss er en spesiell utfordring for betongkonstruksjoner. Betongkonstruksjoner med strenge krav til bestandighet, bør ha lite rissutvikling. Eksempel på dette er vanntett betong, da store riss kan være ekstra skadelig. For å minimere riss, tar oppgaven for seg fastholdningsriss og riss fra tverrsnittskrefter og svinn.

Programmene Focus Konstruksjon 2023, Abaqus, FEM-Design og HETT<sup>22</sup> er benyttet for å få en bedre forståelse av problemene og finne løsninger.

Rapporter fra Norsk Betongforening, Statens Vegvesen og SINTEF Byggforsk gir innsikt i ulike løsninger og ved å kombinere disse kan det oppnås en vanntett betongkonstruksjon som er bedre enn dagens standard.

Løsningene funnet i oppgaven er å kontrollere tverrsnittstemperatur under herding samt å armere med fiberarmering for å redusere antall riss i konstruksjonen.



## **Abstract**

This bachelor thesis investigates the construction of a swimming pool. With emphasis on concrete cracks and water tight concrete.

The thesis aims to investigate new solutions still to be implemented in design and construction of concrete swimming pools. And to verify that they can be used.

The thesis takes on design of a swimming pool based on preconditions made for the Olympic pool built in Tromsøbadet. This was conducted to learn how such a construction has to be designed to meet the requirements given in Eurocode 2 and other specifications.

We have also conducted a inspection of an existing swimming pool, which was built more than 20 years ago. The inspection was done to observe the decomposition of the pool structure after 20 years.

Concrete cracks is a problem when designing concrete structures. Concrete structures with water tightness requirements will have requirements regarding limitation of cracks widths.

In this thesis we have investigated methods to reduce cracks and limit the crack widths. The design programs Focus Konstruksjon 2023, Abaqus, FEM-Design and HETT<sup>22</sup> has been used to get a better understanding of the pool structure and to find new solutions.

In reports from Norsk Betongforening(Norwegian concrete association), Statens Vegvesen (Norwegian public roads) and SINTEF Community we have found different solutions that when combined will contribute to better concrete design.

Our suggestion is to control the heat development during the curing of the concrete to limit crack widths and to use fiber reinforced concrete to further control the crack distribution.

# Innholdsfortegnelse

<b>Problemdefinering / Problembeskrivelse og resultatmål</b> .....	i
<b>Forord</b> .....	ii
<b>Sammendrag</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	iv
<b>1 Innledning</b> .....	4
<b>1.1 Oppgavens omfang</b> .....	4
<b>1.2 Fremgangsmåte</b> .....	4
<b>1.3 Asplan Viak</b> .....	5
<b>1.4 Rapportens struktur</b> .....	5
<b>2 Teorigrunnlag</b> .....	6
<b>2.1 Betong</b> .....	6
2.1.1 Lavvarmebetong .....	6
<b>2.2 Armeringsstål</b> .....	7
2.2.1 Slakkarmring .....	7
2.2.2 Fiberarmering .....	7
2.2.3 T-hodet armering .....	8
<b>2.3 Kryp og svinn</b> .....	8
<b>2.4 Steinreir</b> .....	9
<b>2.5 Geoteknikk</b> .....	9
2.5.1 Pæler .....	9
2.5.2 Setninger .....	9
2.5.3 Oppdrift .....	9
<b>2.6 Riss</b> .....	10
2.6.1 Fastholdningsriss .....	10
2.6.2 Temperaturriss .....	12
<b>3 Forskning og utvikling</b> .....	14
<b>3.1 Riss</b> .....	14
3.1.1 Norsk betongforenings rapport nr. 9 .....	14
3.1.2 FprEN 1992-1-1:2022 nytt annex .....	15
3.1.3 HETT <sup>22</sup> .....	15
<b>3.2 Fiberarmert betong</b> .....	16
3.2.1 Norsk betongforenings publikasjon nr. 38 .....	16
3.2.2 FprEN 1992-1-1:2022 nytt annex .....	16

<b>3.3 Vanntett betong</b> .....	17
3.3.1 Anvisning - 520.055 Prosjektering og støpning av vanntette betongkonstruksjoner (2015) .....	17
3.3.2 FprEN 1992-1-1:2022 nytt annex.....	17
<b>4 Dimensjonerings grunnlag</b> .....	18
<b>4.1 Betong</b> .....	18
<b>4.2 Armering</b> .....	18
<b>4.3 Konstruksjon</b> .....	18
<b>4.4 Statisk system</b> .....	19
<b>4.5 Tverrsnitt</b> .....	20
<b>4.6 Laster</b> .....	20
4.6.1 Egenvekt.....	20
4.6.2 Nyttelast.....	20
4.6.3 Lastfaktor .....	20
<b>4.7 Relativ luftfuktighet (RF)</b> .....	21
<b>4.8 Eksponeringsklasse</b> .....	21
<b>4.9 Overdekking</b> .....	21
<b>4.10 Krav til våte konstruksjoner</b> .....	21
<b>4.11 Rissviddebegrensning</b> .....	22
<b>5 Programmer</b> .....	23
<b>5.1 Mathcad Prime</b> .....	23
<b>5.2 Focus Konstruksjon 2023</b> .....	23
<b>5.3 Abaqus</b> .....	24
<b>5.4 FEM-Design</b> .....	24
<b>5.5 HETT<sup>22</sup></b> .....	25
<b>6 Befaringsrapport Pirbadet</b> .....	26
<b>6.1 Bakgrunn</b> .....	26
<b>6.2 Opplysninger gitt av byggherre</b> .....	27
<b>6.3 - Observasjoner og målinger</b> .....	29
<b>6.4 Vurdering</b> .....	37
<b>7 Metode</b> .....	38
<b>7.1 Håndberegninger</b> .....	38
7.1.1 Moment .....	38
7.1.2 Dimensjonering av bassengvegg .....	41
7.1.3 Dimensjonering av bassengbunn .....	42
<b>7.2 Beregning av rissgrense, utbøying og fastholdningsspenninger</b> .....	43

7.2.1 Rissgrense etter NS-EN 1992-3 NA .....	43
7.2.2 Deformasjon i veggen .....	44
7.2.3 Beregning av fastholdningsriss .....	45
<b>7.3 Programmer</b> .....	<b>46</b>
7.3.1 MathCad Prime .....	46
7.3.2 Focus .....	46
7.3.3 Abaqus .....	47
7.3.4 FEM-Design .....	48
7.3.5 HETT <sup>22</sup> .....	50
<b>8 Resultater</b> .....	<b>55</b>
<b>8.1 Analytiske beregninger</b> .....	<b>55</b>
8.1.1 Moment .....	55
8.1.2 Bassengvegg.....	55
8.1.3 Bassengbunn .....	56
<b>8.2 Beregning av rissgrense, utbøying og fastholdningsspenninger</b> .....	<b>57</b>
8.2.1 Rissgrense etter NS-EN 1992-3 NA .....	57
8.2.2 Deformasjon i veggen .....	57
8.2.3 Beregning av fastholdningsriss .....	57
<b>8.3 Abaqus</b> .....	<b>58</b>
<b>8.4 HETT<sup>22</sup></b> .....	<b>59</b>
<b>8.5 FEM Design</b> .....	<b>60</b>
<b>8.6 Pirbadet</b> .....	<b>64</b>
<b>9 Diskusjon</b> .....	<b>65</b>
<b>9.1 Problemstillingen</b> .....	<b>65</b>
<b>9.2 Løsninger</b> .....	<b>65</b>
<b>9.3 Resultater</b> .....	<b>66</b>
<b>9.4 Pirbadet</b> .....	<b>68</b>
<b>9.5 Styring av støpevarme</b> .....	<b>69</b>
<b>10 – Konklusjon</b> .....	<b>70</b>
<b>11 – Refleksjon</b> .....	<b>71</b>
<b>12 – Referanseliste</b> .....	<b>72</b>
<b>13 – Vedlegg</b> .....	<b>74</b>

# 1 Innledning

## 1.1 Oppgavens omfang

Basert på problemdefineringsen gitt i *Problemdefinering / Problembeskrivelse og resultatmål* er oppgavens omfang avgrenset til følgende.

De analytiske beregningene(håndberegningene) omfatter beregning av vegg og bassengbunn der det er betraktet 1.0 m bred stripe med opplegg av bassengbunn på pælehoder med senteravstand(CC) 5.0 m. Beregninger for vegg og bunn er gjort for bruks- og bruddgrensetilstand. I tillegg er bassengbunnens opplegg på pælehoder kontrollert for gjennomlukking(skjærkapasitet).

FEM-analysen (numeriske beregninger) er gjort for et basseng som har innvendig mål på 25 m x 15 m og har en vanddybde på 5 meter. Dette er representativt for den dype delen av det olympiske bassenget i Tromsøbadet. Det olympiske svømmebassenget i Tromsø har innvendig mål på 50 m x 25 m, en dyp del med 5 m dybde og en grunn del, der den grunne delen er ca 2m dyp.

Fastholdningskrefter mellom støpetapper er beregnet med temperaturdifferanser fra programmet HETT<sup>22</sup>. Beregningene i hett er gjort for et tenkt værtilfelle i Tromsø.

Det er gjort to befaringer i Pirbadet. På befaringene ble det gjort registreringer av forhold med betydning for levetid og vedlikehold.

Det er gjort litteratursøk etter relevant litteratur fra norske kilder, som Statens Vegvesen, SINTEF Byggforsk, NTNU og Norsk Betongforening.

## 1.2 Fremgangsmåte

Bassengkonstruksjonen er dimensjonert med håndberegninger etter Eurokode 2, disse er ført i Mathcad. De betongdimensjonene som er funnet ved håndberegning er lagt til grunn for modellens dimensjoner i FEM-Modellen.

Rissberegninger er gjort ved håndberegninger etter Eurokode 2(EK2). Ved beregning av fastholdningsriss mellom støpetapper er temperaturdifferanser funnet med HETT<sup>22</sup> lagt til grunn. Riss er også beregnet med FEM-Design.

### **1.3 Asplan Viak**

Oppgavens problemstilling er utarbeidet sammen med Asplan Viak i Trondheim. Vår eksterne veileder har vært Terje Kristoffersen i Asplan Viak, Trondheim. Under arbeid med oppgaven har vi hatt kontorplass i Asplan Viaks lokaler i Trondheim.

Asplan Viak er et rådgivende ingeniørfirma som har kompetanse på bassengkonstruksjoner fra prosjektering av flere store badeanlegg og bassenger for vann og avløpsprosjekter.(1)

### **1.4 Rapportens struktur**

Alle beregningene denne rapporten er basert på, er lagt ved i rapportens vedlegg.

Relevante tegninger fra Tromsøbadet og Pirbadet er lagt ved som vedlegg.

## 2 Teorigrunnlag

Ved beregning og dimensjonering er kunnskap fra mekanikk og betongfagene anvendt, alle beregninger er basert på Eurokode 2(2) og *Betongkonstruksjoner – Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2* av Svein Ivar Sørensen(3). De analytiske statiske beregningene er basert på elementær bjelketeori. Tverrsnittenes kapasitet er bestemt iht. regelverket i Eurokode 2.

### 2.1 Betong

Betong er et av de viktigste byggematerialer som brukes i konstruksjoner. Det er billig, lett tilgjengelig, lett å forme og et sterkt materiale som gjør at materialet er attraktivt for konstruktive anvendelser.

Betong er en blanding av sement, vann, tilsetninger og tilslag (sand, grus og pukk).

Tilsetningsstoffer er materialer som tilsettes i betongen under blandinger for å gi både fersk og herdet betong bedre egenskaper. Dersom man blander sement og vann, dannes det som kalles sementlim. Dette sementlimet fyller hulrommene mellom tilslaget. Det skjer en kjemisk reaksjon når sement og vann blandes sammen, slik at det herdes til en hard masse. Støpning og bearbeiding må gjøres et par timer etter blanding, slik at betongen kan formes riktig. I herdeprosessen reagerer sementens bestanddeler med vann. Herdeprosessen er eksoterm (en prosess hvor det avgis varme). Det vil si at betongen normalt blir varmere enn omgivelsene i herdeprosessen. Betong tåler høye trykkspenninger, men relativt lave strekkspenninger. Ved bruk av armering i betongen, tar armerings-stålet strekkpåkjenningene i tverrsnittet.(3, 4)

#### 2.1.1 Lavvarmebetong

Lavvarmebetong er betong som utvikler mindre varme enn en standard betong under herdeprosessen. Fordeler med lav varmeutvikling er at opprissingen på grunn av temperaturdifferanser blir redusert. Lavvarmebetong er mer miljøvennlig enn standard betong da forbruk av sement er lavere. Lavvarmebetong kan produseres ved å erstatte en stor andel av sementen med flygeaske. Andre alternativer for å redusere varmeutviklingen er å bruke et lite vannkrevende tilslag (slik at sementmengden blir mindre), proporsjonere betongresepten

med et større steininnhold og styre støpbarhet/konsistens med tilsetningsstoffer istedenfor sementpasta.

Lavt innhold av sement fører til at fasthetsutviklingen går saktere. Dette kan være problematisk for prosjektet dersom man er avhengig av rask fasthetsutvikling i betongen, for å holde fremdriften.(5)

## **2.2 Armeringsstål**

Armering plasseres i betongkonstruksjonene for å ta strekkreftene som oppstår i tverrsnittet og for å redusere rissutvikling og forhindre store riss. Armering der det er strekkspenninger er nødvendig fordi betong har høy trykkapasitet, men lav strekkapasitet.(6)

### **2.2.1 Slakkarmring**

Mesteparten av armeringsstål som er brukt i dag er kamstål, altså standard norsk armering, B500NC. Tallet 500 angir karakteristisk flytegrense i  $N/mm^2$ , og bokstaven C angir duktilitetsklassen.

Det finnes også armeringsstål i klasser B500NA og B500NB som har lavere duktilitet enn B500NC.(7)

### **2.2.2 Fiberarmering**

Fiberarmering er armering som består av små fiber. Fiberne kommer i ulike materialer med ulike bruksområder. Det er små korte fibre som tilsettes betongen før den støpes.

Fiberarmering finnes i ulike materialer som stålfiber, plastfiber, PP-fiber og basaltfiber. Ved bruk av fiberarmering får konstruksjonen en jevnt fordelt fiberarmering i hele tverrsnittet.

Fiberarmering kan erstatte tradisjonell slakkarmring helt eller delvis, dette er avhengig av konstruksjonens bruksområde.(8)



### 2.2.3 T-hodet armering

T-hodet armering er kamstålstenger med en forankringsenhet i enten den ene enden eller i begge ender. Den mekaniske forankringsenheten har som oftest formen av en plate, slik at enden av kamstålet ser ut som bokstaven «T». T-hodet armering har høy ytelse og blir brukt i høyt belastede konstruksjonsdeler.

Fordelen med et T-hodet-armering er at det kan forenkle armeringsarbeidet og kan være materialbesparende.(9)

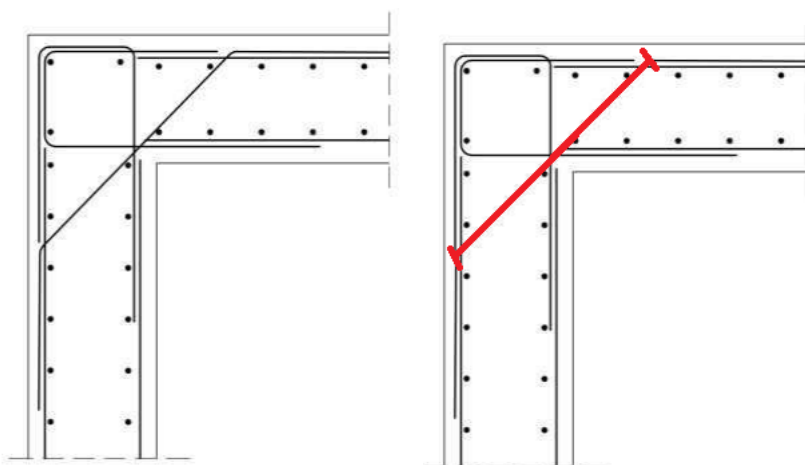


Fig.1 Hentet fra Norsk Betongforening publikasjon 8. Viser eksempel på utførelse av armering i hjørnet, med og uten bruk av T-Hodetarmering.(10)

### 2.3 Kryp og svinn

*Kryp, tidsavhengig deformasjon i et materiale på grunn av ytre belastning. Krypdeformasjonen er sammensatt av forsinket elastisk deformasjon og plastisk deformasjon. Den plastiske delen går ikke tilbake ved avlastning. Mens man tidligere antok at kryp først inntreffer over et visst belastningsnivå (krypgrensen), vet man nå at alle materialer har et visst kryp ved alle belastningsnivåer. (11)*

Kryputvikling i betong påvirkes av faktorer som temperatur, relativ luftfuktighet, bygningsdelens dimensjoner og betongens sammensetning. Svinn er en effekt av uttørking som fører til at materialet krymper. Svinn er uavhengig av tverrsnittbelastningen.(3)

## **2.4 Steinreir**

Steinreir er hulrom i betongen, hvor rommene er fylt opp med luft imellom tilslaget istedenfor betong. Dette kommer av at betongen blir fordelt for dårlig i forskalingen under fylling, at betongen vibreres for dårlig under støpning eller at betongen separeres under støpning.(12) For å unngå steinreir så må man passe på at betongresepten er tilpasset konstruksjonen/støpeformen. Tilslagsstørrelsen må være tilpasset armeringsutformingen, slik at steiner ikke setter seg fast i armeringen. Forskalingsskjøter skal også være utført slik at de hindrer lekkasje av vann og mørtel. Lekkasje av vann og mørtel i forskaling er den vanligste årsaken til steinreir, i både vegger og søyler.(13)

## **2.5 Geoteknikk**

### **2.5.1 Pæler**

Det finnes to ulike typer pæler, spissbærende pæler og friksjonspæler. Spissbærende pæler går ned til grunn/fast fjell, og deformasjoner vil bli små. Friksjonspæler overfører lasten til jorda langs hele pælen, og man må regne med noe deformasjon/ setning.(14)

### **2.5.2 Setninger**

Setning oppstår når det påføres last på en komprimerbar byggegrunn. Dette er typisk når det bygges direkte på jord. Jorda blir da presset sammen. Om en byggetomt har byggegrunn med ulik massesammensetning, kan det oppstå ulik setning (sammentrykking) under bygget slik at det blir skeivsetning og bygget blir skeivt.(14)

### **2.5.3 Oppdrift**

Dersom en tett konstruksjon er bygget dypere enn grunnvannstanden vil konstruksjonen få oppdrift fra grunnvannet tilsvarende grunnvannstrykket.(14)

## **2.6 Riss**

Riss er små sprekker i betongkonstruksjonen, som kan være et resultat av spenninger.

Spenningene som utløser riss kan komme av kryp, svinn, tverrsnittskrefter (moment-, skjær-, aksialkrefter), temperaturendringer og fastholdning.(15)

Riss vil som regel være uheldig for betongkonstruksjoner. Spesielt når konstruksjonene skal være vanntette. (16)

### **2.6.1 Fastholdningsriss**

Når betongkonstruksjoner støpes i etapper, vil det oppstå fastholdninger mellom de nye og de gamle konstruksjonsdelene.

Fastholdningskrefter oppstår som resultat av temperaturdifferanser i utstøpte tverrsnitt og mellom støpe-etapper (konstruksjonsdeler). Dette kan føre til fastholdningskrefter mellom delene som igjen kan gi fastholdningsriss.

Betongen utvider seg under oppvarmingsfasen i herdingen og trekker seg sammen i avkjølingsfasen av herdingen. Det oppstår da fastholdningskrefter som gir fastholdingsspenninger. Fastholdingsspenningene kan medføre rissutvikling.

Når temperaturen begynner å synke har betongen oppnådd relativ høy fasthet, derfor oppstår det spenninger mellom konstruksjonsdelene og den nystøpte betongen kan risse.

Sammenheng mellom temperaturutviklinger og fastholdingsspenninger kan beregnes.(15)

Finner spenninger fra temperatur fra sammenhengen(15):

$$\varepsilon_T = \alpha_T \cdot \Delta T$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_T$$

$\varepsilon_T$  = tøyning på grunn av temperatur

$\alpha_T$  = betongens temperatur utvidelseskoefisient

$\Delta T$  = Temperaturdifferanse

$\sigma$  = Fastholdningsspenning

$E$  = Betongens E – modul

Kan beregne rissindeks ut ifra:

$$\text{Rissindeks} = \frac{\text{Betongspenning}}{\text{Strekfasthet}} = \frac{\sigma}{f_{ctm}}$$

Om rissindeksen overskrider 1, indikerer det at tverrsnittet vil risse opp.

$$\text{Rissindeks} \geq 1 \rightarrow \text{riss}$$

Dersom rissindeksen er under 1, indikerer det at tverrsnittet vil ikke risse opp.

$$\text{Rissindeks} < 1 \rightarrow \text{ikke riss}$$

Statens Vegvesen forklarer fastholdningskrefter slik:

***Ytre fastholding** er fastholding fra tilstøtende konstruksjoner eller fra underlaget. Det klassiske eksemplet er en vegg som støpes mot fundament. I dette tilfellet vil spesielt de nedre delene av veggen få høy grad av fastholding. Rissene som utvikles ved ytre fastholding kommer i betongens avkjølingsfase og er ofte alvorlige og gjennomgående. Eksempel på gjennomgående opprissing (through-cracks) er vist i Fig. 8.1. Rissene markert i figuren i bunnplata indikerer at veggen "river" i underlaget i oppvarmingsfasen, men denne risstypen oppleves normalt ikke som noe problem i praksis fordi fundamentet er ofte velherdet og sterkere sammeliknet med den nystøpte veggen. Unntaket kan være et tynt fundament med en massiv vegg oppå.*

**Sitat statens vegvesen. Volumendringer og risstendens i betong. Rapport nr 2565. (15)**

## **2.6.2 Temperaturriss**

Temperaturriss oppstår når temperaturdifferansen over et tverrsnitt er for høyt. Dette gjør at ulike deler av tverrsnittet herder i ulik hastighet og vil trekke seg sammen ved ulike fastheter. Dette fører til internspenninger i tverrsnittet som kan føre til rissdannelse. Dette omtales også til som indre fastholdning. (15)

Statens Vegvesen forklarer temperaturriss slik:

***Indre fastholding** skjer når det oppstår temperaturdifferanser over konstruksjons tverrsnitt. Ved for eksempel avforskaling av en varm vegg blir overflaten utsatt for brå avkjøling mens kjernen "henger" etter. Typiske skader pga. indre fastholding er overflateriss, som indikert øverst i veggen i Fig. 8.1. "Fordelen" med slike riss er imidlertid at de ofte lukker seg igjen i løpet av avkjølingsfasen. Rissene kan imidlertid være uheldige "initial"-skader som kan utvikles videre senere.*

**Sitat statens vegvesen. Volumendringer og risstendens i betong. Rapport nr 2565. (15)**

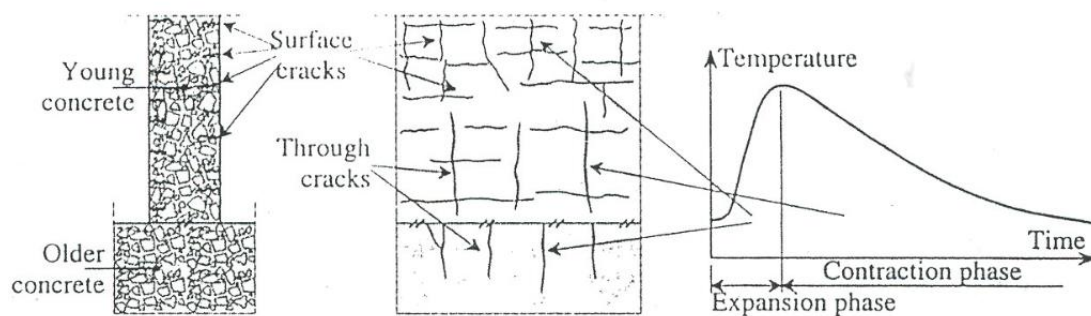


Fig. 8.1 Eksempel på opprissing i en betongvegg (Nilsson et al. 1999)

Fig. 2. Hentet fra Statens Vegvesen rapport 2565.

## 3 Forskning og utvikling

Dette kapitlet omhandler de viktigste funnene fra forskning og nytt/kommende regelverk som er relevant for oppgaven. Rapporter fra Norsk Betongforening og utkast til oppdatert versjon av Eurokode 2 er viktig bakgrunn for å finne løsninger på oppgavens problemstilling.

Hvert underkapittel gjengir de viktigste funnene fra de respektive kildene

### 3.1 Riss

Gruppen ønsker å se på fastholdningsproblemer som oppstår ved herding av betong og hvordan det kan prosjekteres slik at problemet minimeres i byggefasen.

#### 3.1.1 Norsk betongforenings rapport nr. 9

Norsk betongforening har laget en rapport som heter *Praktiske råd og tiltak mot fastholdningsriss i herdede betongkonstruksjoner*. Rapporten tar for seg problematikken og ulike tiltak som kan bidra til å minimere fastholdningsriss.

Fastholdningsriss oppstår ved støpeskjøten mellom ulike støpetapper i den nyeste støpen. Årsaken til at fastholdningsriss oppstår er at betong som herder utvider seg når den er i oppvarmingsstadiet av herdeprosessen. Når betongen avkjøles, vil den trekke seg sammen. Fastholding mot eksisterende betong gir da fastholdningskrefter som gir strekkspenninger i den nyeste støpetappen. Da har betongen oppnådd høy nok fasthet i den nyeste støpetappen til at det oppstår spenninger mellom ny og gammel betong, som kan føre til rissdannelse.

Den mest effektive løsningen på problemet er å gjøre temperaturdifferansen mellom de to konstruksjonsdelene i støpefasen så liten som mulig. En temperaturdifferanse på under 15°C grader vil begrense fastholdningsriss. Mulige tiltak for å minke temperaturdifferansen er; varmekabler i gammel betong, vannrør med vannkjøling i ny betong, lavvarme betong, naturlig kald betong og betongresept med isbiter.

Rapporten konkluderer med at tiltaket som er enklest å gjennomføre, med minst komplikasjoner er varmekabler i fundament. Rapporten viser også at riss på 0.3 mm og mindre ikke behøver tiltak da de er selvtettende.(16)

### **3.1.2 FprEN 1992-1-1:2022 nytt annex**

I utkastet til ny versjon av regelverket, NS-EN 1992 er det laget et nytt annex som heter *Evaluation of early-age and long-term cracking due to restraint*. Annexet er informativt. Dette tar for seg hvordan man kan regne ut sannsynligheten for riss, tiltak som kan gjøres for å redusere sannsynligheten for riss og beregning av rissvidder. Tiltakene som er listet opp i det nye annexet er tiltak for å unngå temperaturriss og fastholdningsriss.(17)

### **3.1.3 HETT<sup>22</sup>**

Heidelberg Materials har nylig sluppet en ny versjon av programvaren HETT, HETT<sup>22</sup>. I HETT<sup>22</sup> kan man simulere temperatur og fasthetsutvikling til betongtverrsnittet under herding. Dette gir muligheter for å kontrollere at temperaturdifferansen i tverrsnittet eller mot tilstøtende konstruksjon ikke blir for høy. I den nye versjonen HETT<sup>22</sup> kan det importeres værdata og importere målinger man selv har tatt av betongens temperaturutvikling. Det er lagt til flere betongresepter med lavkarbonbetong i programmet.

Teknisk sjef for programvaren, Dr. Tom Fredvik, er også åpen for innspill til utvikling av programvaren. Dette gir bransjen muligheter til å utvikle og benytte programmet til det som er mest hensiktsmessig. (18)



## 3.2 Fiberarmert betong

Mulighetene ved bruk av fiberarmert betong er undersøkt. Fiberarmering kan bidra til å redusere riss og kan derfor være et godt alternativ i vanntette konstruksjoner.

### 3.2.1 Norsk betongforenings publikasjon nr. 38

Norsk betongforening har laget en rapport som heter *Fiberarmert betong i bærende konstruksjoner*, rapporten beskriver regler for prosjektering, praktisk utførelse, mulig problematikk og eksempler. Innholdet i publikasjonen er tilpasset gjeldende (i 2020) NS-EN 1992-1-1 (Eurokode 2) og NS-EN 206, og skal benyttes sammen med disse.

Rapporten sier at «*For konstruksjoner der sammenbrudd kan medføre tap av menneskeliv, eller er av stor samfunnsmessig eller økonomisk betydning, skal det i tillegg til de vanlige kontrollene påvises at bøyemomenter og aksialtrekkrefter i karakteristisk lastkombinasjon kan bæres av tradisjonell slakk eller spennarmering uten bidrag fra fiberarmeringen.*»

Rapporten viser til at fiberarmering i små mengder er med på å begrense omfanget av opprissing. Det viser også til erfaringer fra prosjekter der det er spart tid og penger på å benytte fiberarmering, da det ikke er behov for slakkarmering. (19)

### 3.2.2 FprEN 1992-1-1:2022 nytt annex

I utkastet til ny versjon av regelverket, NS-EN 1992 er det laget et annex som heter *Steel Fibre Reinforced Concrete Structures*. Annexet er informativt. Dette annexet tar for seg regler rundt stålfiberarmering, og bygger i hovedsak på Norsk Betongforenings publikasjon nr. 38. Kapittel 9 i det nye annexet omhandler riss, og hvordan man kan beregne rissavstand og rissvidde for konstruksjoner armert med en kombinasjon av stålfiberarmering og slakkarmering. (17)

### **3.3 Vanntett betong**

Ettersom konstruksjonen er et svømmebasseng, er det viktig at det er vanntett. Betongen blir utsatt for et aggressivt miljø, og for å ha lengst mulig levetid bør konstruksjonen være så tett som mulig.

#### **3.3.1 Anvisning - 520.055 Prosjektering og støpning av vanntette betongkonstruksjoner (2015)**

Byggforsk har utarbeidet en anvisning der krav og anbefalinger til vanntette betongkonstruksjoner er samlet. Denne henviser til standarder og rapporter om hvordan man skal prosjektere og utføre konstruksjonen. Den nevner også opprissing som kommer av fastholdning. (20)

#### **3.3.2 FprEN 1992-1-1:2022 nytt annex**

I utkastet til ny versjon av regelverket, NS-EN 1992 er det laget et annex som heter *Guidance on design of concrete structures for water-tightness*. Annexet er informativt. Her kommer det anbefalinger til betongresept, tykkelse av tverrsnitt og rissvidde grenser. (17)

## **4 Dimensjonerings grunnlag**

Dette kapitlet viser hva som er lagt til grunn for beregningene.

### **4.1 Betong**

På grunn av spenningene i konstruksjonen og krav til bestandighet er det valgt betongkvalitet B45.

Etter NS-EN 206 er det valgt bestandighetsklasse M40 da dette er et svømmebasseng.(21)

### **4.2 Armering**

Det er benyttet slakkarmering med kvalitet B500NC i konstruksjonen.

Konstruksjonen er armert etter krav fra Eurokode 2.

Etter EK2 NA9.2.1.1(1) er kravet til minimumsarmering doblet fordi dette er en vanntett konstruksjon. (2)

### **4.3 Konstruksjon**

Oppgaven tar utgangspunkt i det olympiske bassenget i Tromsøbadet, som Asplan Viak har prosjektert. Bassenget er 25 meter bredt og 50 meter langt. På det dypeste er det 5 meter dypt, og det er her vanntrykket og kreftene er størst.

For å avgrense konstruksjonsberegningene, har vi betraktet den delen av bassenget som er 5 meter dyp. Denne er 25m x 15m i størrelse.

Konstruksjonen er opplagt på pæler, disse er jevnt fordelt under konstruksjonen med maksimum 5 meter senteravstand. Se pæleplan, vedlegg 7.

## 4.4 Statisk system

### Statisk system

For å regne på konstruksjonen er det antatt flere alternativer til statisk system. Her er det valgt en løsning med dekke direkte på grunn.

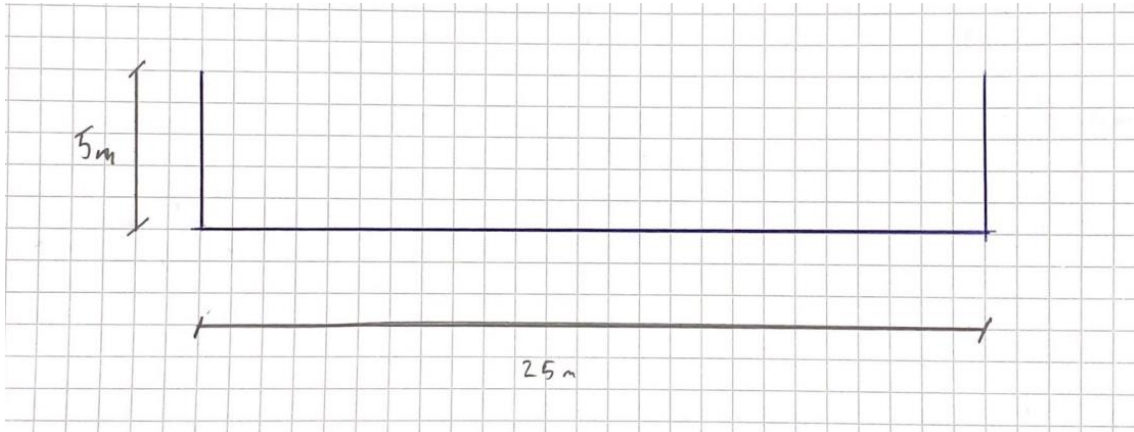


Fig. 3: Statisk system 1

Dette er valgt fordi det gir korrekt moment i vegg. Vegg er beregnet som en utkrager. Dette er benyttet for å beregne moment i vegg.

Videre er det benyttet et statisk system som samsvarer med pæleplanen til bassenget i Tromsøbadet.

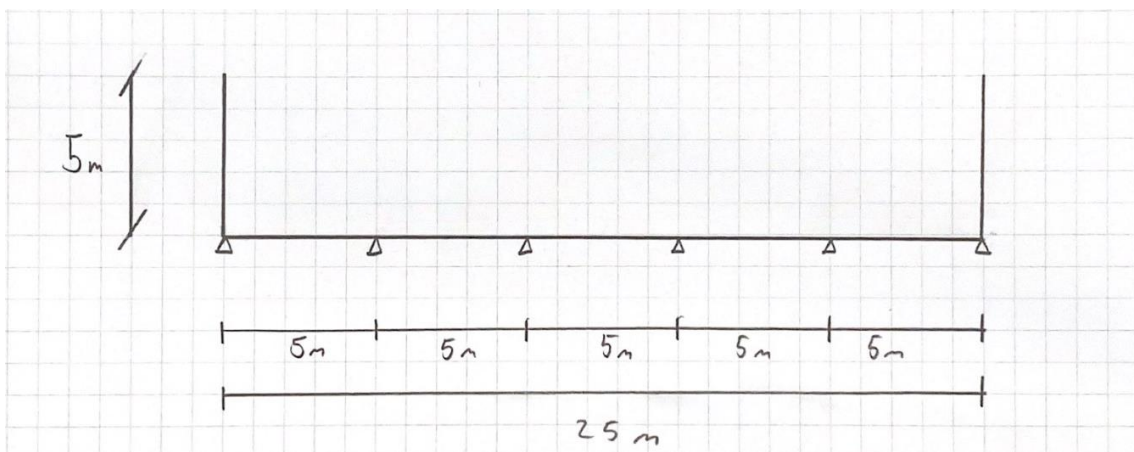


Fig. 4: Statisk system 2

Dette er valgt da det gir et relativt korrekt bilde av kreftene i bassengbunnen.

## 4.5 Tverrsnitt

Det er gjort beregninger for bassengveggen og bassengbunnen (dekke).

Det er gjort beregninger for et snitt på tvers av bassengets lengderetning.

Beregningene er gjort for en 1.0 meter bred stripe. Ved beregninger for bassengbunn er denne regnet som en platestripe med 1.0 meters bredde på opplegg som tilsvarer pælene.

Det er også gjort gjennomlukkingsberegninger (beregning av skjærkapasitet) av bassengbunn som et flatdekke på pæler.

## 4.6 Laster

### 4.6.1 Egenvekt

Det er valgt å se vekk i fra egenvekt for veggen når vi regner på den, da egenvekten gir aksialt trykk i veggen noe som gjør situasjonen «bedre» for tverrsnittet med hensyn til rissutvikling. Dette er konservativt.

Egenvekten til dekket er med i beregningene. Egenvekten for betongen er satt til 2.5 tonn per kubikk  $\approx 25 \text{ KN/m}^3$ .

### 4.6.2 Nyttelast

Setter nyttelasten for vann til 1 kubikk vann = 1 tonn, dette gir  $q = 50 \text{ KN/m}$  der vanddybden er 5 meter.

### 4.6.3 Lastfaktor

Lastfaktor nyttelast settes til:  $\gamma_{\text{vann}} = 1,05$ . Dette for å dekke eventuelle geometriske avvik, slik som skjevsetninger.

Lastfaktor for egenvekt settes til:  $\gamma_{\text{egenvekt}} = 1,20$

#### **4.7 Relativ luftfuktighet (RF)**

Ved beregninger av kryp og svinn, er det forutsatt at RF i Tromsø er på 80%.(22)

#### **4.8 Eksponeringsklasse**

Eksponeringsklassen for bassengkonstruksjonen etter Eurokode 2 er:

For betongveggen mot bassengkanten: XD2

For bunnen/dekket i bassenget som ligger mot grunnen: XC2

#### **4.9 Overdekning**

Kravet til overdekning finner i Eurokode 2.

For eksponeringsklasse XD2:

Det er lagt til grunn overdekning på 50 mm med levetid på 100år.

Avvik er satt til 10mm.

$$C_{\text{nom}} + C_{\text{dev}} = 50 + 10 = 60 \text{ mm}$$

For dekke som støpes direkte på grunn, er minimumskravet 75 mm, det er valgt 100 mm.

#### **4.10 Krav til våte konstruksjoner**

Ettersom bassenget krever vanntett betong, setter vi et minstekrav til tykkelse på tverrsnittet til 300 mm. Anbefalingen fra Byggforskseriens anvisning 520.055 er på 250 mm, men av erfaring anbefaler Asplan Viak 300 mm, da dette gjør det lettere å få plass til all armering og overdekning.

## **4.11 Rissviddebegrensning**

Setter krav for maks rissvidde til 0.2 mm fra Eurokode 2 del 1, ettersom det er en vanntett konstruksjon. (2)

Eurokode 2 del 3 (siloeer og beholdere) har krav til rissviddebegrensning som funksjon av tverrsnittsdimensjoner og hydrostatisk trykk. (23)

## 5 Programmer

Programmene som ble brukt under oppgaven er Mathcad Prime, Focus Konstruksjon 2023, Abaqus, Fem-Design og HETT<sup>22</sup>.

### 5.1 Mathcad Prime

Mathcad Prime er et beregningsprogram for matematiske beregninger, analyse, digital dokumentasjon og presentasjon av beregninger. Det gir brukerne muligheten til å skrive matematiske uttrykk og formler på en ryddig måte. Programmet er omfattende, men har en intuitiv applikasjon som utfører nøyaktige beregninger. Programvaren har forskjellige funksjoner og verktøyer for forskjellige avanserte beregninger, og blir brukt i ulike fagområder som ingeniørvitenskap, matematikk, fysikk, økonomi og statistikk.

Fordelen ved å bruke Mathcad er at programmet er et nøyaktig og effektivt verktøy som minimerer feil og unøyaktighet i beregningen. Mathcad er et særlig relevant program når oppgaven krever å endre på ulike verdier ofte, som høyden på tverrsnittet eller overdekning. Applikasjonen har en funksjon hvor endringer av verdier vil føre til at hele regnearket oppdateres noe som gjør at arbeidet blir effektivt.(24)

### 5.2 Focus Konstruksjon 2023

Et annet modelleringsprogram som benyttes i oppgaven er et FEM-analyseprogram (*Finite Element Method*), Focus Konstruksjon 2023. FEM er en numerisk metode som brukes for å løse komplekse statikk problemer, ved å dele systemet i mindre deler, kalt elementer. Programmet benytter elementmetoden for å beregne konstruksjoner. Man kan modellere mekaniske systemer i enten 2D eller 3D, og kjøre en global analyse av konstruksjonen.(25)



### 5.3 Abaqus

Abaqus er et kraftig *Finite Element Analysis* (FEA) beregningsprogram for ingeniøranalytikere som jobber med å analysere og designe mekaniske systemer og prosesser. Programvaren har verktøyene til å modellere enkle mekaniske komponenter og har funksjonen til å sette konstruksjonsdelene sammen. Abaqus kan brukes til å skape en 3D-modell og kan gjøre forskjellige modell-analyser for alle typer materialer og tilstander.

Analyser som er relevant for oppgaven er hovedsakelig spenningsanalyse. Ved bruk av Abaqus kan det være enklere å oppdage feil i konstruksjonen. Programmet gir en visuell forståelse av konstruksjonen og i tillegg resultater som en kontroll på at håndberegningene er riktig. (26)

### 5.4 FEM-Design

FEM-Design er et *Finite Element Method*-program med 3D modellering, tverrsnittskontroll og FEM-analyse av konstruksjoner og strukturer laget av betong, stål og tre. Programmet gir brukeren en mulighet å evaluere oppførselen til konstruksjonen under ulike belastninger og miljøforhold. Tverrsnittskapasitet kan kontrolleres i henhold til Eurokoden med nasjonale tillegg. (27)

Analyser som er relevant for oppgaven er blant annet, spenningsanalyse, deformasjonsanalyse og rissviddekontroll.

## 5.5 HETT<sup>22</sup>

HETT<sup>22</sup> er et 2D simuleringsprogram for temperatur- og fasthetsutvikling til betong når den herdes. HETT<sup>22</sup> gjør beregninger med det aktuelle været og henter data fra Yr.no basert på sted og tidspunkt. Programmet kan også gjøre beregninger med ulike typer forskaling, som isolert forskaling, og med tidspunkt når forskalingen tas av. I tillegg har HETT<sup>22</sup> ulike tiltak du kan legge til konstruksjonen ved beregning for å se hvordan dette påvirker temperaturen og fasthetsutviklingen. De ulike tiltakene er værbeskyttelse, isolering, tildekking og varmekabler. Programmet gjør det også mulig å legge inn egne parametere på betongresept og temperaturutvikling under herding.

I oppgaven er det benyttet 2D simulering av temperaturen i betongen når veggen støpes på dekket(bassengbunn). Dette gir en beregnet temperaturredifferanse mellom vegg og bassengbunn(dekket) som kan benyttes til å regne på fastholdningsriss og vurdere om temperaturforskjellen mellom dekket og veggen er for høy.(18)

## 6 Befaringsrapport Pirbadet

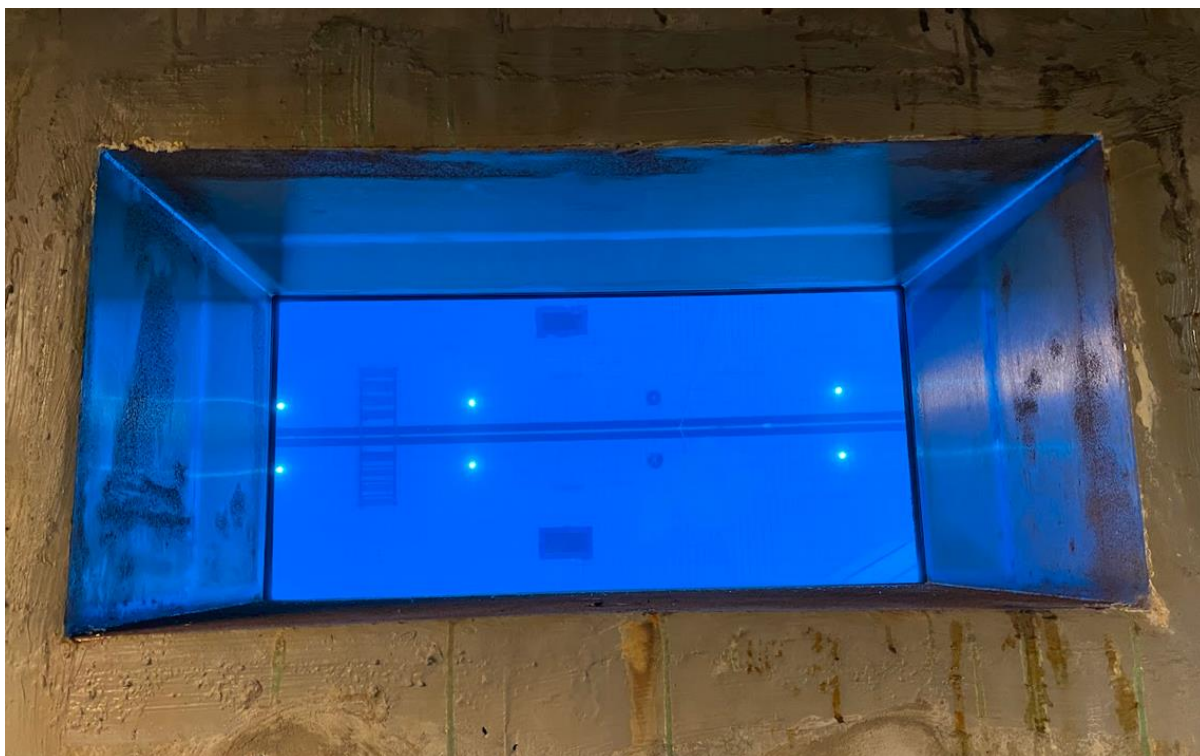


Fig. 5: Bilde fra Pirbadet, kameravindu under befarings 19. januar.

### 6.1 Bakgrunn

Gruppen har vært på befarings i Pirbadet to ganger i løpet av våren, en gang tidlig i januar og en gang i mai. Pirbadet er Trondheims største badeanlegg, og har et svømmebasseng som tilsvarer størrelsen på bassenget i Tromsøbadet.

Det ble bestemt at gruppen skulle dra på befarings for å se på hvilke problemer som har oppstått etter lang tid. Pirbadet ble bygd på starten av 2000-tallet og konstruksjonens alder gjør den interessant når den kan sammenliknes med nyere bassengkonstruksjoner som bygges i dag. Svømmebassengene i Pirbadet og Tromsøbadet er relativt like i størrelse, noe som gjør det interessant å sammenlikne de to.

Bassenget i Pirbadet er 21 m x 51 m, bassenget i Tromsøbadet er 25 m x 50 m. Lengden på den dypeste delen i Pirbadet er 12,5 m, og i Tromsøbadet er den 15 m. Størrelsesmessig er dette så likt at det er rimelig å anta at kreftene i de to bassengkonstruksjonene er relativt like.

Den originale delen av Pirbadet er prosjektert av Reinertsen Engineering. Gruppen har sett på det gamle bassenget som er prosjektert av Reinertsen Engineering.(28)

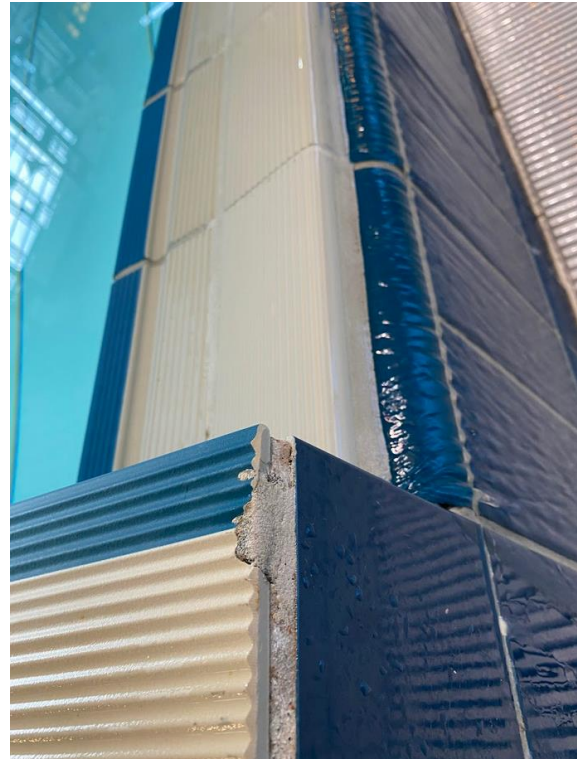
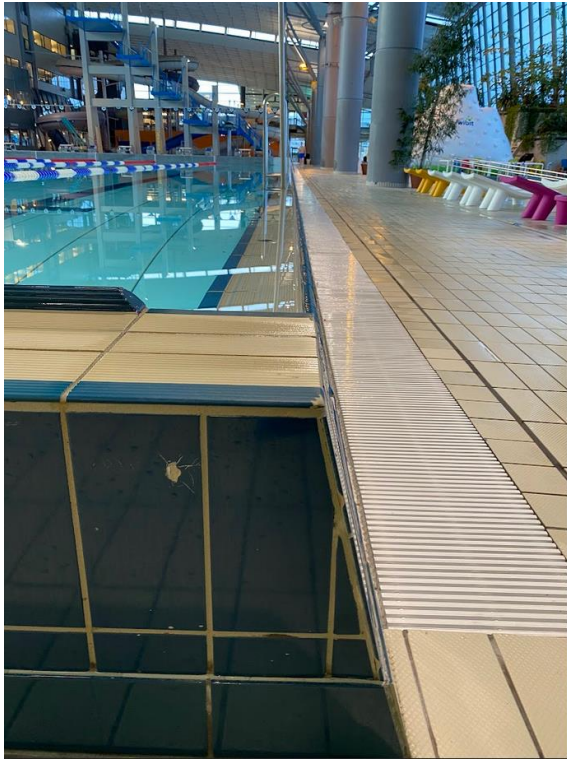
Tromsøbadet er prosjektert av Asplan Viak, og det ble ferdigstilt i 2019(29). Det som skiller de to konstruksjonene er at Pirbadet er prosjektert på friksjonspæler, og Tromsøbadet er prosjektert på pæler til fjell. Kunnskapen rundt bestandighet har utviklet seg i denne 20-års perioden, så det som var ansett som godt nok før er ikke nødvendigvis ansett som godt nok i dag.

Grunnforholdene på Brattøra, hvor Pirbadet er bygd, er svært krevende. Brattøra er en gammel fylling bestående av stein, sand, bygningsrester i tre og betong, søppel og annet avfall. Under fyllingen er det sand og silt. (30)

Det er antatt av geotekniker at grunnvannsnivået er det samme som havnivået og at det følger flo og fjære variasjonene(30). Grunnforholdene gjør det vanskelig å forutse hvordan konstruksjonene vil sette seg, samt at man ikke vet om det vil sette seg ujevnt. De originale grunnforholdene består av sand og silt over leire. Det er så langt ned til fjell at det ikke kan benyttes pæle til fjell. Fyllingen og grunnen under som anlegget er bygget på har trolig ikke lik massesammensetning over hele grunnflaten til bygget. Dette gjør det utfordrende å forutse hvor ujevn setningene kan bli.

## **6.2 Opplysninger gitt av byggherre**

Teknisk leder i Pirbadet, Trond Sigernes, viste oss rundt i anlegget og informerte om diverse angående konstruksjonen og bygget. Det er også mange lekkasjer rundt rør og føringer i konstruksjonen. Dette kan komme av at rørføringer ikke har fått de samme setningene som bassengkonstruksjonen. Skeivsetningene i Pirbadet er blitt så store at vannet i idrettsbassenget «renner ut» i den ene enden (se Fig 6). Det har blitt nødvendig å bygge opp en høyere kant i den ene enden av bassenget.



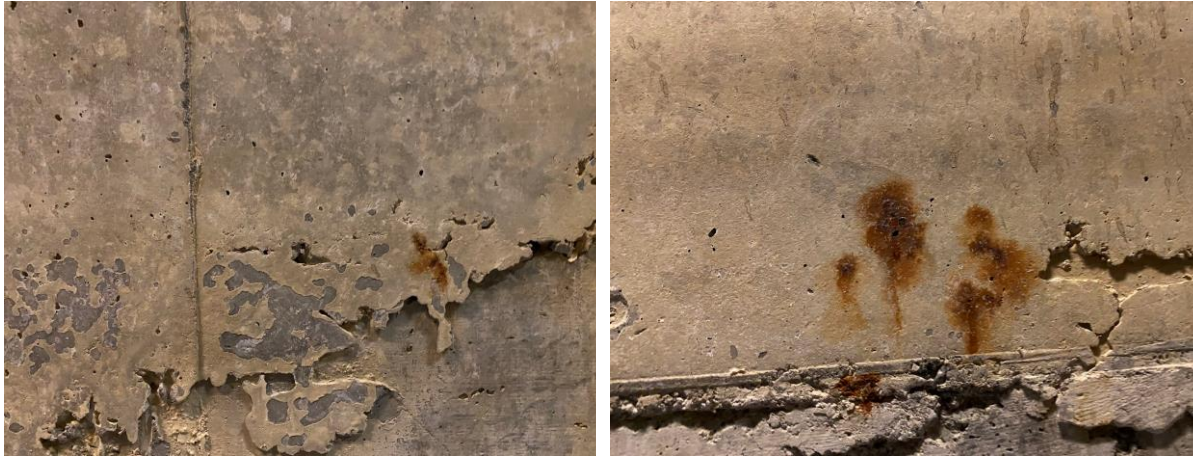
*Fig. 6: Oppbygd bassengkant i Pirbadet, fra befaring 19. januar*

Bassengkanten er bygd opp, ettersom bassenget har satt seg ujevnt og vannet strømmer ut i den ene enden av lengdebassenget.



### 6.3 - Observasjoner og målinger

Flere steder rundt bassengkonstruksjonen ble det observert rustflekker i overflaten på betongen.



*Fig. 7: Rustflekker på bassengkonstruksjonen i Pirbadet, fra befaring 4. mai*



*Fig. 8: Steinreir og støpesår i den gamle bassengkonstruksjonen i Pirbadet. Fra befaring 19. januar.*

Det ble observert flere steinreir og støpesår i bassengkonstruksjonen.

Under befaringen ble det tatt flere målinger. Dette for å kartlegge konstruksjonens tilstand. Nedenfor er det kort redegjort for hvilke målinger som ble gjort og resultatene av disse.

### **Luftfuktighet:**

Det ble benyttet en TSI VELOCICALC for å måle luftfuktighet både ved siden av konstruksjonen og oppe i badeanlegget.



*Fig. 9: Luftfuktmåler i Pirbadett. Fra befaring 4. mai*

Luftfuktigheten på siden av bassengveggene ble målt til 35% Relativ fuktighet (RF).

Luftfuktigheten oppe i badeanlegget ble målt til 69% RF.

### **Setninger:**

For å måle differansesetningene i idrettsbassenget, ble det målt fra en bestemt fuge som er lik i hele bassenget og opp til vannoverflaten. Langs den røde pilen på illustrasjonen ble det målt høyde opp til vannflaten, den grønne pilen på Fig. 10. Vannflaten fungerte som et vater og tillot oss å måle skjevsetningene for bassenget.

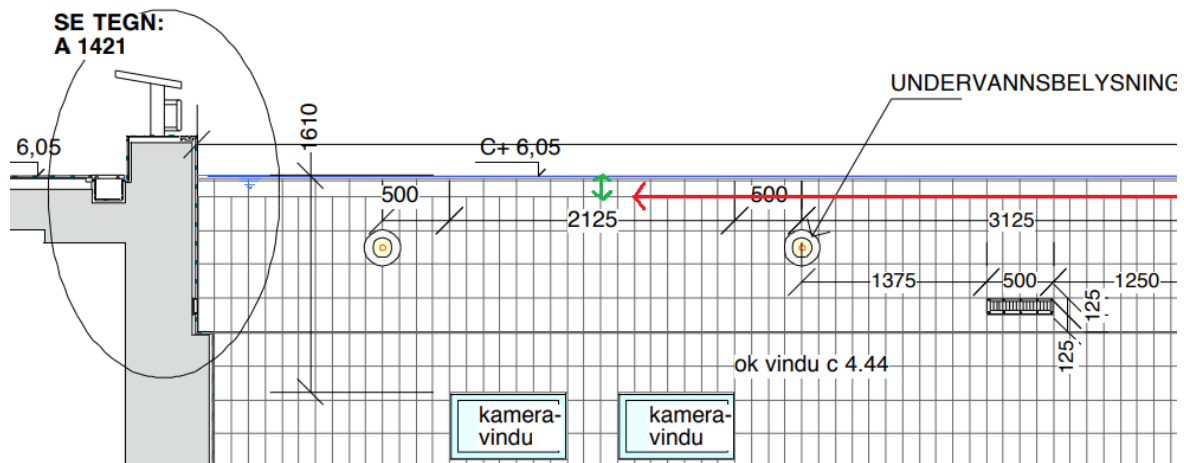


Fig. 10: Illustrasjon av målemetode for å bestemme skeivsetning av Pirbadet

Det ble målt med et intervall på 2 meter langs bassengets ene langsiden på 50 meter. På den andre langsiden ble det utført 3 kontrollmål som samsvarte med de tilsvarende på den første langsiden, så det er rimelig å anta at setningene er like på begge langsider. Det var lite aktivitet i bassenget på måletidspunktet, men det var bevegelse i vannet. Måling 12 utgikk, da det lå startpaller midt i bassenget som blokkerte muligheten for å måle.

Differansen mellom punkt 1 og 26 er 5,5 cm. Dette betyr at bassenget har satt seg 5,5 cm mer i den ene enden i forhold til den andre.



	Lengde 1	Lengde 2	Differanse (n - 1)
1	14,00	14,5	0,0
2		14,5	0,0
3		15,0	0,5
4		15,0	0,5
5		15,5	1,0
6		15,5	1,0
7		15,7	1,2
8		16,0	1,5
9		16,0	1,5
10		16,3	1,8
11		16,5	2,0
13		17,0	2,5
14		17,0	2,5
15	18,00	17,3	2,8
16		17,6	3,1
17		18,0	3,5
18		18,2	3,7
19		18,5	4,0
20		18,5	4,0
21		18,4	3,9
22		18,6	4,1
23		19,0	4,5
24		19,3	4,8
25		19,5	5,0
26	20,0	20,0	5,5

*Tabell 1: Måleresultater fra registrering av skeivsetning i Pirbadet*

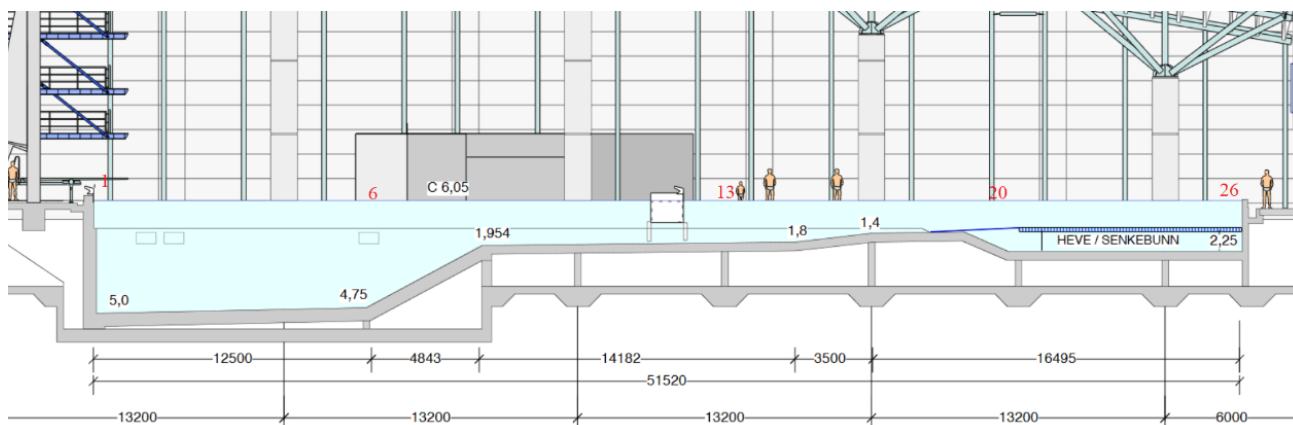


Fig. 11: Illustrasjon av målepunkter i Pirbadet

Her er bassenget med indikasjon på måling 1, 6, 13, 20 og 26. Det er enden til høyre i bildet som har satt seg 5,5 cm mer enn enden til venstre.

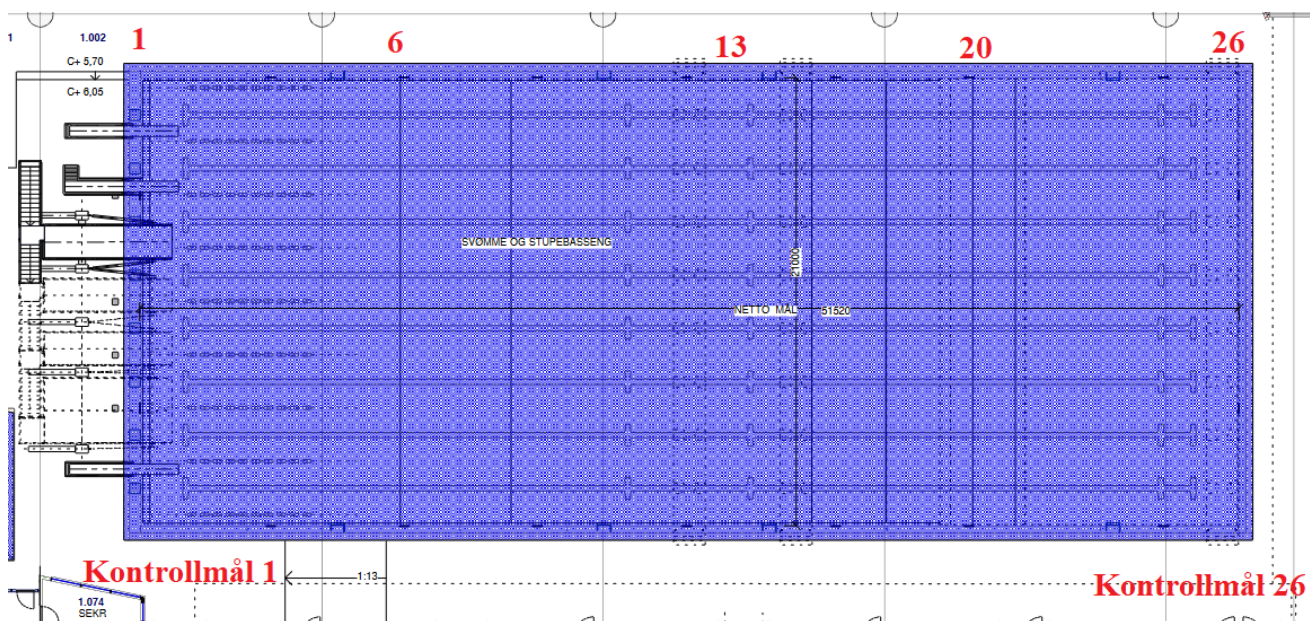
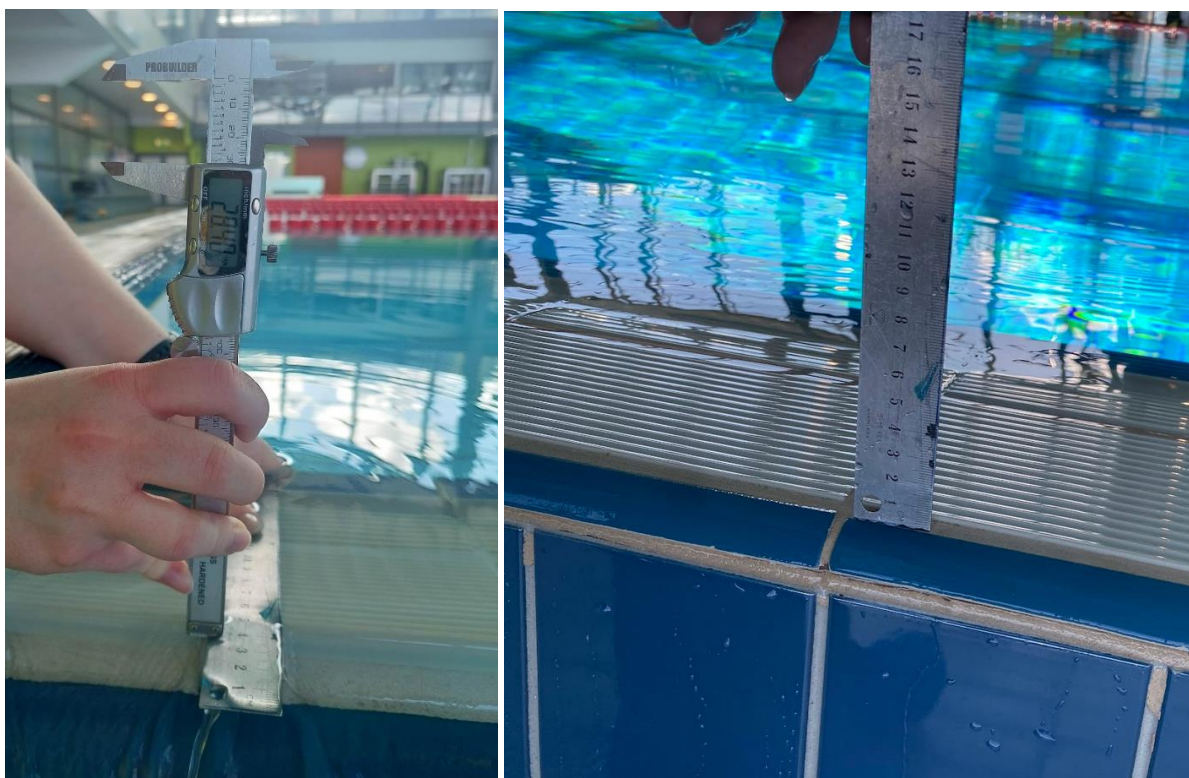


Fig. 12: Illustrasjon av målepunkter i Pirbadet

Det ble også målt hvor mye bassengkanten er bygd opp, som en indikasjon på setninger.



*Fig. 13: Forhøyet kant for å kompensere for skeivsetninger i Pirbadet. Fra befaring 4. mai.*

Her er det brukt skyvelær, det er målt høyde på den oppbygde flisen fra overkant på den blå flisa til overkant av den beige flisa. Til høyre kan man se at den blå og den beige flisa er like tykke. I den enden av bassenget som ligger 5,5 cm lavere er det bygd opp med en forhøyet flis på 2,8 cm. Det er erfart av de ansatte ved Pirbadet at setningsutviklingen har vært jevn. De har bygd opp kanten ved bassenget 3 ganger. Første gang bassenget ble utbedret var 8-10 år etter bygget var ferdig. Det har deretter vært nødvendig å gjøre tilsvarende utbedringer to ganger til, med 5 års mellomrom.

### Betongens styrke:

Det ble benyttet en betong hammer, Proceq Silver Schmidt Concrete Test Hammer PC, for å måle styrken til betongen.



Fig. 14: Betonghammer, fra befaring i Pirbadet 4. mai

Med 15 målinger er det bestemt en betongfasthet på 70 MPa.

### Riss:

Det ble undersøkt riss i konstruksjonen, som ble målt med en risslinjal. De største rissene som ble funnet var på 0.3 mm. Til sammenlikning er det valgt max rissvidde på 0.2 mm som beregningskriteriet for bassenget som dimensjoneres i denne oppgaven.



Fig. 15: Risslinjal





*Fig. 16: Måling av riss i Pirbadet, fra befaring 4. mai.*

Det ble bare målt riss på den delen av bassenget som er 5 meter dyp, den andre enden av bassenget er dekket av rør, vannbehandlingsutstyr og annen teknisk installasjon. Dette gjorde det vanskelig å komme tett på veggen for å undersøke den.



*Fig. 17: Teknisk utstyr på siden av bassenkonstruksjonen i Pirbadet, fra befaring 4. mai*

## Tykkelse til vegg:

Det ble tatt mål av bassengveggen i Pirbadet, for å sjekke tykkelsen til konstruksjonen. Her er det målt 600 mm i bassengets dypeste del, og halvveis opp på veggen blir veggen slankere og tykkelsen går ned til 400 mm. Målene er ikke nøyaktig, men målt i konstruksjonens kamera vindu og differansen fra den tykkelsen som er funnet der.

## 6.4 Vurdering

Det er observert en skeivsetning på bassenget, på ca. 55 mm.

**Årsak:** Gruppen har tre hypoteser på hva årsaken til setningene i Pirbadet kan komme av. Det kan være en av disse eller en kombinasjon av disse.

Den første er at det er ulik belastning per pæl, gruppen har ikke klart å få tak i pæleplan til Pirbadet og vet derfor ikke hvordan de er fordelt under bassenget. Det kan tenkes at noen av pælene under den grunne delen av bassenget bærer mer last enn pæler på den dype enden, og at de derfor har fått større setninger der.

Den andre hypotesen er at siden grunnforholdene er så ulike, vil pælene ha ulik friksjon under ulike deler av bygget. Om pælene som ligger under den grunne delen av bassenget står i en jord med dårligere bæreevne enn pælene under den dype enden av bassenget, vil de få større setninger.

Den siste hypotesen er at differansesetningene kommer av oppdrift fra grunnvann på den dype enden av bassenget. Grunnvannsnivået ved Pirbadet endrer seg med flo og fjære, og bunnen i den dype delen av bassenget ligger under havnivået. Det er derfor sannsynlig at den dype delen av bassenget får oppdrift fra grunnvannet. Dette kan forklare hvorfor den dype delen ikke setter seg like mye som den grunne.

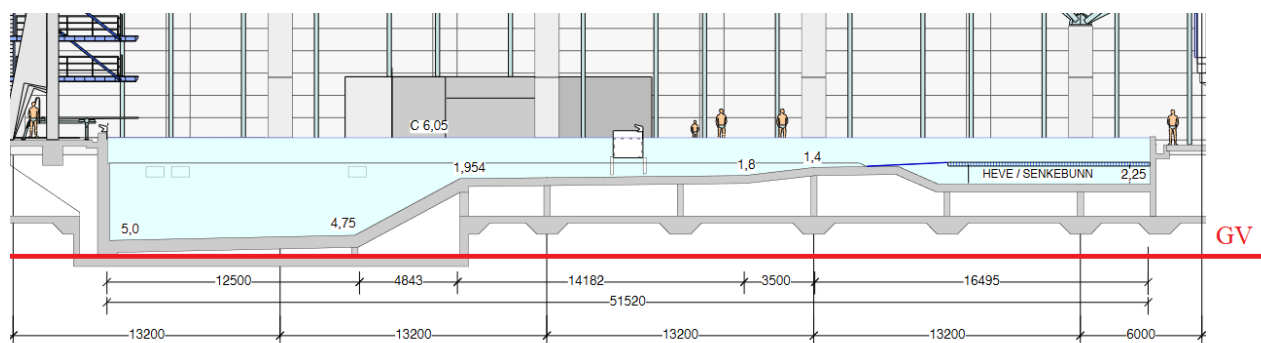


Fig. 18: Illustrasjon av tenkt grunnvannsstand i Pirbadet

## 7 Metode

Dette kapittelet forklarer hvilke beregninger som er gjort.

### 7.1 Håndberegninger

#### 7.1.1 Moment

For å dimensjonere bassenget er det antatt flere statiske modeller for konstruksjonen.

Den første settes til tilfellet vist under, og betrakter et snitt på 1.0m bredde.

Altså bassengbunn direkte på grunnen, med vegger uten fastholdning i topp.

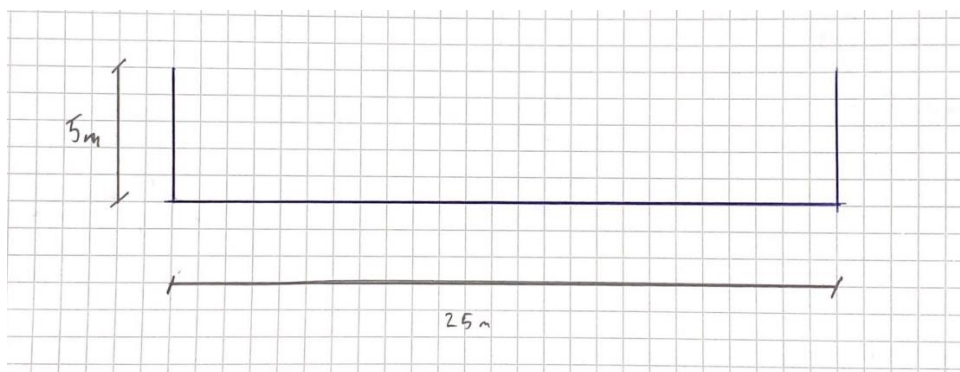


Fig. 19: Statisk system 1

Med lasten fra vannet får man et slikt tilfelle:

Betrakter 1 kubikk vann = 1 tonn = 10 KNm, som gir  $q = 50 \text{ KN/m}$  på 5 meter dybde.

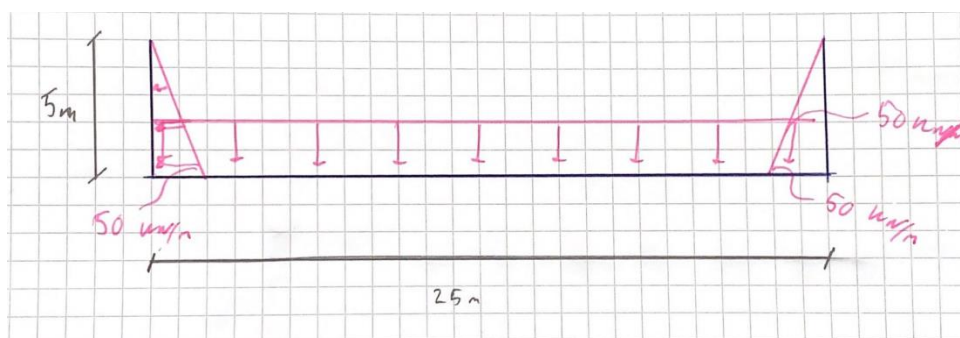


Fig. 20: Statisk system 1 med laster

For å betrakte ulike opplagerbetingelser, har vi sett hvilke moment ulike tilfeller vil få.

Om man antar at konstruksjonen står på grunn, vil den kun få et oppover rettet moment fra veggene og det stive hjørnet.

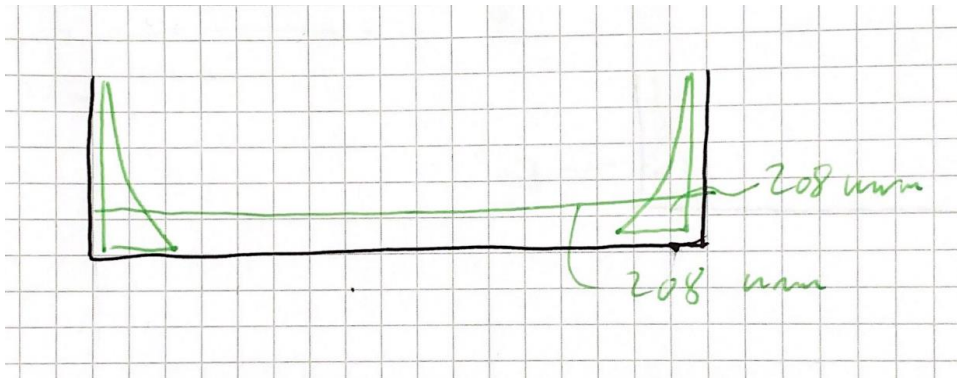


Fig. 21: Momentdiagram for statisk system 1

Det neste tilfellet som er betraktet kan sees under:

Opplagt på 2 opplager.

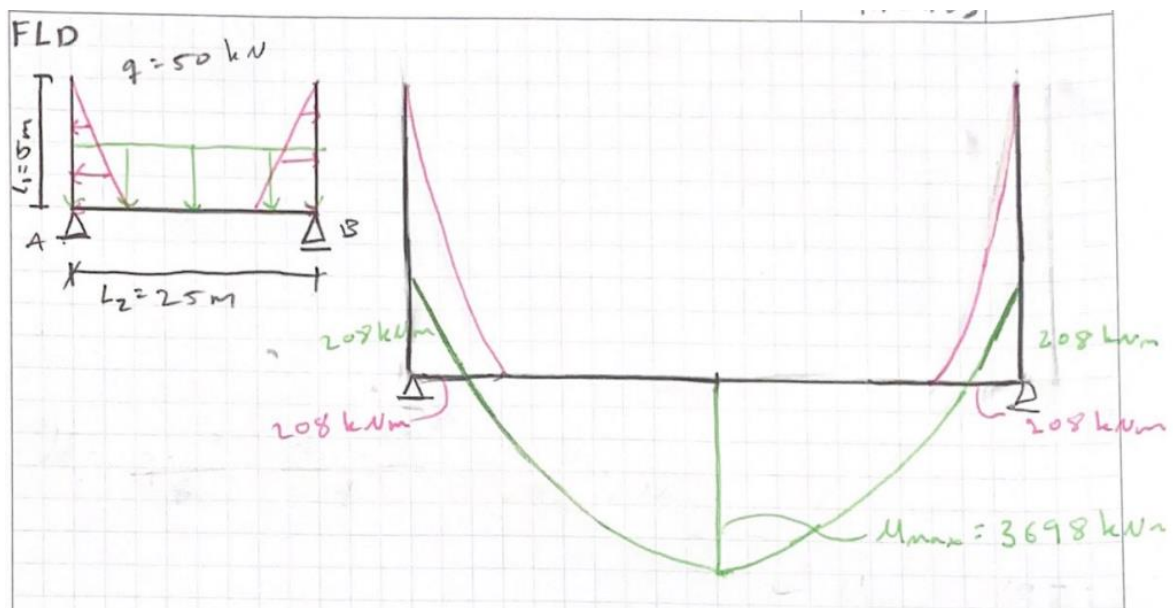


Fig. 22: Moment for basseng på to opplager

Det er gjort beregninger for flere tilfeller i Focus Konstruksjon 2023. De er modellert med konstant moment i endene, fra vegg, og en jevnt fordelt last på bunnen:



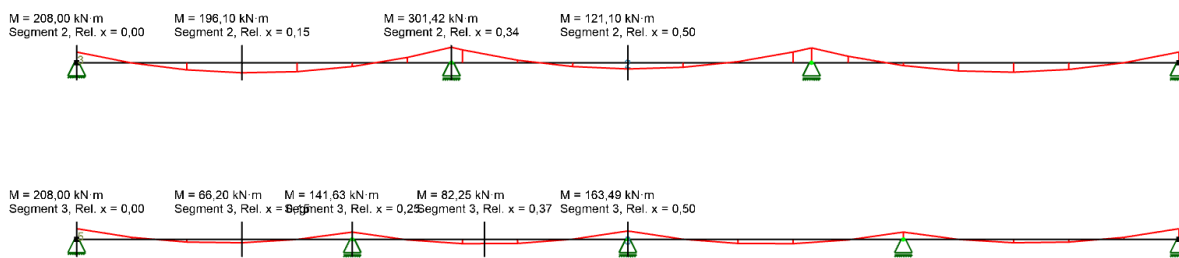


Fig. 23: Momentdiagram fra Focus

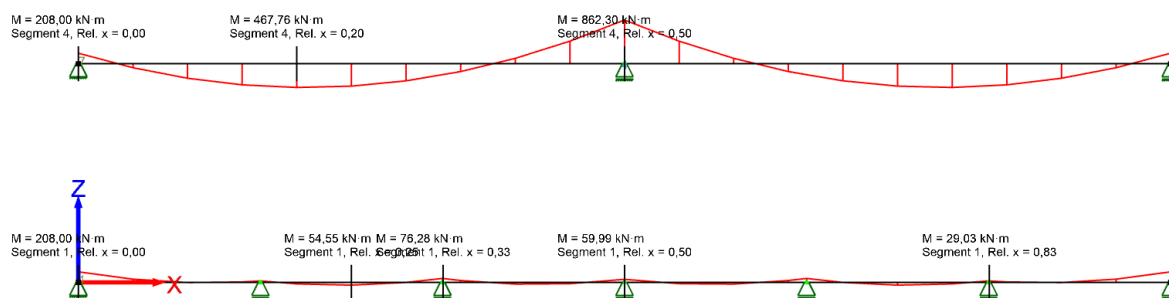


Fig. 24: Momentdiagram fra Focus

Vi ser at om en setter flere opplegg punkt under bassengbunn på modellen, vil momentene bli mindre.

Ut ifra pæleplan (se vedlegg 7) er det 6 pæler i bassengets bredde der bassenget er 5 meter dypt. Senteravstand mellom pæler er da 5,0 meter.

Korrekt modell for dette er vist nedenfor, der er det 5 m mellom hvert opplegg på pæl. Det største momentet vil opptre i overgang mellom vegg og bunn, der momentet er på 208 KNm. Største moment over pæl er på 103 KNm.

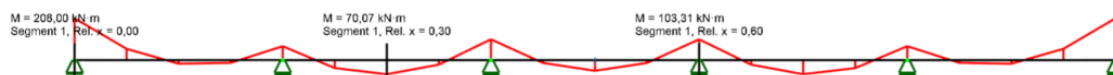


Fig. 25: Momentdiagram fra Focus

For beregningene velger maks moment i bassengbunn lik 208 KNm.

**Setter maks moment til 208 KNm i bassengbunn.**

### 7.1.2 Dimensjonering av bassengvegg

Dimensjonerer vegg etter maks moment på 208 KNm.

I beregninger gjort i vedlegg 4, er det funnet følgende:

- Nødvendig tverrsnittsparemeter  $d$  for å ta moment er 172 mm, men pga. krav til vanntette konstruksjoner økes  $d$  til 212 mm. Dette gir tverrsnittstykkelse  $h = 300$  mm.
- Nødvendig areal armeringsstål =  $2702 \text{ mm}^2$  pr meter.  
Velger  $6\text{Ø}25$  for 1 meters bredde i strekksonen, tilsvarende  $\text{Ø}25 \text{ CC } 180$  for hele veggen.
- Konstruksjonen er i eksponeringsklasse XD2 etter Eurokode 2 tabell 4.1.  
Overdekning for 100 års levetid blir da  $C_{\min} + C_{\text{dev}} = 50 \text{ mm} + 10 \text{ mm}$   
 $\rightarrow C_{\text{nom}} = 60 \text{ mm}$ .
- Armering i trykksonen bestemmes fra minimumsarmering til tverrsnittet.  
Minimumsarmering =  $837 \text{ mm}^2$ . Velger  $8\text{Ø}12$  for 1m /  $\text{Ø}12 \text{ CC } 125$ .
- Gjennomfører skjærkontroll etter Eurokode 2 6.2.2, finner at det ikke er behov for skjærarmering.
- Kontrollerer effekter av kryp og svinn etter eurokode, finner at utbøyning pga. kryp og svinn er under 1 mm. Antar at de kan neglisjeres.
- Kontrollerer riss, finner at tverrsnittet vil risse. Setter krav til rissvidde til 0.2 mm, ettersom det er en vanntett konstruksjon.
- Må endre diameter på armeringsjern i strekksonen pga. opptredende riss. Endrer til  $14\text{Ø}16$  for 1 meter /  $\text{Ø}16 \text{ CC } 70$ . Beregnet rissvidde blir da mindre enn 0,2 m.
- Nødvendig forankringslengde er beregnet til 283 mm.

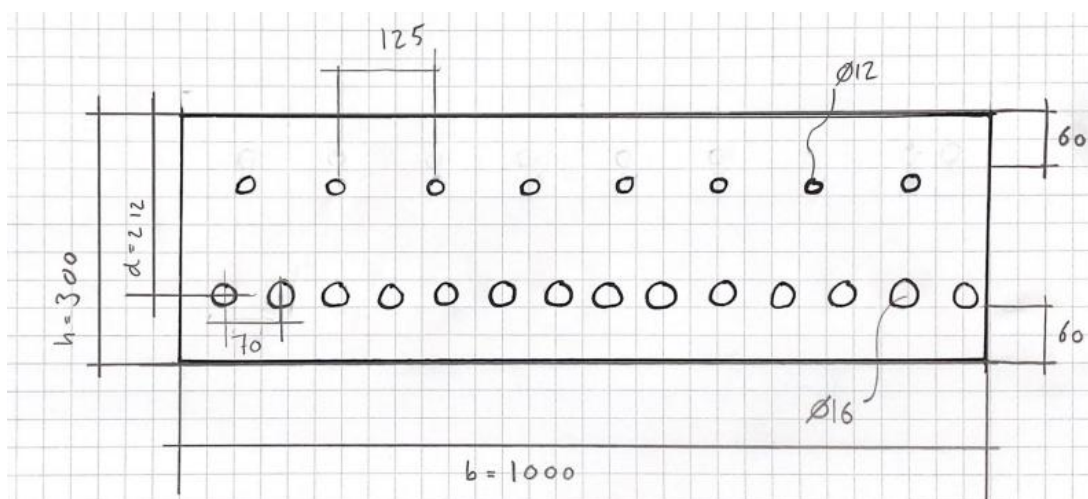


Fig. 26: Armeringsføring valgt etter beregning.

### 7.1.3 Dimensjonering av bassengbunn

Tar utgangspunkt i samme tverrsnitt som ble regnet fram i dimensjonering vegg etter maks moment, ettersom maks moment er det samme. Beholder da  $\text{Ø}25$  og endrer ikke til  $\text{Ø}16$ .

Fordi golv støpes direkte på grunn blir kravet til overdekning større. Minstekrav er 75 mm, her har vi valgt overdekning på 100 mm. Beholder samme eksponeringsklasse som for vegg, og har overdekning 60 mm mot vann.

I beregninger gjort i vedlegg 5, er det funnet følgende:

- Øker tverrsnitstykkelse  $h$  til 400,  $d = 315.5$  mm.
- Nødvendig armeringsareal =  $1816 \text{ mm}^2$ , beholder  $6\text{Ø}25$ .
- Minimumsarmering =  $1247 \text{ mm}^2$ , velger  $7\text{Ø}16$  per meter tilsvarer  $\text{Ø}16$  CC 160 til armering i trykksonen.
- Kontrollerer skjær og finner at det ikke er behov for skjærarmering.
- Kontrollerer gjennomlukking ved opplegg på pæl og finner at det ikke er behov for ekstra armering.
- Effekt av kryp og svinn på deformasjoner er så liten at den kan neglisjeres.
- Ved rissberegninger er det funnet at det kan armeres med  $\text{Ø}25$ , men dersom det endres til  $\text{Ø}20$  vil beregnet rissvidde gå ned med  $0.005$  mm. Begge kan benyttes. Velger  $10\text{Ø}20 / \text{Ø}20$  CC 100.
- Nødvendig forankringslengde er beregnet til 343 mm.

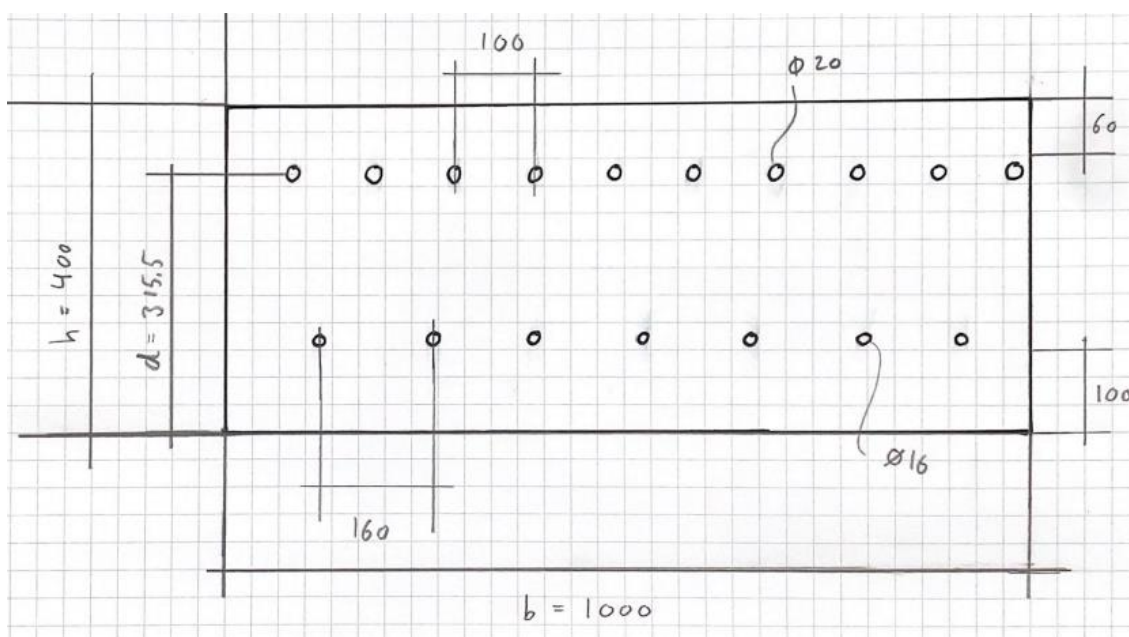


Fig. 27: Armeringsføring valgt etter beregning.

## 7.2 Beregning av rissgrense, utbøying og fastholdningsspenninger

I dette underkapittelet blir det gjort ytterlige beregninger som er relevant for bassenget som er dimensjonert i de analytiske beregningene.

### 7.2.1 Rissgrense etter NS-EN 1992-3 NA

Regner tillatt rissvidde etter NA.7.3.1(111).

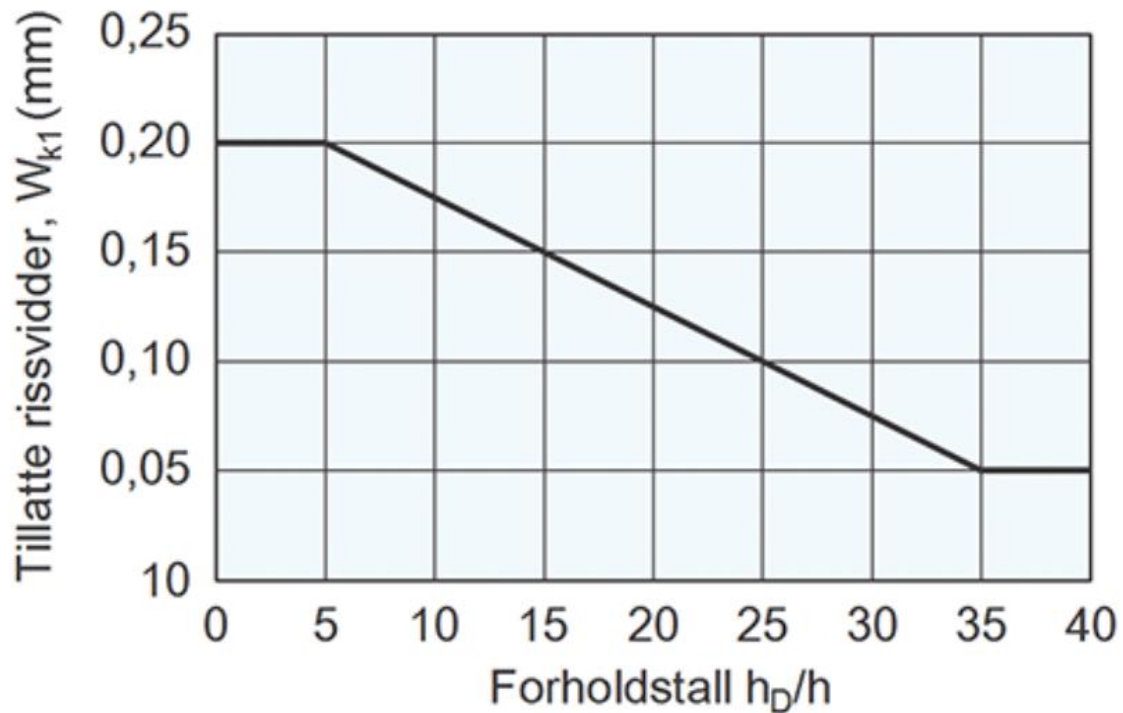


Fig. 28: Figur fra SINTEF Byggforsk anvisning 520.055.

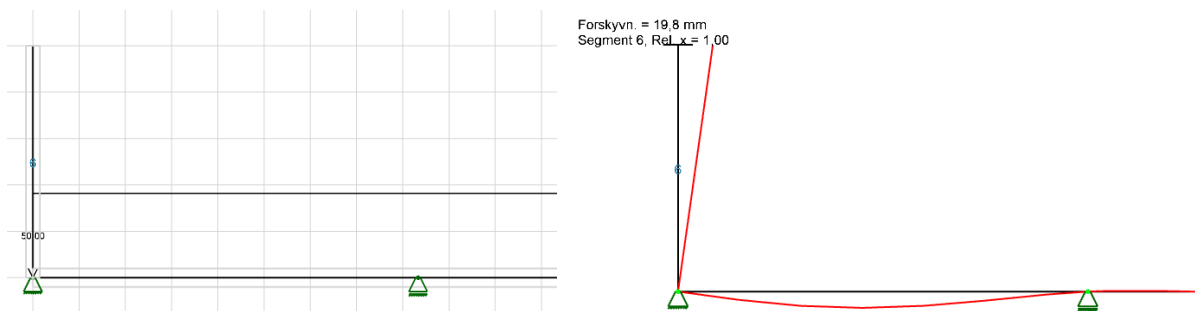
Vegg:  $h_D/h = 5\text{m} / 300\text{mm} = 16,6 \rightarrow 15$ ,  $W_{k1} = 0,15$  mm

Bassengbunn:  $h_D/h = 5\text{m} / 400\text{mm} = 12,5 \rightarrow 13$ ,  $W_{k1} = 0,17$  mm

## 7.2.2 Deformasjon i vegg

Kontrollerer deformasjoner i toppen av bassengveggene med tanke på sammenføring av bassenhjørnet. Utfører kontroll med Focus Konstruksjoner 2023.

For tilfellet med jevnt fordelt last får du:



Last på vegg:

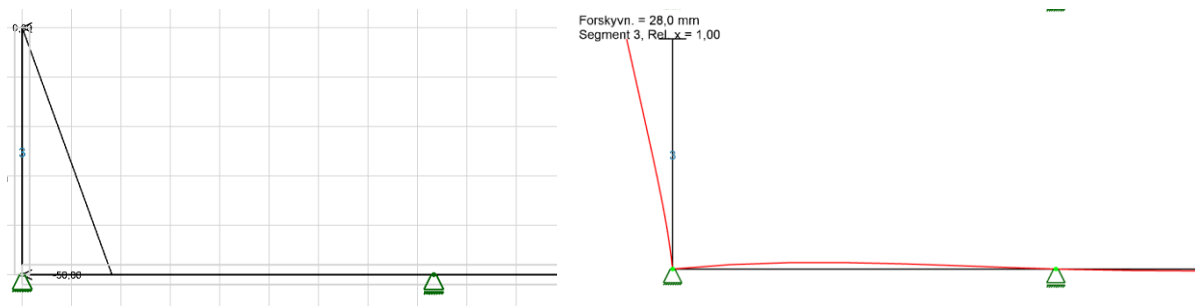


Fig. 29: utbøying for bassengvegg

Dette gir en total utbøying på 8.5 mm.

### 7.2.3 Beregning av fastholdningsriss

Det er beregnet temperaturdifferanse for to ulike tilfeller ved støpning Tromsøbadet.

Se eksempel 2 og 3 i 7.3.5. Der er det funnet en temperaturdifferanse på 32°C og 11°C.

Se vedlegg 6 for fullstendig utregning. I beregningene er det lagt til grunn at bassengbunn har mye større tverrsnittstivhet en bassevegg.

Benytter formel fra teorikapittelet:

$$\varepsilon_T = \alpha_T \cdot \Delta T$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Der:

$$\alpha_T = 10 \cdot 10^{-6}$$

$$E = 36000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_T = 3.2 \cdot 10^{-4}$$

Med en temperaturdifferanse  $\Delta T = 32$  blir  $\sigma$ :

$$\sigma = 11.52 \text{ MPa}$$

Dette gir en rissindeks på 3

For  $\Delta T = 11$

$$\sigma = 3.96 \text{ MPa}$$

Rissindeksen blir 1.

## 7.3 Programmer

### 7.3.1 MathCad Prime

I denne oppgaven er MathCad Prime brukt til å føre alle håndberegninger. Beregningene er et vedlegg.

I vedlegget er det referert til Eurokode 2, Betongkonstruksjoner av Sørensen og Byggforskserien anvisning 520.055.

### 7.3.2 Focus

Focus er brukt i oppgaven for å finne tverrsnittskreftene for enkle bjelketilfeller. Lasttilfellet til modellen er en jevnt fordelt last på 50 KNm, hvor det kun tas hensyn til nyttelasten samt påsatt konstant moment fra veggene. Platen er 25 meter lang. Det har blitt laget flere ulike modeller, hvor antall opplager varierer. Dette for å sammenligne effekten av antall pæler. Andre valg som er gjort i modellen framgår av resultatene.

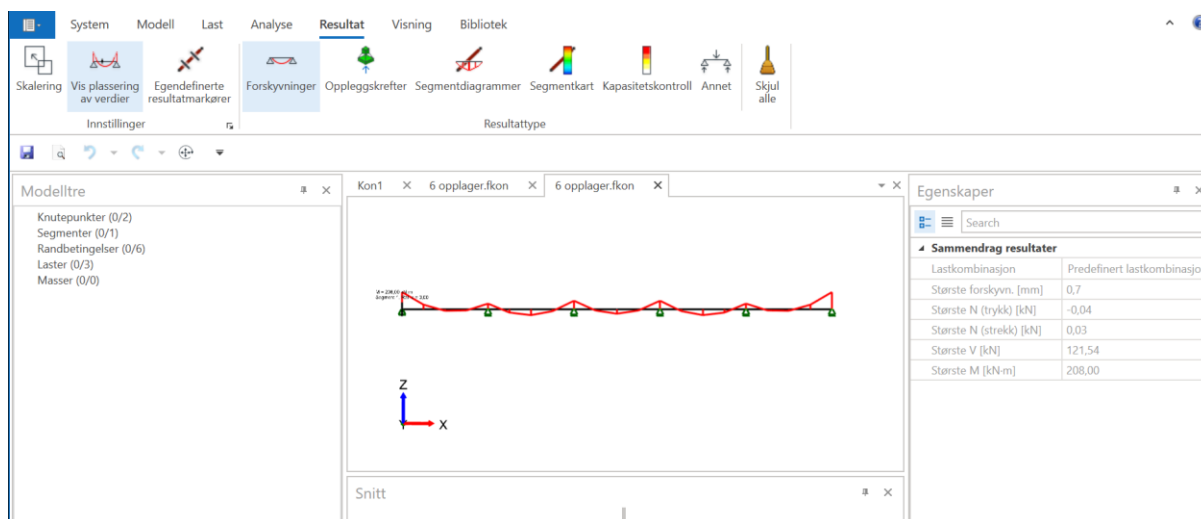


Fig. 30: Focus Konstruksjon 2023

### 7.3.3 Abaqus

Som en del av oppgaven har gruppa lært seg FEM-analyse programmet Abaqus. Dette er gjort gjennom et Abaqus kurs tilgjengelig på nett. Ekstern veileder har også bistått når det har vært behov for hjelp.

For å forenkle modellen er konstruksjonen avgrenset til det dypeste området i bassenget. Dette resulterer da i en konstruksjonsmodell på 15m x 25m som er 5 meter høy. Dette gir beregningsresultater som er relevant for oppgaven, og lar oss se hvordan spenningene opptrer i bassenget. Bassengkonstruksjonen er modellert med dekket fast innspent i grunn. Konstruksjonsdelenes dimensjoner er bestemt etter resultater i håndberegninger.

Det er modellert med volumelementer i betong og armering, dette gjør at modellen blir kompleks. Man må selv sette inn data for betong og armering i programmet, slik at modellen får de egenskapene materialet har. I modellen er betong og armering modellert hver for seg. Da må man passe på at elementene samspiller i modellen.

Det er valgt å sette på lasten som en jevnt fordelt last og ikke modellere vannet som en egen del i modellen. Da dette er mindre komplekst, men samtidig gir samme resultat. Modellen er meshet (delt opp) fint, slik at resultatet blir nøyaktig. Det er valgt å kjøre modellen for spenningsanalyse, for å se hvor de største spenningene vil opptre i konstruksjonen.

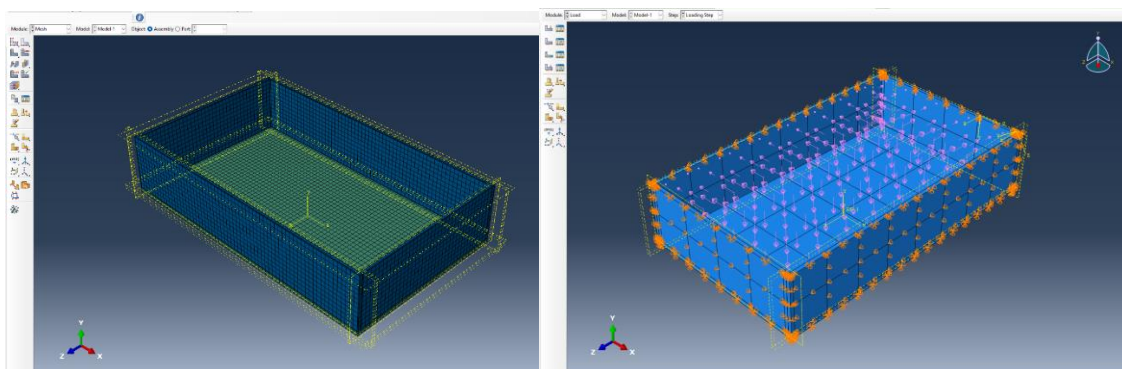


Fig. 31: Abaqus

Modellen er forenklet mtp. armering. Det er et armeringsnett som ligger «inni» hverandre, og ikke over eller under hverandre. I tillegg er det ikke tatt hensyn til armering i hjørne, se figur.



Dette gir feil resultat i overgang mellom dekke og vegg og mellom vegg og vegg. Dette gjør at resultatet får feil deformasjon i alle overganger mellom de ulike flatene.

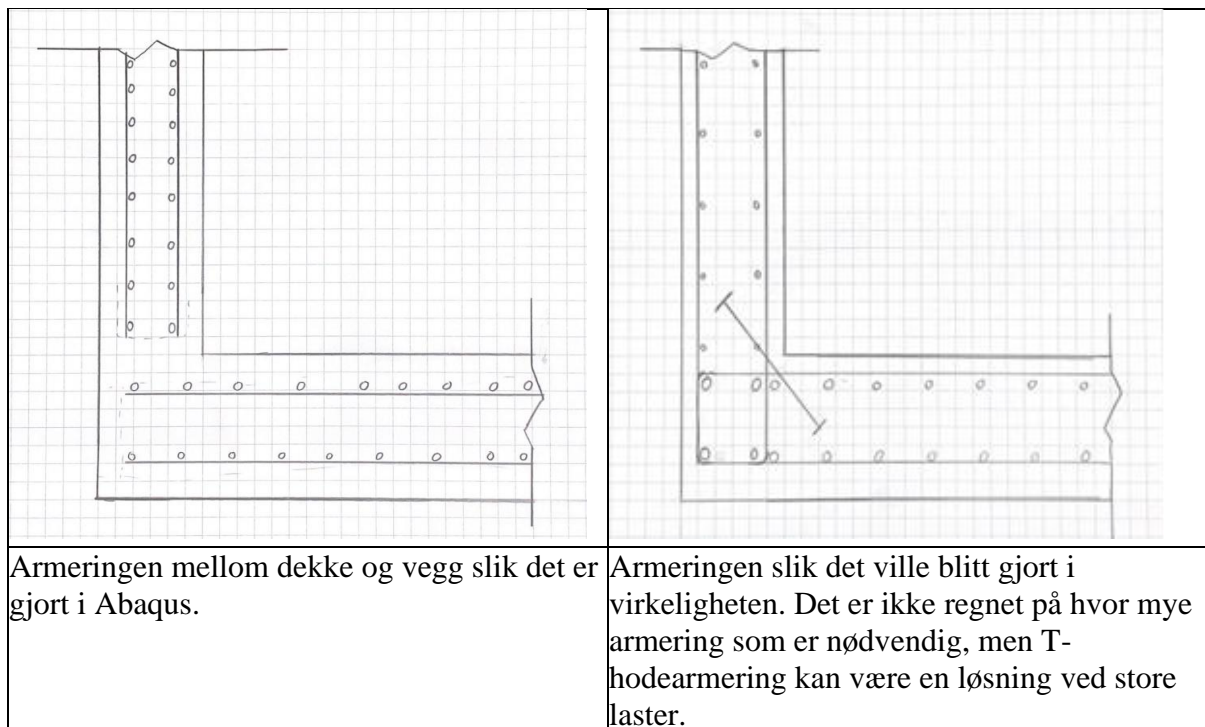


Fig. 32: Armeringsføring i Abaqus

### 7.3.4 FEM-Design

FEM-Design programmet er tatt i bruk for å modellere bassenget, og for å kontrollere om resultatene i Abaqus og håndberegninger stemmer. Det er også beregnet rissvidde.

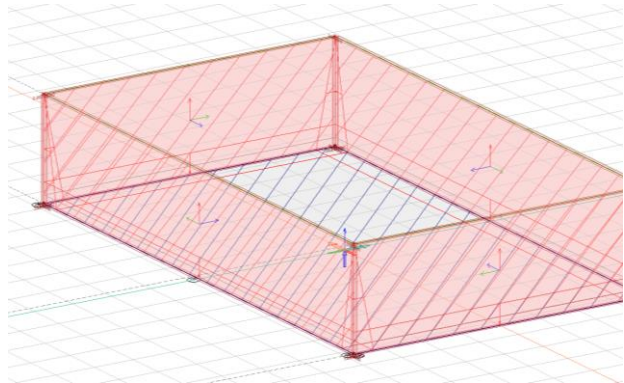
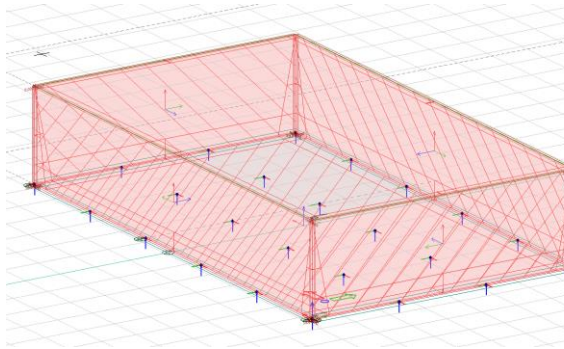
Programmet blir benyttet til å se på spenninger og riss i hjørnene av konstruksjonen, se på momentfordeling i konstruksjonen og benyttes for å kontrollere håndberegningene.

Bassengmodellen har dimensjon på 25m x 15m x 5m innvendig. Betongkvalitet B45 og tverrsnittdimensjoner tilsvarende det som er beregnet i håndberegningene. Lastene er de samme som er benyttet i håndberegningene.

Det er modellert to tilfeller. Et tilfelle der vi følger pæleplan med pæler CC 5m, et annet der dekket prosjekteres direkte på grunn.

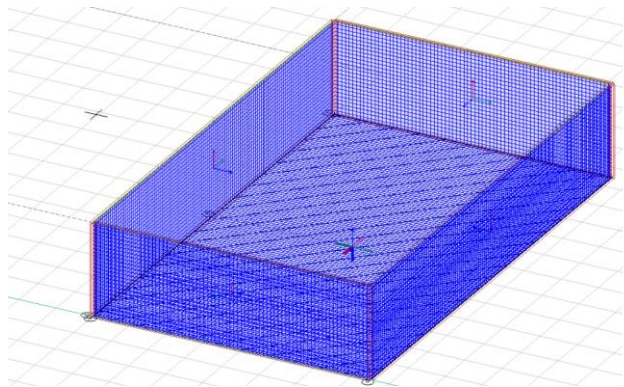
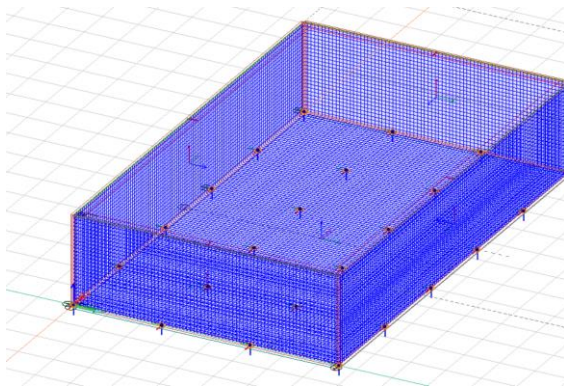
Det er benyttet et fint mesh for å få mest mulig korrekte resultat.

Armeringen er lik den som er funnet ved håndberegninger.



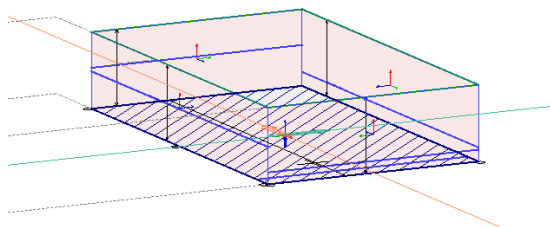
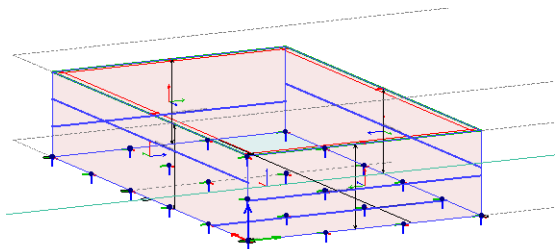
Betongbasseng på pæler, med laster

Betongbasseng direkte på grunn, med laster



Betongbasseng på pæler, med mesh

Betongbasseng på grunn, med mesh



Armering i basseng på pæler. Viser 1 av 4 lag med armering. Har armert med den samme armeringen i begge retninger for trykk og strekk.

Armering i basseng på grunn. Viser 1 av 4 lag med armering. Har armert med den samme armeringen i begge retninger for trykk og strekk.

Fig. 33 FEM-Design

### 7.3.5 HETT<sup>22</sup>

I oppgaven er det tatt i bruk programmet HETT<sup>22</sup>, for å beregne temperaturdifferansen mellom eksisterende og nye støpeetapper under betongens herdeforløp. Når man støper bassengvegg ønsker man at temperaturdifferansen skal bli minst mulig mellom bassengbunn og bassengvegg for å unngå fastholdingsriss.

#### Eksempel 1:

Først simuleres det vegg på bassengbunn, uten noen tiltak. Utendørs temperatur er satt til 15°C og gammel betong holder 15°C ved start. Forskaling som er valgt er 3 mm stål uten isolering. Standard betong og B45 M40 er valgt. Fersk betongtemperatur er 15°C.

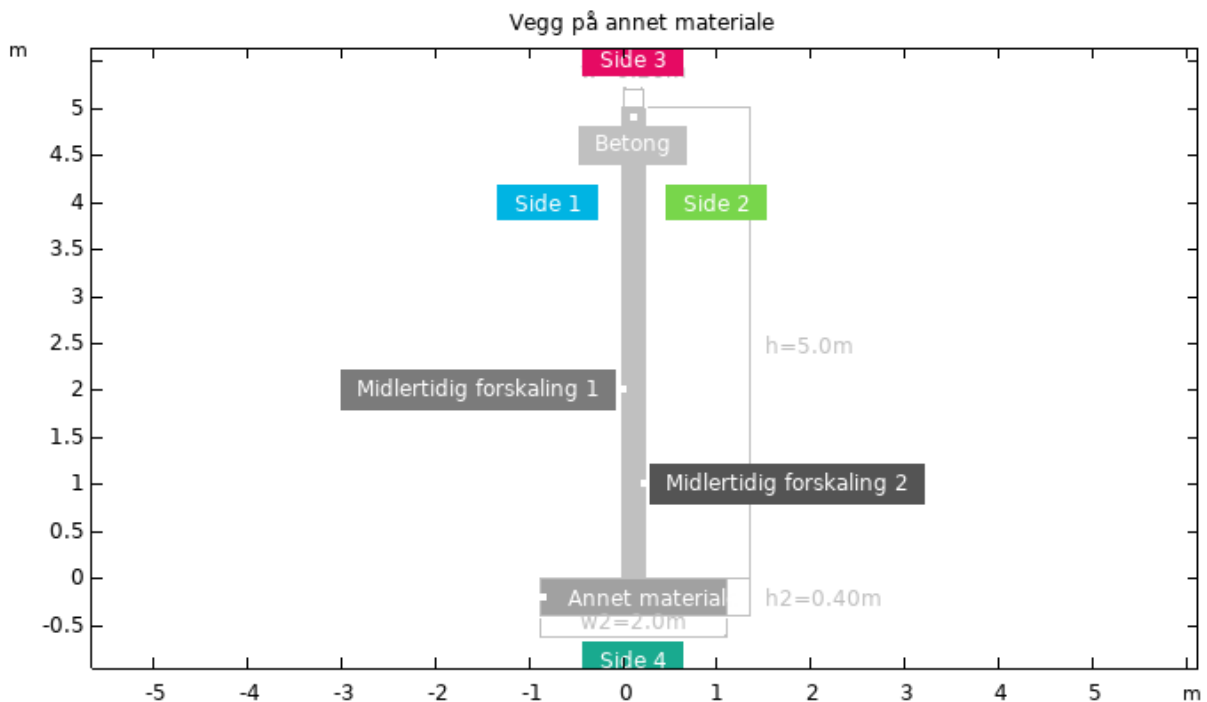


Fig. 34: HETT<sup>22</sup> uten tiltak

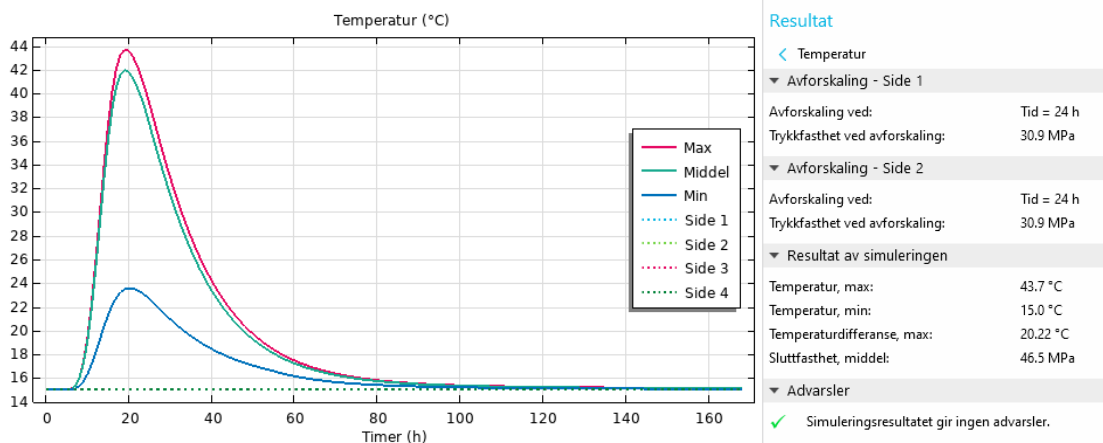


Fig. 35: HETT<sup>22</sup> resultater uten tiltak

Temperaturen til betongen er høyest ved ca. 20 timer. Da blir temperaturdifferansen 20°C.

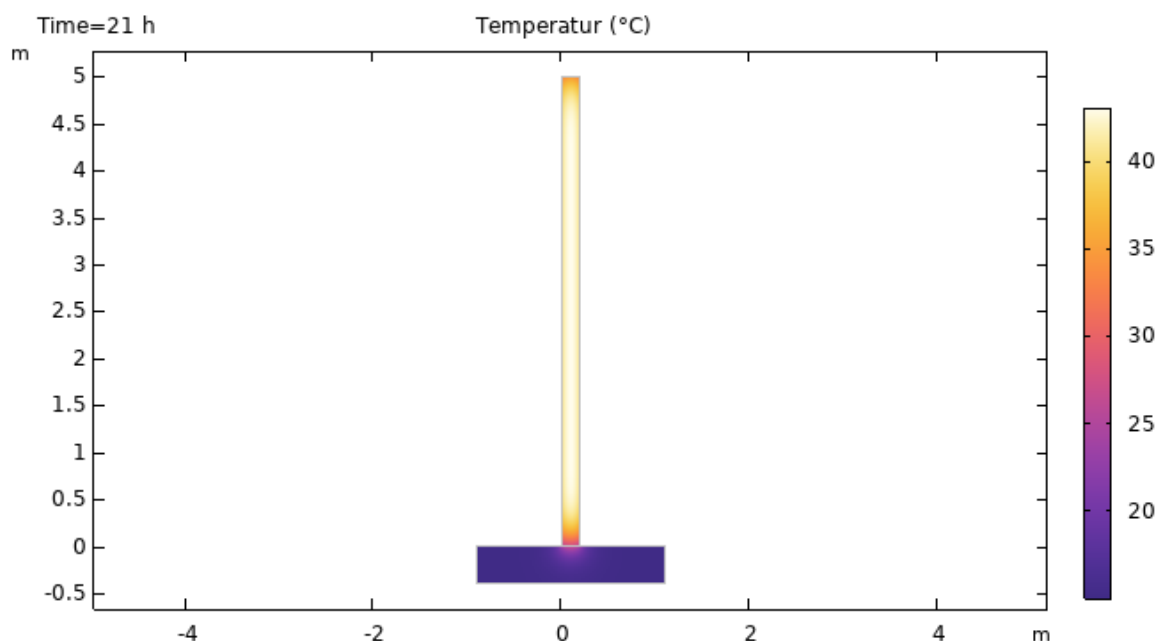


Fig. 36: HETT<sup>22</sup> uten tiltak

### Eksempel 2:

Bruker samme modell og legger inn varmekabler i gammel betong. Ser om det er mulig å senke temperatur differansen. Endrer stimuleringstid til 2 døgn, da temperaturen i betongen går under 20°C etter dette tidspunktet.

Varmekabel

< Rør > Temperatur

Varmekabel

Serie: Serie #1

Plassering: I annet materiale

Bruk serie

Plassering

Startpunkt, x: -0.89 m

Startpunkt, y: -0.2 m

Avstand i x-retning: 0.2 m

Avstand i y-retning: 0.05 m

Antall i x-retning: 10

Antall i y-retning: 2

[Vis plassering av varmekabler](#)

Data

Beskrivelse: På/av

Tidspunkt på: 0 h

Tidspunkt av: 25 h

Kilde: Standardbibliotek

Materiale: 30 W/m

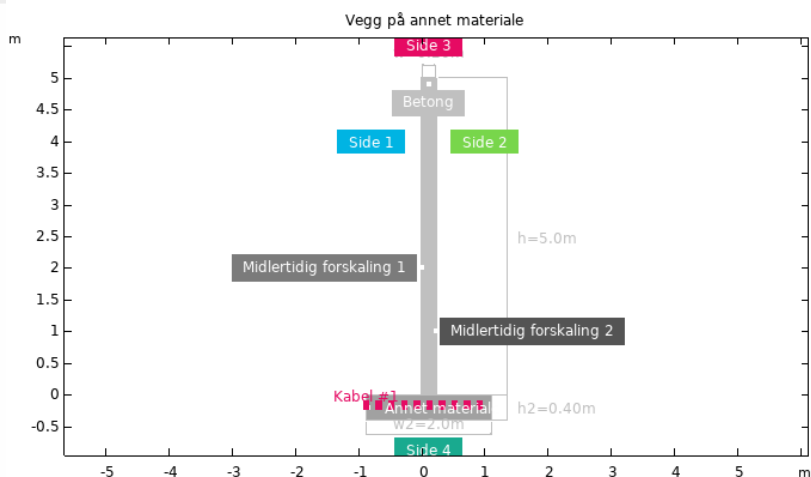


Fig. 37: HETT<sup>22</sup> innstillinger med tiltak

Dette minker temperaturdifferansen betraktelig, får en temperaturdifferanse på 11°C.

Resultat

< Temperatur

Avforskaling - Side 1

Avforskaling ved: Tid = 24 h

Trykkfasthet ved avforskaling: 30.9 MPa

Avforskaling - Side 2

Avforskaling ved: Tid = 24 h

Trykkfasthet ved avforskaling: 30.9 MPa

Resultat av simuleringen

Temperatur, max: 43.9 °C

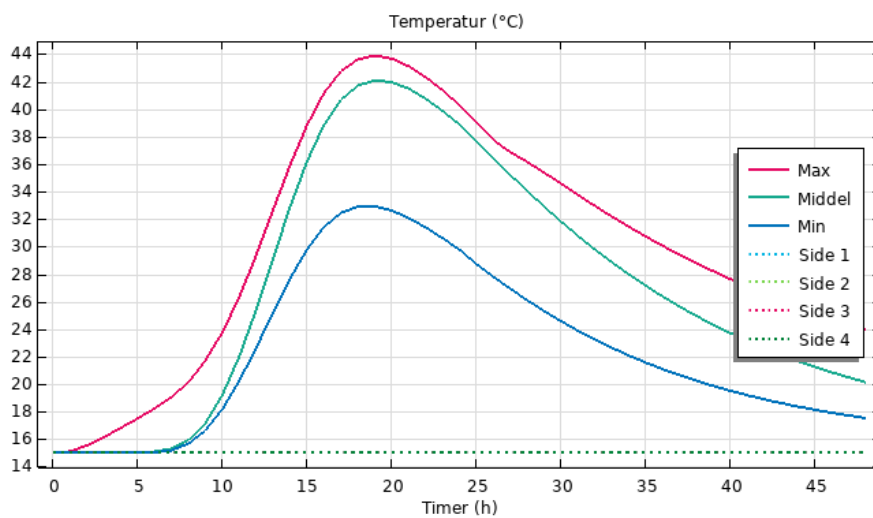
Temperatur, min: 15.0 °C

Temperaturdifferanse, max: 11.04 °C

Slutfasthet, middel: 39.0 MPa

Advarsler

Simuleringsresultatet gir ingen advarsler.



Resultat fra simulering

Temperatur fra simulering.

Fig. 38: HETT<sup>22</sup> resultater med tiltak

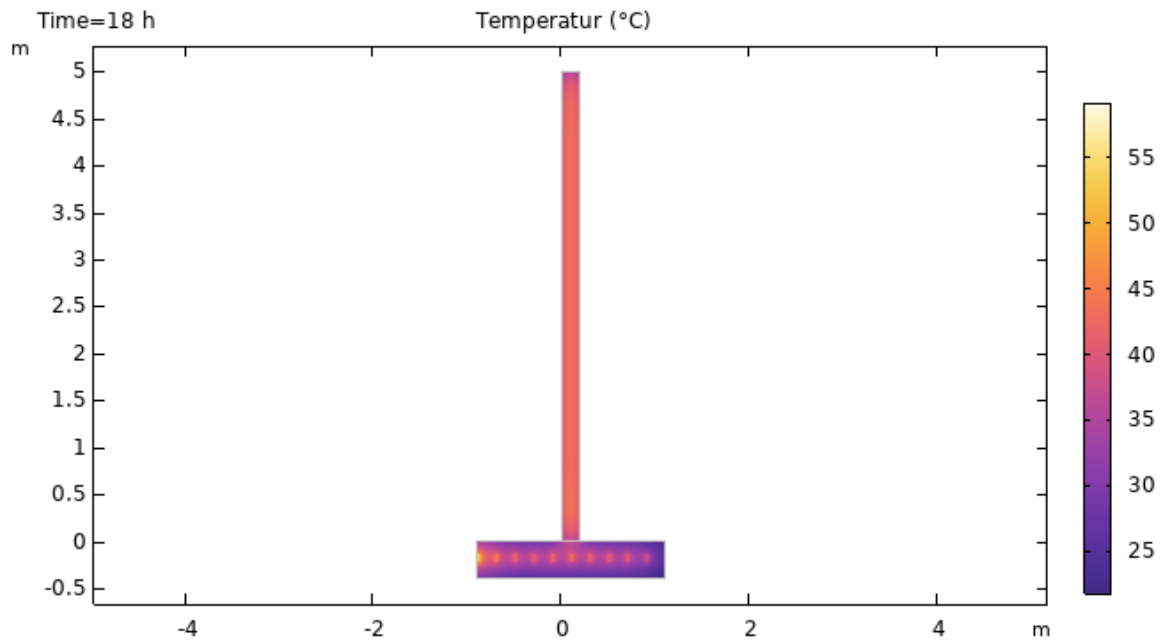


Fig. 39: HETT<sup>22</sup> resultater med tiltak

### Eksempel 3:

Benytter samme innstilling som tidligere, men endrer lufttemperaturen til 0°C og starttemperaturen for gammel betong til 5°C.

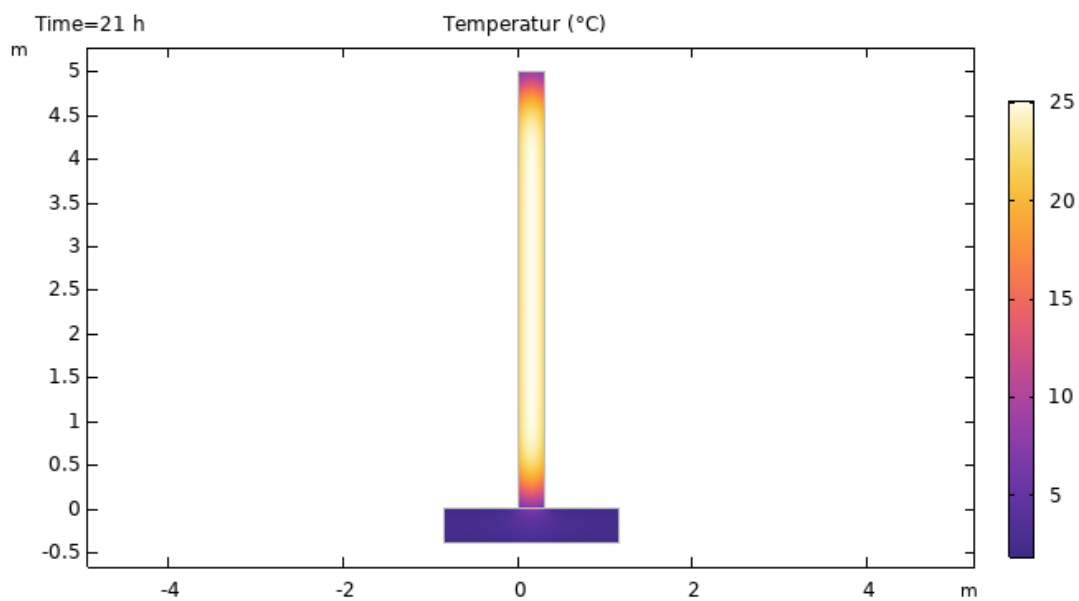


Fig. 40: HETT<sup>22</sup> resultater uten tiltak

## Resultat

### < Temperatur

#### ▼ Avforskaling - Side 1

Avforskaling ved: Trykkfasthet = 15 MPa  
Tidspunkt for avforskaling: 24 h

#### ▼ Avforskaling - Side 2

Avforskaling ved: Trykkfasthet = 15 MPa  
Tidspunkt for avforskaling: 24 h

#### ▼ Resultat av simuleringen

Temperatur, max: 32.2 °C  
Temperatur, min: 0.2 °C  
Temperaturdifferanse, max: 24.11 °C  
Sluttfasthet, middel: 37.9 MPa

#### ▼ Advarsler

✓ Simuleringsresultatet gir ingen advarsler.

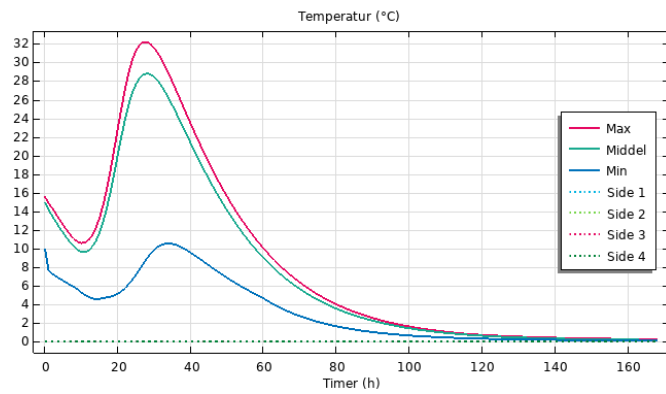


Fig. 41: HETT<sup>22</sup> resultater uten tiltak

Får da en maksimal temperaturdifferanse på 32°C.

## 8 Resultater

### 8.1 Analytiske beregninger

#### 8.1.1 Moment

- Maksimalt moment i basseng bunn og bassengvegg er beregnet til 208 KNm.

#### 8.1.2 Bassengvegg

Resultat fra vedlegg 4:

- $d = 212 \text{ mm}$
- $h = 300 \text{ mm}$
- Nødvendig armering i strekksonen: 14Ø16 / Ø16 CC 70
- Nødvendig armering i trykksonen: 8Ø12 / Ø12 CC 125
- Ikke beregningsmessig behov for skjærarmering
- Horisontal utbøyning i topp vegg fra kryp og svinn = 0.8 mm
- Beregnet rissvidde = 0.18 mm
- Nødvendig forankringslengde = 283 mm

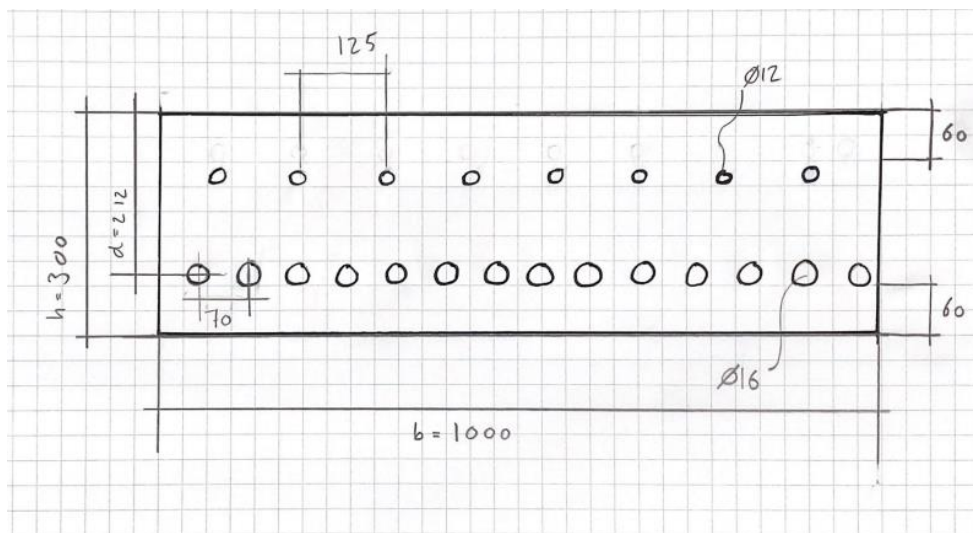


Fig. 42: resultater tverrsnitt vegg



### 8.1.3 Bassengbunn

Resultat fra vedlegg 5:

- $d = 315.5 \text{ mm}$
- $h = 400 \text{ mm}$
- Nødvendig armering i strekksonen:  $10\text{Ø}20 / \text{Ø}20 \text{ CC } 100$
- Nødvendig armering i trykksonen:  $7\text{Ø}16 / \text{Ø}16 \text{ CC } 160$
- Ikke beregningsmessig behov for skjærarmering
- Nedbøyning fra kryp og svinn =  $0.9 \text{ mm}$
- Beregnet rissvidde =  $0.04 \text{ mm}$
- Nødvendig forankringslengde =  $343 \text{ mm}$

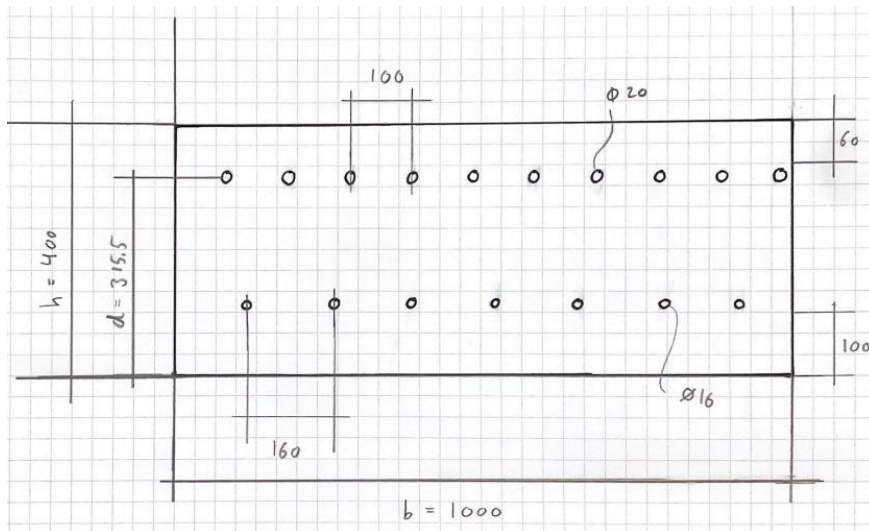


Fig. 43: resultater tverrsnitt bassengbunn

## **8.2 Beregning av rissgrense, utbøying og fastholdningsspenninger**

### **8.2.1 Rissgrense etter NS-EN 1992-3 NA**

Finner at anbefalt rissvidde for vegg er 0.15 mm og anbefalt grense for bunn er 0.17 mm.

### **8.2.2 Deformasjon i veggen**

Finner at veggen får en utbøying på 8.5 mm.

Må ta hensyn til utbøying ved prosjektering av tilstøtende konstruksjoner.

### **8.2.3 Beregning av fastholdningsriss**

For temperaturdifferanse på 32°C blir rissindeksen = 3.

For temperaturdifferanse på 11°C blir rissindeksen = 1.

### 8.3 Abaqus

Abaqus finner spenninger i modellen. Viser at maks spenning er 566 MPa i hjørnet av bassenget.

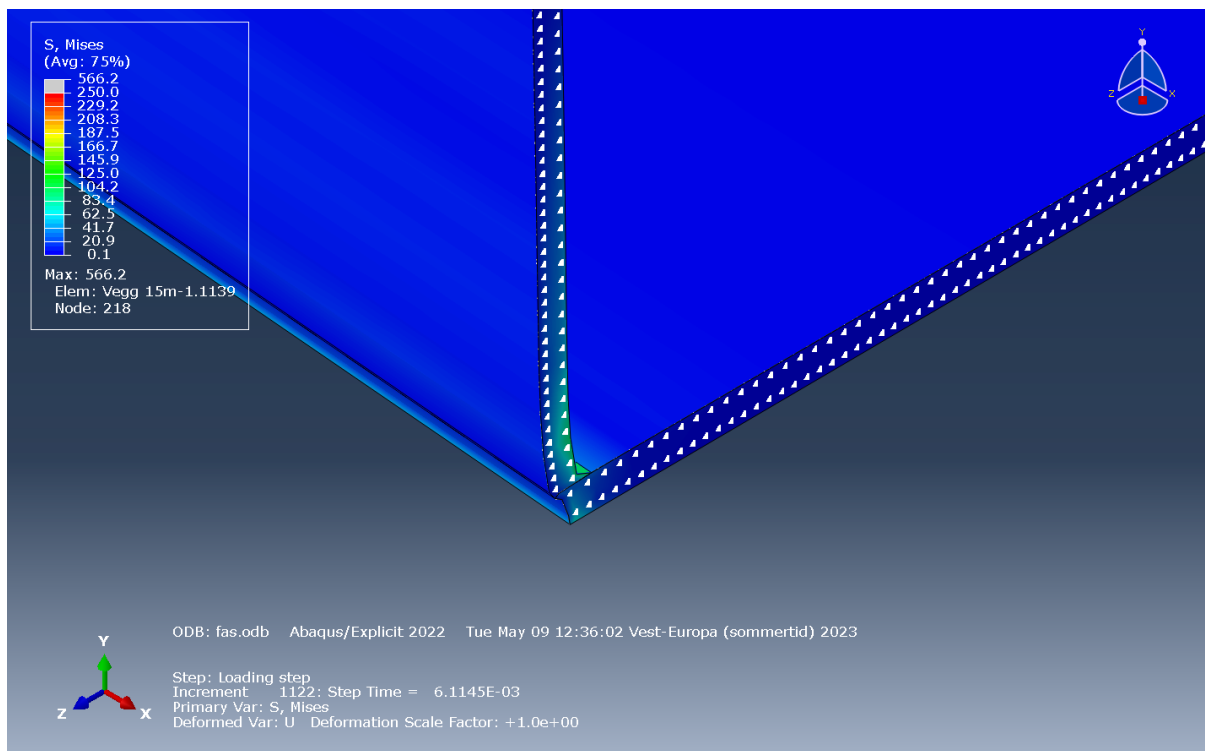
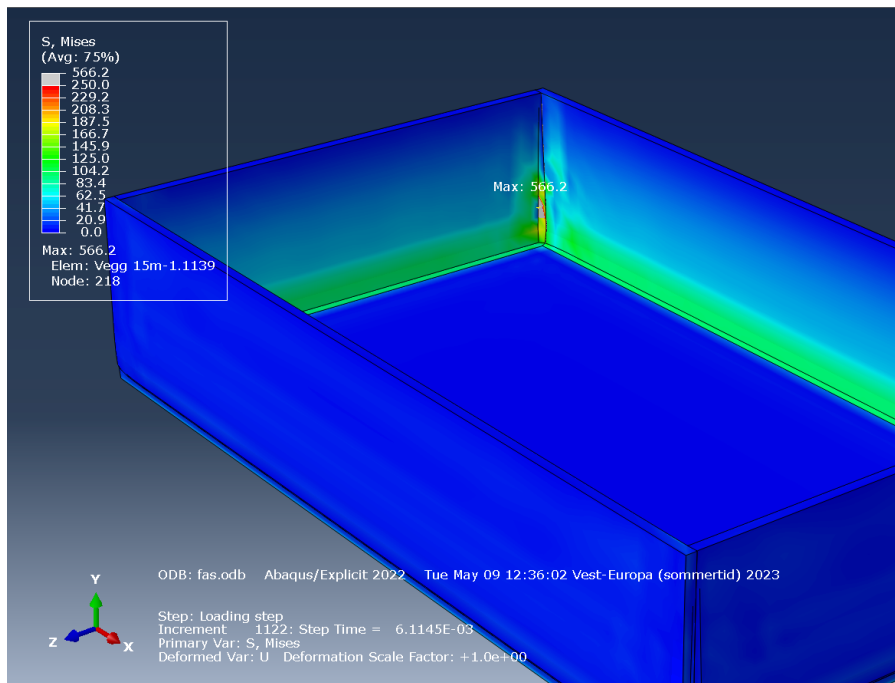


Fig. 44: resultater Abaqus

## 8.4 HETT<sup>22</sup>

Modellen i HETT<sup>22</sup> viser at tiltak med varmekabler bidrar til å minke temperaturredifferansen mellom ny og gammel betong ved herding.

Resultatene fra HETT viser at man kan oppnå akseptable temperaturredifferanser med tiltak.

Tiltak i form av varmekabel senker temperaturredifferansen fra 20°C til 11°C.

Siste eksempel der lufttemperaturen ble satt til 0°C viste at temperaturredifferansen steg enda mer.

Det er gjort 3 beregninger med HETT<sup>22</sup>.

Eksempel 1 og 2 har samme betingelser men eksempel 2 har tiltak i form av varmekabler i bassengbunn.

- Eksempel 1 har en temperaturredifferanse på 20°C
- Eksempel 2 har en temperaturredifferanse på 11°C

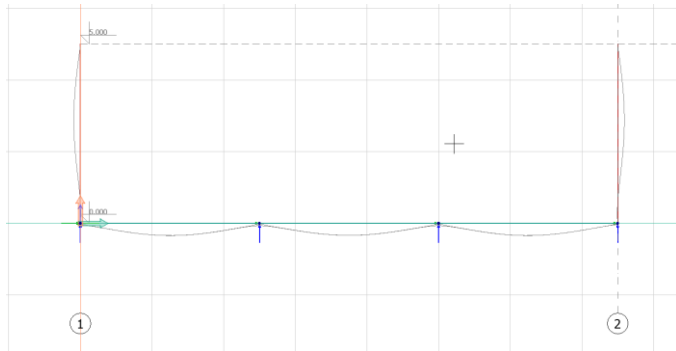
Eksempel 3 har samme betingelser som eksempel 1, men utetemperatur er senket med 15°C til 0°C og starttemperatur i bassengbunn er senket med 10°C til 5°C

- Eksempel 3 har en temperaturredifferanse på 32°C

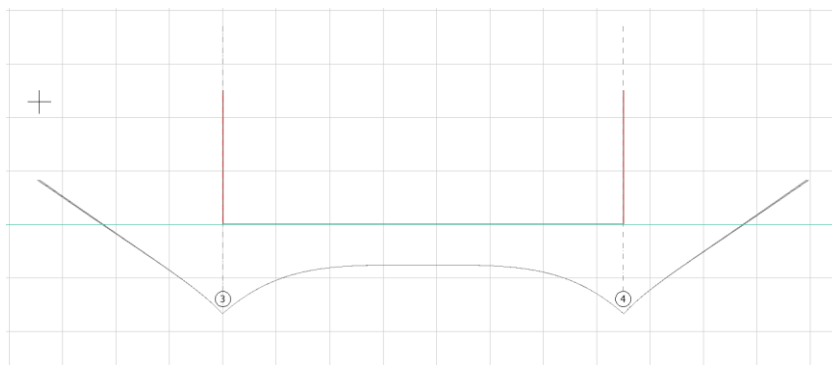
## 8.5 FEM Design

Ved bruk av FEM-Design er det funnet deformasjoner, momenter og hvor riss vil opptre.

### Deformasjoner:



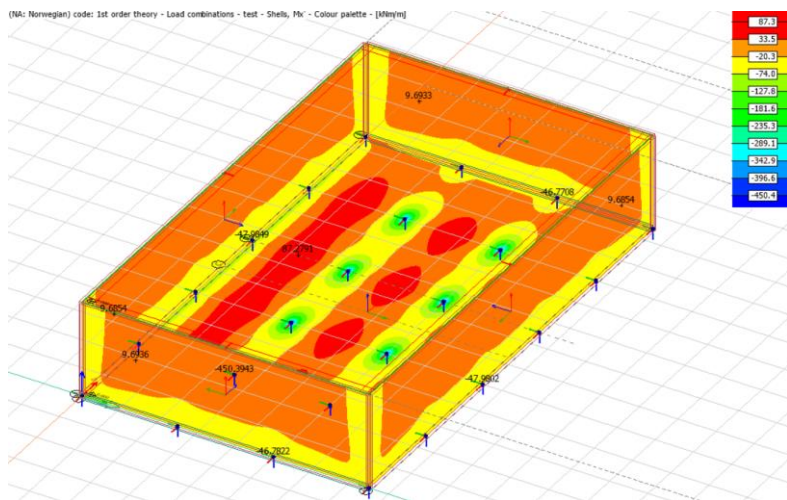
For basseng på pæler med fastholdning i topp.



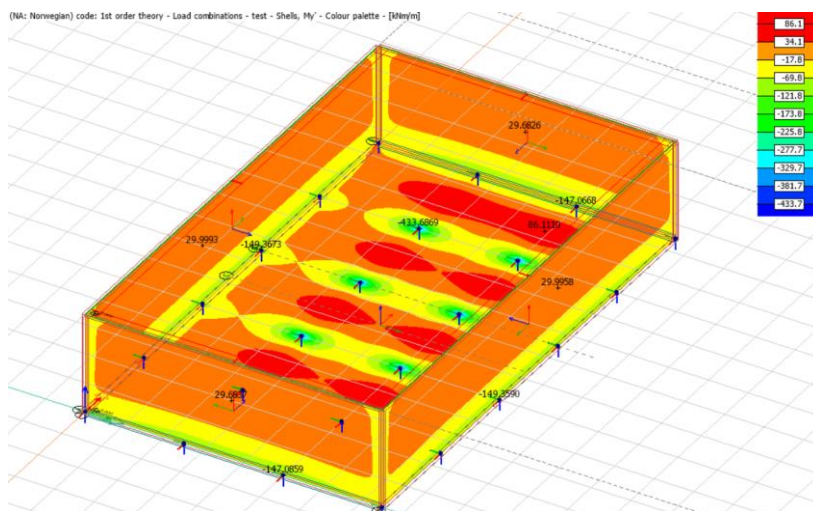
For basseng på grunn, uten fastholdning i topp.

Fig. 45: resultater FEM-Design

## Momenter:



Moment for  $M_x$ , opplagt på pæler.



Moment for  $M_y$ , opplagt på pæler.

Fig. 46: resultater FEM-Design

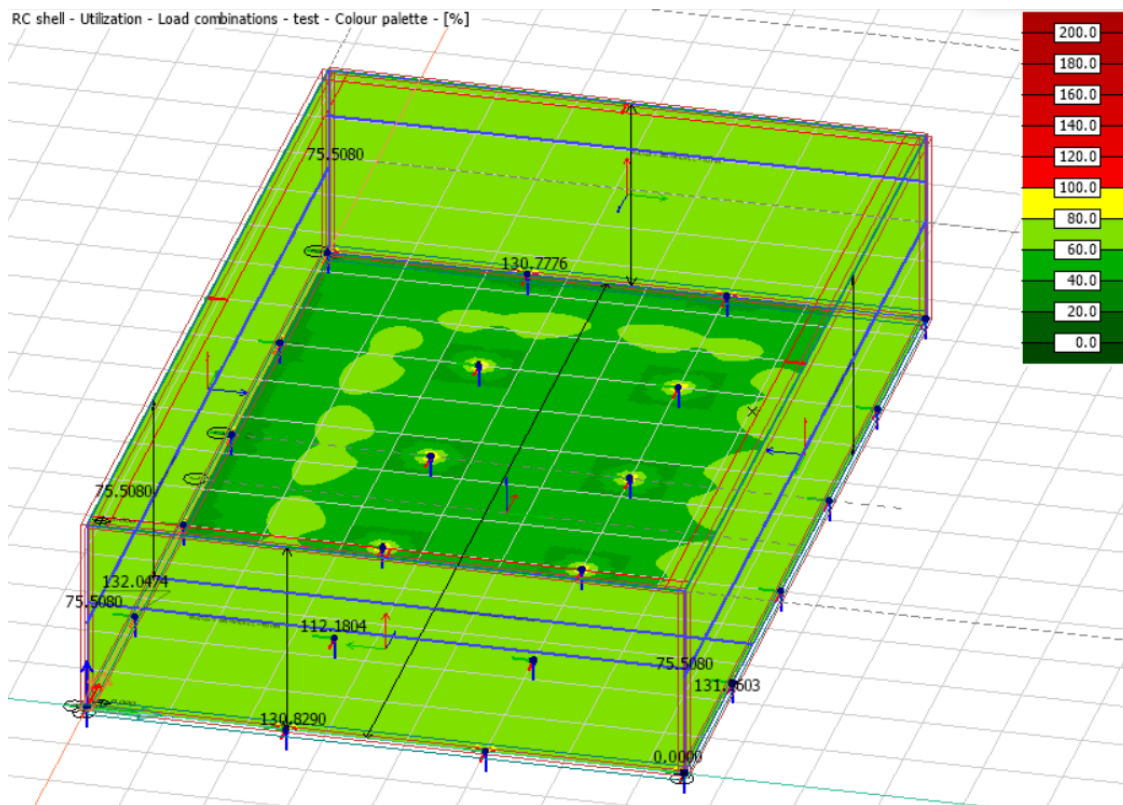
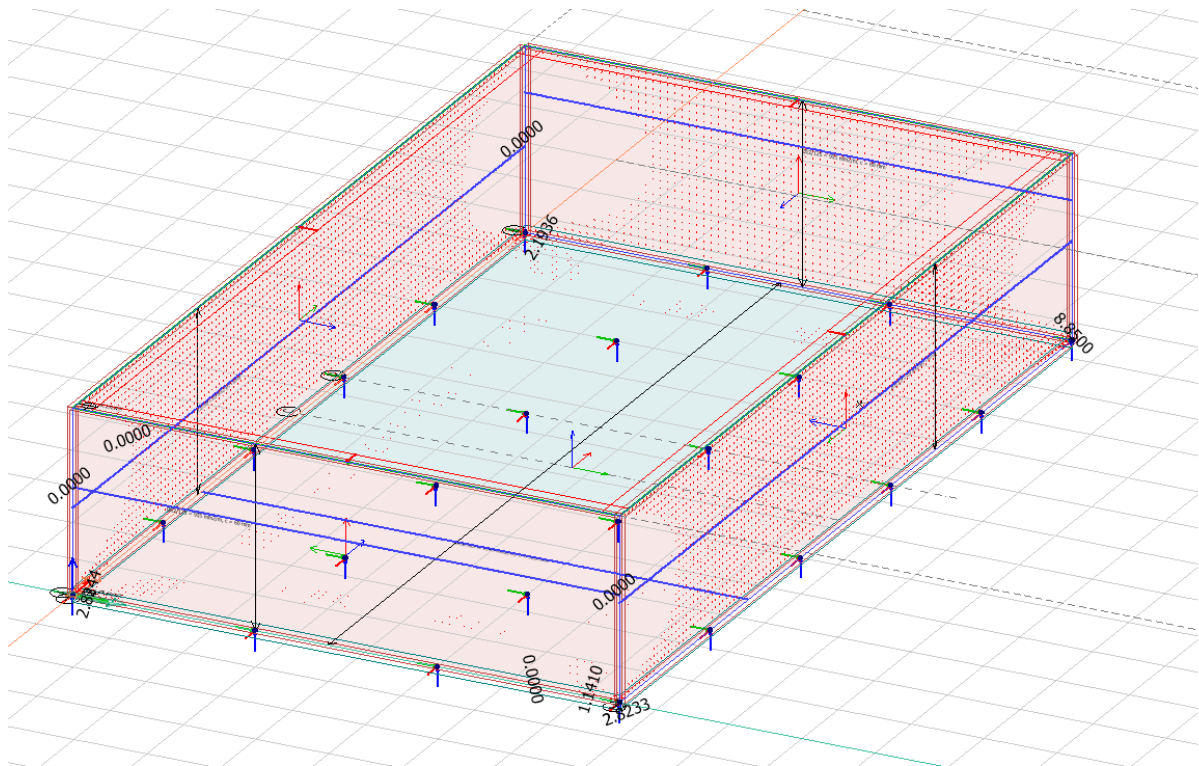


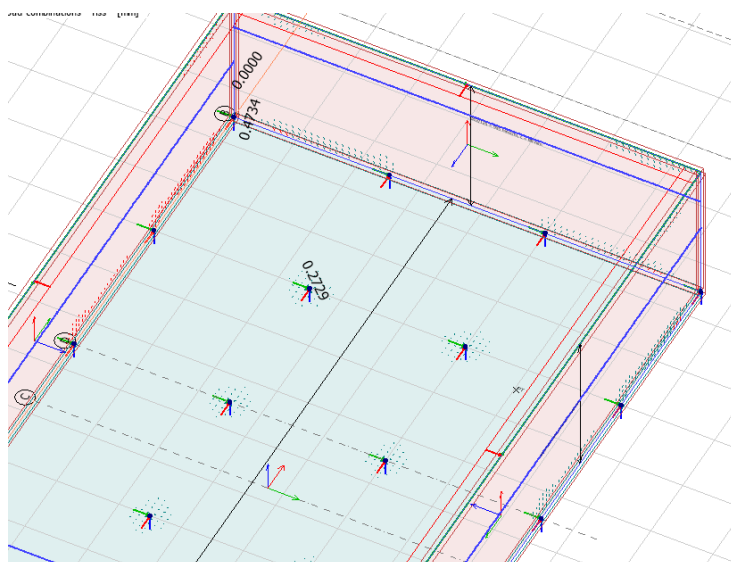
Fig. 47: resultater FEM-Design

Utnyttelsesgrad for basseng på pæler.

## Riss:



Riss for basseng på pæler. Ser at riss overskrider krav i hjørner. Største riss på 8.8 mm.



Riss over pælehoder.

Riss på 0.27 mm.

Fig. 48: resultater FEM-Design



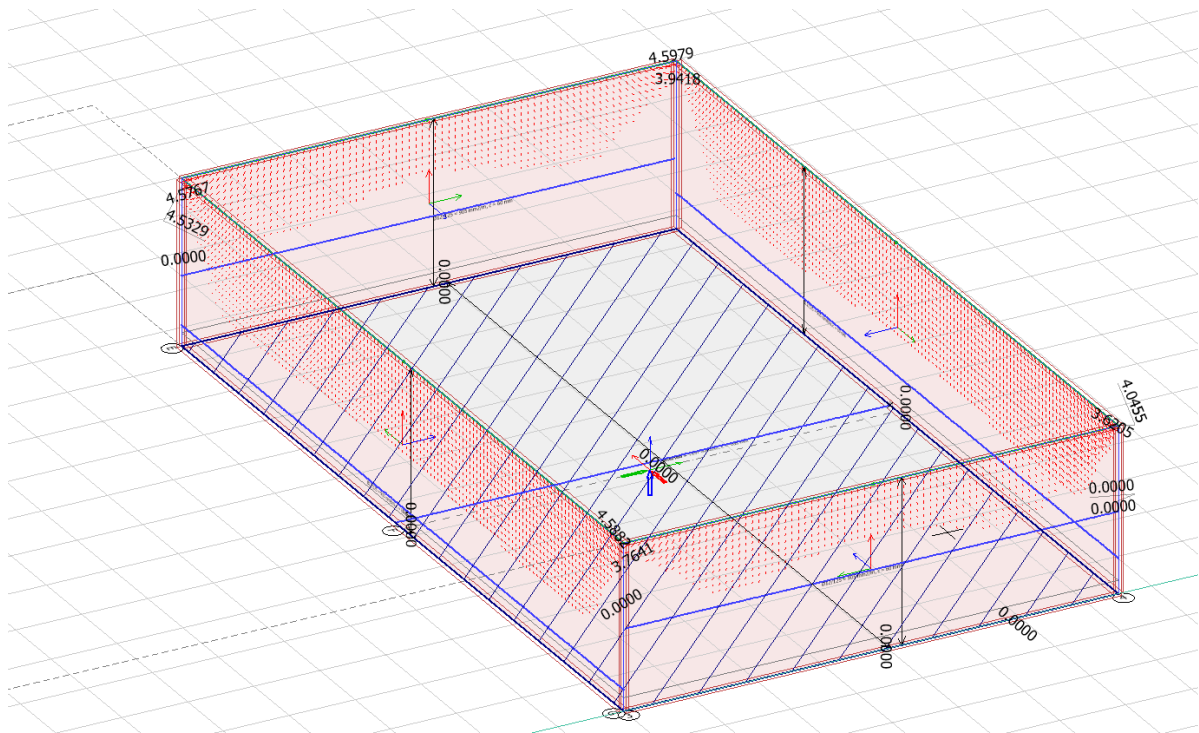


Fig. 49: resultater FEM-Design

Riss for betong direkte på grunn. Ser at riss overskrider krav i hjørner. Største riss på 4.6 mm.

## 8.6 Pirbadet

Målinger og observasjoner fra Pirbadet viser at:

- Idrettsbassenget har fått en skeivsetning på 55 mm i lengderetning.
- Det ble observert mange riss, største målte riss er på 0.3 mm.
- Betongfasthet på 70 MPa, målt med betonghammer.
- Relativ luftfuktighet på 35% rundt konstruksjonen, dvs langs bassengveggene.
- Relativ luftfuktighet på 50 – 70% i badeanlegget.

## 9 Diskusjon

### 9.1 Problemstillingen

Målet med oppgaven er å undersøke om det finnes bedre løsninger enn de som er tatt i bruk, både for prosjektering og bygging av betongbasseng. Løsningene skal kunne benyttes ved prosjektering og bygging av bassengkonstruksjoner i ettertid.

### 9.2 Løsninger

I kapittel 3, Forskning og utvikling, er det sett nærmere på ulike årsaker til, og løsninger på fastholdningsriss og hvordan man skal sikre at betongen er vanntett.

Det er kommet fram til at temperaturdifferansen mellom ny og gammel betong er utslagsgivende for fastholdningsriss(temperaturriss). Dette viser også formelen for rissindeks godt.

Tiltakene som er listet opp i rapporten (NB Rapport 9) kan godt kombineres om ett tiltak alene ikke er tilstrekkelig for å få ned temperaturdifferansen. Basert på funnene i rapporten er tiltaket med varmekabler det enkleste å gjennomføre, da det krever lite planlegging og er billig. Det er også vanskelig å gjøre noe feil med det. Avkjøling av betong under herding med vannrør virker mer komplisert, da vannrør kan sprekke opp, eller være vanskelig å tette igjen etterpå.

Det å temperere betongen slik at man får en naturlig kald betong eller å benytte seg av isbiter når betongen skal blandes, kan være vanskelig å planlegge. Avhengig av årstid kan det by på andre utfordringer, som at betongen kan bli for kald.

Lavvarmebetong er kanskje det beste alternativet for lav varmeutvikling, om det er tilgjengelig for byggeplassen. En løsning kan være å støpe bassengbunn med standardbetong, slik at man unngår problematikken med lang herdetid og langsom fasthetsutvikling i den.

Deretter benytte lavvarmebetong i bassengveggen, ettersom det er under støp av bassengvegg fastholdningsproblematikken oppstår. Siden bassengveggen støpes som en frittstående konstruksjon er det ikke et problem å la forskalingen stå lenger for dette byggetrinnet, da det ikke vil hindre videre framgang i resten av byggeprosjektet.

Fiberarmert betong er det forsket mye på, det at det ikke blir anvendt mer i byggeprosjekter kommer av at utbygger ofte ikke tørr å ta risikoen ved å prøve noe relativt nytt. Når regelverk

for bruk av fiberarmering kommer inn i Eurokoden, i ett nytt annex, er det et signal til byggebransjen at det kan tas i bruk. Per i dag kan tilsvarende regelverk finnes i NB publikasjon 38. Fiberarmering vil spare tid på byggeplass, da det ikke behøver å gå like mye tid til å plassere slakkarmering før støp. Norsk Betongforenings publikasjon 38 forklarer godt hvordan man prosjekterer betong med fiberarmering, og hvordan det skal støpes på byggeplass.

Den viktigste fordelen med fiberarmering for vanntette konstruksjoner er at den kan redusere mengden riss betraktelig. Ettersom de økonomiske konsekvensene ved et konstruktivt brudd i et svømmebasseng er store, er det en god løsning å armere bassenget med slakkarmering med tilstrekkelig kapasitet for bruddgrensetilstand. Fiberarmeringen vil bidra til reduksjon av rissvidde (i bruksgrensetilstand). Da vil man ikke ha behov for å armere tettere for å redusere rissvidden. En annen fordel er at ved mindre armering i tverrsnittet er det mulighet for tynnere tverrsnitt, noe som er positivt for temperaturutviklingen under herding.

Byggforsks anvisning om prosjektering og støping av vanntette betongkonstruksjoner er detaljert og omhandler mange viktige forhold. Den henviser til relevante steder i Eurokode NS-EN 1992 -1 -1 og NS-EN 1992 – 3.

Det nye annexet som er foreslått til oppdatert utgave av Eurokoden, FprEN 1992-1-1:2022, inneholder samme krav til vanntette konstruksjoner som i NS-EN 1992 – 3 «Siloer og beholdere».

Et tema som er utelatt i Byggforsks anvisning er hvordan fiberarmering kan brukes i vanntette konstruksjoner.

### **9.3 Resultater**

For å begrense omfanget av de analytiske beregningene (håndberegningene) er det gjort noen forenklinger av beregningsmodellen. Det er dimensjonert et tverrsnitt for bassengbunn og ett for bassengvegg. Beregningene er gjort for et tverrsnitt med 1.0 m bredde og lasten er beregnet for 1.0 m bredde.

Beregninger av tverrsnitts-tykkelse og armeringsmengde er gjort for største beregnede moment. Det vil være mulig å spare materiale ved å redusere tverrsnittsdimensjonene der belastningene er mindre.

Resultatene fra FEM-Design indikerer at denne antakelsen er rimelig korrekt. FEM-Design finner høyere moment over pælehoder enn det som er regnet som maks moment i de

analytiske beregningene. Feltmoment er i ca. samme størrelse som beregnet i de analytiske beregningene. Det er ikke beregnet hvor mye armering som er nødvendig i hjørnene til konstruksjonen, men det er vist at det er behov for ekstra armering og hvordan armeringen kan utføres.

Antakelsene som ble tatt for beregning av kryp og svinn kan være noe feil. RF for kryp og svinn ble satt til 80%, men RF kan være både høyere og lavere før bygget er lukket og bassenget er fylt med vann.

Sammenlikner man det som er funnet som tilstrekkelige tverrsnitt og armeringsmengder ved de analytiske beregningene med resultatene fra FEM modellene, ser man at FEM beregningene viser at kapasiteten er for lav i hjørner og over opplager. Dette skyldes at datamodellene er dimensjonert ut ifra funnene i de analytiske beregningene og det er ikke armert ekstra i hjørner.

Opplagerne, eller pælene som de skal illustrere, er modellert som punkter. I realiteten har pælene en oppleggsflate på 1,2 m x 1,2 m under bassengbunnen. Ved gjennomlukningskontroll er det vist at det er tilstrekkelig skjærkapasitet i bassengbunnen, og at dette ikke vil være et problem.

Det er beregnet rissvidde etter NS-EN 1992 -1 -1. I ettertid ble det kontrollert etter NS-EN 1992 – 3 hva som er akseptabel rissvidde under 5m vannsøyle. Her ser man at veggen har for store riss etter kravene gitt i NS-EN 1992-3. Det er derfor nødvendig med ekstra tiltak nederst i veggen der vanntrykket er størst. Man kan for eksempel øke veggtykkelsen for den nederste meteren, armere mer med slakkarmering eller armere med fiberarmering.

Riss fra laster kan man ikke unngå, så dette må det armeres ekstra for. I de analytiske beregningene er det beregnet en rissvidde som kommer fra laster. Ut ifra beregnet rissvidde er det bestemt hvilken armeringsdiameter som skal benyttes. For å få så liten rissvidde som ønskelig må det armeres tett og med små armeringsdiameter. Dette resulterer i et tett nett av armeringsjern som kan føre til andre problemer. Et alternativ er å bruke fiberarmert betong for å redusere riddviddene.

## 9.4 Pirbadet

Ved befaring av Pirbadet ble konstruksjonen undersøkt. Ettersom det ikke har vært mulig å få tak i armeringstegningene til konstruksjonen er det vanskelig å vite hvordan den er armert. Det er derimot tatt mål av konstruksjonen for å finne veggtykkelser.

Veggen har en tykkelse på 600 mm i den dypeste delen av bassenget. Halvveis opp blir den tynnere og minker til 400 mm.

Sammenliknet med bassenget som vi har dimensjonert i denne oppgaven er veggen i Pirbadet dobbelt så tykk som det vi har funnet som tilstrekkelig.

Basert på målinger som er tatt med betonghammer har vi konkludert med at det sannsynligvis er benyttet en betongkvalitet, B45. Dette er det samme som vi har brukt for våre beregninger. Dette tilsier at konstruksjonen er kraftig overdimensjonert. Det er observert mye steinreir og støpesår i konstruksjonen. Dette kan tyde på mye og tett armering.

Det ble også observert mange riss i konstruksjonen, de fleste var under 0.2 mm og kan ansees som ok. Noen riss var over 0.2 mm og det kan tenkes at det bør gjøres utbedringer av disse.

Pirbadet er et eksempel på hvordan konstruksjonen blir om det ikke gjøres tiltak for å forhindre riss, en vegg på 600mm i tykkelse vil utvikle mye varme under herding og det er høy sannsynlighet for at noen av rissene som er observert er fastholdningsriss. Dette viser at tykkere tverrsnitt ikke betyr bedre tverrsnitt.

Steinreir og støpesår kan komme av andre ting enn tett armering, men det er sannsynlig at det er årsaken. Dette viser at å armere med fiberarmering gir bedre forutsetninger for en god støp.

## 9.5 Styring av støpevarme

For å anvende kunnskapen om fastholdningsriss bør det benyttes verktøy som hjelper med å planlegge konstruksjonens herdeforløp. Byggforsk har laget flere anvisninger på hvordan man kan kalkulere selv temperaturutviklingen i betongen, disse anvisningene har de lenket til i anvisning nr. 520.055.

En mer tidsbesparende metode er å ta i bruk dataprogrammer som kan simulere utviklingen for deg. Dette er det HETT<sup>22</sup> har blitt benyttet til i oppgaven.

Ved å simulere med HETT<sup>22</sup> ser man om det er nødvendig å gjøre tiltak før det støpes. Det er da viktig å gjøre beregninger der man tar hensyn til værmeldingen slik at beregningene og temperaturdifferansen ikke blir feil. Gjennom bruk av HETT<sup>22</sup> kan man regne ut hvilke tiltak som har best effekt, og se om det er nødvendig å gjennomføre flere tiltak. Man kan også beregne rissindeksen, med utgangspunkt i beregnet temperaturdifferanse fra HETT<sup>22</sup>.

## 10 – Konklusjon

For å konkludere;

Det er ønskelig å forhindre riss i konstruksjoner med høye krav til bestandighet, som i vanntette betongkonstruksjoner. Oppgaven har undersøkt løsninger på både fastholdningsriss og riss fra andre tverrsnittskrefter og svinn. Om disse løsningene kombineres vil det resultere i en konstruksjon med høy bestandighet, lang levetid og lite behov for vedlikehold.

Tiltak for å minimere fastholdningsriss:

- Kontrollere tverrsnittets temperaturutvikling under herding med HETT<sup>22</sup>.
- Gjennomføre tiltak som er beskrevet i Norsk Betongforenings rapport 9, om beregningene av rissindeks med data fra HETT<sup>22</sup> indikerer riss.

Tiltak for å minimere riss fra andre tverrsnittskrefter og svinn:

- Kontrollere rissviddekrav etter Eurokode 2 del 3.
- Dimensjonere tverrsnittet med slakkarmering og fiberarmering for å møte rissviddekrav fra Eurokode 2 del 3.

Vi håper dette er en løsning som er nyttig, og som kan benyttes i kommende byggeprosjektet med vanntett betong.

## 11 – Refleksjon

Dette har vært en spennende oppgave å få lov til å jobbe med. Da vi gikk i gang med oppgaven var det mange problemstillinger rundt en bassengkonstruksjon vi kunne fordype oss i. Valget endte på riss, da det er en utfordrende problemstilling og gruppa ønsket å finne en løsning som er nyttig for bransjen.

Gruppa ønsket å lære seg å bruke FEM/FEA program for å beregne 3D modeller av konstruksjonen, da dette ikke har vært en del av pensumet i bachelorstudiet. Tidlig i arbeidet ble det bestemt at Abaqus skulle benyttes til oppgaven. Abaqus viste seg å være et program som setter høye krav til brukeren, og som tok mye tid å lære seg.

På grunn av Abaqus sitt vanskelige brukergrensesnitt ble det besluttet at gruppen gikk over til FEM-design. FEM-Design er også et FEM/FEA program som har de samme verktøyene som Abaqus som var nødvendig i denne oppgaven. Programmet har et mer brukervennlig brukergrensesnitt enn Abaqus og det gikk raskere å lære seg programmet.

Om vi hadde hatt mer tid til oppgaven, hadde det vært spennende å se hvordan et basseng armert med fiber ville blitt. Det å dimensjonere hele bassengkonstruksjonen med fiberarmering etter de nye Annexene i utkast til Eurokode 2 hadde også vært interessant.



## 12 – Referanseliste

1. Viak A. Om Asplan Viak 2023 [hentet 10.05 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.asplanviak.no/om-asplan-viak>.
2. Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner Del 1-1 Allmenne regler og regler for bygninger, (2021).
3. Sørensen SI. Betongkonstruksjoner. Trondheim: Fagbokforlaget; 2013.
4. Kontrollrådet S. Betongens ABC: Stiftelsen Kontrollrådet; 2023 [hentet 24.04 2023]. Tilgjengelig fra: <https://kontrollbetong.no/aktuelt/betongens-abc/>.
5. Byggforsk S. 572.205 Betong. Typer, egenskaper og bruksområder. 2016.
6. Thue JV. armert betong Store Norske Leksikon2022 [hentet 02.05 2023]. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/armert\\_betong](https://snl.no/armert_betong).
7. NS 3576 - Armeringsstål - Mål og egenskaper, (2005).
8. Betongsentrum.no. Fiberarmering 2021 [hentet 24.04 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.betongsentrum.no/fiberarmering/>.
9. HRC. T-hodet armering 2023 [hentet 06.05 2023]. Tilgjengelig fra: <https://hrc-europe.no/produkter/t-hodet-armering/>.
10. Sundet E. Publikasjon nr. 8 - Armering, Prosjektering og utførelse. Norsk Betongforening; 2019.
11. kryp - konstruksjonsteknikk Store norske leksikon [hentet 12.05 2023]. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/kryp\\_-\\_konstruksjonsteknikk](https://snl.no/kryp_-_konstruksjonsteknikk).
12. Gunnarsjaa A. steinreir Store Norske Leksikon2021 [hentet 24.04 2023].
13. Åtte bud hentet fra boka «Betongoverflater» Betong Studio2023 [hentet 24.04 2023]. Tilgjengelig fra: <https://betongstudio.no/index.php/atte-bud-for-en-vellykket-betongoverf>.
14. Aarhaug OR. Geoteknikk og fundamenteringslære 1: NKI-forlaget; 1984.
15. Bjøntegaard Ø. Volumendringer og ristendens i betong. TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2565. 2009.
16. Øyvind Bjøntegaard IH, Sverre Smeplass, Terje Kanstad, Anja B. E. Klausen, Bernt Kristiansen. Rapport nr. 9 - Praktiske råd og tiltak mot fastholdningsriss i herdende betongkonstruksjoner. Norsk Betongforening; 2021.
17. FprEN 1992-1-1:2022 (2022).
18. heidelbergmaterials. HETT22 2023 [hentet 12.04 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.sement.heidelbergmaterials.no/no/DownloadHETT22>.
19. Kanstad T. Publikasjon nr. 38 - Fiberarmert betong i bærende konstruksjoner. Norsk Betongforening; 2020.
20. Byggforsk S. 520.055 Prosjektering og støping av vanntette betongkonstruksjoner. 2015.
21. NS-EN 206 - Betong — Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar, (2022).
22. Yr. Tromsø - Detaljer: Metrologisk institutt; 2023 [hentet 04.04 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.yr.no/nb/detaljer/tabell/1-305409/Norge/Troms%20og%20Finnmark/Troms%C3%B8/Troms%C3%B8>.
23. Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner Del 3: siloer og beholdere, (2020).
24. PTC. Mathcad 2023 [hentet 25.04 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.mathcad.com/en>.
25. Focus Konstruksjon: Sogelinkl; 2023 [hentet 25.04 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.focus.no/produkter/focus-konstruksjon-3d/focus-konstruksjon-3d-statikk/>.
26. Abaqus 2023 [hentet 25.04 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/>.
27. FEM-Design 2023 [hentet 10.05 2023]. Tilgjengelig fra: <https://strusoft.com/software/3d-structural-analysis-software-fem-design/>.
28. Pirbadet. Info om Pirbadet 2023 [hentet 18.01 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.pirbadet.no/info-om-pirbadet>.

29. Viak A. Tromsøbadet 2019 [hentet 18.01 2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.asplanviak.no/prosjekter/tromsoebadet/>.
30. Enlid E. Grunnundersøkelser, trinn 2. 1999.

## **13 – Vedlegg**

1 – Plakat

2 – Artikkel

3 – Momentberegninger fra Mathcad

4 – Bassengvegg beregninger fra Mathcad

5 – Bassengbunn beregninger fra Mathcad

6 – Fastholdningskrefter beregninger fra Mathcad

7 – Pæleplan fra Tromsøbadet

8 – Pirbadet plan

9 – Pirbadet snitt

Karen Anette Erichsen  
Ha-Ny Lene Nguyen Vo

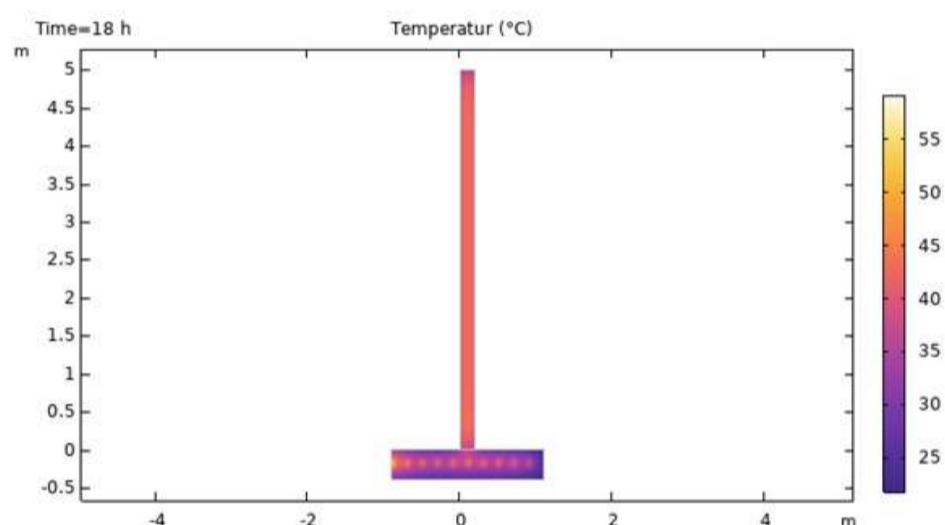
Intern veileder: Arne Mathias Selberg  
Ekstern veileder: Terje Kristoffersen

## Prosjektbeskrivelse og mål

- ❖ Dimensjonere en betongkonstruksjon med utgangspunkt i Tromsøbadet.
- ❖ Kontrollere kritiske snitt i konstruksjonen, både ved håndberegning og 3D modellering.
- ❖ Lage en parametriseringsmodell, hvor en må lære seg å bruke FEM-analyse program.

Vi ønsker i tillegg å se på:

- ❖ Se etter problematikk som oppstår i løpet av konstruksjonens livsløp.
- ❖ Muligheten for å forhindre disse problemene under prosjektering og bygging.



Figur hentet fra beregninger gjort med programvaren *HETT<sup>22</sup>*  
Figuren viser temperaturdifferanse i et tverrsnitt for vegg støpt på et fundament. *Modell fra HETT<sup>22</sup>*

## Fiberarmering

Fiberarmering er armering som består av små, korte fiber, i enten stål, plast eller basalt. Små mengder fiber bidrar til å begrense antall synlig riss på konstruksjonen. Det er mulig å armere med en kombinasjon av slakkarmering og fiberarmering.

## Resultat og konklusjon

Riss på grunn av svinn, kryp og tverrsnittskrefter kan forhindres med:

- ❖ Fiberarmering
- ❖ Kontroll av temperaturdifferanser mellom støpetapper ved herding med hjelp av varmekabler

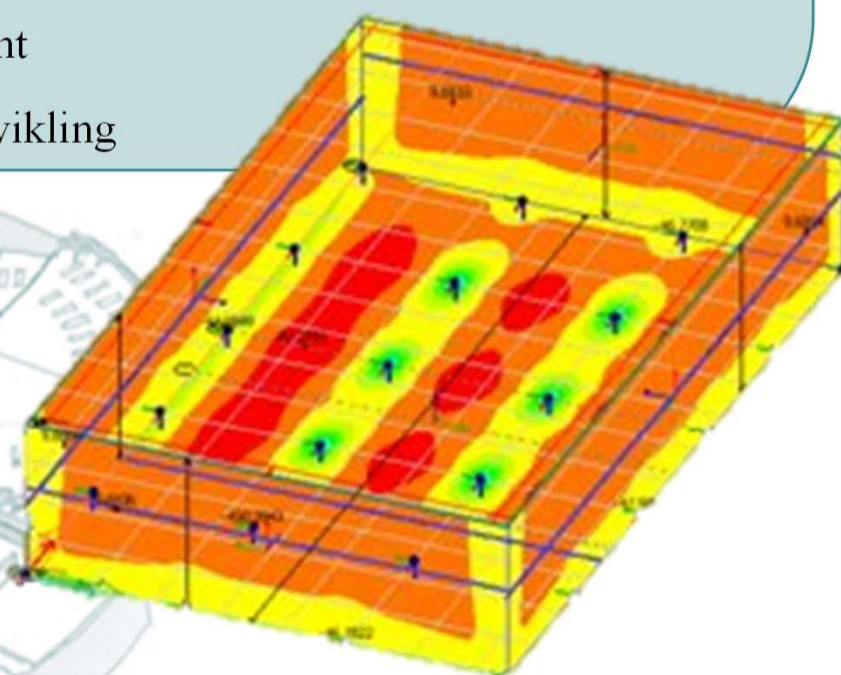
## HETT<sup>22</sup> og FEM-Design

HETT<sup>22</sup> kan brukes for å unngå fastholdningsriss mellom støpetapper. HETT<sup>22</sup> angir tiltak for å redusere temperaturdifferansen mellom ferdig herdet betong og nye støpetapper under herding.

FEM-Design er et beregningsprogram som kan analysere og simulere modeller ved bruk av *Finite Element Method* (FEM).

Modellberegninger ble gjort for å finne:

- Deformasjon
- Moment
- Rissutvikling



Momentfordeling i bassenget. *Modell fra FEM-Design*



# Endelig en løsning for vanntett betong!

*Skrevet av Karen Anette Erichsen og Ha-Ny Lene Nguyen Vo*



*Olympisk svømmebasseng i Tromsøbadet. Foto: Asplan Viak, asplanviak.no*

**Tromsøbadet er et av landets største og mest energieffektive badeanlegg. Anlegget ble ferdig sommeren 2019, og har blant annet et olympisk svømmebasseng. Bassengkonstruksjoner er store prosjekter med mange utfordringer. For å forlenge levetiden og minimere vedlikehold, er det viktig med gode løsninger, både før og under bygging.**

## Riss

En av hovedutfordringene ved bygging av vanntette konstruksjoner er riss. Riss oppstår når betongen er utsatt for en strekkspenning som er større enn det betongen tåler. Spenningene kan forårsakes av kryp, svinn, tverrsnittskrefter og temperaturdifferanser i støpefasen. Riss i en vanntett betongkonstruksjon kan føre til korrosjon i armeringen og i verste fall lekkasjer. Det er ønskelig å minimere riss da det gir konstruksjonen lengre levetid og mindre behov for vedlikehold.

## Fastholdningsriss

Fastholdningsriss oppstår når det er temperaturforskjell mellom ulike støpetapper i betongens herdefase. Betong som herder, produserer varme. Når betong varmes opp vil den utvide seg, når den kjøles ned vil den trekke seg sammen.

Om den er støpt mot en kald konstruksjon kan det oppstå spenninger mellom disse to når den nyeste støpetappen blir kald og trekker seg sammen.

Når det oppstår fastholdningsspenninger mellom de to konstruksjonsdelene, kan fastholdningsriss oppstå. Fastholdningsriss kan typisk oppstå når man støper en bassengvegg oppå en bassengbunn.



Garasjevegg fastholdt mot bunnplate

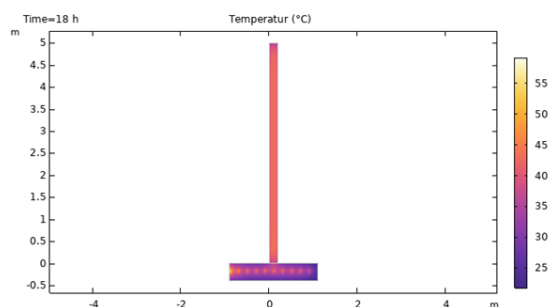
*(foto: B. Kristiansen, AF Gruppen. Hentet fra norsk betongforening rapport nr. 9).*

## HETT<sup>22</sup>

HETT<sup>22</sup> er et simuleringsprogram for temperatur- og fastholdningsutvikling til betong i løpet av herdeprosessen.

HETT<sup>22</sup> kan beregne temperaturforskjell i et tverrsnitt og mellom to tverrsnitt under herdeprosessen. HETT<sup>22</sup> kan benyttes til å finne temperaturdifferanse som gir nødvendig data for å beregne fastholdningsspenninger.

HETT<sup>22</sup> er et godt verktøy for å vurdere om du må gjøre tiltak for å unngå fastholdningsriss fra støpefasen.



Varmekabler støpt inn i dekket, slik at temperaturforskjellen mellom konstruksjonsdelene er minst mulig. *Modell fra HETT<sup>22</sup>*

HETT<sup>22</sup> har flere tiltak som kan prøves for å se effekten av de i programmet. Dette er for eksempel varmekabler som kan benyttes til å varme opp den kalde konstruksjonen eller vannrør som man kan støpe inn i den nye støpetappen for å kjøle den ned.

## Fiberarmering

En god løsning for å minke andelen riss i konstruksjonen er å armere med fiberarmering. Dette gjør at andelen synlige riss minker betraktelig. I en bassengkonstruksjon kan man armere med både slakkarmering og fiberarmering. Da vil slakkarmeringen ta opp krefter i bruddgrensetilstand og fiberarmeringen vil ta kreftene i bruksgrensetilstand, altså riss.



Befaring på Pirbadet i Trondheim. Riss i bassenget

## Løsninger for å få færre fastholdningsriss:

- Planlegg støping med programvaren HETT<sup>22</sup>.
- Benytt tiltak som er nevnt i Norsk Betongforenings rapport nr. 9 om HETT<sup>22</sup> tilsier at det er fare for at det kan oppstå fastholdningsriss.

## Løsninger for å få færre riss fra svinn, kryp og tverrsnittskrefter:

- Kontroller rissviddekrav etter Eurokode 2.
- Dimensjoner med slakkarmering og fiberarmering for å møte rissviddekravet.

## Ulike momenttilfeller for konstruksjonen

$$q := 50 \quad L_v := 5 \quad L_d := 25$$

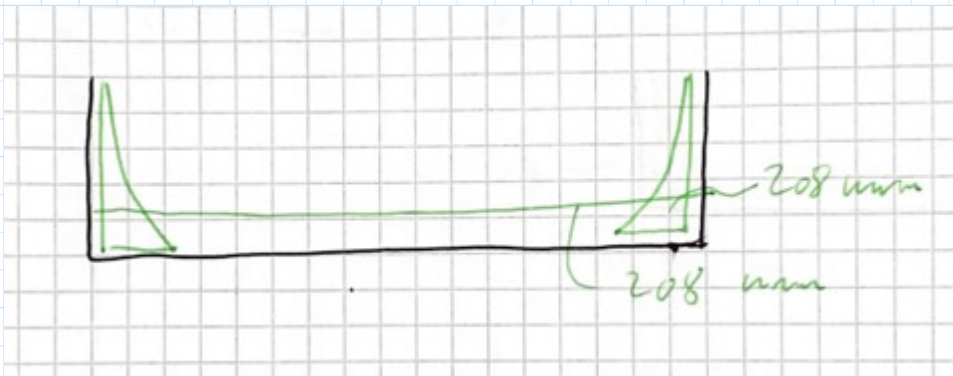
### Dekke direkte på grunn:

Moment i vegg:

$$M_{v1} := q \cdot \frac{L_v^2}{6} \quad M_{v1} = 208.333$$

Stålkonstruksjoner, profiler og  
formler: Tabell 3.3

Moment i dekke = konstant moment overført fra vegg.  
Her ser vi vekk ifra egenvekt til dekke.



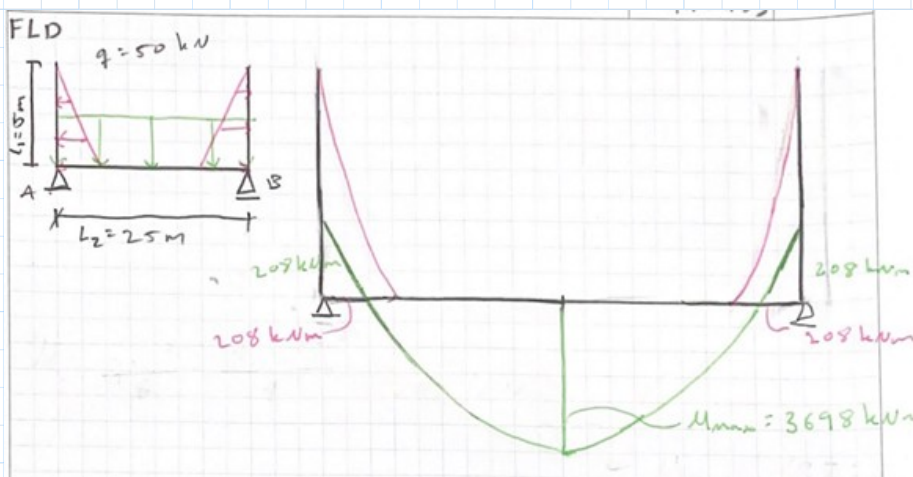
### Dekke fritt opplagt på 2 opplager

Moment i vegg er samme som tilfellet over,  $M = 208 \text{ KNm}$

Finner moment i dekket ved bjelkeformler - moment fra vegg

$$M_{d1Max} := q \cdot \frac{L_d^2}{8} - M_{v1} \quad M_{d1Max} = 3.698 \cdot 10^3$$

Stålkonstruksjoner, profiler og  
formler: Tabell 3.1



## Dimensjonering av vegg, 25m

Referanser:

1: NS-EN 1992-1-1 EK2

2: Betongkonstruksjoner, Sørensen

3: Byggforskserien 520.055

$$\begin{array}{lllll} B45 & M_{ed} := 208 & L := 5 & b := 1000 & q := 50 \\ f_{ck} := 45 & f_{ctm} := 3.8 & f_{cm} := 53 & & \text{(EK2 Tabell 3.1)} \\ \alpha_{cc} := 0.85 & \gamma_c := 1.5 & f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} & f_{cd} = 25.5 & \text{(EK2 3.1.6(1))} \\ & & & & \text{(EK2 NA.3.1.6(1))} \\ & & & & \text{(EK2 2.1N)} \\ f_{yk} := 500 & \gamma_s := 1.15 & f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} & f_{yd} = 434.783 & \text{(EK2 Tabell 2.1N)} \\ \alpha := 0.412 & \lambda := 0.8 & K := 0.275 & \eta := 1 & \text{(Sørensen kapittel 4.2)} \\ & & & & \text{(Sørensen tabell 4.2)} \\ & & & & \text{(Sørensen tabell 4.3)} \end{array}$$

**Finner nødvendig d for momentkapasitet**

$$d_{1} := \sqrt{\frac{M_{ed}}{K \cdot f_{cd} \cdot b}} \quad d_{1} = 0.172 \quad \text{(Sørensen (4.25))}$$

Anbefalt tversnitt tykkelse = 300mm pga vanntett konstruksjon  
Velger h = 300 --> d = h - overdekning - monteringsjern - Ø/2  
Velger d = 212mm

(Anbefalt er 250mm fra Byggforsk 520.055 Asplan Viak anbefaler 300mm)

$$d := 212$$

$$z := (1 - 0.5 \cdot \lambda \cdot \alpha) \cdot d \quad z = 177.062 \quad \text{(Sørensen (4.13))}$$

$$A_{s\_n\ddot{o}dv} := \frac{M_{ed} \cdot 10^6}{f_{yd} \cdot z} \quad A_{s\_n\ddot{o}dv} = 2.702 \cdot 10^3 \quad \text{(Sørensen (4.26))}$$

Velger Ø 25

$$\frac{A_{s\_n\ddot{o}dv}}{25^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = 5.504 \quad \text{Velger 6Ø25 for 1m tversnitt}$$

Ø25 CC 180



Eksponeringsklasse XD2

(EK2 Tabell 4.1 )

Velger overdekning 50, 100års levetid

$$C_{min} := 50$$

(EK2 Tabell NA.4.4N)

$$C_{dev} := 10$$

(EK2 NA.4.4.1.3(1))

$$C_{nom} := C_{min} + C_{dev}$$

$$C_{nom} = 60$$

(EK2 4.4.1.1(4.1))

$$h = d + \frac{\varnothing}{2} + \text{monteringsjern} + C_{nom}$$

$$h_{_1} := d + \frac{25}{2} + 10 + C_{nom}$$

$$h_{_1} = 294.5$$

Tykkelse satt til 300mm, pga vanntett konstruksjon.

$$h := 300$$

**Kontrollerer minimumsarmering, ihht. EK2 NA er anbefalt minimumsarmering det dobbelte for vanntette konstruksjoner.**

$$A_{s\_min} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d \cdot 2$$

(EK2 NA.9.2.1.1(1))

$$A_{s\_min} = 837.824$$

**Strekkarmering:**

$$A_{s\_strek} := 6 \cdot 25^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$A_{s\_strek} = 2.945 \cdot 10^3$$

$$A_s := A_{s\_strek}$$

**Armering i trykksonen:**

$$Antall_{\varnothing 12} := \frac{A_{s\_min}}{12^2 \cdot \frac{\pi}{4}}$$

$$Antall_{\varnothing 12} = 7.408$$

Velger 8Ø12 per 1m i trykksonen

Ø12 CC 125

### Kontrollerer behov for skjærarmering

(EK2 6.2.2)

Justert q for justert avstand fra opplager:  $q_{red} := 10 \cdot (5 - 0.212)$  (Sørensen 4.3.2 s.64)

$$q_{red} = 47.88 \quad q_0 := 10$$

$$V_{ed\_red} := q_{red} \cdot \frac{(L \cdot 10^3 - 1 \cdot d)}{2} \quad V_{ed\_red} = 1.146 \cdot 10^5$$

$$\gamma_c = 1.5 \quad k_z := 0.15$$

$$\rho_L := \frac{A_s}{b \cdot d} \quad \rho_L = 0.014 \quad k := 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad k = 1.971$$

$$C_{rd} := \frac{k_z}{\gamma_c}$$

$$V_{rd\_c} := C_{rd} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d$$

$$V_{rd\_c} = 1.659 \cdot 10^5$$

$V_{rd\_c} > V_{ed\_red} \rightarrow$  Ok kapasitet  
Ikke beregningsmessig behov for skjærarmering

### Skjærtrykkkapasitet

$$V_{ed} := q \cdot \frac{L}{2} \quad V_{ed} = 125$$

$$\nu := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad \nu = 0.492 \quad (\text{Sørensen (4.51)})$$

$$V_{rd\_max} := 0.5 \cdot b \cdot d \cdot \nu \cdot f_{cd} \quad V_{rd\_max} = 1.33 \cdot 10^6 \quad (\text{Sørensen (4.50)})$$

$V_{rd\_max} > V_{ed} \rightarrow$  ok kapasitet

## Krypberegning:

(EK2 - Tillegg B)

$$\phi_{uendelig_t} := \phi_0 \cdot \beta_{c_t t_0}$$

Nyttelast, 30 dager. Konservativt, men 90 dager er mer realistsik.

Neglesjerer egenvekt, konservativt.

Siden lasten er langtidslast blir  $\beta_c = 1$   $\beta_c := 1$

$$\phi_0 := \phi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0}$$

Setter  $u=1000$ , siden som vender fra bassenget.

$$f_{cm} = 53 \quad Ac := h \cdot b \quad u := 1000 \quad h_o := \frac{2 \cdot Ac}{u}$$

$$\alpha_1 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} \quad \alpha_2 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} \quad \alpha_3 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5}$$

Antar  $RH = 80\%$  for Tromsø  $RH := 80$

$$\phi_{RH} := \left( 1 + \frac{\left( 1 - \frac{RH}{100} \right)}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 \quad \phi_{RH} = 1.084$$

$$\beta_{f_{cm}} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad \beta_{f_{cm}} = 2.308$$

$$t_o := 30 \quad \beta_{t_0} := \frac{1}{(0.1 + t_o^{0.2})} \quad \beta_{t_0} = 0.482$$

$$\phi_0 := \phi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0} \quad \phi_0 = 1.205$$

$$\phi_{30} := \phi_0 \cdot \beta_c \quad \phi_{30} = 1.205$$

### Svinn - vegg

(EK2: 3.1.4(6))

$$\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

### Uttøringsvinn:

$$f_{cm} := 53 \quad f_{cmo} := 10 \quad (\text{EK2: B2})$$

antar sementklasse S, standard sement

$$\alpha_{ds1} := 3 \quad \alpha_{ds2} := 0.13 \quad RH := 80 \quad RH_0 := 100$$

$$\beta_{RH} := 1.55 \cdot \left( 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right) \quad \beta_{RH} = 0.756$$

$$\varepsilon_{cd0} := 0.85 \cdot \left( (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{\left( -\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cmo}} \right)} \right) \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\varepsilon_{cd0} = 1.775 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{cd}(t) := \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd0}$$

$$k_h := 0.70$$

$$t := 365000 \quad t_s := 7 \quad f_{ck} := 45$$

$$\beta_{ds} := \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \cdot \sqrt{h_o^3}} \quad \beta_{ds} = 0.998$$

$$\varepsilon_{cd}(t) := \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd0} \quad \varepsilon_{cd}(t) = 1.241 \cdot 10^{-4} \quad (\text{EK2 3.1.4(3.9)})$$

### autogen svinntøyning

$$\beta_{as} := 1 - e^{(-0.2 \cdot t^{0.5})} \quad \varepsilon_{ca}(\infty) := 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) := \beta_{as} \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) \quad \varepsilon_{ca}(t) = 8.75 \cdot 10^{-5} \quad (\text{EK2 (3.11)})$$

### Total svinntøyning

$$\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) \quad \varepsilon_{cs} = 2.116 \cdot 10^{-4}$$

### Nedbøyning på grunn av kryp og svinn

(Sørensen 5.2.4)

$$\varepsilon_{cs} = 2.116 \cdot 10^{-4} \quad \phi_{30} = 1.205$$

#### Kryp:

$$E_{cm} := 36 \quad E_s := 200000$$

$$M_{30} := 208 \quad E_{c\_eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \phi}$$

$$E_{c\_30} := \frac{E_{cm}}{1 + \phi_{30}} \quad E_{c\_30} = 16.323$$

$$E_{middel} := \frac{M_{30}}{\frac{M_{30}}{E_{c\_30}}} \quad E_{middel} = 16.323$$

$$\eta := \frac{E_s}{E_{middel} \cdot 10^3} \quad \eta = 12.253 \quad A_s = 2.945 \cdot 10^3$$

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\eta \cdot \rho = 0.17$$

$$\alpha := \sqrt{(\eta \cdot \rho)^2 + 2 \cdot \eta \cdot \rho} - \eta \cdot \rho \quad \alpha = 0.438$$

$$I_{CE} := 0.5 \cdot \alpha^2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \cdot b \cdot d^3 \quad I_{CE} = 7.791 \cdot 10^8$$

$$EI := E_{middel} \cdot I_{CE}$$

$$\delta_{lang} := \frac{(50) \cdot 10^6 \cdot L^4}{30 \cdot EI}$$

$$\delta_{lang} = 0.082$$

### Svinn

$$\varepsilon_{cs} = 2.116 \cdot 10^{-4}$$

$$A_c := A_c$$

$$a := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h + \eta \cdot A_s \cdot d}{A_c + \eta \cdot A_s} \quad a = 156.657$$

$$e := d - a \quad e = 55.343$$

$$I := \left( b \cdot \frac{h^3}{12} \right) + \left( b \cdot h \cdot \left( a - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + (A_s \cdot \eta \cdot e^2)$$

$$\kappa_s := \varepsilon_{cs} \cdot \eta \cdot \frac{A_s \cdot e}{I} \quad \kappa_s = 1.78 \cdot 10^{-7}$$

$$\delta_{svinn} := \kappa_s \cdot \frac{L^2}{6} \cdot 10^6 \quad \delta_{svinn} = 0.742$$

### Total nedbøyning pga kryp og svinn:

$$\delta_{total} := \delta_{lang} + \delta_{svinn}$$

$$\delta_{total} = 0.824$$

Deformasjon på grunn av kryp og svinn er under 1mm, deformasjoner til last er mye større. Kan neglesjeres.

## Risskontroll

### Risslast og rissmoment

(Sørensen 5.2.4)

$$A_s = 2.945 \cdot 10^3 \quad E_s = 2 \cdot 10^5 \quad E_{cm} := 36000 \quad \eta := \frac{E_s}{E_{cm}} \quad L := 5$$

$$\alpha d := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h + \eta \cdot A_s \cdot d}{A_c + \eta \cdot A_s} \quad \alpha d = 153.207$$

$$I_{c1} := \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left( \alpha d - \frac{h}{2} \right)^2$$

$$I_{s1} := A_s \cdot (d - \alpha d)^2$$

$$EI_1 := E_{cm} \cdot I_{c1} + E_s \cdot I_{s1}$$

### Rissmoment

$$M_r := \frac{I_{c1} + \eta \cdot I_{s1}}{h - \alpha d} \cdot f_{ctm} \quad M_r = 5.979 \cdot 10^7 \quad Nmm$$

$$M_{cr} := M_r \cdot 10^{-6} \quad M_{cr} = 59.789 \quad kNm$$

### Risslast

$$q_r := \frac{M_{cr} \cdot 6}{L^2} \quad q_r = 14.349 \quad \frac{kN}{m}$$

Tversnittet vil risse.



## Risskontroll

$$c_{nom} := 60$$

$$c_{min.dur} := 50$$

(EK2- NA.4.4N - 100 års  
dimensjonerende brukstid)

$$k_c := \frac{c_{nom}}{c_{min.dur}}$$

$$k_c = 1.2$$

Tillat rissvidde  $w_{max}$  fra tabell NA.7.1N EK2 for XD2

(EK2 tabell NA.7.1N)

$$w_{max} := 0.30 \cdot k_c$$

$$w_{max} = 0.36$$

## Minimumsarmering

(Sørensen 5.3.2)

$$k_{c_2} := 1.0$$

$$f_{ct.eff} := f_{ctm}$$

$$k := 1$$

$$A_{ct} := A_c - \alpha d \cdot b$$

$$f_{yk} := 500$$

$$A_{s.min} := \frac{k_{c_2} \cdot k \cdot f_{ct.eff} \cdot A_{ct}}{f_{yk}}$$

$$A_{s.min} = 1.116 \cdot 10^3$$

Ok armering

## Armeringsspening

(Sørensen 5.3.3)

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\eta := \frac{E_s}{E_{cm_}}$$

$$I_{ce} := 8.676 \cdot 10^8$$

$$EI := E_{cm_} \cdot I_{ce}$$

Bruker  $E_{cm}$ , og  $I_{ce}$  (I fra  
kryp beregning)

$$M := 208 \cdot 10^6$$

$$\alpha := \sqrt{(\eta \cdot \rho)^2 + 2 \cdot \eta \cdot \rho} - \eta \cdot \rho$$

$$EI = 3.123 \cdot 10^{13}$$

$$\alpha = 0.323$$

$$\varepsilon_s := \frac{M \cdot (1 - \alpha) \cdot d}{EI}$$

$$\varepsilon_s = 9.555 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho = 0.014$$

$$\eta = 5.556$$

$$\sigma_s := E_s \cdot \varepsilon_s$$

$$\sigma_s = 191.098$$

Setter  $w_k = 0,2\text{mm}$ , ettersom vanntett konstruksjon

(520.055 Byggforskserien)

$\phi 16$  er max stangdiameter. ikke ok.

(EK2 7.3.3)

150 max senteravstand. ikke ok.

Bytter ut  $\phi 25$  med  $\phi 16$ .

### Risskontroll ved beregning av rissvidde

$$k_1 := 0.4$$

EK2 7.3.4(1)

EK2 7.3.4(2)

$$h_{c.ef1} := 2.5 \cdot (h - d) \quad h_{c.ef1} = 220$$

$$h_{c.ef2} := \frac{h - \alpha d}{3} \quad h_{c.ef2} = 48.931$$

$$h_{c.ef3} := \frac{h}{2} \quad h_{c.ef3} = 150$$

$$A_{c.eff} := b \cdot h_{c.ef3} \quad \rho_{p.eff} := \frac{A_s}{A_{c.eff}} \quad \rho_{p.eff} = 0.02$$

$$\varepsilon_{sm} \varepsilon_{cm} := \frac{\sigma_s - k_1 \cdot \frac{f_{ct.eff}}{\rho_{p.eff}} \cdot (1 + \eta \cdot \rho_{p.eff})}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} \varepsilon_{cm} = 5.262 \cdot 10^{-4}$$

$$k_1 := 0.8 \quad k_2 := 0.5 \quad k_3 := 3.4 \quad k_4 := 0.425 \quad \phi_{25} := 25$$

$$c := 60$$

$$s_{r.max_{25}} := k_3 \cdot c + \left( k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{25}}{\rho_{p.eff}} \right) \quad s_{r.max_{25}} = 420.451$$

$$w_{k_{25}} := s_{r.max_{25}} \cdot \varepsilon_{sm} \varepsilon_{cm}$$

$$w_{k_{25}} = 0.221$$

ikke ok!

Prøver ø16

$$\phi_{16} := 16$$

$$s_{r.max_{16}} := k_3 \cdot c + \left( k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{16}}{\rho_{p.eff}} \right) \quad s_{r.max_{16}} = 342.528$$

$$w_{k_{16}} := s_{r.max_{16}} \cdot \varepsilon_{sm} \varepsilon_{cm} \quad \frac{A_{s.n\ddot{o}dv}}{16^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = 13.438$$

$$w_{k_{16}} = 0.18 \quad \text{ok!}$$

Velger 14Ø16 for 1m  
Ø16 CC 70

### Spenningsbegrensning

$$f_{ck} := 45 \quad (\text{EK2 - 7.2})$$

$$\sigma_{c.krav2} := 0.6 \cdot f_{ck} \quad \sigma_{c.krav2} = 27 \quad (2)$$

$$\sigma_{c.krav3} := 0.45 \cdot f_{ck} \quad \sigma_{c.krav3} = 20.25 \quad (3)$$

$$\sigma_{s.krav5} := 0.8 \cdot f_{yk} \quad \sigma_{s.krav5} = 400 \quad (5)$$

$$a := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h + \eta \cdot A_s \cdot d}{A_c + \eta \cdot A_s} \quad a = 153.207$$

$$I := \left( b \cdot \frac{h^3}{12} \right) + \left( b \cdot h \cdot \left( a - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + (A_s \cdot \eta \cdot e^2)$$

$$M = 2.08 \cdot 10^8 \quad I = 2.303 \cdot 10^9 \quad \alpha d = 153.207$$

$$\sigma_c := \frac{M \cdot \alpha d}{I} \quad \sigma_c = 13.836$$

$$\sigma_c = 13.836 < \sigma_{c.krav2} = 27$$

$$\sigma_c = 13.836 < \sigma_{c.krav3} = 20.25$$

$$\sigma_s = 191.098 < \sigma_{s.krav5} = 400 \quad \text{ok!}$$

## Forankringslengde

$$\eta_1 := 1.0 \quad \eta_2 := 1.0 \quad \alpha_{ct} := 1 \quad f_{ctk0.05} := 2.2$$

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c} \quad f_{bd} := 2.5 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad f_{bd} = 3.667 \quad (\text{EK2 - 8.4.2})$$

$$\emptyset := 16 \quad \Delta F_{td} := V_{ed} \cdot 10^3 \quad V_{ed} = 125 \quad M_{ed} = 208$$

$$\sigma_{sd} := \frac{\frac{M_{ed} \cdot 10^6}{z} + \Delta F_{td}}{A_s} \quad \sigma_{sd} = 441.297 \quad (\text{Sørensen 4.6.3})$$

$$l_{b.rqd} := \left( \frac{\emptyset}{4} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) \quad (\text{EK2 - 8.4.3})$$

$$\alpha_1 := 1.0 \quad \alpha_2 := 1 - 0.15 \cdot \frac{c_{nom} - \emptyset}{\emptyset} \quad \alpha_2 = 0.588 \quad \alpha_3 := 1 \quad \alpha_4 := 1$$

$$\alpha_5 := 1$$

$$l_{bd} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b.rqd} \quad l_{bd} = 282.831 \quad (\text{EK2 - 8.4.4})$$

$$l_{b.min} \quad \min \quad 0.3 \cdot l_{b.rqd} = 144.424 \quad l_{b.min} := 0.3 \cdot l_{b.rqd}$$

$$10 \cdot \emptyset = 160$$

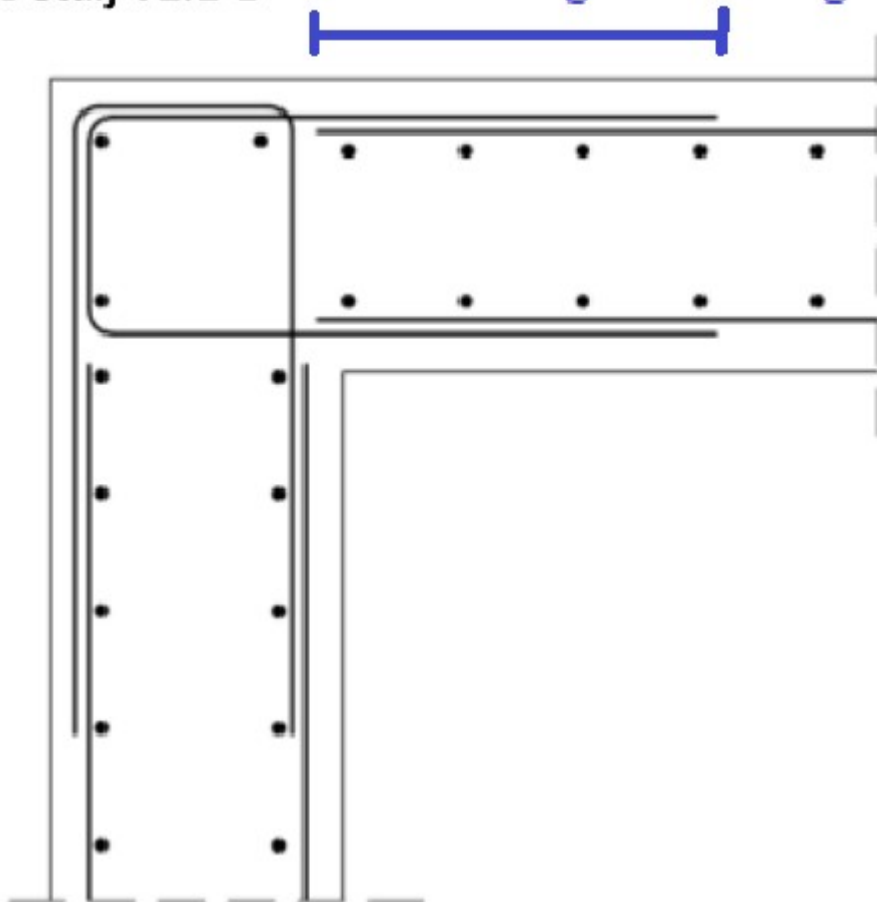
$$100$$

$$l_{bd} = 282.831 > l_{b.min} = 144.424 \quad \text{ok!}$$

Nødvendig forankringslengde = 283 mm

Detalj V2.1-1

Nødvendig forankringslengde



Figur hentet fra Norsk Betongforening  
Publikasjon nr. 8

## Dimensjonering av bassengbunn, 25m

Tar utgangspunkt i samme tverrsnitt som ble funnet i dimensjonering av vegg, ettersom opprettede moment er det samme. Legger samme armeringsmengde til grunn.

Tar høyde for overdekning om dekke skal støpes direkte på grunn, minimumskrav 75. Setter overdekning,  $C_{nom2}$  til 100mm  
Overdekning mot vann er fortsatt = 60mm

EK2 NA.4.4.1.3(4)

$$\begin{aligned} B45 \quad M_{ed} &:= 208 & b &:= 1000 & h &:= 400 \\ \gamma_e &:= 1.2 & \gamma_v &:= 1.05 & q_{vann} &:= 50 & q_e &:= 25 \cdot 0.4 \cdot 1 \\ q_{nytte} &:= q_{vann} \cdot \gamma_v & q_{egen} &:= q_e \cdot \gamma_e & q &:= q_{egen} + q_{nytte} & q &= 64.5 \\ f_{ck} &:= 45 & f_{ctm} &:= 3.8 & f_{cm} &:= 53 & & \text{(EK2 Tabell 3.1)} \\ \alpha_{cc} &:= 0.85 & \gamma_c &:= 1.5 & f_{cd} &:= \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} & f_{cd} &= 25.5 & \text{(EK2 3.1.6(1))} \\ & & & & & & & & \text{(EK2 NA.3.1.6(1))} \\ & & & & & & & & \text{(EK2 2.1N)} \\ f_{yk} &:= 500 & \gamma_s &:= 1.15 & f_{yd} &:= \frac{f_{yk}}{\gamma_s} & f_{yd} &= 434.783 & \text{(EK2 Tabell 2.1N)} \\ \alpha &:= 0.412 & \lambda &:= 0.8 & K &:= 0.275 & \eta &:= 1 & \text{(Sørensen kapittel 4.2)} \\ & & & & & & & & \text{(Sørensen tabell 4.2)} \\ A_s &:= 2945 & A_c &:= h \cdot b & & & & & \text{(Sørensen tabell 4.3)} \end{aligned}$$

Velger tverrsnitt tykkelse 400mm

$d = h - C_{nom1} - \varnothing/2 - \text{monteringsjern}$

$d = 315.5$  mm. Kontrollerer tv.snitt med ny  $d$ .

$$d := 315.5$$

$$z := (1 - 0.5 \cdot \lambda \cdot \alpha) \cdot d \quad z = 263.506 \quad \text{(Sørensen (4.13))}$$

$$A_{s_{n\ddot{o}dvendig}} := \frac{M_{ed} \cdot 10^6}{f_{yd} \cdot z} \quad A_{s_{n\ddot{o}dvendig}} = 1.816 \cdot 10^3 \quad \text{(Sørensen (4.26))}$$

$$\text{Antall } \varnothing 25 \text{ som er kreves: } \frac{A_{s_{n\ddot{o}dvendig}}}{25^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = 3.699 \quad \text{--> Bruker } 6\varnothing 25$$

**Kontrollerer minimumsarmering, ihht. EK2 NA er anbefalt minimumsarmering det dobbelte for vanntette konstruksjoner.**

$$A_{s\_min} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d \cdot 2 \quad (\text{EK2 NA.9.2.1.1(1)})$$

$$A_{s\_min} = 1.247 \cdot 10^3$$

$$A_{s\_strek} := 6 \cdot 25^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad A_{s\_strek} = 2.945 \cdot 10^3$$

Velger Ø16

$$\text{Antall}_\text{Ø16} := \frac{A_{s\_min}}{16^2 \cdot \frac{\pi}{4}} \quad \text{Antall}_\text{Ø16} = 6.201$$

Velger 7Ø16 til armering i trykksone  
Ø16 CC 160

**Kontrollerer behov for skjærarmering** (EK2 6.2.2)

Betrakter skjær ved mest belastede opplegg (Sørensen 4.3.2 s.64)

$$L_{skjær} := 8.33$$

$$V_{ed\_red} := q \cdot \frac{(L_{skjær} \cdot 10^3 - (d \cdot 2))}{2} \cdot 0.125 \quad V_{ed\_red} = 3.104 \cdot 10^4$$

$$\gamma_c := 1.5 \quad k_z := 0.15$$

$$\rho_L := \frac{A_s}{b \cdot d} \quad \rho_L = 0.009 \quad k := 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad k = 1.796$$

$$C_{rd} := \frac{k_z}{\gamma_c}$$

$$V_{rd\_c} := C_{rd} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d$$

$$V_{rd\_c} = 1.97 \cdot 10^5$$

$V_{rd\_c} > V_{ed\_red}$  --> ok kapasitet  
Ikke behov for skjærarmering

## Skjærtrykkkapasitet

$$V_{ed} := q \cdot \frac{L_{skjær}}{2} \quad V_{ed} = 268.643$$

$$\nu := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad \nu = 0.492 \quad (\text{Sørensen (4.51)})$$

$$V_{rd\_max} := 0.5 \cdot b \cdot d \cdot \nu \cdot f_{cd} \quad V_{rd\_max} = 1.979 \cdot 10^6 \quad (\text{Sørensen (4.50)})$$

$V_{rd\_max} > V_{ed} \rightarrow$  ok kapasitet



## Gjennomlukking

Tar utgangspunkt i at det er pæler hver 5m i dekket, en pæle midt i dekke vil bære lasten for et området på 5x5m. Ganger med faktor 1,25 for å ta hensyn yil lastfordeling ved endeopplegg. Se pæleplan.

$$\text{Belastningsareal: } A_{Last} := (2.5 + (2.5 \cdot 1.25))^2 \quad A_{Last} = 31.641$$

Fra tegninger til Tromsøbadet er pæler gitt som 1200mm x 1200mm

$$p := 1.200 \quad d_1 := \frac{d}{1000} \quad d_1 = 0.316$$

$$u_1 := 4 \cdot p + 4 \cdot d_1 \cdot \pi \quad u_1 = 8.765 \quad \text{EK2 - 6.4.2, figur 6.13}$$

$$A_1 := (4 \cdot p \cdot 2 \cdot d_1) + p^2 + \pi \cdot (2 \cdot d_1)^2 \quad A_1 = 5.72$$

Lasteareal for beregning av skjær EK2 - 6.4

$$A_{skjærlast} := A_{Last} - A_1 \quad A_{skjærlast} = 25.921$$

$$q = 64.5 \quad V_{ed\_G} := q \cdot A_{skjærlast} \quad V_{ed\_G} = 1.672 \cdot 10^3 \quad \text{KN}$$

Relevante kontroller utføres: (EK2 - 6.4.3(2).)

(a)  $V_{ed} < V_{rdmax}$

(b)  $V_{ed} < V_{rdc}$

$$b = 1 \cdot 10^3 \quad d = 315.5 \quad f_{cd} = 25.5 \quad f_{ck} = 45$$

(EK2 - 6.2.2(6))

$$\nu = 0.492$$

$$V_{rd\_max} = 1.979 \cdot 10^6$$

$V_{ed,G} < V_{rdmax}$  --> Ok kapasitet

$$V_{ed\_G} = 1.672 \cdot 10^3 \quad A_s = 2.945 \cdot 10^3 \quad C_{rdc} := \frac{0.18}{\gamma_c} \quad d = 315.5 \quad (6.4.4 \text{ EK2})$$

$$V_{Rdc\_G} := C_{rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad (\text{NA.6.3N})$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{Rdc\_G} = 0.749 > v_{min} = 0.565$$

$$V_{gjennomlukking} := \frac{V_{ed\_G}}{u_1 \cdot 10^3} \quad V_{gjennomlukking} = 0.191$$

$$V_{gjennomlukking} = 0.191 < V_{Rdc\_G} = 0.749 \quad \text{ok!}$$

Skjærarmering er ikke nødvendig.

## Krypberegning:

(EK2 - Tillegg B)

$$\phi_{uendelig_t} := \phi_0 \cdot \beta_{c_t t_0}$$

Nyttelast, 30 dager

Siden lasten er langtidslast blir  $\beta_c = 1$

$$\beta_c := 1$$

$$\phi_0 := \phi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0}$$

$$f_{cm} := 53 \quad A_c = 4 \cdot 10^5 \quad u := 800 \quad h_o := \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

$$\alpha_1 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} \quad \alpha_2 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} \quad \alpha_3 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5}$$

Antar RH = 80% for Tromsø  $RH := 80$

$$\phi_{RH} := \left( 1 + \frac{\left( 1 - \frac{RH}{100} \right)}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 \quad \phi_{RH} = 1.058$$

$$\beta_{f_{cm}} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad \beta_{f_{cm}} = 2.308$$

$$t_{o_30} := 30 \quad \beta_{t_{o_30}} := \frac{1}{(0.1 + t_{o_30}^{0.2})} \quad \beta_{t_{o_30}} = 0.482$$

$$\phi_{0_30} := \phi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_{o_30}} \quad \phi_{0_30} = 1.177$$

$$\phi_{30} := \phi_{0_30} \cdot \beta_c \quad \phi_{30} = 1.177$$

## Egenvekt, 7 dager

Siden lasten er langtidslast blir  $\beta_c = 1$

$$\beta_c := 1$$

$$\phi_0 := \phi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{to}$$

$$f_{cm} = 53$$

$$u = 800$$

$$h_o = 1 \cdot 10^3$$

$$\alpha_1 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7}$$

$$\alpha_2 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2}$$

$$\alpha_3 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5}$$

$$RH = 80$$

$$\phi_{RH} := \left( 1 + \frac{\left( 1 - \frac{RH}{100} \right)}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2$$

$$\phi_{RH} = 1.058$$

$$\beta_{fcm} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

$$\beta_{fcm} = 2.308$$

$$t_{o_7} := 7$$

$$\beta_{to_7} := \frac{1}{(0.1 + t_{o_7}^{0.2})}$$

$$\beta_{to_7} = 0.635$$

$$\phi_{0_7} := \phi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{to_7}$$

$$\phi_{0_7} = 1.549$$

$$\phi_7 := \phi_{0_7} \cdot \beta_c$$

$$\phi_7 = 1.549$$

## Svinn

(EK2: 3.1.4(6))

$$\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

### uttørkingssvinn:

$$f_{cm} := 53$$

$$f_{cmo} := 10$$

(EK2: B2)

antar sementklasse S

$$\alpha_{ds1} := 3$$

$$\alpha_{ds2} := 0.13$$

$$RH = 80$$

$$RH_0 := 100$$

$$\beta_{RH} := 1.55 \cdot \left( 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right)$$

$$\beta_{RH} = 0.756$$

$$\varepsilon_{cd0} := 0.85 \cdot \left( (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{\left( -\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cmo}} \right)} \right) \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\varepsilon_{cd0} = 1.775 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{cd}(t) := \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd0}$$

$$k_h := 0.7$$

$$h_o = 1 \cdot 10^3$$

$$t := 365000$$

$$t_s := 7$$

$$f_{ck} := 45$$

$$\beta_{ds} := \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \cdot \sqrt{h_o^3}}$$

$$\beta_{ds} = 0.997$$

$$\varepsilon_{cd}(t) := \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd0}$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = 1.239 \cdot 10^{-4}$$

**autogen svinntøyning**

$$\beta_{as} := 1 - e^{(-0.2 \cdot t^{0.5})}$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) := 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) := \beta_{as} \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = 8.75 \cdot 10^{-5}$$

**Total svinntøyning**

$$\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t)$$

$$\varepsilon_{cs} = 2.114 \cdot 10^{-4}$$

## Nedbøyning på grunn av kryp og svinn

Kryp:

(Sørensen: 5.2.4)

$$E_{cm} := 36 \quad E_s := 200000$$

$$\phi_{30} = 1.177 \quad \phi_7 = 1.549$$

$$M_{30} := 208 \quad b := 1000 \quad d = 315.5$$

$$q_{egenvekt} := 25 \quad L_{kryp} := \frac{25}{3}$$

$$M_7 := 0.1 \cdot q_{egenvekt} \cdot (L_{kryp})^2 \quad M_7 = 173.611$$

(Stålkonstruksjoner, profiler og formler: Tabell 3.5)

$$E_{c\_eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \phi}$$

$$E_{c\_30} := \frac{E_{cm}}{1 + \phi_{30}} \quad E_{c\_30} = 16.536$$

$$E_{c\_7} := \frac{E_{cm}}{1 + \phi_7} \quad E_{c\_7} = 14.121$$

$$E_{middel} := \frac{M_7 + M_{30}}{\frac{M_7}{E_{c\_7}} + \frac{M_{30}}{E_{c\_30}}} \quad E_{middel} = 15.342$$

$$\eta := \frac{E_s}{E_{middel} \cdot 10^3} \quad \eta = 13.036$$

$$\rho := \rho_L$$

$$\eta \cdot \rho = 0.122$$

$$\alpha := \sqrt{(\eta \cdot \rho)^2 + 2 \cdot \eta \cdot \rho - \eta \cdot \rho} \quad \alpha = 0.386$$

$$I_{CE} := 0.5 \cdot \alpha^2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \cdot b \cdot d^3 \quad I_{CE} = 2.043 \cdot 10^9$$

$$EI_{Middel} := E_{middel} \cdot I_{CE}$$

$$EI_{Middel} = 3.134 \cdot 10^{10}$$

$$\delta_{lang} := \frac{1}{384} \cdot \frac{(q + 50) \cdot 10^6 \cdot L_{kryp}^4}{EI_{Middel}} \quad \text{Nedbøyning for midterste felt.}$$

$$\delta_{lang} = 0.046$$

### Svinn

$$\varepsilon_{cs} = 2.114 \cdot 10^{-4}$$

$$a := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h + \eta \cdot A_s \cdot d}{A_c + \eta \cdot A_s} \quad a = 210.115$$

$$e := d - a \quad e = 105.385$$

$$I_{svinn} := \left(b \cdot \frac{h^3}{12}\right) + \left(b \cdot h \cdot \left(a - \frac{h}{2}\right)^2\right) + (A_s \cdot \eta \cdot e^2) \quad I_{svinn} = 5.801 \cdot 10^9$$

$$\kappa_s := \varepsilon_{cs} \cdot \eta \cdot \frac{A_s \cdot e}{I_{svinn}} \quad \kappa_s = 1.474 \cdot 10^{-7}$$

$$\delta_{svinn} := \kappa_s \cdot L_{kryp}^2 \cdot 10^6 \cdot 0.080 \quad \delta_{svinn} = 0.819$$

### Total nedbøyning pga kryp og svinn:

$$\delta_{total} := \delta_{lang} + \delta_{svinn} \quad \delta_{total} = 0.865$$

$$\delta_{tilatt} := \frac{L_{kryp} \cdot 10^3}{250} \quad \delta_{tilatt} = 33.333$$

Nedbøyningen fra kryp og svinn er liten i forhold til nedbøyningen fra lasten.



## Risskontroll

### Risslast og rissmoment

sørensen 5.2.4

$$f_{ctm} = 3.8 \quad A_s = 2.945 \cdot 10^3$$

$$E_{sr} := 200000 \quad E_{cmr} := 36000 \quad \eta := \frac{E_{sr}}{E_{cmr}} \quad L_r := \frac{25}{3}$$

$$\alpha d := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h + \eta \cdot A_s \cdot d}{A_c + \eta \cdot A_s} \quad \alpha d = 204.539$$

$$I_{c1} := \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left( \alpha d - \frac{h}{2} \right)^2$$

$$I_{s1} := A_s \cdot (d - \alpha d)^2$$

$$EI_1 := E_{cmr} \cdot I_{c1} + E_{sr} \cdot I_{s1}$$

### Rissmoment

$$M_r := \frac{I_{c1} + \eta \cdot I_{s1}}{h - \alpha d} \cdot f_{ctm} \quad M_r = 1.078 \cdot 10^8 \quad Nmm$$

$$M_{cr} := M_r \cdot 10^{-6} \quad M_{cr} = 107.763 \quad kNm$$

### Risslast

$$q_r := \frac{M_{cr}}{L_r^2 \cdot 0.1} \quad q_r = 15.518 \quad \frac{kN}{m}$$

Tversnittet vil risse.

## Risskontroll

$$c_{nom} := 60$$

$$c_{min.dur} := 50$$

EK2- NA.4.4N - 100 års  
dimensjonerende brukstid

$$k_c := \frac{c_{nom}}{c_{min.dur}}$$

$$k_c = 1.2$$

Tillat rissvidde  $w_{max}$  fra tabell NA.7.1N EK2 for XD2

(EK2 tabell NA.7.1N)

$$w_{max} := 0.30 \cdot k_c$$

$$w_{max} = 0.36$$

Minimumsarmering

(Sørensen 5.3.2)

$$k_{c_2} := 1.0$$

$$f_{ct.eff} := f_{ctm}$$

$$k := 0.925$$

$$A_{ct} := A_c - \alpha d \cdot b$$

$$f_{yk} := 500$$

$$A_{s.min} := \frac{k_{c_2} \cdot k \cdot f_{ct.eff} \cdot A_{ct}}{f_{yk}}$$

$$A_{s.min} = 1.374 \cdot 10^3$$

Ok armering!

Armeringsspening

(Sørensen 5.3.3)

$$I_{CE} = 2.043 \cdot 10^9$$

$$EI_r := E_{cmr} \cdot I_{CE}$$

$$M_r := 208 \cdot 10^6$$

$$\alpha_r := \sqrt{(\eta \cdot \rho)^2 + 2 \cdot \eta \cdot \rho} - \eta \cdot \rho$$

Bruker  $E_{cm}$ , og  $I_{ce}$  (I fra kryp  
beregning)

$$EI_r = 7.354 \cdot 10^{13}$$

$$\alpha = 0.386$$

$$\varepsilon_s := \frac{M_r \cdot (1 - \alpha_r) \cdot d}{EI_r}$$

$$\varepsilon_s = 6.476 \cdot 10^{-4}$$

$$\sigma_s := E_s \cdot \varepsilon_s$$

$$\sigma_s = 129.514$$

Setter  $w_k = 0,2\text{mm}$ , ettersom vanntett konstruksjon

(520.055 Byggforskserien)

$\phi_{25}$  er max stangdiameter. ok.

(EK2 7.3.3)

200 max senteravstand. ok.

### Risskontroll ved beregning av rissvidde

EK2 7.3.4(1)

EK2 7.3.4(2)

$$k_1 := 0.4$$

$$h_{c.ef1} := 2.5 \cdot (h - d) \quad h_{c.ef1} = 211.25$$

$$h_{c.ef2} := \frac{h - \alpha d}{3} \quad h_{c.ef2} = 65.154$$

$$h_{c.ef3} := \frac{h}{2} \quad h_{c.ef3} = 200$$

$$A_{c.eff} := b \cdot h_{c.ef3} \quad \rho_{p.eff} := \frac{A_s}{A_{c.eff}} \quad \rho_{p.eff} = 0.015$$

$$\varepsilon_{sm} \varepsilon_{cm} := \frac{\sigma_s - k_1 \cdot \frac{f_{ct.eff}}{\rho_{p.eff}} \cdot (1 + \eta \cdot \rho_{p.eff})}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} \varepsilon_{cm} = 8.922 \cdot 10^{-5}$$

$$k_1 := 0.8 \quad k_2 := 0.5 \quad k_3 := 3.4 \quad k_4 := 0.425 \quad \phi_{25} := 25$$

$$c := 60$$

$$s_{r.max_{25}} := k_3 \cdot c + \left( k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{25}}{\rho_{p.eff}} \right) \quad s_{r.max_{25}} = 492.625$$

$$w_{k_{25}} := s_{r.max_{25}} \cdot \varepsilon_{sm} \varepsilon_{cm}$$

$$w_{k_{25}} = 0.044 \quad \text{ok!}$$

Prøver med  $\phi_{20}$ , ikke nødvendig å gå ned

$$\phi_{20} := 20$$

$$s_{r,max\_20} := k_3 \cdot c + \left( k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{20}}{\rho_{p,eff}} \right) \quad s_{r,max\_20} = 434.9$$

$$w_{k\_20} := s_{r,max\_20} \cdot \epsilon_{sm} \epsilon_{cm} \quad \frac{A_s}{20^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = 9.374$$

$$w_{k\_20} = 0.039$$

Kan benytte 10Ø20 for 1m  
Ø20 CC 100

### Spenningsbegrensning

$$f_{ck} := 45 \quad (\text{EK2 - 7.2})$$

$$\sigma_{c\_krav2} := 0.6 \cdot f_{ck} \quad \sigma_{c\_krav2} = 27 \quad (2)$$

$$\sigma_{c\_krav3} := 0.45 \cdot f_{ck} \quad \sigma_{c\_krav3} = 20.25 \quad (3)$$

$$\sigma_{s\_krav5} := 0.8 \cdot f_{yk} \quad \sigma_{s\_krav5} = 400 \quad (5)$$

$$a := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h + \eta \cdot A_s \cdot d}{A_c + \eta \cdot A_s} \quad a = 204.539$$

$$I := \left( b \cdot \frac{h^3}{12} \right) + \left( b \cdot h \cdot \left( a - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + (A_s \cdot \eta \cdot e^2)$$

$$M_r = 2.08 \cdot 10^8 \quad I = 5.523 \cdot 10^9 \quad \alpha d = 204.539$$

$$\sigma_c := \frac{M_r \cdot \alpha d}{I} \quad \sigma_c = 7.703$$

$$\sigma_c = 7.703 < \sigma_{c\_krav2} = 27$$

$$\sigma_c = 7.703 < \sigma_{c\_krav3} = 20.25$$

$$\sigma_s = 129.514 < \sigma_{s\_krav5} = 400 \quad \text{ok!}$$

## Forankringslengde

$$\eta_1 := 1.0 \quad \eta_2 := 1.0 \quad \alpha_{ct} := 1 \quad f_{ctk0.05} := 2.2$$

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c} \quad f_{bd} := 2.5 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad f_{bd} = 3.667 \quad (\text{EK2 - 8.4.2})$$

$$\emptyset := 20 \quad \Delta F_{td} := V_{ed} \cdot 10^3 \quad V_{ed} = 268.643 \quad M_{ed} = 208$$

$$\sigma_{sd} := \frac{\frac{M_{ed} \cdot 10^6}{z} + \Delta F_{td}}{A_s} \quad \sigma_{sd} = 359.253 \quad (\text{Sørensen 4.6.3})$$

$$l_{b.rqd} := \left( \frac{\emptyset}{4} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) \quad l_{b.rqd} = 489.89 \quad (\text{EK2 - 8.4.3})$$

$$\alpha_1 := 1.0 \quad \alpha_2 := 1 - 0.15 \cdot \frac{c_{nom} - \emptyset}{\emptyset} \quad \alpha_2 = 0.7 \quad \alpha_3 := 1 \quad \alpha_4 := 1$$

$$\alpha_5 := 1$$

$$l_{bd} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b.rqd} \quad l_{bd} = 342.923 \quad (\text{EK2 - 8.4.4})$$

$$l_{b.min} \quad \text{min} \quad 0.3 \cdot l_{b.rqd} = 146.967 \quad l_{b.min} := 0.3 \cdot l_{b.rqd}$$

$$10 \cdot \emptyset = 200$$

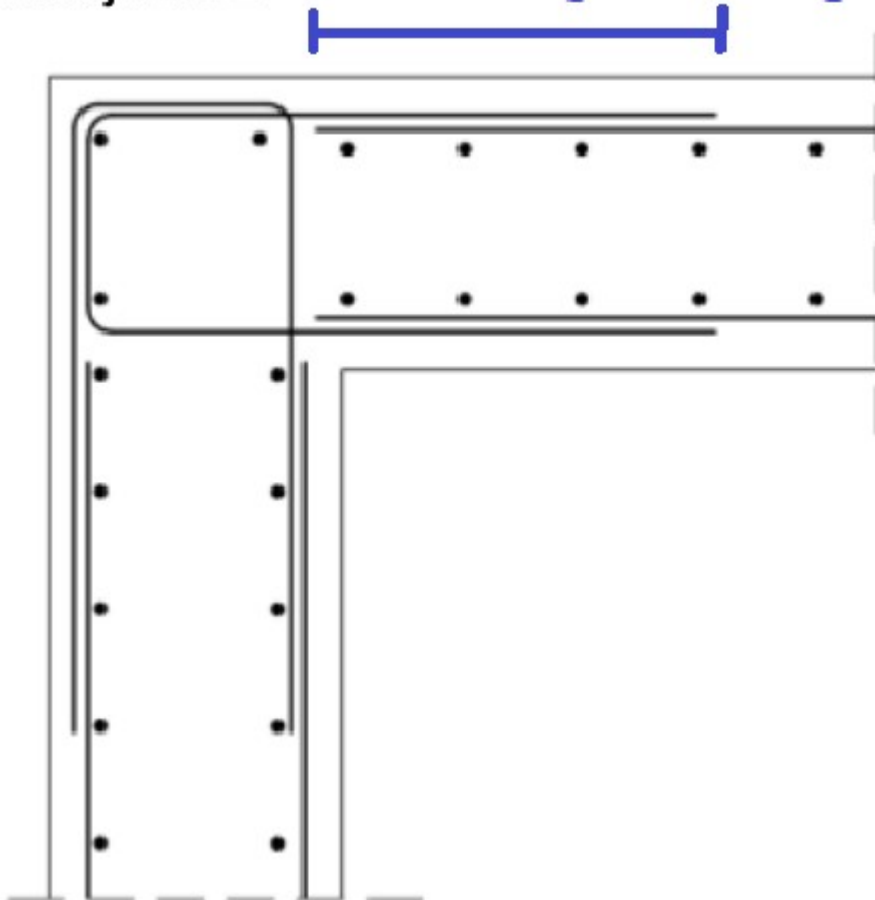
$$100$$

$$l_{bd} = 342.923 \quad > \quad l_{b.min} = 146.967 \quad \text{ok!}$$

Nødvendig forankringslengde = 343 mm

Detalj V2.1-1

Nødvendig forankringslengde



Figur hentet fra Norsk Betongforening  
Publikasjon nr. 8

## Fastholdningsriss

Kilde: Statens Vegvesen rapport Nr. 2565

### For en differanse på 32 grader

$$\Delta T := 32 \quad \alpha_T := 10 \cdot 10^{-6}$$

$$E := 36000 \quad f_{ctm} := 3.8 \quad (\text{EK2 tabell 3.1})$$

$$\varepsilon_T := \alpha_T \cdot \Delta T$$

$$\sigma := E \cdot \varepsilon_T$$

$$\sigma = 11.52$$

$$Rissindeks := \frac{\sigma}{f_{ctm}} \quad Rissindeks = 3.032$$

### For en differanse på 11 grader

$$\Delta T := 11 \quad \alpha_T := 10 \cdot 10^{-6}$$

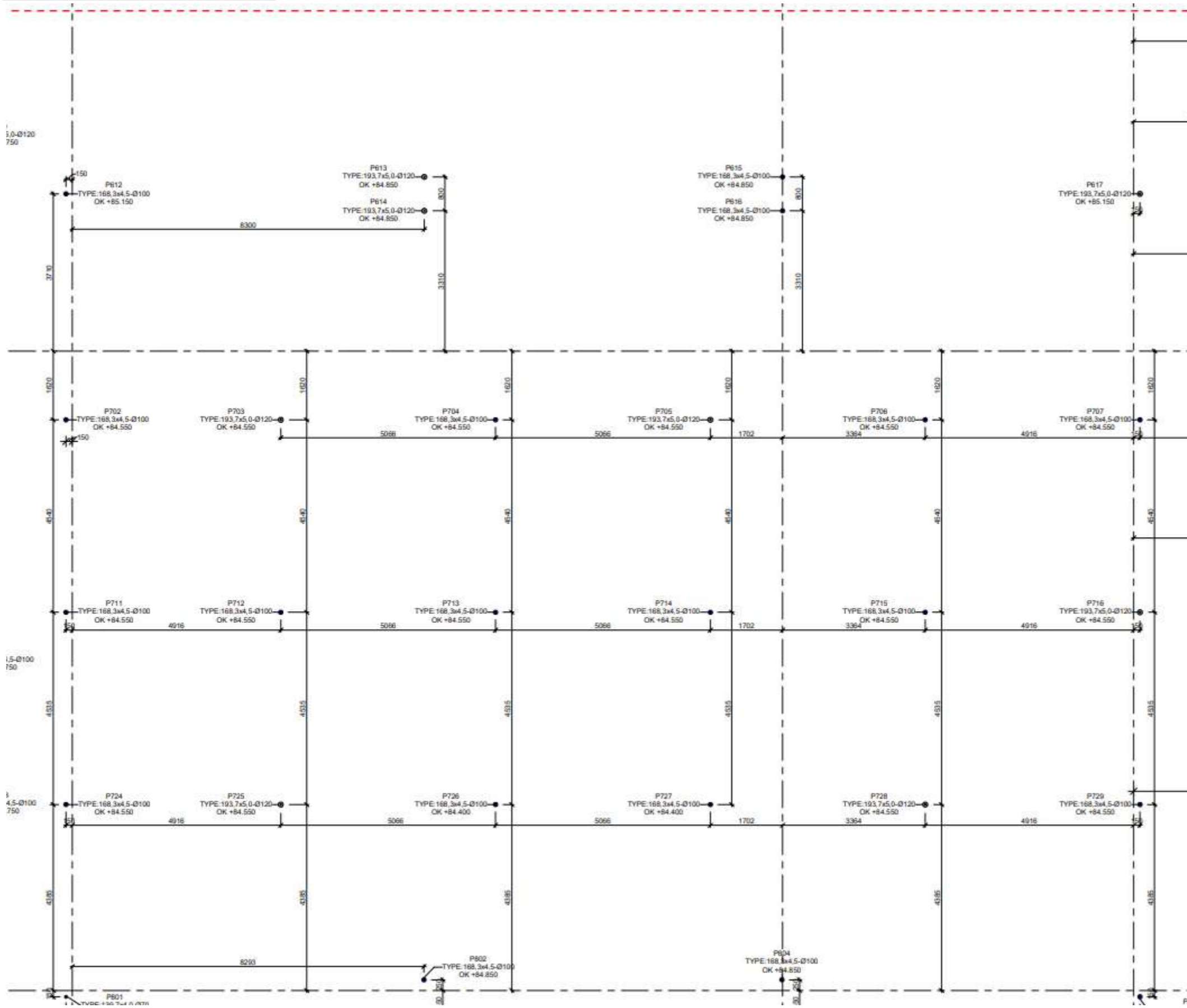
$$\varepsilon_T := \alpha_T \cdot \Delta T$$

$$\sigma := E \cdot \varepsilon_T$$

$$\sigma = 3.96$$

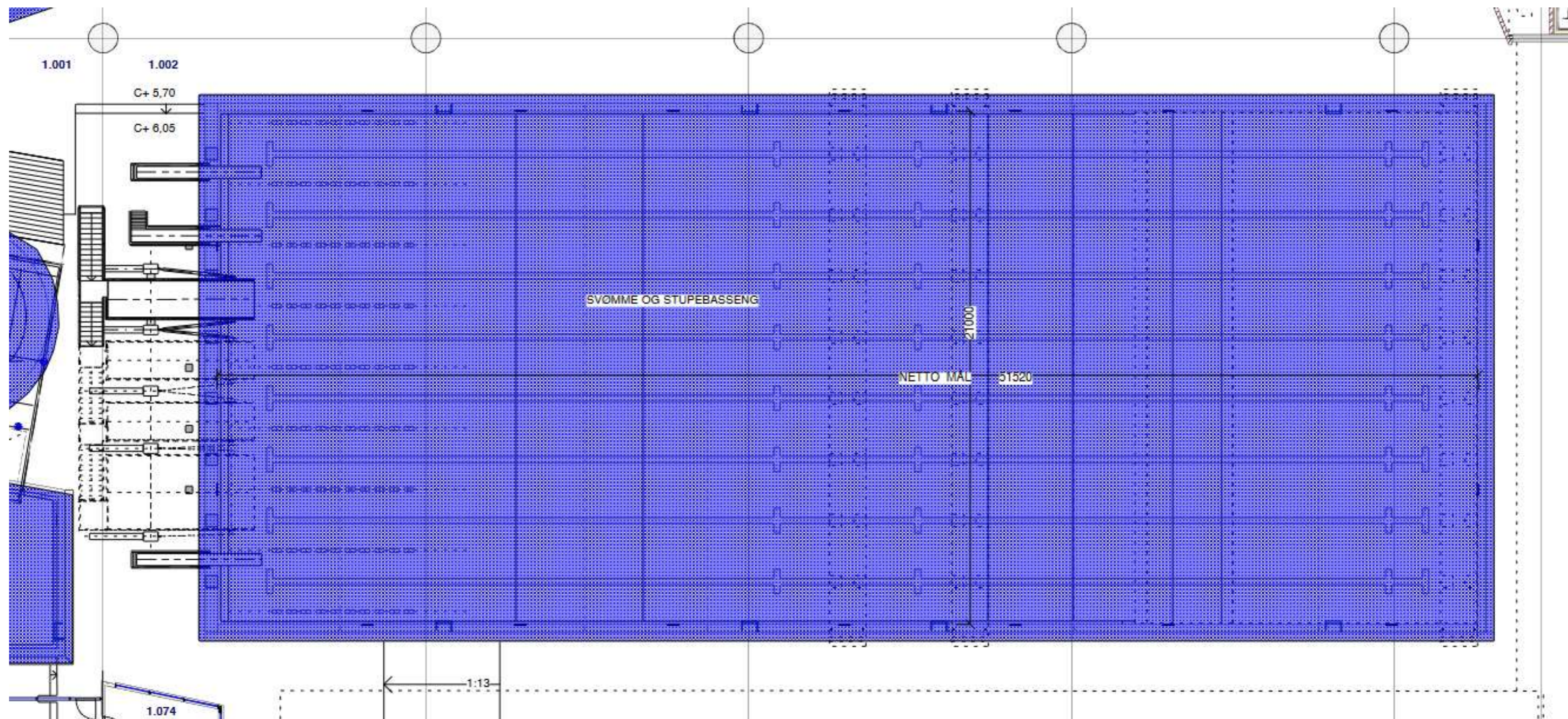
$$Rissindeks := \frac{\sigma}{f_{ctm}} \quad Rissindeks = 1.042$$

**Pæleplan Tromsøbadet**  
 Pæler under dyp del av basseng





Pirbadet, plan





Pirbadet, snitt tegning

