

# **Støpeplan for en stor og sammensatt betongkonstruksjon**

*Rundkjøringslokk Rv706 Nydalsbrua*

Pouring Plan for an Extensive and Complex Concrete  
Construction

**Trondheim mai 2022**

Navn studenter:

Lars Johan Berggård  
Åsmund Rise Haukø

Intern veileder:  
Amund Bruland

Ekstern veileder:  
Sverre Smeplass

Prosjektnr:  
2022-10

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

## Prosjektbeskrivelse og resultatmål

Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger er et prosjekt som består hovedsakelig av brukonstruksjoner av betong. Bachelorprosjektet skal ta for seg produksjonsplanleggingen av utstøpingen av dekkekonstruksjonen rundkjøringslokket. Dette er en betongkonstruksjon som skal støpes kontinuerlig. Rundkjøringslokket er en komplisert konstruksjon med tanke på geometri og konstruksjonsteknikk. Det består av omtrent 3000m<sup>3</sup> betong og 500 tonn armering, fordelt på slakkarmering og spennarmering.

Uttøpingen av konstruksjoner i denne dimensjonen, medfører utfordringer knyttet til flere deler av utføringen. Bachelorprosjektet skal resultere i en støpeplan, med tilhørende kontrollplan og sikker jobbanalyse. Denne skal legges til rette for at utførelsen av utstøpingen blir knyttet til lav risiko og høy kvalitet. Støpeplanen og kontrollplanen baseres på gjeldende prosjektering og regelverk.

Målet med oppgaven er:

- Utforme en god støpeplan for utstøping av rundkjøringslokket ved prosjekt Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger.
  - Ta høyde for alle forutsigbare problemstillinger knyttet til utstøping av en konstruksjon av denne typen.
- Sette opp støpeplanen på en måte som gjør det mulig å ta utgangspunkt i denne ved senere konstruksjoner av lignende type.
- At hele eller deler av støpeplanen blir benyttet på prosjektet under utstøpingen av rundkjøringslokket.

Stikkord:

Produksjonsplanlegging, Betongkonstruksjoner, Brukonstruksjon, Kontinuerlig støp, Utstøping, Betongteknologi, Leveranselogistikk

## Forord

Bacheloroppgaven er skrevet som avsluttende del i bachelorprogrammet Byggingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim. Oppgaven vektlegges 20 studiepoeng, og er utarbeidet i perioden oktober 2021 til mai 2022.

Bacheloroppgaven er gjennomført i samarbeid med Skanska, med utgangspunkt i prosjektet Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger ved Sluppen i Trondheim. Tema for oppgaven er produksjonsplanlegging for utstøpingen av en stor betongkonstruksjon. Oppgaven ble valgt da dette vil bli en av Norges største kontinuerlige utstøpinger, og krever nøye planlegging. Utstøpingen er planlagt utført i slutten av juni 2022, og oppgaven vil derfor være et ferdig utarbeidet forslag til Skanska før utstøpingen skal gjennomføres.

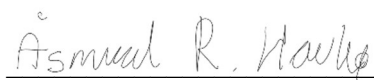
Arbeidet med oppgaven har vært svært lærerikt og bidratt til å øke vår kompetanse innen produksjonsplanlegging og betong, før vi trer inn i arbeidslivet. Vi ønsker å rette en takk til Skanskas bidragsyttere ved prosjektet, med en ekstra takk til ekstern veileder Sverre Smeplass, for gode innspill, diskusjoner, veiledning og svar på spørsmål tilknyttet bacheloroppgaven.

Til slutt ønsker vi å takke intern veileder Amund Bruland for innspill og rådgiving under arbeidet med oppgaven.



---

Lars Johan Berggård  
Trondheim 20.05.2022



---

Åsmund Rise Haukø  
Trondheim 20.05.2022

## Sammendrag

Bacheloroppgaven omhandler produksjonsplanlegging for utstøpingen av rundkjøringslokket ved Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger. Oppgaven er utarbeidet med oppfølging av prosjektets hovedentreprenør Skanska. Sentrale temaer er ressursbruk, betongteknologi, fremdrift og dokumentasjon. Oppgaven skal resultere i en støpeplan, kontrollplan og SJA for utstøpingen av rundkjøringslokket.

Bachelorgruppen skal forsøke å svare på hvordan man kan redusere gjennomføringsrisikoen for utstøpingen av en stor og sammensatt betongkonstruksjon, ved å utarbeide en støpeplan. Utover dette skal det også svares på noen forskningsspørsmål. Forskningsspørsmålene går ut på å finne hovedutfordringene, og definere hvilket grunnlag som må foreligge for å planlegge utstøpingen av rundkjøringslokket. Spørsmålene tar også for seg hvordan man sikrer kvaliteten, og hvordan man skal oppnå god HMS under gjennomføringen.

Oppgaven beskriver alle delene som må foreligge for å utarbeide en god støpeplan, og hovedfokuset ligger i beregninger av åpen tid på betongen ved gitte forutsetninger. Beregningene blir gjort med utgangspunkt i ulike variasjoner av støpetakter, utstøpingsmønstre, floinndelinger og lagtykkelser. For så å iterere seg frem til den gjennomførbare kombinasjonen som gir kortest åpen tid.

Resultatet i oppgaven viser at de 2707 kubikkmeterne med betong som utgjør rundkjøringslokket, støpes ut på totalt 27 timer. Beregninger av åpen tid på betongen viser et maksimalt retarderingsbehov på 1 time og 42 minutter, utover de 3 timene avbindingstiden utgjør. Ved utstøpingen skal det benyttes tre betongpumper med en samlet støpetakt på 120 m<sup>3</sup>/t. Ut ifra dette kan støpen gjennomføres ved å retardere betongen totalt 3 timer, og på den måten unngå utilsiktede støpeskjøter.

Som en del av støpeplanen blir det også satt opp en oversikt over behovet for utstyr og bemanning. Når utstøpingen oppnår fullt behov for ressurser vil det være 25 mann i drift, samt pumpe- og betongbilsjåfører.

Utarbeidelsen av støpeplanen har flere utfordringer knyttet til praktisk utførelse og teori. Ved å praktisere involverende planlegging under prosessen, er det mulig å finne løsninger på alle disse utfordringene. Den involverende planleggingen vil bidra til å kunne forutse mulige problemstillinger tidlig, og på denne måten redusere gjennomføringsrisikoen ved utstøpingen.

Det å utarbeide en støpeplan som i sin helhet kan benyttes i utstøping av lignende konstruksjoner er ikke gunstig, da alle konstruksjoner har sine egne tilhørende forutsetninger, spesifikasjoner og krav. Det å lage en generell utforming av en støpeplan er verken mulig eller hensiktsmessig. Likevel kan metodene som benyttes under utarbeidelse av denne støpeplanen være anvendbar i planlegging av lignende konstruksjoner.



## Abstract

The bachelor thesis deals with production planning of the concrete pouring of the roundabout slab at project Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger. The thesis has been written with contribution by the project's main contractor Skanska. Key topics such as resource, concrete technology as well as progress and documentation of the process is being considered. The task will result in a pouring plan, quality plan and a safe job analysis for the pouring of the roundabout slab.

The issue of how to reduce the risks that pouring of a large and complex concrete construction involves, will be answered by developing a pouring plan. In addition to this, some research questions will be answered. The research questions involve finding the main challenges and defining what available basis that is necessary to plan the pouring of the roundabout slab. The questions also address how to ensure quality, and how to achieve good HSE during execution of the pour.

The thesis describes all the parts that must be available to develop a good pouring plan, and the majority of the results consists of calculating the concrete's working time under given conditions. The calculations are made based on different variations of pouring rates, pouring patterns, layer divisions and layer thicknesses. Then these variations are iterated to find the feasible combination that provides the shortest working time.

The result of the thesis shows that the 3000 cubic meters of concrete that the roundabout slab consists of, will be poured in a total of 27 hours. Calculations of the concrete working time show a maximum retarder need of 1 hour and 42 minutes, in addition to the 3 hours of setting time. Three concrete pumps with a total pouring rate of 120 m<sup>3</sup>/h will be used during the pour. Based on this rate, the concrete pouring can be executed by retarding the concrete a total of 3 hours, and in that way avoid unintentional construction joints.

The need for equipment and workers will be mapped out as a part of the pouring plan. When the casting achieves the maximum need for resources, there will be 25 workers in operation, as well as pump operators and concrete truck drivers.

Several challenges related to the theoretical perspective as well as the practical execution occurred in the planning process. By implementing the use of inclusive planning during the process, it is possible to solve all these challenges. The inclusive planning will increase ability to anticipate possible issues early on, and in this way reduce the risks pouring of concrete involves.

Creating a pouring plan that can be used in its entirety in pouring of similar constructions is not advantageous, as all constructions have their own associated prerequisites, specifications and requirements. Creating a general design of a pouring plan is neither possible nor beneficial. Nevertheless, the methods used in the preparation of this pouring plan may be useful in planning of similar constructions.

# Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Mål og tilnærming .....	1
1.3	Problemstilling.....	2
1.4	Avgrensninger .....	2
1.5	Disposisjon.....	3
2	Teori.....	4
2.1	Regelhierarkiet og loverket.....	4
2.1.1	Loverk.....	4
2.1.2	Beskrivelser og regler.....	4
2.2	Planleggingsteori.....	5
2.2.1	Produksjonsplanlegging.....	5
2.2.2	Lean Construction.....	5
2.2.3	Støpeplan .....	6
2.2.4	Kontrollplan .....	7
2.2.5	Støpedagbok .....	7
2.3	Betongteknologi.....	8
2.3.1	Betong.....	8
2.3.2	Tilslag .....	8
2.3.3	Sement og sementens virkning.....	8
2.3.4	Tilsetningsstoffer og tilsetningsmaterialer .....	9
2.3.5	Herdeteknologi .....	10
2.3.6	Hett97 .....	12
2.3.7	Selvkomprimerende betong .....	12
2.3.8	Lavvarmebetong .....	12
2.4	Praktisk utførelse av betongstøp.....	13
2.4.1	Mottakskontroll .....	13
2.4.2	Før utstøping.....	14
2.4.3	Under utstøping.....	15
2.4.4	Temperaturlogging .....	17
2.4.5	Herdetiltak og etterbehandling .....	17
3	Metode.....	19
3.1	Metodevalg.....	19
3.2	Litteraturstudie .....	19
3.3	Samtaler .....	19

3.4	Programvare .....	19
3.5	Drøfting av valgt metode .....	20
4	Om prosjektet .....	21
4.1	Skanska Norge AS.....	21
4.2	Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger .....	21
4.2.1	Tiltakshaver .....	21
4.2.2	Prosjektering.....	21
4.2.3	Entreprise og kontrakt .....	22
4.2.4	Tidsfrister .....	22
4.3	Rundkjøringslokket .....	22
4.3.1	Grensesnitt.....	22
4.3.2	Konstruksjonens geometri.....	23
4.3.3	Forskaling.....	24
4.3.4	Armering .....	25
4.3.5	Innstøpningsgods og trekkerør .....	26
4.3.6	Betongleverandør .....	26
4.3.7	Utstøping .....	26
5	Resultat og diskusjon.....	27
5.1	Betongresepter .....	27
5.1.1	Forutsetninger reseptvalg.....	27
5.1.2	Hett97 simulering .....	27
5.1.3	Endelig reseptvalg.....	32
5.1.4	Diskusjon.....	33
5.2	Støpeopplegg.....	34
5.2.1	Forutsetninger støpeopplegg .....	34
5.2.2	Første alternativ.....	35
5.2.3	Andre alternativ .....	38
5.2.4	Tredje alternativ.....	40
5.2.5	Sikkerhetsmarginer .....	43
5.2.6	Endelig støpeopplegg.....	43
5.2.7	Diskusjon.....	45
5.3	Bearbeiding og etterbehandling .....	46
5.3.1	Støperør og slange .....	46
5.3.2	Komprimering .....	46
5.3.3	Nivellering og avretting.....	46
5.3.4	Herdetiltak .....	46
5.3.5	Diskusjon.....	47

5.4	Ressurser.....	47
5.4.1	Bemanning.....	47
5.4.2	Utstyr.....	49
5.4.3	Diskusjon.....	49
5.5	Kontrollplan.....	50
5.5.1	Innhold i kontrollplan.....	50
5.5.2	Diskusjon.....	50
5.6	Støpeplan.....	51
5.6.1	Innhold i støpeplan.....	51
5.6.2	Sikker jobbanalyse (SJA).....	51
5.6.3	Diskusjon.....	52
6	Konklusjon.....	53
7	Videre arbeid.....	54
8	Referanseliste.....	55
9	Vedleggsliste.....	57

## Figurliste

Figur 1 Betongens avbindings- og herdeperiode .....	10
Figur 2 Korte og rette støpefronter er lettere å kontrollere .....	15
Figur 3 Lang og ugunstig støpefront med stor fare for ujevnheter .....	15
Figur 4 Gunstig utstøping på skrått underlag .....	16
Figur 5 Lagtykkelser ved dekkestøp .....	16
Figur 6 Oversikt rundkjøringslokkets geometri .....	23
Figur 7 Oversikt fallforhold i overflate .....	23
Figur 8 Forskalingsoverflater .....	24
Figur 9 Oversikt spennarmering .....	25
Figur 10 Vifteformet armering .....	25
Figur 11 Oversikt trekkerør og spennarmering .....	26
Figur 12 Oversikt snitt Hett97 .....	28
Figur 13 Simulering 1 trykkfasthet .....	29
Figur 14 Simulering 1 temperatur .....	29
Figur 15 Simulering 2 trykkfasthet .....	30
Figur 16 Simulering 2 temperatur .....	30
Figur 17 simulering av 40cm høy støpeflo .....	31
Figur 18 Trappeprinsipp .....	33
Figur 19 Eksempel av fargekodet støpeområde .....	35
Figur 20 Skisse floinndeling og nummerering .....	36
Figur 21 Støperetning andre alternativ .....	38
Figur 22 Støperetninger gult støpeområde .....	39
Figur 23 Skisse av forenkling .....	40
Figur 24 Formler og forklaringer til volumberegning .....	41
Figur 25 Pumpeoppsett og rekkevidde .....	42
Figur 26 Startpunkt og støperetning .....	44

## Tabelliste

Tabell 1 Hett97 simuleringsoversikt.....	28
Tabell 2 Laginndeling første alternativ.....	36
Tabell 3 Laginndeling andre alternativ.....	38
Tabell 4 Laginndeling endelig støpeopplegg.....	43
Tabell 5 Utstyrliste.....	49

Forkortelser	
Forkortelse	Forklaring
BP1	Betongpumpe 1
BP2	Betongpumpe 2
BP3	Betongpumpe 3
cm	Centimeter
FA	Flygeaske
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
m	Meter
mm	Millimeter
m <sup>2</sup>	Kvadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
NA	Nasjonalt tillegg
NS1	NS:EN 13670 + NA
NS2	NS:EN 206 + NA
PK2	Håndbok R762 Prosesskode 2
SJA	Sikker jobbanalyse
SKB	Selvkomprimerende betong
STD	Standard
Stk	Stykk
SVV	Statens Vegvesen

Begrepsforklaringer	
Begrep	Forklaring
Avbindingstid	Tiden før betongen går over i fast form
Dissing	Metode for avretting av en betongoverflate
Kaldskjøt	Et utilsiktet skille mellom to tilstøtende betongoverflater som følger av for kort avbindingstid
Lavvarmebetong	Normal betong med lav varmeutvikling
Normalbetong	Normal betong som komprimeres ved hjelp av vibrering
Retarderende tilsetningsstoff (retarder)	Tilsetningsstoff som øker tiden før betongen går over i stiv tilstand
Selvkomprimerende betong	Betong med gode flyteegenskaper som komprimeres ved hjelp av tyngdekraften
Støpefront	Fronten som dannes fremst ved utlegging av betong
Støpeflo	En inndelt mengde betong som skal legges ut om gangen i dekkestøper
Støpeopplegg	En sammensetning av faktorer som direkte påvirker utstøpingen
Støpeplan	En gjennomføringsplan for utstøpingen av en konstruksjon
Støpeskjøt	Skille mellom to tilstøtende betongoverflater
Støpetakt	Takten betongen blir støpt ut i
Utlegging	Plassering av betong
Utstøping	Prosessen som omfatter å fylle forskalingen med betong
V/C-tall	Forholdstallet mellom vann og sement i en betongblanding
Åpen tid	Tiden betong blir liggende åpen, før den blir dekket med et nytt lag betong



# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Betong som byggemateriale er under kontinuerlig utvikling, og det skapes stadig nye egenskaper og bruksområder. I Norge er betongen det mest brukte byggemateriale, og det blir lagt ned mye ressurser til å forske på og utvikle betongen som byggemateriale. Dette gjør at man i dag kan bruke betong til nye formål hvor det tidligere ikke var mulig å benytte betong. De aller fleste større byggverk blir bygget med betong som byggemateriale i større eller mindre grad, på grunn av dens styrke og bestandighet.

I brukonstruksjoner er styrke og bestandighet vesentlige egenskaper, og derfor blir mange av brukonstruksjonene i Norge bygget i betong. I de senere årene har arkitektur og estetikk fått en større påvirkningskraft i utformingen av brukonstruksjoner. Dette har ført til konstruksjoner med utfordrende geometri, og betongens formelighet har dermed også blitt en ettertraktet egenskap i brukonstruksjoner.

I prosjekt Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger ved Sluppen i Trondheim, skal det støpes ut et rundkjøringslokk i tilknytning til ny bru over Nidelva. Tiltakshaver for prosjektet er Statens vegvesen, noe som medfører spesielle krav til utførelse og prosjektering. Rundkjøringslokket er en sammensatt konstruksjon med utfordrende geometri. Konstruksjonen inneholder ifølge kontrakten 3000m<sup>3</sup> betong, og skal støpes ut kontinuerlig. En kontinuerlig utstøping av denne størrelsen forutsetter en omfattende planleggingsprosess for å oppnå et godt resultat.

Skanska er hovedentreprenøren i prosjektet, og har ansvaret for planlegging og utførelse av utstøpingen. Bachelorgruppen har dialog med og får oppfølging av Skanska under arbeidet med oppgaven. Utstøpingen er planlagt gjennomført i slutten av juni 2022.

I flere sammenhenger blir bachelorgruppens egne erfaringer fra byggeplass benyttet til å vurdere problemstillinger i forbindelse med oppgaven. Begge deltakerne i gruppen har fagbrev fra bygg- og anleggsbransjen og har en samlet erfaring på 8 år. Det å kombinere egne erfaringer med Skanskas erfaringer vil være et nyttig hjelpemiddel, da teori fra litteratur ikke kan svare på alle utfordringer.

## 1.2 Mål og tilnærming

Hovedmålet med oppgaven er å utforme en støpeplan, med tilhørende kontrollplan og sikker jobbanalyse, for utstøping av rundkjøringslokket ved prosjekt Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger. Dette skal gjøres ved å benytte involverende planlegging. På denne måten skal det være mulig å ta høyde for de forutsigbare problemstillingene knyttet til utstøpingen av en konstruksjon av denne typen. Støpeplanen skal bestå av beskrivelser og forklarende figurer, samt lister over ressursbehov og dokumentasjonsprosedyre.

Bachelorgruppens utdanning ved NTNU har ikke inneholdt emner som tar for seg produksjonsplanlegging, og det er derfor ønskelig å lære mer om prosessene og metodene som inngår i en slik planlegging. Det er et ønske at oppgaven delvis eller i sin helhet blir benyttet under planleggingsprosessen for utstøpingen av rundkjøringslokket. Samtidig kan det være nyttig for Skanska å se alternative metoder for utarbeiding av en støpeplan, da de i utgangspunktet anvender egne metoder.

Første del av oppgaven består av en litteraturstudie hvor det blir gjort et dykk i den litteraturen som finnes rundt betongteknologi, utførelse av betongkonstruksjoner, produksjonsplanlegging, regel- og lovverk, produksjonsunderlag, og kontrakten for prosjektet. Sammen med litteraturen skal det innhentes erfaringer og synspunkter fra Skanskas prosjekt. Kombinasjonen av litteraturstudien og samarbeidet med Skanska skal danne grunnlaget for å kunne utarbeide en støpeplan.

### 1.3 Problemstilling

Problemstillingen for oppgaven er:

Hvordan redusere gjennomføringsrisikoen for utstøpingen av en stor og sammensatt betongkonstruksjon ved å utarbeide en god støpeplan, med utgangspunkt i rundkjøringslokket ved Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger.

Det skal svares på følgende forskningsspørsmål:

- Hva er hovedutfordringene ved kontinuerlig utstøping av rundkjøringslokket ved prosjekt Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger?
- Hvilket grunnlag bør foreligge for å lage støpeplan for kontinuerlig utstøping av rundkjøringslokket ved Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger?
- Hvordan sikre at kvaliteten blir som forventet for ferdig støpt rundkjøringslokk?
- Hvordan kan man oppnå god HMS ved å lage en SJA for støpeprosessen?

### 1.4 Avgrensninger

Produksjonsplanlegging av en konstruksjon som rundkjøringslokket omfatter mange ulike fagfelt og arbeidsoppgaver innenfor anleggsbransjen. Det å detaljplanlegge hele konstruksjonen ville derfor blitt en svært omfattende oppgave. Ved å avgrense oppgaven til planlegging av utstøpingen, vil det bli mulig å gjennomføre en mer detaljert produksjonsplanlegging.

Produksjonsplanen har blitt utarbeidet uten økonomiske kostnadsberegninger. I produksjonsplaner for masseproduksjon er ofte det økonomiske perspektivet i fokus, da små endringer kan ha en økonomisk gunstig effekt. Ved produksjonsplanlegging av rundkjøringslokket kan konsekvensen av økonomisk motiverte besparinger bli stor. Slike besparinger vil bidra til å øke gjennomføringsrisikoen, og dermed øke risikoen for negative økonomiske konsekvenser. Bachelorgruppen har forsøkt å finne løsninger med effektivisert ressursbruk, som dermed kan forsvares økonomisk.

Ved utarbeidelse av denne oppgaven er det ikke tatt hensyn til miljøbelastningene knyttet til utstøpingen av rundkjøringsløkket. Dette er fordi valgene som har de største konsekvensene for miljøet, allerede er tatt under prosjektering av konstruksjonen. Det har derfor blitt valgt å ekskludere betraktninger av miljøbelastninger, for å kunne gjøre et grundigere arbeid i resterende deler av produksjonsplanleggingen.

Før arbeidet med oppgaven startet ble det besluttet å benytte Skanskas retningslinjer for støpeplan, kontrollplan og SJA i form av ferdig utarbeidede maler. Dette blir gjort for å sikre god overførbarhet dersom planene skal benyttes av Skanska under utførelse.

## 1.5 Disposisjon

Resultatene i oppgaven er fraksjonert utover flere deler som til slutt blir inkludert i den endelige støpeplanen. For å oppnå god leselighet og forståelse, ble det besluttet å inkludere en diskusjonsdel i hvert kapittel i resultatdelen. Dermed blir det ikke satt opp et eget diskusjonskapittel i teksten som diskuterer det totale resultatet, med heller en spesifikk diskusjon for hver del av resultatet.

## 2 Teori

### 2.1 Regelhierarkiet og lovverket

#### 2.1.1 Lowverk

NS-EN 13670 (NS1) er en europeisk standard. Ifølge NS-EN 13670+NA (2009) fungerer standarden som et bindeledd mellom prosjektering og utførelse. Den skal angi et sett av standardiserte tekniske krav til utførelse ved bestilling av en betongkonstruksjon. I tillegg skal den tjene som en sjekklister for den prosjekterende, for å sikre at entreprenøren får oppgitt all relevant teknisk informasjon for utførelse av konstruksjonen. Den europeiske standarden gjelder for alle land som er forpliktet til å innlemme denne i sitt regelhierarki. I tillegg til standarden kommer nasjonale tillegg (NA) med regler og krav som ikke er med, eller er strengere enn den europeiske standarden. (“NS-EN 13670+NA,” 2009)

NS-EN 13670+NA (2009) kapittel 4 Produksjonsledelse, omhandler forutsetninger, dokumentasjon, kvalitetsstyring og tiltak i tilfelle avvik. Kapitlet har også tilhørende nasjonale tillegg:

- Tillegg A (informativ) Veiledning om dokumentasjon
- Tillegg B (informativ) Veiledning om kvalitetsstyring

NS-EN 13670+NA (2009) kapittel 8 Støping, tar for seg den praktiske utførelsen, i tillegg til krav og regler knyttet til støpingen. Kapitlet har også tilhørende tillegg:

- Tillegg F (informativ) Veiledning om støping

NS-EN 206 (NS2) er en standard for spesifikasjoner, egenskaper, framstilling og samsvar under bruk og produksjon av betong. Denne standarden gjelder for plaststøpte konstruksjoner, prefabrikkerte konstruksjoner og lastbærende prefabrikkerte produkter for bygg- og anleggskonstruksjoner (“NS-EN 206,” 2013).

#### 2.1.2 Beskrivelser og regler

Statens vegvesens håndbøker med prosesskoder er samlinger med beskrivende tekster som er gjeldende for prosjekter hvor arbeid utføres for Statens vegvesen. Entreprenører som utfører jobber på oppdrag fra SVV, må følge retningslinjene i prosesskoden. Prosesskoden inneholder tekniske spesifikasjoner, regler for oppbygging/utforming av konkurransegrunnlag, samt regler for måling og avregning av de enkelte arbeidene. (*Prosesskode 2*, 2018)

Håndbok R762 Prosesskode 2 (PK2) er en håndbok med standard beskrivelse for bygging av bruer og kaier. Prosess 84.4 Betongstøp i håndbok R762 Prosesskode 2 (2018), omfatter levering og utstøping av betong, inkludert overflatebehandling, herdetiltak og beskyttelse mot skader på grunn av værforhold. I denne prosessen stilles det krav som blant annet refererer til standardene NS1 og NS2, med noen tilleggskrav.

## 2.2 Planleggingsteori

### 2.2.1 Produksjonsplanlegging

Produksjonsplanlegging handler om å planlegge arbeidsprosessene knyttet til et produkt. Formålet med produksjonsplanlegging er å redusere produksjonstid og kostnader, samt oppnå effektiv ressursbruk under produksjon ("Produksjonsplanlegging," 2016). Planen danner grunnlag for innkjøp, materialer, verktøy og utstyr, maskiner, bemanning og fortjeneste.

Ifølge DIBK (2022) er det ved produksjon i bygg- og anleggsbransjen ofte et tverrfaglig samarbeid mellom ulike aktører og leverandører. Prosjektene har gjerne stramme tidsfrister, og et høyt tempo under produksjon. Det er derfor viktig å utarbeide detaljerte produksjonsplaner for å sikre høy effektivitet, koordinert arbeid og god sikkerhet for utførende. Produksjonsplanen har som hensikt å formidle hva som skal produseres innenfor en gitt tidslinje, og hvor arbeidet skal utføres. En produksjonsplan er knyttet til fremdriftsplanen i prosjektet, men gir en mer detaljert beskrivelse av arbeidsoperasjonene som skal utføres. («Prosjekteringsprosessen», 2022)

I byggeteknisk forskrift (2017) står det at en fullstendig prosjektering av konstruksjonen forutsettes for å kunne utarbeide en produksjonsplan. Produksjonsunderlaget er utarbeidet av prosjekterende og består av arbeidstegninger, beskrivelser, spesifikasjoner og underlagsmaterieell til prosjektet. Produksjonsunderlaget skal tilfredsstillende gjeldende lover og standarder prosjektet er underlagt. Produksjonsplanen skal samsvare med spesifikasjonene i produksjonsunderlaget, og sikre at arbeidet blir utført i henhold til gjeldende prosjektering. Det er prosjekt- og byggeplassledelsen som har ansvaret for å planlegge, organisere, lede og overvåke arbeidene som blir utført. ("Byggeteknisk forskrift (TEK17)," 2017)

I prosjekter hvor det skal utføres betongarbeider underlagt SVV's PK2, stilles det krav til at betongutførelsen tilfredsstiller NS1. Prosesskoden beskriver videre: «Betongarbeider skal planlegges, ledes, gjennomføres fagmessig og med hensyntagen til den aktuelle betongens egenskaper i fersk og herdnende fase.» (*Prosesskode 2*, 2018, 84.4c).

### 2.2.2 Lean Construction

Lean Construction er en produksjonsteknikk som benyttes for å optimalisere ressursbruk og redusere svinn ved produksjon. Planleggingen baserer seg i stor grad på respekt og kommunikasjon mellom involverte i planlegging- og utførelsesfasen av prosjektet. Involverende planlegging kan bidra til å redusere unødvendig tidsforbruk, og skape mer flyt under produksjon. (Lean Construction Institute, 2016)

### 2.2.3 Støpeplan

Før oppstart av betongarbeider må betongarbeidet være grundig planlagt. Feil utførelse av arbeidet kan gi store konsekvenser for prosjektet, enten ved at konstruksjonen må rives og bygges på nytt, eller totalrehabiliteres (Maage, 2019, s.293). I henhold til NS-EN 13670+ NA (2009) kapittel 8.2 (1) skal det utarbeides en støpeplan der dette kreves i produksjonsunderlaget. NA 8.2(1) beskriver når det normalt skal foreligge en skriftlig støpeplan. En støpeplan skal utarbeides der støpearbeidene er kompliserte på grunn av krevende geometri eller utstøpingsforhold, tett armering, stort/langvarig støpearbeid, vanskelige værforhold eller der understøttelsen krever en spesiell utførelse. Dette gjelder også for konstruksjoner som inneholder spennarmering (“NS-EN 13670+NA,” 2009).

Støpeplanen bør ta for seg hele støpeavsnittet, og det bør utformes en sjekklister som samsvarer med støpeplanen. Støpeplanen skal være detaljert nok til at det utførte betongarbeidet tilfredsstillende resultat. (“NS-EN 13670+NA,” 2009)

Støpeplanen bør inneholde (Maage et al., 2019):

- En detaljert beskrivelse av utførelsen
  - Mottakskontroll
  - Støpemetode, med støpeshastigheter, lagtykkelser og komprimering
  - Støperekkefølge
  - Leveringstakt, m<sup>3</sup>/time
  - Forventet støpetid
  - Konsistens på betong, temperatur, luftinnhold og andre eventuelle krav
- Beskrivelse av herdetiltak
  - Tiltak under støping
  - Tiltak etter støping
- Bemanning
  - Produksjonsleder
  - Antall arbeidere på laget
  - Forman/bas-funksjon
- Beskrivelse av utstyr
  - Tobb/pumpe med oppstillingsplass
  - Strøm
  - Antall vibratorer og type/størrelse
  - Avrettingsutstyr
  - Utstyr for herdetiltak
  - Utstyr for å håndtere uventede hendelser, tiltak og reserveutstyr
- Risikovurdering
  - Kritiske prosesser
  - Hva som kan gå galt
  - Hva som gjøres hvis noe går galt

## 2.2.4 Kontrollplan

Der det kreves i produksjonsunderlaget, skal det utarbeides en kontrollplan. Kontrollplanen skal være tilgjengelig på byggeplassen. Det kan utarbeides en felles kontrollplan, eller en overordnet kontrollplan med utvidede kontrollplaner for det aktuelle arbeidet. (“NS-EN 13670+NA,” 2009)

Maage (2019) beskriver at en kontrollplan skal gi oversikt over krav, prøveomfang, henvisning til beskrivelser, sjekklister, og hvem som er ansvarlig leder. En kontrollplan utarbeides for hvert fagfelt. Det skal være fagmessig utført håndverk, og kontrollen skal utarbeide dokumentasjon på at arbeidet er korrekt utført. Dersom det oppdages avvik under utførelsen, skal arbeidet stoppes og tiltak iverksettes for å begrense skadeomfanget. (Maage et al., 2019)

En kontrollplan bør inneholde (“NS-EN 13670+NA,” 2009):

- Krav
- Referanse til standarden og produksjonsunderlaget
- Metoden for kontroll, overvåkning eller prøving
- Definisjonen av kontrollområdet
- Hyppigheten av kontroll eller prøving
- Godkjenningkriteriene
- Dokumentasjonen
- Ansvarlig kontrollør
- Evt. Andre parters medvirkning i kontrollen.

Utførelsesklassene bestemmer hvilke krav som stilles til utførelsen av arbeidet, omfang av kontroll og dokumentasjon av utførelsen. I produksjonsunderlaget skal det være beskrevet hvilken utførelsesklasse konstruksjonen er klassifisert i (“NS-EN 13670 ;,” 2010). NS1 beskriver hvilke krav som er underlagt de ulike utførelsesklassene. Utførelsesklassene går fra 1-3, hvor klasse 3 stiller de høyeste kravene. (Maage et al., 2019)

Entreprenøren har det økonomiske og faglige ansvaret for basiskontroll og internkontroll. Tiltakshaveren har det økonomiske ansvaret for den uavhengige kontrollen. I tillegg stilles det krav til en myndighetskontroll, som er en obligatorisk uavhengig kontroll i henhold til byggeforskriftene. (Maage et al., 2019)

## 2.2.5 Støpedagbok

I en samtale med Skanskas produksjonsleder for betong, blir det opplyst om at det blir ført digital støpedagbok ved de aller fleste av Skanskas prosjekter i dag. Denne inneholder informasjon om alle betongstøper som er utført i prosjektet. Støpedagboken fungerer som en sjekkliste, og er en del av dokumentasjonsprosedyren. Alle deler av konstruksjonen skal kontrolleres, og dokumenteres i støpedagboken. Kontrollpunkter dokumenteres med tidspunkt, bilder, måleverdier og godkjennes av formann eller produksjonsleder.

## 2.3 Betongteknologi

### 2.3.1 Betong

I følge Maage (2019) er betong et komposittmateriale som ved ulik sammensetning endrer egenskaper i form av støpelighet, fasthet og bestandighet. Det kan benyttes tilsetningsstoffer i en betongblanding for å endre egenskapene under utstøping, som igjen kan påvirke egenskapene til den ferdige betongkonstruksjonen. Sand og stein utgjør det man kaller tilslaget i betongen, mens vann og sement er bindemiddelet og blir kalt sementpasta. (Maage et al., 2019)

### 2.3.2 Tilslag

Tilslag har høy fasthet, og blir sortert i ulike størrelser ved sikting. Tilslaget tilsettes betongblandingen med ulike fraksjoner, og skal danne en struktur for å redusere hulrommene mellom tilslagspartiklene. Hulrommet fylles med sementpasta (matrix) og filler (tilslag med størrelse mindre enn 0.125mm). Fordelingen av tilslagspartikler i en betongsammensetning henger sammen med støpeligheten til betongen, da det er ønskelig med et matrixoverskudd for å gjøre betongen enklere å bearbeide. (Gjerp et al., 2004)

### 2.3.3 Sement og sementens virkning

Sementen som benyttes i Norge er ulike typer portlandsementer fra ulike produsenter. I NS2-1 heter det at sementen skal velges blant de det er påvist egnethet for og det skal tas hensyn til:

- Utførelse av betongarbeidet
- Betongens sluttbruk
- Herdebetingelser (for eksempel varmebehandling)
- Konstruksjonens dimensjon (varmeutvikling)
- Miljøforhold konstruksjonen vil bli utsatt for (eksponeringsklasser)
- Tilslagets mulige reaksjon med alkalier fra delmaterialene

(Pål et al., 2004, s.26)

Forholdet mellom vann og sement i betongen, v/c-tallet, er også et forhold det må tas hensyn til ved vurdering av temperaturutviklingen i betong. Større v/c-tall gir en større mengde vann for sementen å reagere med, og dermed økt varmeutvikling (Gjerp et al., 2004).

Gjerp (2004) skriver at sementens finhet også henger sammen med varmeutviklingen og fastheten. Dette fordi en finere malt sement gir større total overflate for vannet å reagere med. En finere malt sement vil ha raskere varmeutvikling og fasthetsutvikling, enn en grovere malt sement. Fastheten til den ferdige betongen øker også med finmalingsgraden. Det er derfor viktig å finne en kombinasjon av disse faktorene, for å finne en balansegang mellom varme- og fasthetsutvikling. (Gjerp et al., 2004)



### 2.3.4 Tilsetningsstoffer og tilsetningsmaterialer

De aller fleste betonger som benyttes i dag inneholder tilsetningsstoffer. Tilsetningsstoffene benyttes til å forbedre betongens egenskaper, og tilpasse betongen til formålet. I NS-EN stilles det krav til at den totale mengden tilsetningsstoffer, ikke skal overstige den største doseringen som er anbefalt av produsenten. Det skal ikke tilsettes mer enn 50 gram tilsetningsstoff per kg sement, med mindre virkningen på betongens egenskaper og bestandighet er kartlagt. (Pål et al., 2004, s.34)

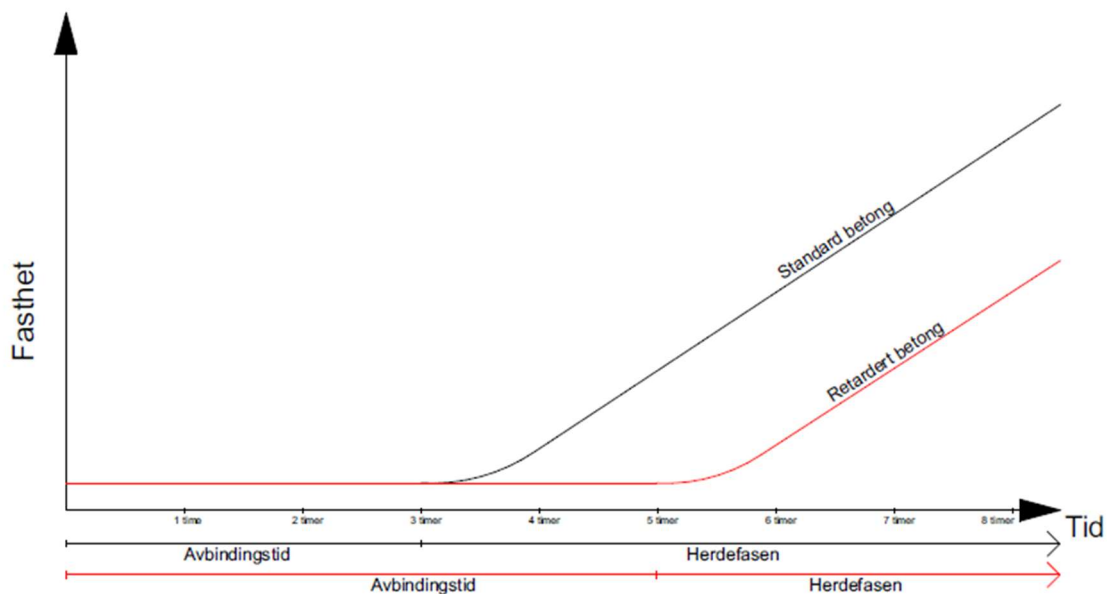
Tilsetningsstoffene kan deles inn i følgende kategorier (Gjerp et al., 2004):

- Vannreducerende/plastiserende
- Superplastiserende
- Størkningsretarderende
- Størkningsakselererende
- Herdingsakselererende
- Luftinnførende

I tillegg til tilsetningsstoffene finnes det tilsetningsmaterialer som også benyttes i de fleste betongblandinger. Tilsetningsmaterialene deles mellom mineralsk filler og pigmenter, og pozzolane materialer. Pozzolane materialer øker betongens pH-verdi, og bidrar til fasthetsutviklingen. Eksempler på pozzolane materialer er silikastøv, flygeaske og granulert slagg (Gjerp et al., 2004).

Overgangen fra flytende til fast materiale kalles avbindingsfasen. Avbindingen har en normal varighet på 2-4 timer ved 20 °C, og er avhengig av sementens egenskaper, temperaturen og innhold av tilsetningsstoffer (Maage et al., 2019). Imot slutten av avbindingsfasen blir betongen et fast stoff og mister all sin støpelighet, før den går over i herdefasen og øker i trykkfasthet (Maage et al., 2019).

I følge Gjerp (2004) hemmer størkningsretarderende tilsetningsstoffer (retarder) hydratiseringen av sementen ved at det legger seg som en tungt løselig hinne rundt sementkornene. Retarderende tilsetningsstoffer benyttes om man ønsker å forlenge betongens avbindingstid, unngå utilsiktede støpeskjøter, benytte betongpumpe, eller unngå rask størkning i varmt vær. Effekten retarderende tilsetningsstoffer har er visualisert i figur 1. Retarder kan også benyttes dersom man skal støpe massive konstruksjoner, for å redusere maksimaltemperaturen. (Gjerp et al., 2004)



Figur 1 Betongens avbindings- og herdeperiode. Basert på figur fra (Maage et al., 2019)

Ifølge betongteknolog Sverre Smeplass kan retarderende tilsetningsstoffer benyttes hvor det er hensiktsmessig, men for store doseringer kan føre til at retarderingen kommer ut av kontroll. Det anbefales ikke å retardere en betongblanding mer enn 6 timer, i tillegg til den originale avbindingstiden, da en ukontrollert retardasjon også har negative innvirkninger på fastheten til betongen. I tillegg kan unødvendig lang retardering føre til redusert framdrift i produksjon. Bruk av retarderende tilsetningsstoffer kan også føre til at betong som har en tendens til utskilling av vann, får en større vannutskilling.

### 2.3.5 Herdeteknologi

Perioden fra betongen støpes ut til det meste av herdevarmen er utviklet, er en kritisk periode for betongen. I denne perioden kan betongen skades av frost, for høy temperatur eller oppsprekking som en følge av for store temperaturforskjeller. (Gjerp et al., 2004)

Rett etter betongen slippes ned i formen, har den egenskaper som gjør den enkel å bearbeide og støpe ut. I mange tilfeller er det ønskelig å justere avbindingstiden. Eksempler på dette er store konstruksjoner med store støpefronter, eller konstruksjoner hvor forskalingen må rives tidlig. (Maage et al., 2019)

Tiden betongen bruker på avbinding og herding avhenger av faktorer som (Maage et al., 2019):

- Sementtype og sementmengde
- Tilsetningsstoffer og doseringsmengde
- Silikastøv
- Blandetemperatur
- Lufttemperatur og vind
- Forskalingstype
- Isolering

I de tilfeller det er ønskelig å justere avbindingstiden kan det tilsettes retarderende tilsetningsstoffer for å forlenge tiden man har til rådighet (Gjerp et al., 2004). I dialog med betongteknolog Sverre Smeplass ble det enighet om at bruk av retarder er gunstig i utstøpinger hvor åpen tid er en problemstilling. Åpen tid er den tiden det tar før utlagt betong blir dekket med fersk betong. Betongens åpne tid må være kortere enn avbindingstiden for å oppnå en kontinuerlig utstøping. For lang åpen tid på betongen vil kunne føre til utilsiktede støpeskjøter mellom lag, også kalt kaldskjøter.

Herdeprosessen i betongen henger tett sammen med temperaturutviklingen, da både økt styrke og økt temperatur er resultater av reaksjonen mellom vann og sement i betong. Økt temperatur under herding akselerer herdeprosessen i betongen (Maage et al., 2019). Referansetemperaturen som benyttes under den normerte fasthetsutviklingen er 20°C. Ved trykkprøving av betongblandinger legges betongterninger i vannbad med tilsvarende temperatur. Prøveresultatene kan avvike fra utstøpt betong, på grunn av ulikheter i tverrsnitt og omgivelsestemperaturer (Maage et al., 2019).

Dersom betongens temperaturutvikling uten varmetap er kjent, altså i en adiabatisk prosess, kan den faktiske temperaturutviklingen beregnes. Hvilke faktorer som gir varmetap må kartlegges, for å beregne hvordan dette påvirker temperaturutviklingen (Maage et al., 2019). Slike beregninger kan gjøres i Hett97 som er nærmere forklart i kapittel 2.3.6.

Faktorer som er av betydning for størrelsen på varmetapet og temperaturutviklingen er (Gjerp et al., 2004):

- Lufttemperatur
- Vind
- Forskalingstype
- Konstruksjonens dimensjon
- Eventuell isolasjon
- Utgangstemperaturen på betongblandingen

I henhold til NS1 8.5 (13) skal ikke betongens maksimaltemperatur overskride 70°C, med mindre det kan fremlegges dokumentasjon på at høyere temperatur ikke vil ha noen nevneverdig negativ effekt på betongens langtidsegenskaper. Faren for å overskride maksimal herdetemperatur er størst under herdeprosessen, på grunn av varmeutviklingen. For høy temperatur i betongens tidlige fase kan føre til forsinket ettringitt-dannelse ("NS-EN 13670+NA," 2009), som igjen kan resultere i at betongkonstruksjonen smuldrer opp over tid (Bryhni, 2020).

### 2.3.6 Hett97

Dr. Fredvik beskriver Hett 97 som en programvare utviklet av Norcem for å simulere temperatur og fasthetsutvikling i en konstruksjon. Dette er et nyttig planleggingsverktøy i Norge, fordi det er lange vintre med lave temperaturer og strenge krav til fasthetsutvikling. Betong blir også brukt i store konstruksjoner, hvor herdetemperaturen kan føre til skader på konstruksjonen. Programmet tar hensyn til betongsammensetningens varme- og fasthetsutvikling, konstruksjonstype, dimensjoner, forskalingstyper, lufttemperatur og vindforhold. Når disse opplysningene er lagt inn i Hett97, kan det gi svar på (Dr. Fredvik, 2022):

- Når forskalingen kan rives
- Hva må eventuelt gjøres for å rive etter fremdriftsplanen
- Anbefalt sementmengde
- Anbefalt betongtemperatur
- Anbefalt forskalingstype
- Om det er fare for at betongen fryser
- Tildekking av betongen, evt. hvor lenge
- Om det vil være fare for opprissing ved formriving

### 2.3.7 Selvkomprimerende betong

Selvkomprimerende betong (SKB) er ifølge NS-EN 206 (2013) betong som kan flyte ut og komprimeres ved hjelp av egenvekt. SKB skal kunne fylle forskalinger med armering, kanaler og utsparinger, uten hjelp av vibrering. På denne måten vil bruken av SKB redusere behovet for mannskap og utstyr under utstøping.

SKB må i høyere grad følges opp, for å opprettholde sine utstøpingsegenskaper. SKB skal spesielt iakttas med hensyn til separasjonsfaren, og ved mottakskontrollen skal betongens separasjonstendens vurderes ved observasjon av mørtelrand og steinoppbygging. Kravene til prøving før, og etter start av utstøping er ulike fra kravene til vanlig vibrert betong. (*Prosesskode 2*, 2018)

### 2.3.8 Lavvarmebetong

Lavvarmebetong er en betongtype hvor det er gjort tiltak for å redusere betongens varmeutvikling. Reduksjonen av varmeutviklingen blir gjort ved å erstatte portlandsement med tilsetningsmaterialer som for eksempel flygeaske. Lavvarmebetong benyttes hovedsakelig for å redusere maksimal temperatur i herdende betong, og/eller redusere temperaturdifferansen gjennom tverrsnittet (Skjølsvik et al., 2018). Noe av utfordringene som kan oppstå ved bruk av lavvarmebetong er knyttet til herdingen i betongen. Ved en mildere temperaturutvikling vil ikke herdingen skje like fort, noe som kan medføre at forskaling må stå lenger før riving ("Betong, Typer, egenskaper og bruksområder," 2016).

## 2.4 Praktisk utførelse av betongstøp

### 2.4.1 Mottakskontroll

Ved mottak av betong på byggeplass skal utførende gjennomføre en mottakskontroll i samsvar med NS1. Hensikten med en mottakskontroll er å kontrollere at betongen er levert med korrekt betongkvalitet til riktig byggeplass, samt kontrollere at betongens støpelighet samsvarer med bestillingen. (Maage et al., 2019)

Konstruksjonens utførelsesklasse bestemmer hvor omfattende mottakskontrollen er. I utførelsesklasse 1 og 2 kontrolleres betongens følgeseddel før lossing, mens i utførelsesklasse 3 er det også krav om materialkontroll som innebærer (Maage et al., 2019):

- Identitetsprøving av trykkfasthet og støpelighet for minimum hver påbegynt 200m<sup>3</sup> eller hvert påbegynt støpskift.
- I utstøpinger hvor det er krav til luftinnhold ved oppstart og ved hver påbegynt 50m<sup>3</sup> eller 3. time.

Ved bruk av SKB er det i tillegg krav til måling og kontroll av synkutbredelse og utflytningstid ved start av støp (Maage et al., 2019).

Maage (2019) beskriver mottakskontroll i de neste to avsnittene.

Formålet med en identitetsprøving av trykkfasthet er å påvise at betongen som er mottatt, tilhører samme betongvariant det er dokumentert samsvar for med kravene til karakteristisk fasthet. Identitetsprøving utføres av entreprenør, og skal ikke erstatte betongleverandørens samsvarskontroll. Trykkprøvingen av prøvestykkene skal enten utføres på godkjent byggeplasselaboratorium, annet godkjent laboratorium eller hos betongleverandøren. Entreprenøren skal være til stede og delta på trykkprøven. (Maage et al., 2019)

Uavhengig av utførelsesklasse anbefales det å ha tilgjengelig en synkkjegle på byggeplass, slik at en kan måle synk dersom betongens visuelle uttrykk ikke er som forventet. Hvis betongens konsistens ikke er innenfor gitte toleransekrav, kan det tilsettes superplastiserende-stoffer (SP-stoffer) på byggeplass. I tillegg kan det tilsettes vann, så lenge det kan dokumenteres at betongsammensetningen overholder de tillatte grenseverdiene. Korrigering av betongens sammensetning på byggeplass er betongleverandørens ansvar, ikke entreprenørens. (Maage et al., 2019)

## 2.4.2 Før utstøping

Før utstøpingen begynner er det nødvendig å kontrollere at alt er klart, før betongen ankommer byggeplassen. En godt forberedt byggeplass er gunstig både sikkerhetsmessig, økonomisk og for fremdriften i prosjektet (Maage et al., 2019). Det vil være hensiktsmessig å gjennomgå støpeplan og sikker jobbanalyse i et orienteringsmøte før oppstart av utstøping.

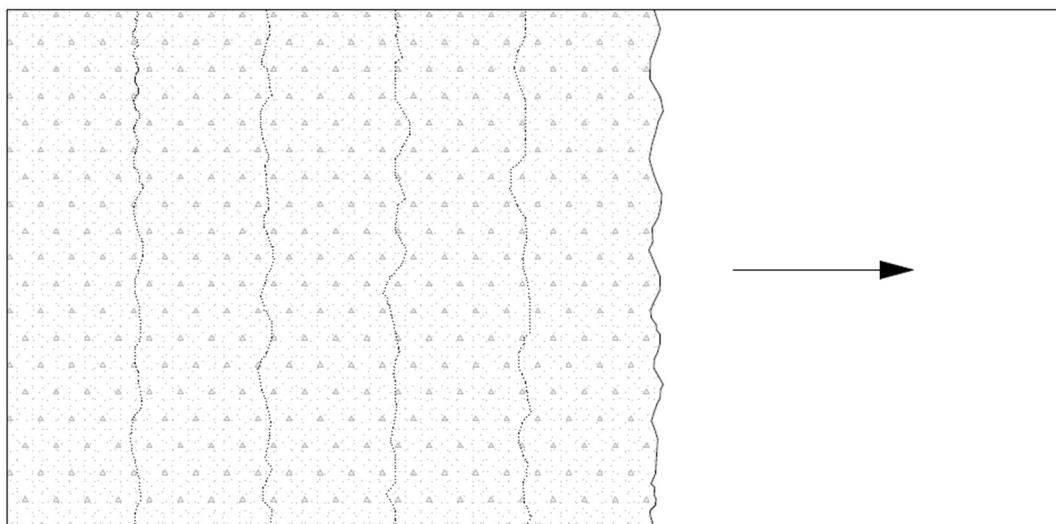
Været er en medvirkende faktor en ikke kan kontrollere. Det er derfor nødvendig å gjøre ulike tiltak før arbeidet starter, ut ifra hvilket vær det er ved utstøping. Større mengder nedbør kan føre til vannansamlinger i støpeformen. Hvis vannet ikke føres ut av formen kan det oppstå vannlommer i konstruksjonen. Dette kan blant annet resultere i svekket styrke, rustdannelser i armering og frostspreng. Høy temperatur og mye sol vil kunne føre til fordamping av vann og ukontrollert herdeforløp. Ved høye temperaturer er tildekking og vanning nødvendige tiltak for å unngå plastisk svinn (Maage et al., 2019).

### 2.4.3 Under utstøping

Dekkestøper utføres som oftest under åpen himmel. Værforholdene vil derfor bestemme hvilke tiltak som skal iverksettes ved utstøping (Maage et al., 2019).

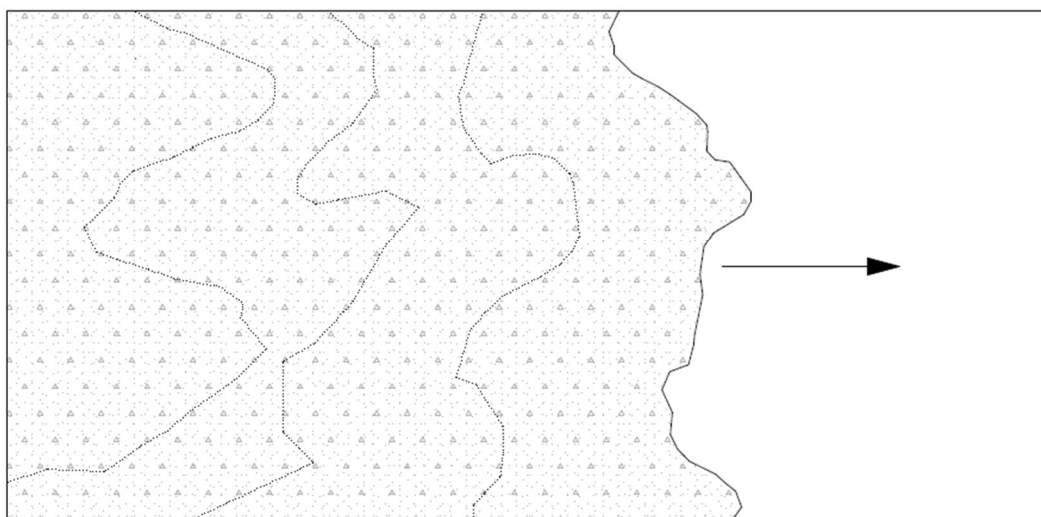
Utstøpingen av dekker skal gjennomføres systematisk, fra en side til den andre. Støpefronten skal være rett og så kort som mulig, slik at en reduserer utfordringer knyttet til å holde støpefronten varm (Maage et al., 2019). Gunstige og ugunstige støpefronter er visualisert i figur 2 og 3.

#### Gunstig støpefront



Figur 2 Korte og rette støpefronter er lettere å kontrollere. Basert på figur fra (Maage et al., 2019)

#### Ugunstig støpefront

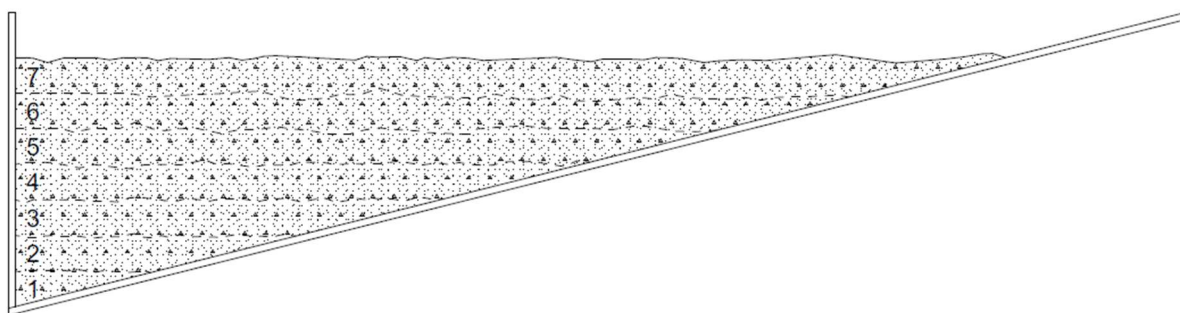


Figur 3 Lang og ugunstig støpefront med stor fare for ujevnheter. Basert på figur fra (Maage et al., 2019) 4

Komprimering av betongen skal sørge for at betongen fyller hele forskalingsformens hulrom og omslutter armeringen med god heft. Vibratoren skal stikkes raskt loddrett ned i betongen, og dras sakte opp. Den skal benyttes systematisk med en maksimal avstand på 10 ganger vibratorens diameter på de store flatene, og 3-4 ganger vibratorens diameter langs kantene (Maage et al., 2019). Om utstøpingen er delt opp i horisontale lag skal lagene vibreres sammen for å unngå utilsiktede støpeskjøter (Maage et al., 2019).

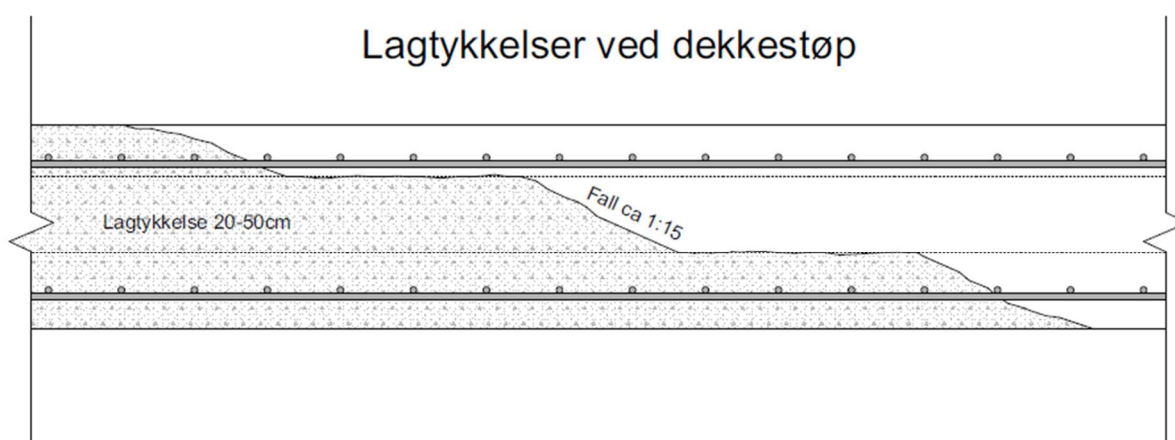
Ved utstøping på skrått underlag, skal betongen støpes ut som i en normal dekkestøp ved å støpe lagvis fra bunnen og opp som vist i figur 4. Dersom betongen legges ut fra toppen og vibreres nedover medfører dette fare for setningsriss og separasjon av betongen (Maage et al., 2019).

#### Riktig utstøping på skrått underlag



Figur 4 Gunstig utstøping på skrått underlag. Basert på figur fra (Maage et al., 2019)

Det er viktig at betongen legges ut så jevnt som mulig, og ikke i hauger som vibreres ut. Ved utstøping av dekker med tykkelser større enn 40cm, skal dekke støpes lagvis i gunstige tykkelser som beskrevet i figur 5. Topplaget støpes i mindre tykkelser, og vibreres sammen med det underliggende laget. (Maage et al., 2019)



Figur 5 Lagtykkelser ved dekkestøp. Basert på figur fra (Maage et al., 2019)



Følgende to avsnitt er basert på Maage (2019).

Dersom betongen slippes rett ned i formen, skal den normalt kunne tåle et fall på 2 m. Betong skal ikke slippes gjennom armeringen, slik at den spaltes av armeringsjernene. Ved bruk av pumpe som utstøpingsmetode, skal pumpe slangen føres ned igjennom armeringsjernene. Det anbefales en maksimal slipp høyde på 0,5 m ved bruk av slange. Avstanden mellom nedslippene bestemmes av betongens utbredelseegenskaper. (Maage et al., 2019)

Utfordringen er konstruksjoner med høye tverrsnitt og tett armering i flere lag, som gjør at tilslaget i betongen ikke kan passere fritt gjennom armeringslagene. Det øker sjansen for separasjon, steinreir og vanskeligheter med å vibrere betongen korrekt. Som et tiltak for å redusere faren for spaltning av betongen, samt effektivisere utstøpingen, kan det forhåndsmonteres støperør. Med forhåndsmonterte støperør slipper man å tre pumpe slangen gjennom armeringslagene ved utstøping. I områder med svært høy armeringstetthet, bør det prosjekteres inn og tilpasses åpninger slik at det er mulig å pumpe betongen ned i formen. Den utførende kan ikke tilpasse armeringen uten at det er godkjent fra den prosjekterende. (Maage et al., 2019)

For å oppnå en jevn og glatt betongoverflate, skal overflaten avrettes med en flytavretter eller vibrobrygge. Den beste måten å sikre effektiv avretting og komprimering av overflaten på er å benytte en vibrobrygge. Vibrobrygge er et avrettingsverktøy som komprimerer ved hjelp av en vibreringsfunksjon i bryggen. Denne kan bygges til ønsket bredde etter behov. Vibrobryggen føres sakte fremover med et jevnt press mot mørtelsjiktet ("Betonggulv på grunnen," 2003).

#### 2.4.4 Temperaturlogging

Ved utstøping av store konstruksjoner med mistanke om at det kan oppstå ugunstig lave eller høye herdetemperaturer, kan det være hensiktsmessig å montere en temperaturlogger. Denne dataloggeren kan kobles til flere følere, som plasseres i utsatte soner i konstruksjonen. Typiske plasseringer av disse følerne er overdekningssonen, støpeskjøter eller i det punktet i konstruksjonen som er omsluttet av mest betong. Ved å laste opp målingene ved endt temperaturlogging, kan man ved hjelp av programvare danne grafer og visualisere temperaturutviklingen i konstruksjonen. Ved hjelp av måledataene kan man kontrollere konstruksjonens herdeforløp. ("Oppfølging herdeforløp," 2011)

I PK2 stilles det krav til at entreprenør, ved trykkfasthetsprøving eller temperaturmåling, skal forvise seg om at betongen har oppnådd tilstrekkelig trykkfasthet og stivhet før forskalingen rives. (*Prosesskode 2*, 2018)

#### 2.4.5 Herdetiltak og etterbehandling

De nødvendige herdetiltakene varierer med vær- og temperaturforhold. På sommerstid med varmt vær er hensikten å holde temperaturen i betongen nede i herdefasen, og beskytte betongen mot fordampning av vann for å unngå plastiske svinn. (Maage et al., 2019)

Ved store dekkestøper under åpen himmel, kreves det nøye planlegging av herdetiltak og etterbehandling. Utførelsen strekker seg ofte over lang tid, og i en del tilfeller må herdetiltak med herdemembran, vann og tildekking starte før avrettingen av betongen er ferdig på hele dekke. (Maage et al., 2019)

Rett etter betongoverflaten er avrettet, bør det påføres herdemembran. Herdemembran er en løsning, som påføres betongen ved hjelp av en lavtrykkssprøyte. Membranen danner en synlig film på overflaten, som beskytter betongen mot uttørking og vannfordamping. (“Etterbehandling av betong,” 2021)

Diffusjonstett plastfolie gir god beskyttelse mot for hurtig uttørking av betongoverflaten. Plastfolien legges ut så snart betongen har størknet nok til at folien ikke etterlater merker i overflaten. For å unngå luftbobler og sikre at plastfolien har full kontakt med betongoverflaten, kan den vannes etter utstøping. Plastfolien bør ligge i 2-3 uker for å hindre svinnriss i overflaten. (“Betonggulv på grunnen,” 2003)

Vanning av overflaten sikrer at betongen har tilgang til nok fuktighet under herdeprosessen. Det bør tilføres jevnlig med vann i dagene etter utstøping, slik at overflaten holdes fuktig. Vanning av overflaten bør unngås inntil betongen har størknet nok til å unngå utvasking av overflatesjiktet. (“Betonggulv på grunnen,” 2003)

## 3 Metode

### 3.1 Metodevalg

Metodekapittelet beskriver hvilke metoder bachelorgruppen har valgt for å gjennomføre oppgaven, og gir en oversikt over metodene som er benyttet og hvorfor. Arbeidsmetodene er en kombinasjon mellom litteraturstudier og samtaler med hovedentreprenør Skanska. I arbeidet med prosjektet har gruppen i hovedsak valgt å benytte kvalitativ metode, ved å gå i dybden av temaet. En vurdering av de valgte metodene blir også gjort i dette kapittelet.

### 3.2 Litteraturstudie

I arbeidet med oppgaven ble det gjennomført en systematisk litteraturstudie. Det blir benyttet flere bøker fra NTNUs universitetsbiblioteket, og ordinære nettsøk. Prosjektets kontrakt, med tilhørende prosesskoder fra Statens vegvesen, blir studert som en del av produksjonsunderlaget. Gjeldende lov- og regelverk blir anvendt for å vise til at prosjektet blir gjennomført i henhold til dette.

### 3.3 Samtaler

Under arbeid med oppgaven ble det gjennomført flere samtaler med Skanska, for å samle inn ulike erfaringer og synsvinkler på forskjellige aspekter av oppgaven. Bachelorgruppen har kontinuerlig fulgt opp produksjon og planlegging på prosjektet, da prosjektet er lett tilgjengelig.

For å samle inn erfaringer har bachelorgruppen gjennomført samtaler med utvalgte betongarbeidere, med god erfaring fra brystøper. På denne måten kunne erfaringsbasert informasjon hjelpe gruppen å løse oppgaven. Ved å gjennomføre samtaler og spørsmålsrunder med funksjonærer i Skanskas prosjekt, fikk gruppen et innblikk i Skanskas fremgangsmåte ved produksjonsplanlegging av denne typen konstruksjoner.

### 3.4 Programvare

Graphisoft Archicad er et BIM-verktøy for modellering i 3D, og kan benyttes for å produsere 2D-tegninger og 3D-tegninger. Archicad ga bachelorgruppen muligheten til å laste opp tegningene fra produksjonsunderlaget med riktig målestokk, og bruke disse til å produsere figurer, skisser, og gjøre oppmålinger av konstruksjonen. Enkelte figurer er egenprodusert, mens andre ble produsert ved å ta utgangspunkt i ferdigproduserte tegninger fra produksjonsunderlaget.

For å simulere herdevarme- og fasthetsutvikling i betongkonstruksjonen benyttet bachelorgruppen Hett97. Simuleringen brukes i hovedsak for å undersøke behovet for kjøling av betongen, betongresepter av lavvarmevarianter og for å kunne gjøre en begrunnet vurdering av maksimal og minimal lufttemperatur under utstøping (Dr. Fredvik, 2022). Hett97 er nærmere beskrevet i kapittel 2.3.6.

Microsoft Excel er et regneark-program som er hensiktsmessig å bruke ved gjentatte beregninger. Gruppen benyttet regneark under beregning av volum og tidsbruk, for å optimalisere støpeopplegget med hensyn på betongens åpne tid.

### 3.5 Drøfting av valgt metode

Ved å benytte litteraturstudie fikk bachelorgruppen en oversikt over deler av den teorien som eksisterer for feltet gruppen opererer i. En systematisk litteraturstudie med smalt fokus og godt definerte problemstillinger gjorde at litteraturstudien kunne gjøres ved innhenting av teoretiske data i form av bøker og dokumenter. Noe av problematikken gruppen støtte på ved å benytte en systematisk litteraturstudie, var at det eksisterer mye generell teori rundt tema oppgaven omhandler, men ikke fullt så mye spesifikt som kunne hjelpe til med oppgaveløsningen.

I og med at teori om produksjonsplanlegging av denne typen er begrenset, blir studien i stor grad basert på erfaringer og informasjon fra Skanska. Kompetansen gruppen har tilgjengelig gjennom kontaktpersoner i prosjektet er bred. Dette forsterker gyldigheten av informasjon hentet fra samtaler og erfaringssamling. Dette kan imidlertid føre til nøytralitetsproblemer med tanke på at firmaspesifikke prosedyrer og metoder besvarer problemstillingene på ulik måte. Skanskas erfaring og synspunkter er i stor grad med på å forme fremgangsmåten i studien, og dette kan bidra til at studien blir mindre anvendbar på generell basis.

Egne erfaringer har også vært en faktor i arbeidet med oppgaven. Erfaringene ble i hovedsak brukt for å gjøre enkle antakelser og vurderinger. På denne måten er ikke oppgaven basert på bachelorgruppens egne erfaringer på lik linje med Skanskas erfaringer, men har bidratt til å forme arbeidet med oppgaven.

## 4 Om prosjektet

### 4.1 Skanska Norge AS

Skanska Norge AS er et av Norges største bygg- og anleggsfirma, og har i lengre tid drevet veg- og infrastrukturanlegg for SVV. Skanska har derfor god erfaring og stor kompetanse med å drive slike anlegg, noe som er viktig da man må forholde seg til andre regler og beskrivelser enn ved private anleggsprosjekter. (Berggård, 2021)

### 4.2 Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger

Prosjektet Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger startet opp i oktober 2020 og skal stå ferdig våren 2024. Det består av en ny skråstagbru som skal ta biltrafikken over Nidelven og erstatte dagens Sluppen bru. I tillegg til Nydalsbrua skal det bygges flere mindre bruer over Leiroselva, og to rampebruer som adkomstveier opp til hovedbrua. Tilhørende infrastruktur og tilknytninger til eksisterende veinett er også en del av prosjektet. (Berggård, 2021)

#### 4.2.1 Tiltakshaver

SVV er en offentlig instans som skal sørge for at veier i Norge blir bygget på en sikker og bærekraftig måte, og stiller derfor spesielle krav til prosjektering og utførelse. De spesielle kravene kan være prosjektspesifikke eller generelle og er samlet i SVVs egne håndbøker. Håndbøkene inneholder normaler, retningslinjer og veiledninger som skal følges ved bygging av offentlig vei. (Berggård, 2021)

#### 4.2.2 Prosjektering

All prosjektering ble utført direkte mot SVV av Aas Jacobsen AS med underkonsulenter. Det ble produsert et fullstendig produksjonsunderlag for prosjektet. Produksjonsunderlaget ble ferdigstilt før prosjektets oppstart, og dannet grunnlaget for kontrakten Skanska vant anbudet på. Som en del av produksjonsunderlaget ble hele prosjektet modellert i en 3D-modell. Denne modellen inneholder geometriske data som benyttes av stikningsarbeidere under produksjon. Den benyttes også under mengdeoppmåling og kalkulasjon, samtidig som det er et viktig hjelpemiddel for å visualisere prosjektet. (Berggård, 2021)

### 4.2.3 Entreprise og kontrakt

Prosjektet Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger er en hovedentreprise, og kontraktstypen er en enhetspriskontrakt. I en enhetspriskontrakt får entreprenøren oppgjør for oppmålte utførte mengder basert på de enhetspriser som jobben er vunnet på. (Berggård, 2021)

Kontrakten for prosjektet er verdt 805 millioner kroner, og Skanska utfører deler av kontrakten i egenregi med eget utførelsesgrunnlag som eksempelvis prosjektering og montering av forskaling. Skanska legger også ut underentrepriser på deler av hovedentreprisen som de av ulike grunner velger å ikke utføre selv. Kontrakten er basert på prosesskodens beskrivelser sammen med prosjekterte mengder. (Kontrakt Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger E2 Hovedentreprise, 2019)

### 4.2.4 Tidsfrister

Prosjektet skal ifølge kontrakten ferdigstilles i 2024, men Skanska har tatt sikte på å ferdigstille høsten 2023. Utover dette har ikke prosjektet spesifikke frister å forholde seg til, likevel blir fremdriften tett fulgt opp av både entreprenør og byggherre for at ferdigstillingsdato skal overholdes. Anlegget drives samtidig som Osloveien periodevis er åpen og stengt, da sikker samhandling mellom tredjepart og anlegget må ivaretas. Dette medfører at enkelte arbeidsoperasjoner får egne tidsfrister som må overholdes. (Berggård, 2021)

## 4.3 Rundkjøringslokket

### 4.3.1 Grensesnitt

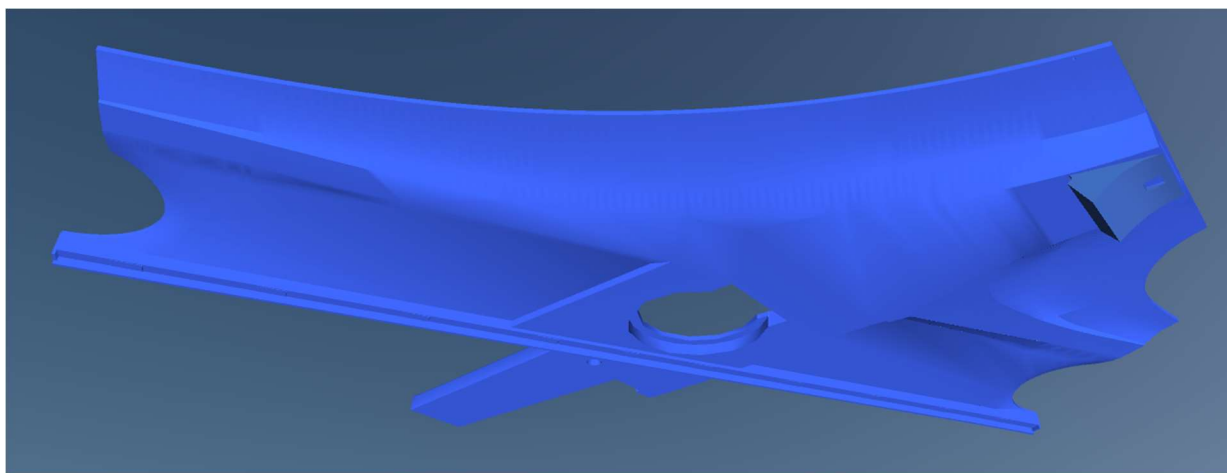
Bacheloroppgaven omhandler konstruksjonen med prosjektbeskrivelse K11 Rundkjøringslokket. Dette er en massiv dekkekonstruksjon med slakkarmering og spennarmering. Til sammen skal omtrent 3000 m<sup>3</sup> betong og 500 tonn armering skal danne konstruksjonen.

Rundkjøringslokket møter rampebruer i sør- og nordgående kjøreretning ut mot elva, mens motgående kjøreretninger på begge sider er anlagt på grunn. I østenden av rundkjøringslokket kommer hovedbruas 4 felt i dimensjoneringsklasse H6. På vestsiden av rundkjøringslokket er det drevet to tunnellop for å danne forankringen av kablene til hovedbrua. Rundkjøringslokket vil ligge an på en støttemur i vest og søyler både fast innspent og fritt opplagt. («Produksjonsunderlag», 2019)

Oppgaven baseres på utstøpingen av rundkjøringslokket, og omhandler derfor armering og forskaling i liten grad. Forskalingen og armeringen beskrives kort for å danne et inntrykk av hele konstruksjonen, samtidig som forskalingen og armeringen vil ha innvirkning på utstøpingen.

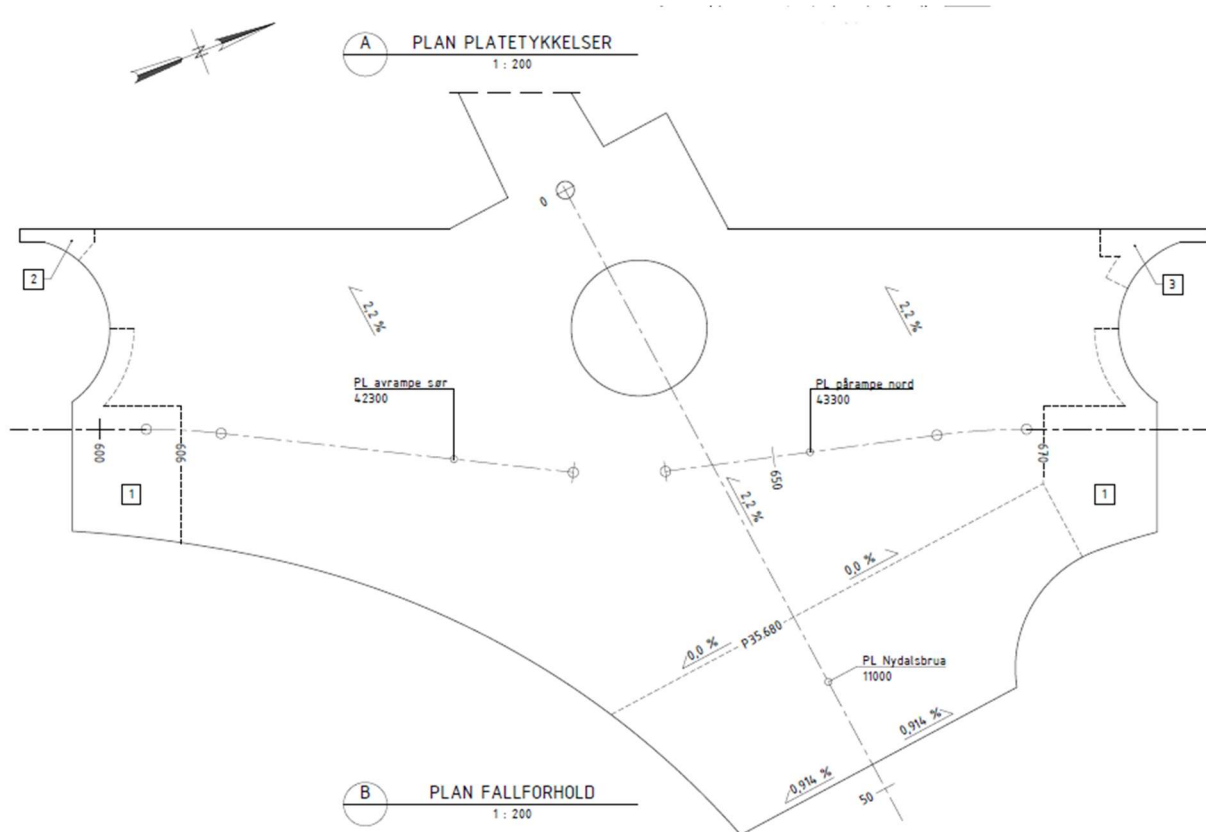
### 4.3.2 Konstruksjonens geometri

Rundkjøringslokket strekker seg ut 80 m i lengderetning og 40 m i bredden, som gjør at toppen av konstruksjonen vil ha et areal på 2540 m<sup>2</sup>. Dekke har også store variasjoner i dybde, og varierer fra 4 m i søyletoppen til 0,3 m ute ved kantdragerene («Produksjonsunderlag», 2019). Ulike statiske belastninger gjør at dybdeforskjellen på undersiden av lokket er bueformet, og danner sammen med bordforskalingen i krumningene en estetisk fin konstruksjon som vist i figur 6.



Figur 6 Oversikt rundkjøringslokkets geometri. Utklipp fra 3D-samordningsmodell («Produksjonsunderlag», 2019)

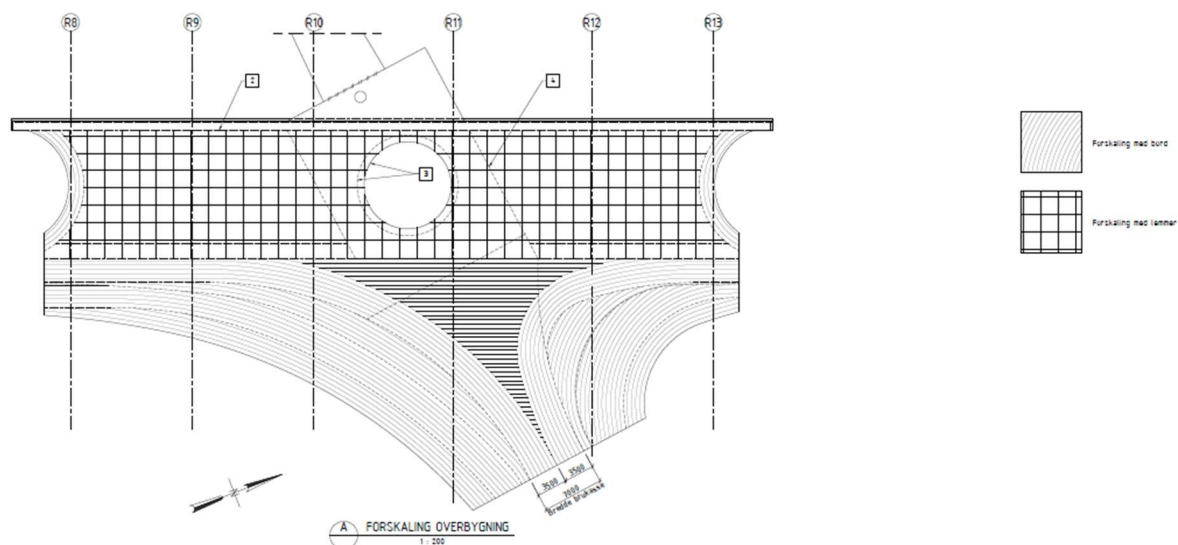
Fallforhold i overflaten av rundkjøringslokket utgjør også en viss høydeforskjell da avstandene er såpass store. Fallet skal sørge for god avrenning av vann på ferdig avrettet dekke. Oversikt over fallforhold er vist i figur 7.



Figur 7 Oversikt fallforhold i overflate. Utklipp fra tegning K11-031 A («Produksjonsunderlag», 2019)

### 4.3.3 Forskaling

Forskalingen er bygget opp av understøttelse med cuplocks-system. Hele arbeidet med understøttelsen er kontrahert til underentreprenør. Understøttelsen sammen med doka-bjelker og kryssfinérplater utgjør en plattform i underkant av konstruksjonen. De plane feltene i konstruksjonen som er markert med ruter i figur 8, blir forskalt med kryssfinérplater og vil få en glatt overflate. For å oppnå kurvaturen med høydevariasjoner i dekke, settes fagverksbukkene av treverk på toppen av plattformen («Produksjonsunderlag», 2019). Fagverksbukkene blir kledd med bordforskaling etter prosess 84.213 fra PK2. Områdene med bordstruktur er markert med kurvede linjer i figur 8.

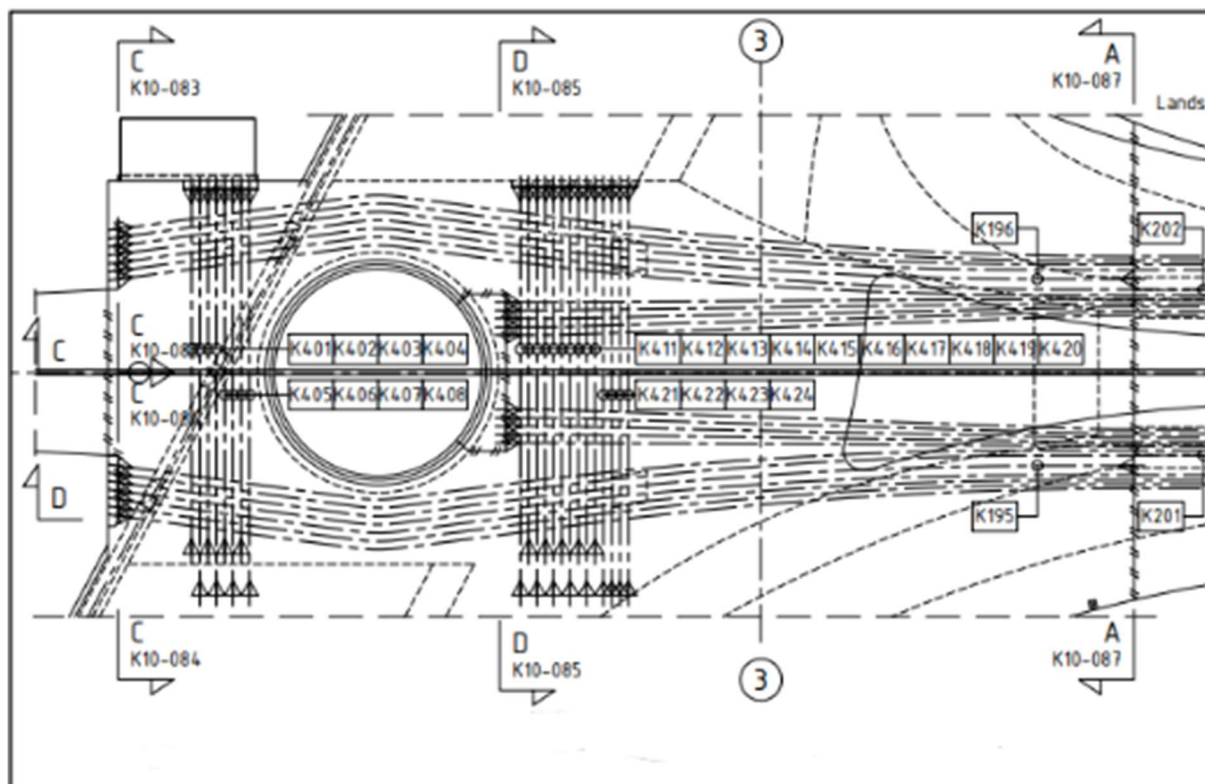


Figur 8 Forskalingsoverflater. Utklipp fra tegning K11-038 A («Produksjonsunderlag», 2019)



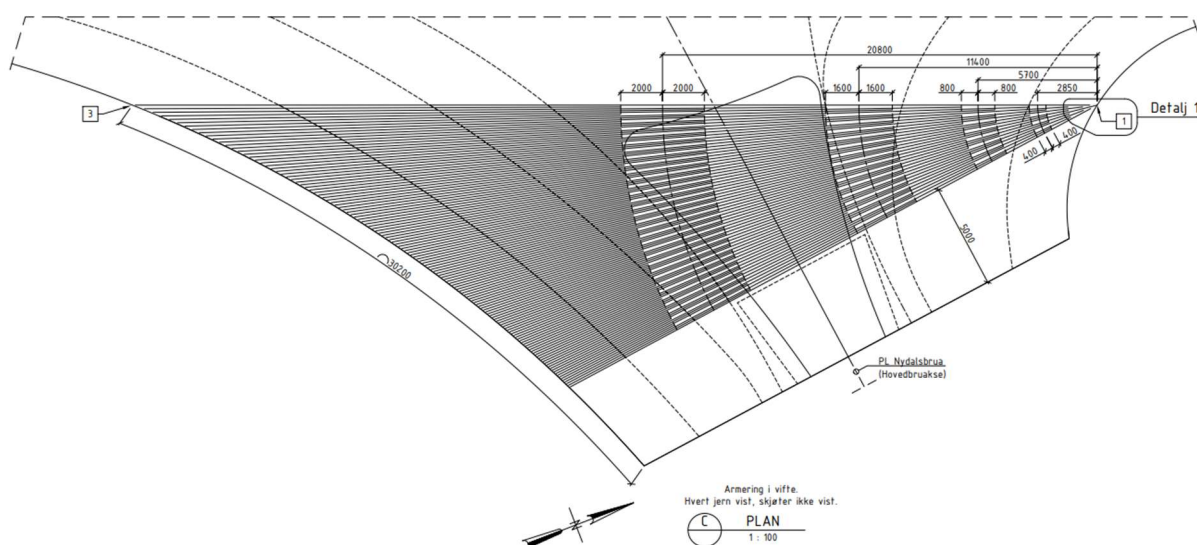
#### 4.3.4 Armering

I konstruksjonen rundkjøringslokket er det 451 tonn slakkarmering fordelt på Ø12, Ø16, Ø20, Ø25 og Ø32 («Produksjonsunderlag», 2019). I tillegg ligger det spennarmering i flere retninger i og rundt senterhullet i rundkjøringen som vist i figur 9.



Figur 9 Oversikt spennarmering. Utklipp fra tegning K10-082 A («Produksjonsunderlag», 2019)

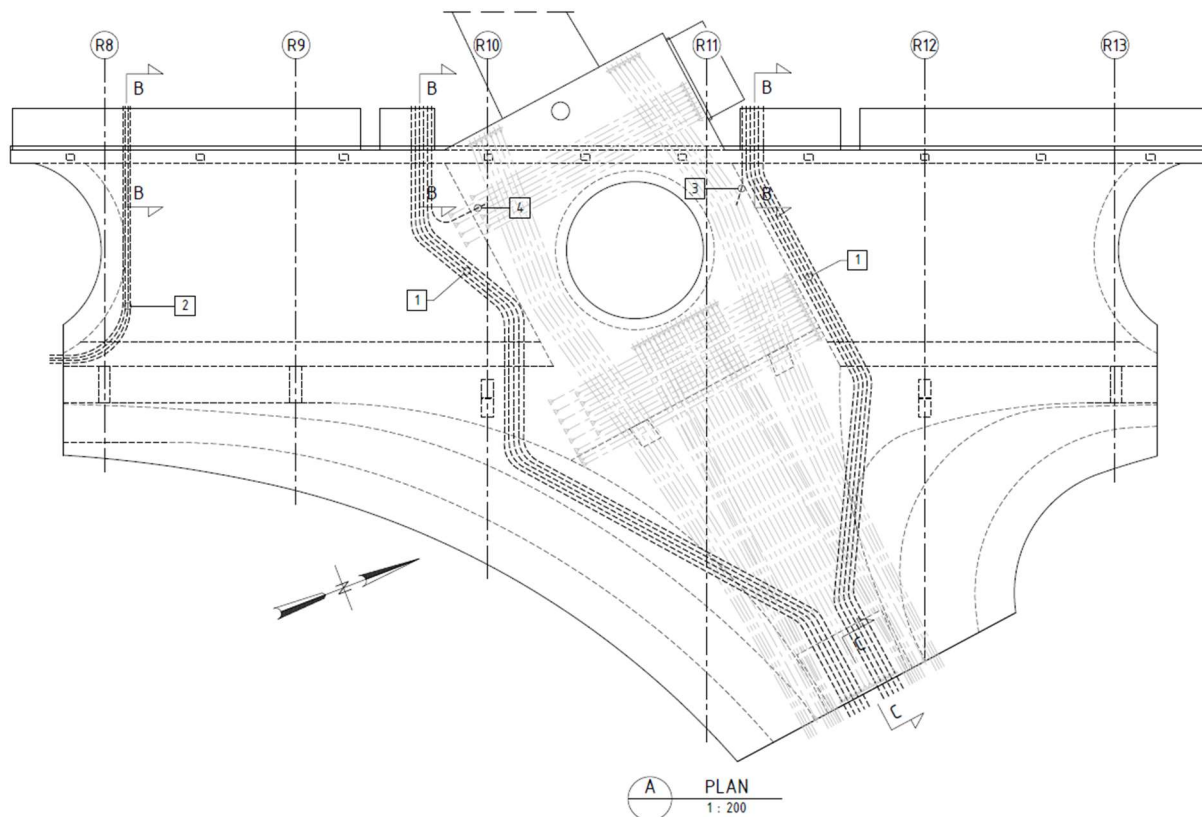
Slakkarmeringen ligger i vifteformasjon inn imot kurvaturer med liten radius, og blir derfor liggende spesielt tett i spissen av kilen som vist i figur 10.



Figur 10 Vifteformet armering. Utklipp fra tegning K11-154 A («Produksjonsunderlag», 2019)

### 4.3.5 Innstøpningsgods og trekkerør

I konstruksjonen er det prosjektert inn trekkerør til elektriske anlegg og boltegrupper til rekkverk, lysmaster og skilt. Trekkerør for alt teknisk utstyr til hovedbrua går gjennom rundkjøringslokket, som medfører at mye av området rundt senterhullet i rundkjøringen er dekket av trekkerør og spennarmering. Trekkerør og spennarmering er vist i figur 11.



Figur 11 Oversikt trekkerør og spennarmering. Utklipp fra tegning K11-220 A ("Produksjonsunderlag," 2019)

### 4.3.6 Betongleverandør

Unicon AS har kontraktfestet leveranse av all betong til prosjektet. De står for fremstilling av fersk betong, samt leveranse til prosjektet med eventuelle leveringsmetoder (Berggård, 2021). Som betongleverandør til et prosjekt av denne typen er det viktig med tilstrekkelig kapasitet og god tilgjengelighet. Unicon har i Trondheim flere blandeverk i nærhet til prosjektet med disse spesifikasjonene. Unicon stiller også med et eget system på leveranselogistikk og oppfølging av teknologer på prosjektet. I tillegg til leveranser av fersk betong, er også utvikling av resepter, innledende prøver og kvalitetskontroll en del av samarbeidet mellom Skanska og Unicon. (Berggård, 2021)

### 4.3.7 Utstøping

Rundkjøringslokket skal støpes kontinuerlig og danner dermed en massiv betongkonstruksjon uten støpeskjøter. Dette vil være en av Norges største kontinuerlige betongstøper, og sammen med konstruksjonens geometri og kompleksitet er planlegging av utstøping en ingeniørfaglig utfordring. Rundkjøringslokket skal etter planen støpes ut i juni 2022.

## 5 Resultat og diskusjon

### 5.1 Betongresepter

#### 5.1.1 Forutsetninger reseptvalg

Ved de fleste norske byggeplasser, blir det tatt utgangspunkt i en normalbetong. Ved spesielle konstruksjoner med vanskelige utstøpingsforhold eller store tverrsnitt vil SKB og lavvarmebetong være alternativer til normalbetongen.

Skanska har et utvalg preaksepterte betongresepter som er testet og dokumentert godkjent for bruk i prosjektet. Betongreseptene varierer ut ifra ønskede egenskaper og kvalifikasjoner. I prosjektets reseptliste er betongreseptene navngitt NYD etterfulgt av et tall og en eventuell bokstav, for å skille mellom de ulike reseptene. I utvalget av preaksepterte betongresepter er det tre aktuelle resepter som kan benyttes ved utstøpingen av rundkjøringsløkket.

NYD-2 er en normalbetong, og har en fasthetsklasse BF45 og bestandighetsklasse MF40. Den største tillatte steinstørrelsen er 25mm.

NYD-3 er en SKB, og har en fasthetsklasse BF45 og bestandighetsklasse MF40. Den største tillatte steinstørrelsen er 16mm.

NYD-9 er en lavvarmebetong, og har en fasthetsklasse BF45 og bestandighetsklasse MF45. Den største tillatte steinstørrelsen er 25mm.

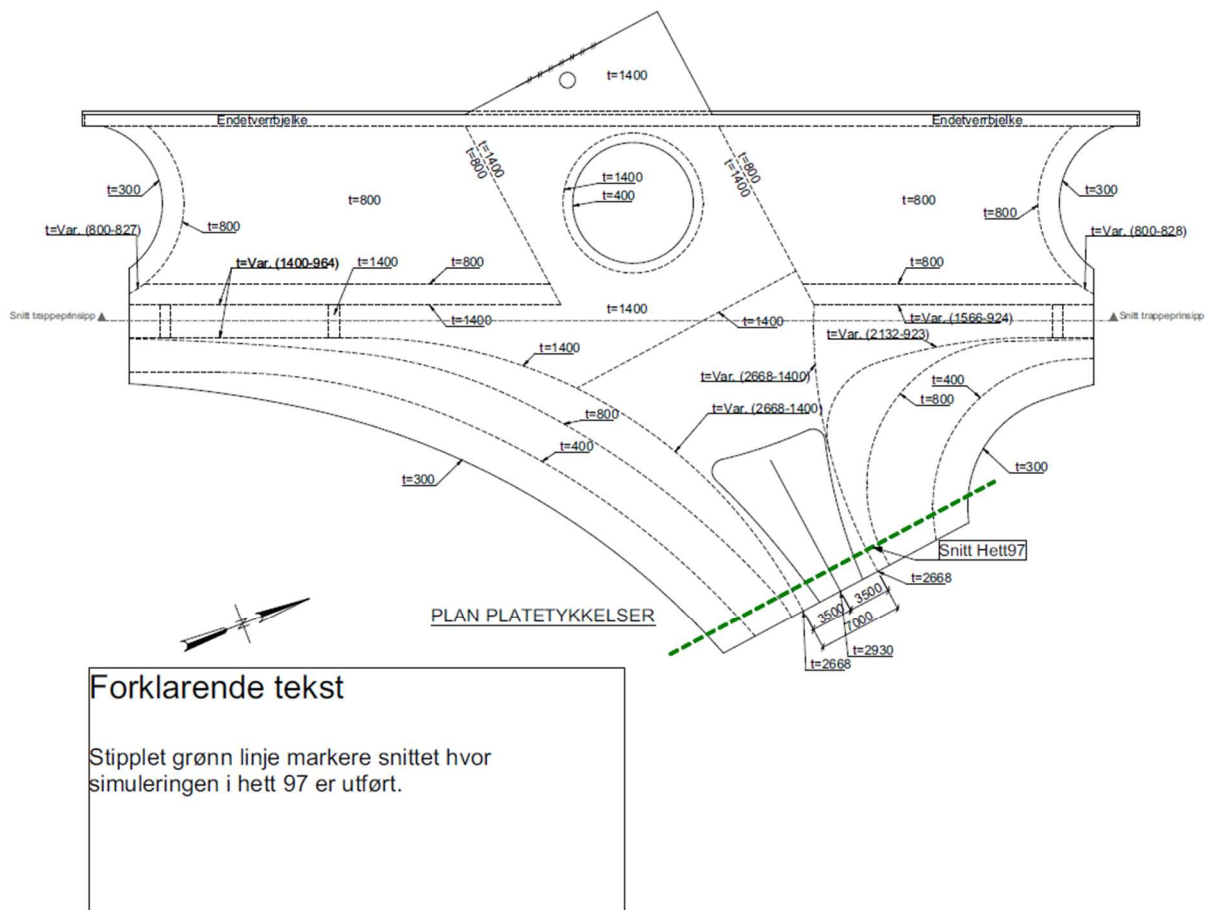
Kriteriene for valg av resept er støpelighet og varmeutvikling. For å vurdere varmeutviklingen under herdeprosessen, er det valgt å gjøre en simulering i Hett97. Simuleringen blir utført med betongresepten NYD-2, i det tykkeste tverrsnittet i konstruksjonen.

#### 5.1.2 Hett97 simulering

##### **Forutsetninger**

Hett97 er et en-dimensjonalt simuleringsverktøy, og dermed kan man kun simulere dekker med jevne tykkelser. Ved simuleringen av rundkjøringsløkket blir det derfor tatt utgangspunkt i et jevnt dekke med konvensjonell forskaling, og en tykkelse som tilsvarer den maksimale tykkelsen i rundkjøringsløkket.

Simuleringen blir gjort i et snitt parallelt med støpeskjøten mot hovedbrua, som vist på figur 12. Her finnes den største tykkelsen i støpen, og dette vil utgjøre kritisk tverrsnitt med hensyn til temperatur- og fasthetsutvikling. I det kritiske tverrsnittet er dybden på støpen 2,57 m.



Figur 12 Oversikt snitt Hett97. Skisse basert på tegning K11-031 A ("Produksjonsunderlag," 2019)

Betongresepten NYD-2 finnes ikke i reseptbiblioteket i Hett97. For å gjøre en tilnærming til NYD-2, velges en B45 SV standard i hett97 med justert bindemiddelmengde.

For å simulere yttergrensene av det været som sannsynligvis kan forekomme i juni, blir det gjort to simuleringer med ulike værscenarier og betongtemperatur. De ulike forholdene er presentert i tabell 1.

Simuleringen av en støpeflo på 40 cm blir gjort for å stipulere avbindingstiden under gitte forutsetninger.

Tabell 1 Hett97 simuleringsoversikt

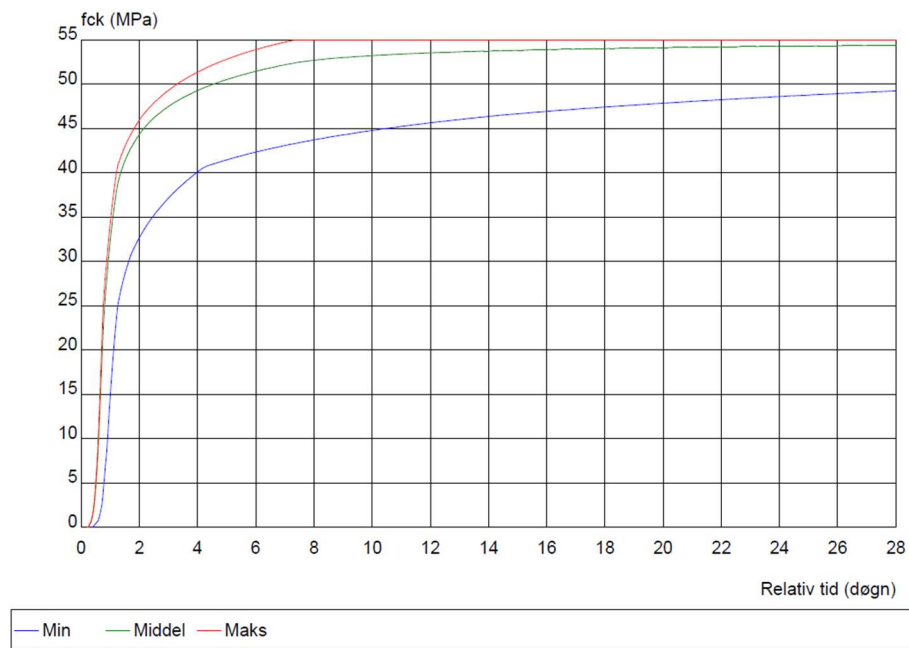
Oversikt værscenarier og betongtemperaturer			
Simuleringer	Vindstyrke (m/s)	Døgntemperatur (°C)	Betongtemperatur (°C)
Simulering 1	5	5	15
Simulering 2	2	25	20
Avbindingstid	2	25	20

## Resultat

### Simulering 1:

Kurvediagrammet i figur 13 viser trykkfasthetsutviklingen for Simulering 1 over en periode på 28 døgn.

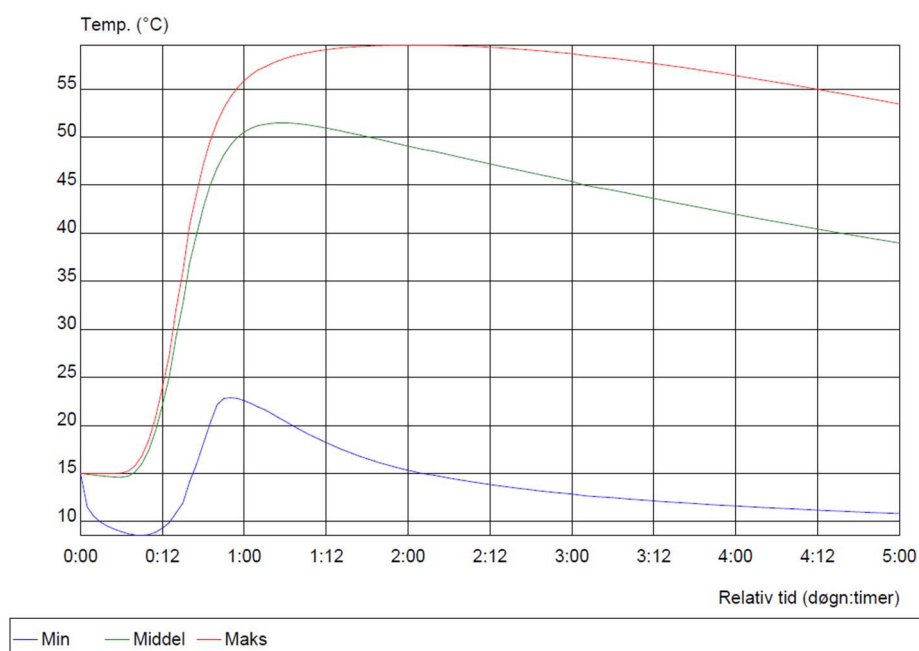
#### Kurvediagram - Trykkfasthet



Figur 13 Simulering 1 trykkfasthet fra Hett97

Kurvediagrammet i figur 14 viser temperaturutviklingen under herdeprosessen for Simulering 1 over en periode på 5 døgn.

#### Kurvediagram - Temperatur

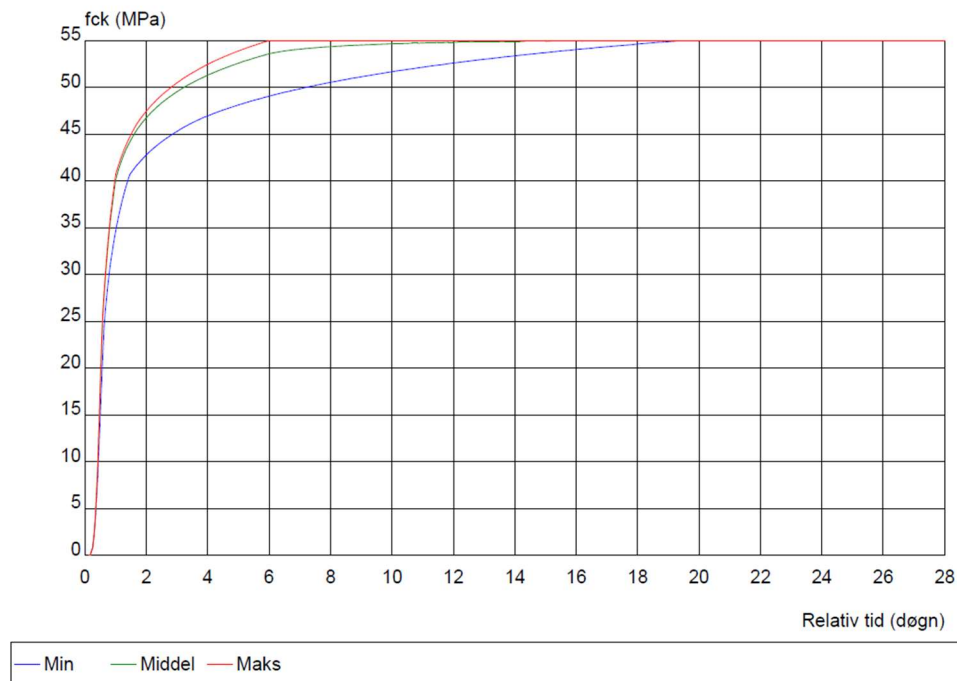


Figur 14 Simulering 1 temperatur fra Hett97

## Simulering 2:

Kurvedigrammet i figur 15 viser trykkfasthetsutviklingen for Simulering 2 over en periode på 28 døgn.

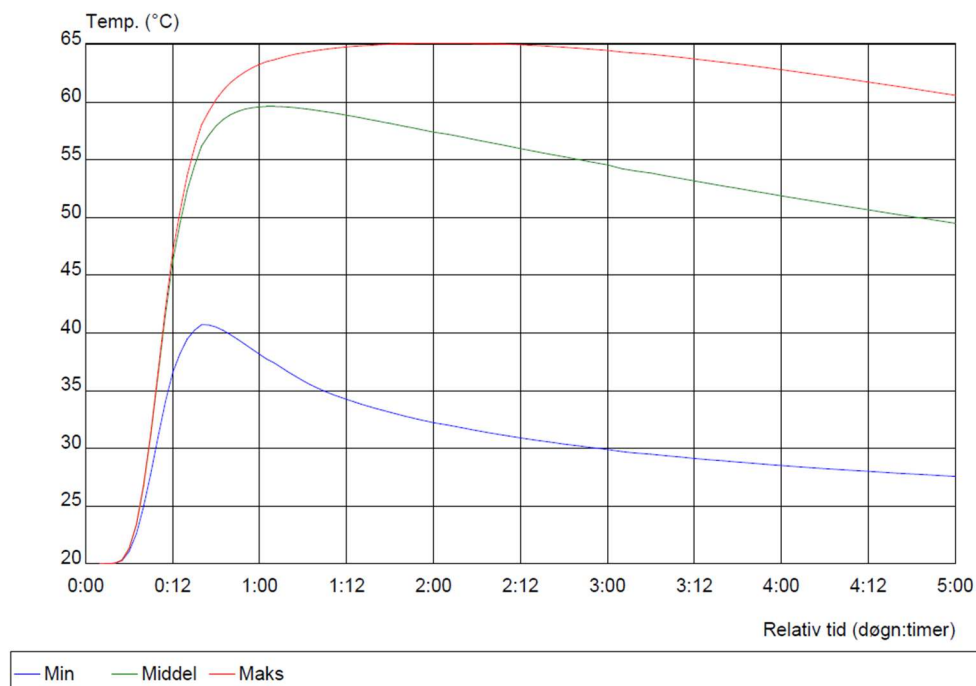
### Kurvedigram - Trykkfasthet



Figur 15 Simulering 2 trykkfasthet fra Hett97

Kurvedigrammet i figur 16 viser temperaturutviklingen under herdeprosessen for Simulering 2 over en periode på 5 døgn.

### Kurvedigram - Temperatur

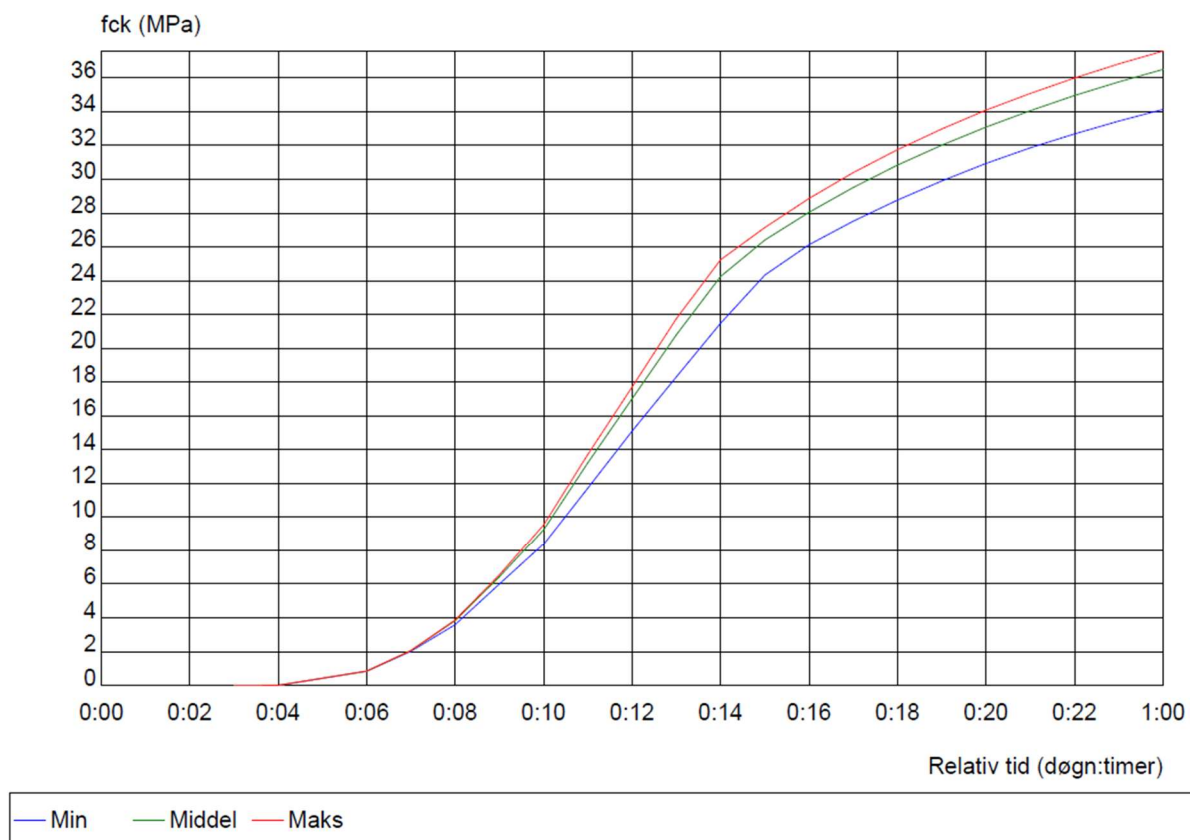


Figur 16 Simulering 2 temperatur fra Hett97

Avbindingstid:

Kurve diagrammet i figur 17 viser trykkfasthetsutviklingen for en støpeflo på 40 cm.

### Kurve diagram - Trykkfasthet



Figur 17 simulering av 40cm høy støpeflo fra Hett97

### Vurderinger av resultater fra hett97

Simulering 1:

Figur 13 viser trykkfastheten fra Simulering 1. Her har minimal trykkfasthet en verdi på 49 MPa etter 28 døgn. Dette er innenfor den karakteristiske trykkfastheten en B45 kvalitet skal ha. Figur 14 viser at minimumstemperaturen som vil oppstå i ytterkantene av konstruksjonen faller i verdi før den utvikler herdevarme og stiger. Betongen vil, med de forutsetningene satt i Simulering 1, få en temperatur- og fasthetsutvikling innenfor toleransekravene.

Simulering 2:

Figur 15 viser trykkfasthetsutviklingen fra Simulering 2. Her har minimal trykkfasthet en verdi på 45 MPa allerede etter 3 døgn. Dette viser at differansen i forutsetningene har stor påvirkning på fasthetsutviklingen. I figur 16 viser diagrammet at herdetemperaturen også får betydelig høyere verdier i Simulering 2. Maksimal temperatur, som typisk forekommer midt i tverrsnittet, når en verdi på 65 °C. Også Simulering 2 er innenfor grenseverdiene, men her ligger maksimal temperatur ikke langt fra grenseverdien på 70 °C.



Avbindingstid:

Ved å simulere en støpeflo på 40 cm det første døgnet etter oppstart av utstøping, kan man se utviklingen i trykkfasthet ved gitte forutsetninger. I figur 17 kommer det frem at betongen går over fra avbindingsfase til herdefase etter fire timer. I tillegg ser man at betongen har en jevn og fin fasthetsutvikling ved de gitte forutsetningene.

### 5.1.3 Endelig reseptvalg

I kapittel 5.1.1 presenteres resultatet fra en simulering av temperatur- og fasthetsutvikling ved bruk av NYD-2. Simuleringen viser at NYD-2 ikke vil overstige grenseverdien i NS1 for maksimal herdetemperatur på 70°C, til tross for de gitte forutsetningene. Det vil derfor ikke være nødvendig å benytte NYD-9 under utstøpingen av rundkjøringslokket under disse forutsetningene.

Rundkjøringslokket skal støpes kontinuerlig, og det er derfor naturlig å begynne utstøpingen av rundkjøringslokket i det dypeste punktet av konstruksjonen. Det dypeste punktet i konstruksjonen er toppen av skråsøylen mot hovedbrua. Søyletoppen befinner seg i et dypt tverrsnitt, med mye armering og trekkerør i et høyere plan av konstruksjonen. Dette vil kunne gi utfordringer med tilgang for vibrering og bearbeiding av betongen, og potensiell fare for steinreir og separasjon i søyletoppen. Fordi SKB ikke har behov for like mye bearbeiding som en normalbetong, vil SKB bli benyttet.

Under utstøpingen av rundkjøringslokket, vil det bli benyttet både NYD-2 og NYD-3. NYD-3 vil kun bli benyttet i oppstart av utstøpingen, for å forenkle støpeprosessen i søyletoppen. Etter søyletoppen er fylt, vil det bli en gradvis overgang i konsistens til betongresept NYD-2. Overgangen mellom de ulike betongreseptene skal være gradvis, for å få en jevnere endring av støpeligheten.

For betongresepten NYD-3 skal det etterstribes et synkutberedelsesmål på 650mm, mens for NYD-2 skal det etterstribes et synkmål på 240mm. Toleransekravet er  $\pm 20$ mm for begge reseptene (Prosesskode 2, 84.4). Ved behov kan betongreseptene tilsettes retarder, for å forlenge avbindingstiden.

Betongen skal ha en temperatur på 15°C ved levering. Dette for å øke marginen til grenseverdien for maksimal herdetemperatur. Herdetemperaturen skal dokumenteres ved innstøping av termoelementer i innmålte punkter i betongtverrsnittet. Termoelementene skal være tilkoblet en datalogger, hvor temperaturen blir loggført hvert minutt. Målte temperaturforløp sammenstilles og sammenlignes med beregnet temperaturforløp for kontroll.



#### 5.1.4 Diskusjon

Resultatene ifra simuleringene viser at simulering 1 gir en 28-døgns trykkfasthet på 49 Mpa, som ikke ligger langt i fra minimumskravet til karakteristisk trykkfasthet. Simulering 2 gir en herdetemperatur på 65 °C, som ikke er langt ifra den øvre grenseverdien på 70 °C. Disse simuleringen danner dermed grenseverdier for forholdene støpen kan gjennomføres under.

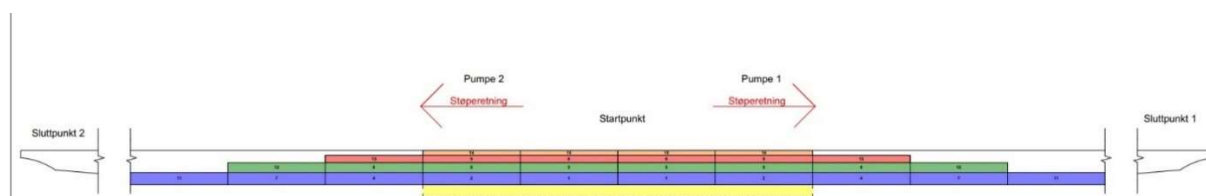
Simuleringer med 15°C og 20°C betongtemperatur ble gjort, og ut ifra resultatet ble det konkludert med å benytte betong med betongtemperatur på 15°C. Valget ble tatt for å øke marginen til grenseverdien på 70 graders herdetemperatur, da værforutsetningene i simulering 2 blir vurdert som mest sannsynlig i slutten av juni.

Ved simuleringen blir maksimal herdetemperatur simulert som et massivt dekke med en jevn tykkelse som tilsvarer tykkelsen i kritisk tverrsnitt. Simuleringen vil ikke gjengi den faktiske utstøpingen, da første lag i tverrsnittet legges ut omtrent 16 timer før topplaget er utstøpt. Bunn av dekke vil ha oppnådd en fasthet på 27 MPa, før siste del av øverste lag legges ut. Å simulere en mer virkelighetsnær temperatur- og fasthetsutvikling er ikke mulig i hett97, da muligheten for å simulere flere lag med ulike utstøpingstidspunkt og varmeavgivelse til hverandre ikke finnes.

Hett97 er egentlig ikke egnet til simuleringer av konstruksjoner med kompleks geometri og store variasjoner i tykkelser, fordi det er 1-dimensjonalt. Resultatet fra beregningene vil derfor bli noe grov, men vil kunne gi et realistisk inntrykk av maksimaltemperatur og temperaturforskjeller i kritiske snitt.

Ved bestilling av store kvantum betong med høy leveringstakt, vil det mest hensiktsmessige være å benytte seg av én betongresept. Stor trafikk av betongbiler og leveranser til ulike betongpumper, kan lett skape komplikasjoner. Likevel kan det forsvares å benytte to ulike betongresepser ved utstøpingen av rundkjøringslokket. NYD-3 skal benyttes helt i oppstart av utstøpingen. I praksis er det snakk om 25m<sup>3</sup>, eller de fire første betongleveransene til byggeplassen, med NYD-3. Fordi bruken av NYD-3 begrenser seg til oppstarten av utstøpingen, for så å benytte NYD-2 i resten av konstruksjonen, burde dette la seg gjøre uten større logistikkutfordringer.

For å kunne holde støpefronten varm og så kort som mulig, vil størstedelen av dekkekonstruksjonen bli støpt ut ved hjelp av en utstøpingsrekkefølge kalt trappeprinsipp. Trappeprinsippet er skissert i figur 18. Muligheten for å benytte SKB i hele konstruksjonen ble diskutert, for å forenkle utstøpingsprosessen og redusere behovet for bearbeiding av betongen. Rundkjøringslokket er en konstruksjon med store og flate arealer, og en SKB vil derfor ha muligheten til å flyte utover et stort areal. Dette skaper utfordringer med å holde støpefronten varm og kort. En SKB vil dermed ikke kunne benyttes ved et trappeprinsipp, da en er avhengig av en betong med fastere konsistens for å oppnå trappingen.



Figur 18 Trappeprinsipp

NYD-2 vil bli bestilt med et relativt høyt synkmål på 240 mm. Dette vil gjøre betongen mer tyntflytende, og enklere å bearbeide. Ulempen med et høyt synkmål, er at det vil bli et slakere fall på støpefronten ved trappeprinsippet. Et slakere fall vil gi et større areal på støpefronten, og det vil sannsynligvis gjøre det nødvendig med ytterligere retardering. Det å bestille NYD-2 med et høyt synkmål er et forsøk på en middelvei mellom enkel bearbeiding og utstøping, og kortest mulig støpefront. Nødvendig retarderingsmengde inngår i beregningene i kap. 5.2.

## 5.2 Støpeopplegg

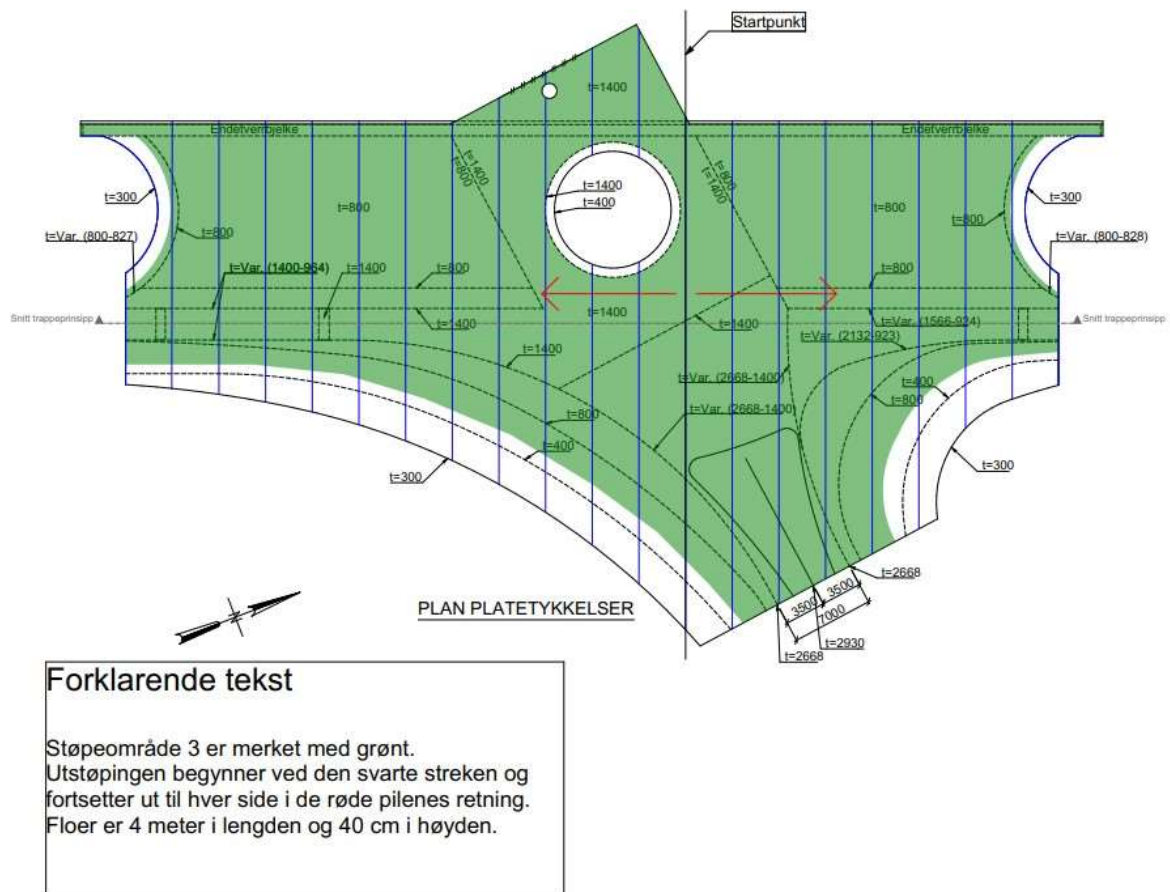
### 5.2.1 Forutsetninger støpeopplegg

Rundkjøringslokket er en konstruksjon med et stort volum og fritt overflateareal. Betongens åpne tid vil være en kritisk faktor ved utstøpingen av rundkjøringslokket, og beregningen av åpen tid er derfor sentral i utarbeidelsen av støpeplanen. Beregning av åpen tid er et regnestykke med flere faktorer. Det inkluderer hvor utstøpingen begynner og avslutter, hvilken støptakt som skal benyttes og hvor store lagtykkelsene og flolengdene skal være.

I samarbeid med betongteknolog Sverre Smeplass er det satt en grense på maksimalt 6 timer retardasjon, i tillegg til den naturlige avbindingstiden på 3 timer. Simuleringen i Hett97 viser en avbindingstid på 4 timer for en flo uten underliggende betong som avgir varme og fremskynder herdingen. Simuleringen vil derfor gi lengre avbindingstid enn en støpeflo vil ha, og 3 timer er derfor et godt estimat.

Bachelorgruppen laget en beregningsmodell i MS Excel, hvor endringer på pumpekapasitet, volum og rekkefølger kan plottes inn. På denne måten er det mulig å beregne maksimal åpen tid på betongen ved gitte forutsetninger, og total utstøpingstid for konstruksjonen.

For å beregne volum, ble konstruksjonen delt inn i horisontale lag med fargekoder. Arealet i toppen av de fargekodede lagene er skissert som vist i figur 19. I arealer med konstant tykkelse, er volumet beregnet som rektangulære prizmer. I beregninger av volum i arealer uten konstant tykkelse, er det gjort forenklinger ved at arealene blir volumberegnet som et rettvinklet trekantet prisme. Ved å sammenligne volum hentet ut fra 3D-modellen og beregnet volum med forenklinger, kan gyldigheten av forenklingene vurderes ved å se på differansen mellom faktisk og beregnet totalt volum.



Figur 19 Eksempel av fargekodet støpeområde. Skisse basert på tegning K11-031 A ("Produksjonsunderlag," 2019)

I beregningsmodellen er det tatt utgangspunkt i en støpetakt på 25 m<sup>3</sup>/t per betongpumpe i topplaget, og 40 m<sup>3</sup>/t i øvrige lag. Støpetakten i topplaget er redusert, da topplaget skal nivelleres og avrettes med fall fortløpende. Beregningens støpetakter er basert på vurderinger bachelorgruppen har gjort, og har i ettertid blitt verifisert som realistiske av betongteknolog Sverre Smeplass. Takten tar hensyn til at blandeverk og betongpumper skal vaskes med visse intervaller, overgangsfaser ved skiftbytte, matpauser og andre forutsigbare faktorer.

## 5.2.2 Første alternativ

### Forutsetninger

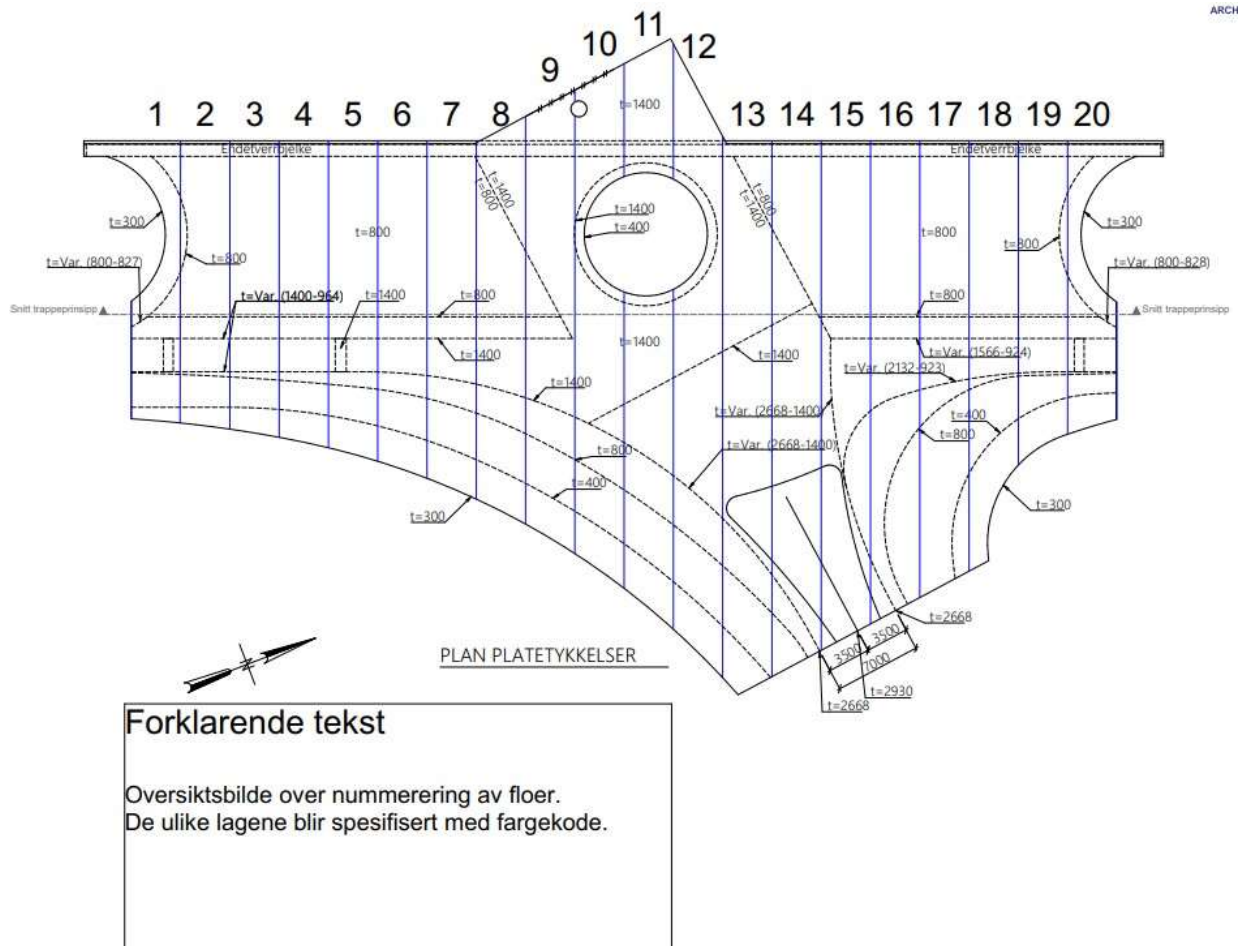
I første alternativ ble konstruksjonen delt inn i seks støpeområder med ulike lagtykkelser, areal og volum. Lagene danner grunnlaget for gjennomføringen av beregningene. Utstøpingen begynner i gult støpeområde, som inneholder det dypeste punktet i konstruksjonen.

Utsøpingen er fordelt på tre ulike fremgangsmåter for utstøping av betong. Utstøpingen i gult støpeområde baserer seg på prinsippet for utstøping av en kileformet konstruksjon. Når gult støpeområde er fullført, endres fremgangsmåten til vanlig dekkestøp ved utstøping av blått og grønt lag. Når grønt lag er fullført, endres fremgangsmåten til en dekkestøp med trappeprinsipp i resterende lag. Tabell 2 beskriver rekkefølge, fargekoder og tykkelse på lagene ved første alternativ. Gult støpeområde er i bunn av konstruksjonen, og oransje lag er topplaget.

Tabell 2 Lagimndeling første alternativ

Støpeområde nr.	Fargekode	Tykkelse (mm)
1	Gult	Variierende tykkelse
2	Blått	300
3	Grønt	300
4	Rødt	300
5	Brunt	300
6	Oransje	200

Støpeområdene 2-5 ble satt til 300mm tykkelse, og 4m lengde på støpefloene. Dette ble ansett som den minste tykkelsen og korteste floen det var praktisk å gjennomføre. Det var ønskelig å holde tykkelsen og lengden på floene minst mulig, slik at hver flo hadde så lite volum som mulig. Tanken bak å holde volumet i floene lavt, var å kunne bevege seg raskere over i ny flo for å minimere åpen tid. Topplaget bør omslutte hele øvre armeringslag, for å sikre god heft til armering og unngå ugunstig plassering av overgangen mellom topplag og underliggende lag. Topplaget er derfor satt til 200mm tykkelse. Floene er nummerert og fordelt vinkelrett på endetverrbjelken i konstruksjonen for å holde dem kortest mulig, og er vist i figur 20.



Figur 20 Skisse floinndeling og nummerering. Basert på tegning K11-031 A ("Produksjonsunderlag," 2019)

Utstøpingen er beregnet med to betongpumper med 50m rekkevidde, og en total støpetakt på 80 m<sup>3</sup>/t. Gult støpeområde har en støperetning fra hovedbru og mot senter av konstruksjonen. Ved utstøpingen av lag 2-6, begynner betongpumpe 1 (BP1) i sør og betongpumpe 2 (BP2) i nord og støper seg mot senter av konstruksjonen.

I beregningsmodellen er lag 1-3 beregnet uten spesiell utstøpingsrekkefølge, mens lag 4-6 er beregnet med bestemt utstøpingsrekkefølge ved hjelp av trappeprinsippet. I beregningsmodellen kan en dermed hente ut åpen tid for enhver flo i lag 2-5. For gult støpeområde blir tiden for utstøping av øvrige lag summert for å kontrollere åpen tid. For oransje lag 6, topplaget, er ikke åpen tid relevant å beregne.

## **Resultat**

Ved å vurdere avstander i plantegningen og beregnet volum, var det kritiske punktet i utleggingsmønsteret tiden det ville ta før rødt lag dekket over grønt lag i flo nr. 12. Etter å ha summert utstøpingstiden i beregningsmodellen, ble åpen tid for det kritiske punktet 20,4 timer. Dette er langt over grenseverdien for åpen tid, selv med maksimal retardering.

## **Vurderinger**

Etter første alternativ ble resultatet presentert i et prosjektmøte med Skanska, hvor betongteknolog, prosjektleder og produksjonsledere deltok. Siden åpen tid på betongen var 20,4 timer, ble det diskutert nye alternativer for utstøpingen. Ulike forslag ble tatt opp, og vurdert mot både teoretisk og praktisk gjennomførbarhet. Støpetakt, avbindingstid, pumperekkevidder, antall pumper, utleggingsmønster og flotykkelser var faktorer som ble diskutert ved de ulike forslagene.

Under møtet ble det besluttet å forsøke med 3 betongpumper med 3 ulike støperetninger, for å redusere åpen tid i de kritiske lagene. Ved nøyere evaluering av dette alternativet etter møtet, oppdaget bachelorgruppen at denne løsningen ville by på utfordringer ved gjennomføring. Ved å støpe floer som ligger 45 grader mot hverandre vil ikke tilstøtende floer oppnå lik lagtykkelse samtidig, og betongen vil gli over i de ulike støperetningene. Dette vil føre til ukontrollert utstøping, og stor usikkerhet i beregning av betongens åpne tid.

Ut ifra dette konkluderte gruppen med at et utleggingsmønster i to retninger er det mest hensiktsmessige, i forhold til praktisk utførelse og kontroll på betongens åpne tid. For å kunne redusere betongens åpne tid fra første alternativ, er det besluttet å endre støpefloenes lagtykkelse og fremgangsmåte.

### 5.2.3 Andre alternativ

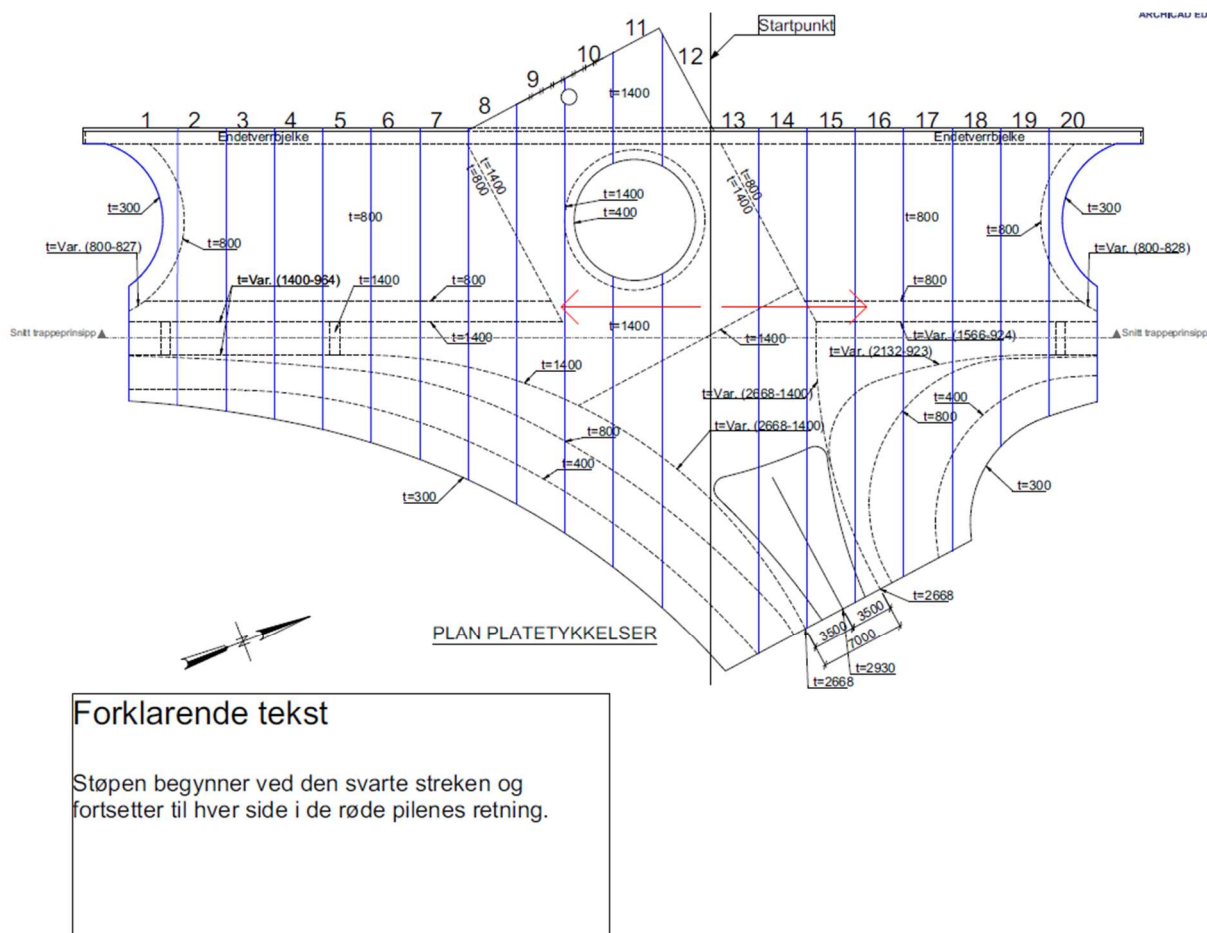
#### Forutsetninger

I andre alternativ er det tatt utgangspunkt i samme pumpeoppsett som i første alternativ, med to betongpumper og en total leveringstakt på 80m<sup>3</sup>/t. Tabell 3 presenterer den nye rekkefølgen, fargekodene og lagtykkelsene. Antall lag er redusert til fem, og det blir benyttet to ulike framgangsmåter for utstøping. Gult støpeområde støpes ut med samme framgangsmåte som i første alternativ, men de øvrige fire lagene støpes ut med trappeprinsippet. Støpefloenes lengde forblir 4 m også i andre alternativ.

Tabell 3 Laginndeling andre alternativ

Støpeområde nr.	Fargekode	Tykkelse (mm)
1	Gult	Variierende tykkelse
2	Blått	500
3	Grønt	400
4	Rødt	300
5	Oransje	200

Støperetningen i andre alternativ går fra senter av rundkjøringsløkket, mot sør og nord som vist i figur 21. Startpunktet for utstøpingen er mellom flo nr.11 og flo nr.12. BP1 arbeider seg mot sør og BP2 arbeider seg mot nord, og avslutter i henholdsvis sør- og nordenden av konstruksjonen.

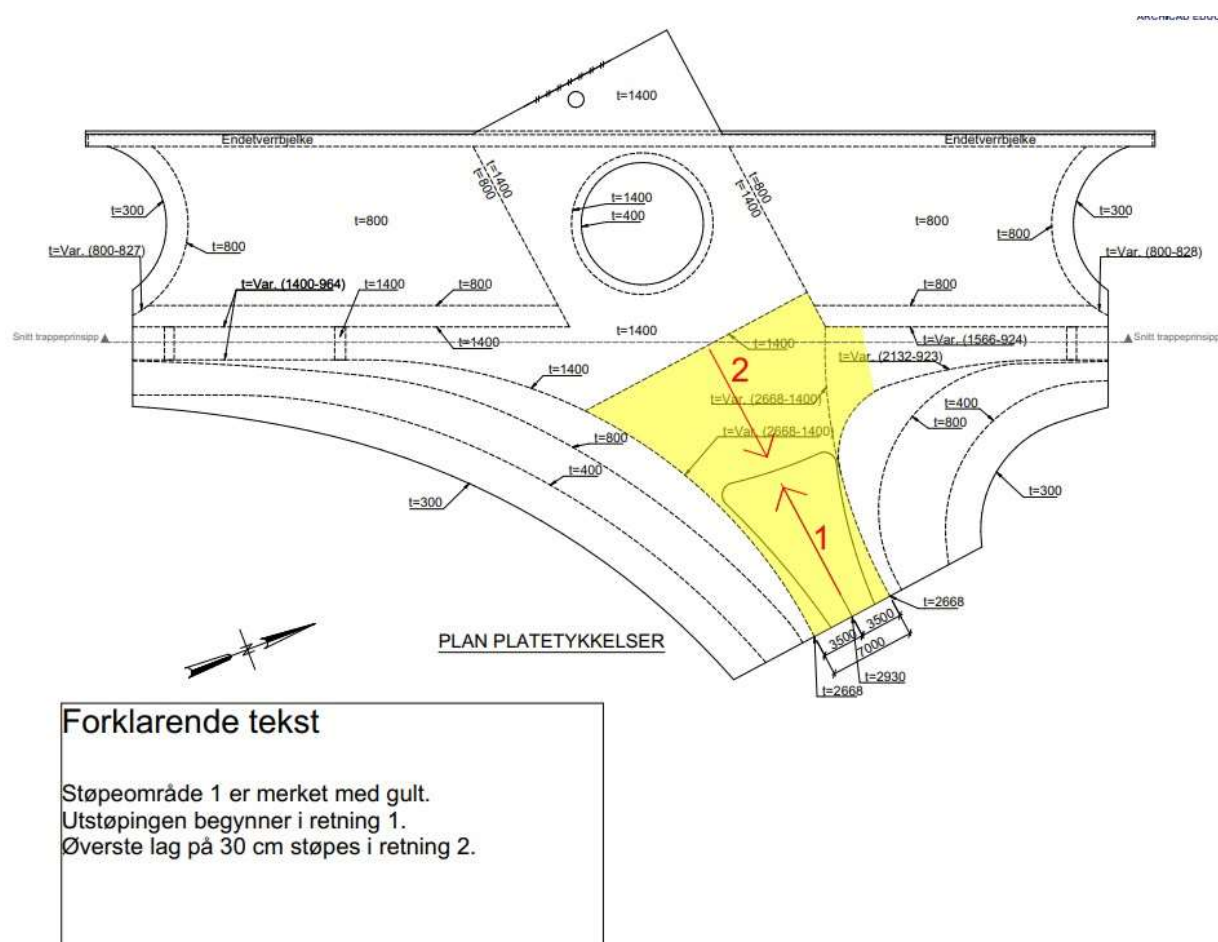


Figur 21 Støperetning andre alternativ. Basert på tegning K11-031 A ("Produksjonsunderlag," 2019)



Beregningsmodellen ble noe modifisert fra første alternativ, for å kunne ta hensyn til de nye fremgangsmåtene og lagtykkelsene. Andre alternativ resulterte i kritisk punkt i østenden av gult støpeområde. Åpen tid på betongen i dette punktet ble 10 timer, noe som er over grenseverdien for åpen tid.

For å redusere åpen tid i det kritiske punktet, ble det foretatt noen mindre justeringer i andre alternativ. I gult støpeområde ble støperetningen for det øverste laget endret, slik at utstøpingen begynner i senter og går mot hovedbrua som vist i figur 22. Startpunktet for utstøpingen med trappeprinsippet, ble flyttet til mellom flo nr. 12 og flo nr. 13 som vist i figur 21.



Figur 22 Støperetninger gult støpeområde. Basert på tegning K11-031 A ("Produksjonsunderlag," 2019)

## Resultat

Tiltakene resulterte i to kritiske punkter med tanke på åpen tid i betongen. Kritisk punkt for åpen tid i gult støpeområde ble etter justering redusert fra 10 timer til 5,89 timer. Grønn flo nr. 15 fikk en åpen tid på 5,61 timer. Dette er innenfor grenseverdiene for retardering og ansees som akseptabel.

## Vurdering

Til tross for at resultatet fra andre alternativ er akseptabelt i forhold til avbindingstiden, ble det diskutert mulige løsninger og forbedringer i beregningsmodellen. I det andre alternativet er det tatt utgangspunkt i rektangulære støpefloer. I praksis vil støpefloene være mer trekantede på grunn av betongens utbredelse. Det har vært planlagt å benytte to betongpumper og to blandeverk, samt ha en tredje betongpumpe tilgjengelig på byggeplassen som reservepumpe under utstøpingen av rundkjøringsløkket. Gruppen diskuterte muligheten for å inkludere et tredje blandeverk for å kunne benytte reservepumpen aktivt som en suppleringspumpe, og vurdere effekten av dette. På denne måten vil man kunne få utnyttet potensialet til alle tre betongpumpene på byggeplassen.

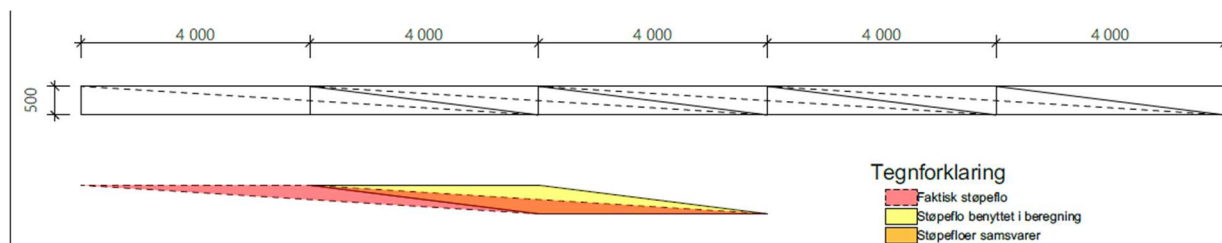
I samtlige beregninger utført, har det vist seg nødvendig å retardere betongen for å unngå kaldskjøter. Som sikkerhet for forsinkelser under utstøpingen ble det besluttet å retardere betongen 1 time mer enn nødvendig. Støpefloen med lengst åpen tid, vil være dimensjonerende for maksimalt retardasjonsbehov.

### 5.2.4 Tredje alternativ

#### Forutsetning

For å hensynta utbredelsen til betongen i beregningsmodellen, blir det i tredje alternativ benyttet en kombinasjon av rektangler og trekanter for å beregne volum og tid. Floenes geometri blir kun endret i blått lag nr.3 og grønt lag nr.2 på henholdsvis 500mm og 400mm. I møte med betongteknolog Sverre Smeplass ble det anbefalt å ta utgangspunkt i at betongen vil kunne legges ut med et maksimalt fall på omtrent 1:15. Ved et fall på 1:15 og lagtykkelse på 500mm og 400mm, vil utbredelsen strekke seg til henholdsvis 7500mm og 6000mm. I de resterende lagene på 300mm og 200mm vil utbredelsen utgjøre en liten andel av floenes volum, og er derfor uendret fra andre alternativ.

Ved endringen av floenes geometri i beregningsmodellen, ble det besluttet å lage en formel som baserer seg på volumene fra andre alternativ. For å kunne lage én formel som kan benyttes i beregningen av floene, ble det foretatt en forenkling som vist i figur 23. Det er en differanse mellom den antatte faktiske flogeometrien og den som benyttes i beregningen. Denne differansen utgjør ikke avvik i totalt volum eller tid, men gir en forskyvning i tid.



Figur 23 Skisse av forenkling

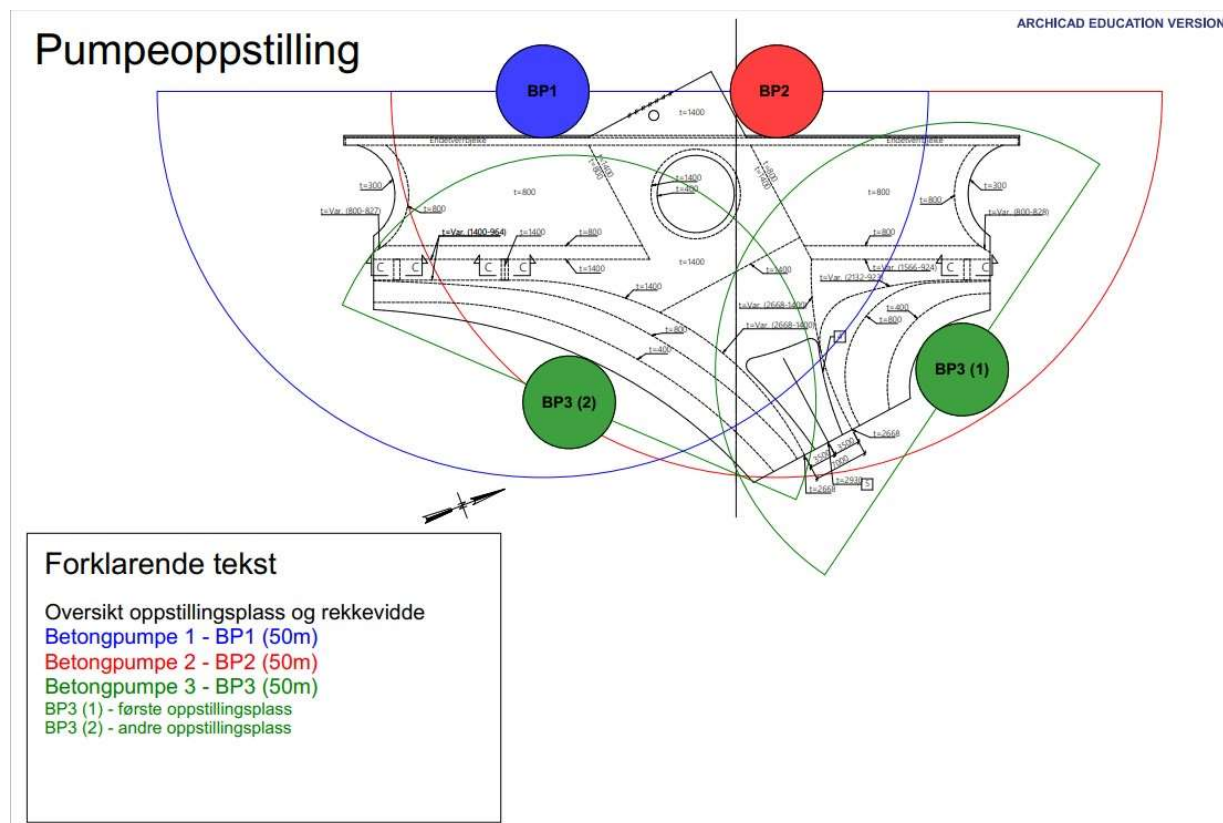


Metoden for volumberegningen er skissert i figur 24. Differansen mellom den stiplede røde linjen og heltrukken linje som deler opp floene i beregningen, utgjør en trekant for hver flo. Trekantene er like i snittet, men har ulikt volum som følger av ulike flobredder og høyder. Differansetrekanten vil gi et økt volum i begynnelsen av støpen der flobredden er størst. Videre vil tilleggsvolumet gradvis reduseres, og gi et negativt bidrag mot slutten av utstøpingen.



Figur 24 Formler og forklaringer til volumberegning

Gult støpeområde i tredje alternativ støpes ut med en støpetakt på 80 m<sup>3</sup>/t og to betongpumper, BP1 og BP2. Når gult lag er ferdig utstøpt, økes støpetakten til 120 m<sup>3</sup>/t og tre betongpumper benyttes. Leveringstakten økes ved å inkludere et tredje blandeverk, med en leveringstakt på 40 m<sup>3</sup>/t. Betongpumpe 3 (BP3) vil da bli aktiv fra begynnelsen av blått lag, og helt til rundkjøringslokket er ferdig utstøpt. BP3 begynner med å bistå BP2 fra oppstillingsplass BP3(1), inntil oransje støpeflo 13 er ferdig utlagt. Deretter er det beregnet at BP3 skal bruke 1 time til å forflytte seg til ny oppstillingsplass BP3(2), og deretter bistå BP1 helt ut. Oppstillingsplasser og rekkevidder er vist i figur 25.



Figur 25 Pumpeoppsett og rekkevidde. Basert på tegning K11-031 A ("Produksjonsunderlag," 2019)

Økningen av leveringstakten er gjort for å redusere total utstøpingstid og åpen tid på betongen. BP3 bistår BP2 i området med lengst åpen tid, før den bytter oppstillingsplass. Ved at BP3 bidrar på begge sider av startpunktet, blir total utstøpingstid tilnærmet lik for BP1 og BP2.

## Resultater

Tredje alternativ ga en total utstøpingstid på 27,02 timer for BP2, og 26,14 timer for BP1. BP3 og det tredje blandeverket vil bidra i totalt 23,02 timer, fordelt på BP1 og BP2. Dette er en vesentlig reduksjon av total utstøpingstid på 40,1 time fra andre alternativ.

De kritiske punktene ved beregning tre er grønn flo 16 og rød flo 15. Floene har et retarderingsbehov på henholdsvis 1 time og 36 minutter, og 1 time og 42 minutter. Retarderingsbehovet er innenfor akseptable rammer, og gir mulighet til en kontrollert retardering av betongen.

### 5.2.5 Sikkerhetsmarginer

Resultatet fra andre alternativ tilsier at utstøpingen skal kunne gjennomføres ved bruk av to betongpumper og to blandeverk med en leveringstakt på 80m<sup>3</sup>/t. Ei tredje betongpumpe måtte da ha vært tilgjengelig på byggeplass, i tilfelle det skulle oppstå driftsstans. Som et tiltak for å redusere eventuelt tapt tid og komplikasjoner ved driftsstans, er det valgt å engasjere et tredje blandeverk for å levere betong til BP3. Leveringstakten vil da øke til 120 m<sup>3</sup>/t, og BP3 vil aktivt bidra under hele utstøpingen. Dersom det da skulle oppstå driftsstans ved en av de tre betongpumpene eller blandeverkene, vil utstøpingen fortsette med en kapasitet på 80m<sup>3</sup>/t. Dette vil være en tilstrekkelig leveringstakt til å fullføre betongstøpen innenfor grenseverdiene for åpningstid.

Ved å øke støpetakten fra 80m<sup>3</sup>/t til 120m<sup>3</sup>/t reduseres total utstøpingstid fra 40,1 timer i andre alternativ til 27 timer i tredje alternativ. Den totale utstøpingstiden for konstruksjonen er ønskelig å holdes kort, da en støp av denne dimensjonen har stor belastning på materielt utstyr og involvert mannskap. Det vil derfor være gunstig å redusere total utstøpingstid og antall skiftbytter. Mangelfull informasjonsutveksling eller misforståelser ved skiftbytte vil kunne oppstå. Støpebasene skal overlappes 30 minutter før skiftbytte for å få oversikt over fremdriften, slik at skiftbyttet får god flyt. Været er en faktor som i stor grad påvirker utstøpingsprosessen, og ved kort utstøpingstid reduserer man faren for værøslag underveis.

Det dimensjonerende retarderingsbehovet i tredje alternativ er 1 time og 42 minutter. For å legge inn en sikkerhetsmargin til kritisk åpen tid, blir betongen retardert 3 timer. Dette gir en sikkerhetsmargin på 1 time og 18 minutter.

### 5.2.6 Endelig støpeopplegg

Utsøpingsprosessen av rundkjøringslokket er en kombinasjon av forutsetningene og resultatene fra første, andre og tredje alternativ.

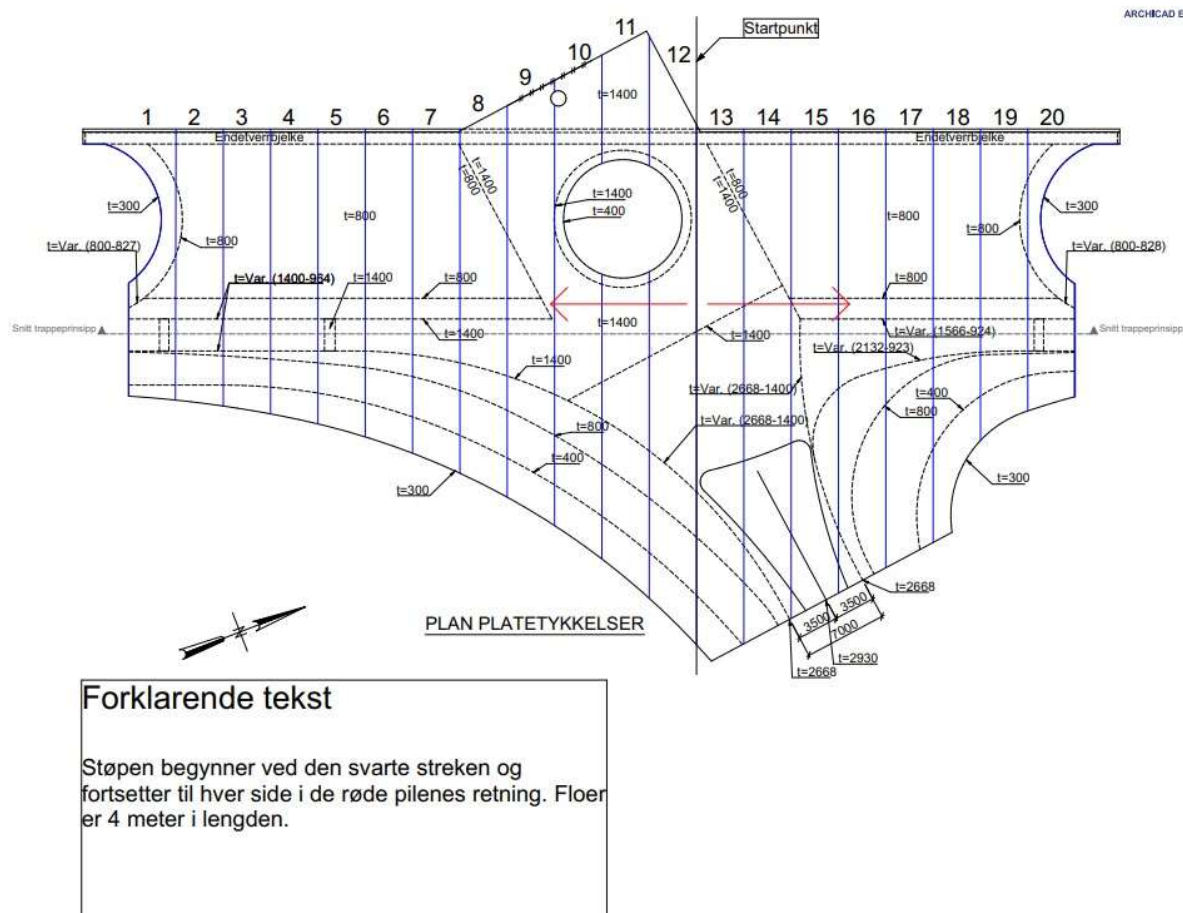
Laginndelingene ved utstøpingen er beskrevet i tabell 4.

Tabell 4 Laginndeling endelig støpeopplegg

Støpeområde nr.	Fargekode	Tykkelse (mm)
1	Gult	Variierende tykkelse
2	Blått	500
3	Grønt	400
4	Rødt	300
5	Oransje	200

Utsøpingen begynner i konstruksjonens dypeste punkt i gult støpeområde, som er søyletoppen mot hovedbrua. De første 25 kubikkene støpes med betongresepten NYD-3, før NYD-2 benyttes i resten av konstruksjonen. Gult støpeområde støpes ut lagvis oppover, med en kapasitet på 80m<sup>3</sup>/t fordelt på BP1 og BP2. Øverste 30cm av gult støpeområde støpes fra senter mot hovedbru, for å redusere betongens åpne tid.

Etter gult støpeområde er ferdig utstøpt begynner BP1 utstøpingen i støpeflo 12, og går mot sør. BP2 og BP3 begynner i støpeflo 13 og går mot nord som vist i figur 26. Den totale leveringstakten øker fra 80m<sup>3</sup>/t til 120m<sup>3</sup>/t ved å inkludere levering fra et tredje blandeverk.



Figur 26 Startpunkt og støperetning. Basert på tegning K11-031 A ("Produksjonsunderlag," 2019)

BP3 støper sammen med BP2, frem til oransje støpeflo 13 er ferdig utlagt. Deretter er det beregnet at BP3 bruker 1 time på å forflytte seg til ny oppstillingsplass. Tidsforbruk på flytting av pumpen inkluderer vask og omrigg av betongpumpen. BP3 støper deretter sammen med BP1 til utstøpingen er ferdig.

Den totale utstøpingstiden vil være 26,14 timer for BP1, 27,02 timer for BP2 og 23,02 timer inkludert flytting for BP3. Dette er en reduksjon i utstøpingstid på 14 timer fra andre til tredje alternativ.

De kritiske punktene med lengst åpen tid er grønn støpeflo 16 og rød støpeflo 15, på henholdsvis 1 time og 36 minutter og 1 time og 42 minutter.

Betongen blir ifra støpens oppstart retardert i tre timer. Etter hvert som støpen beveger seg mot endene av rundkjøringsløkket, kan behovet for retardering vurderes på nytt ut fra fremdrift og værforhold. En eventuell beslutning om justering av retarderingsmengde tas av prosjektets betongteknolog, og blandeverkene skal endre retarderingsmengden på samme tidspunkt.

## 5.2.7 Diskusjon

Det har blitt gjort kontinuerlige endringer og optimaliseringer i beregningene, ved å endre inngangsfaktorer. Etter hvert alternativ har resultatet blitt evaluert av bachelorgruppen, og presentert for kontaktpersoner med ulike roller i Skanska. På den måten fikk gruppen innspill til eventuelle endringer, fra personer med ulike synsvinkler på utfordringene.

Leverings- og støpetakten er basert på vurderinger gruppen har gjort, med bekreftelse fra Skanska. Takten er et gjennomsnitt, og den eksakte leveringstakten i et spesifikt tidspunkt vil kunne være noe høyere eller lavere enn gjennomsnittet. Sikkerhetsmarginen i retardering skal bidra til å redusere risikoen av differanse i beregnet og reell takt.

Under beregninger av tid som et produkt av volum og støpetakt, ble det gjort noen forenklinger og tilnærminger for å gjøre beregningsarbeidet mindre komplisert. Det er blitt gjort forsøk på å forsvare disse forenklingene, for å opprettholde gyldigheten av resultatet fra beregningene. Beregningene som er gjort er essensielle for den videre produksjonsplanleggingen, da inngangsfaktorer og resultatene utgjør store deler av forutsetningene for videre planlegging.

Forenklingen av støpefloenes geometri ved volumberegningene i kapittel 5.2.3, gir et avvik fra faktisk volum i støpefloene. Forenklingen fører til en høyere teoretisk åpen tid for betongen i kritiske områder, enn hva det faktisk vil være. Mot slutten av utstøpingen hvor forenklingen vil bidra til en kortere åpen tid, er det god margin til grenseverdien for retardering. Forenklingen ansees derfor som akseptabel, da den bidrar til en større sikkerhetsmargin i kritiske punkter.

Gruppen har på bakgrunn av manglende kompetanse ved bruk av 3D-modelleringsprogrammer valgt å beregne støpefloenes volum manuelt. Rundkjøringslokkets utfordrende geometri gjorde det nødvendig å forenkle beregningene. For å kontrollere foretatte forenklinger under volumberegningen ble totalt volum hentet ut av 3D-modellen og kontrollert mot beregningsmodellen. Totalt volum i beregningsmodellen ble 2707 m<sup>3</sup>. Ved uttak av volum fra 3D-modellen er volumet av rundkjøringslokket 2761 m<sup>3</sup>. Avviket utgjør 1,96% av totalt volum fra 3D-modellen, og er vurdert som akseptabel.

Ved justeringer i betongens retarderingsmengde, er det ønskelig å få en synkron endring ved alle tre blandeverk. Dersom blandeverkene skulle få store avvik i endringstidspunktet av retarderingsmengden, kan det resultere i støpefloer med variasjon i avbindingstid. En annen fordel av å synkront endre retarderingsmengden, er dersom det skulle oppstå en driftsstans. Leveransene med betong kan da dirigeres til ei ny betongpumpe, og fortsette utstøpingen med lik avbindingstid. Det er ønskelig å holde antall endringer av retarderingsmengde på et minimum. Tidspunkt for endring er vanskelig å fastslå på forhånd, og beslutningen bør derfor tas underveis i utstøpingen. Beregningene gir likevel et bilde av retarderingsbehovet, og ut ifra det anslås det én justering av retarderingsmengden mot slutten av utstøpingen.

Dersom det skulle oppstå en driftsstans ved enten en betongpumpe eller et blandeverk, vil det være nødvendig å sørge for full drift ved BP1 og BP2. Dette kan begrunnes med at rekkevidden fra deres oppstillingsplasser dekker hele utstøpingsområdet. For å kunne opprettholde dette, vil det bli nødvendig å flytte ressurser fra BP3 til BP1 eller BP2. Å flytte ressurser vil kun være aktuelt dersom det skulle oppstå en lengre driftsstans, da omrokking vil stjele noe produktiv tid.

## 5.3 Bearbeiding og etterbehandling

### 5.3.1 Støperør og slange

I gult støpeområde er dybden på rundkjøringsløkket i det dypeste punktet 2,6 m under øvre armeringsnett. Sammen med dybden på toppen av skråsøylen er det 4,3 m dypt i fra øvre armeringsnett til bunnen av formen. Her vil det være utfordrende å oppnå akseptabel slipp høyde, for å unngå separasjon og steinreir. Det skal derfor i forkant av utstøpingen monteres støperør som festes til topplaget av armeringen, for å føre betongen ned til akseptabel slipp høyde på 0,5 m. To støperør plasseres midt i tverrsnittet av skråsøyletoppen, med 2 m avstand til hverandre. Videre plasseres støperørene med 3 m avstand til hverandre i gult støpeområde. I områder med mindre total dybde blir det benyttet en fleksibel støpeslange for å føre betongen gjennom øvre armeringsnett og ned i forma. Denne slangen skal føres ned i punkter med samme avstand som støperørene.

### 5.3.2 Komprimering

Under utstøpingen skal det benyttes elektriske stavvibratorer for å komprimere betongen riktig. Her vil det være kritisk at nytt lag med fersk betong, vibreres sammen med underliggende lag. Vibrostavene skal føres ned i fersk betong med en maksimal avstand på 3-4 ganger vibratorens diameter ved kantene, og 10 ganger vibratorens diameter i øvrige områder.

### 5.3.3 Nivellering og avretting

Vibrobygger skal benyttes for avretting av betongoverflaten. Øvre lag av armeringen nivelleres inn og meier legges på topplaget. Vibrobryggen trekkes etter meiene og avretter betongen med riktig fall og høyde. I arealer hvor det ikke er mulig å benytte vibrobryggen, nivelleres betongen med nivelleringslaser og dissers over med en flytavretter. Overflaten av dekke har ulike fallforhold, og det er derfor viktig at områdene deles inn etter fallforholdene før nivelleringen starter.

### 5.3.4 Herdetiltak

Etter avretting er utført skal herdemembran av typen Pieri Curing Clear påføres med 0,5kg/m<sup>2</sup> forbruk ved bruk av en lavtrykksprøyte. Herdemembranen skal påføres rett etter betongoverflaten er avrettet.

Når betongoverflaten har oppnådd tilstrekkelig fasthet, skal plastfolie og presenning legges ut i henhold til prosess 84.463 i PK2. Herdemembran og vann påføres betongoverflaten før plastfolien legges ut. Plastfolien skal påføres i et lag av 0,15mm tykkelse og dekke hele konstruksjonens frie overflate. Deretter dekkes overflaten med presenning som sikres mot vind.

Vanning er et viktig tiltak for å hindre overflateherding av betongen under støp, og skal derfor gjøres jevnlig ved høy temperatur og ved observasjon av tidlig overflateherding. Vanning er spesielt viktig etter et døgnns modenhet, da betongen oppnår høy herdetemperatur og uttørring. Vann påføres forskalingen jevnlig i tiden før utstøpingen begynner. Det skal bidra til å mette bordforskalingen med fuktighet, for å unngå glipper som følge av uttørring. En mettett forskaling vil forenkle rivingsarbeidet, redusere faren for avskalling ved riving og gi en finere bordstruktur i overflaten av ferdig konstruksjon.

### 5.3.5 Diskusjon

Komprimering av betongen er en stor og viktig del av selve støpearbeidet. I støpeplanen er det forutsatt hyppig bruk av vibratører for å sørge for god komprimering. Vibreringen er spesielt arbeidskrevende i dype tverrsnitt av konstruksjonen, da stavvibratoren skal senkes ned over 1 m for å gjøre ett nedstikk i fersk betong. Optimal slipp høyde og god betongkonsistens skal kunne bidra til å redusere behovet for komprimering noe.

I overflaten av det ferdige rundkjøringslokket er fallforholdene viktige for å oppnå tilstrekkelig avrenning av vann. Dette blir under utførelse tatt hensyn til ved å nivellere inn meier med riktige fallforhold og høyder. I enkelte områder av overflaten på rundkjøringslokket, er det oppstikkende armering som hindrer bruk av meier og vibrobrygge. I disse områdene skal betongen legges ut i riktig høyde ved hjelp nivelleringslaser og flytavretter. Det kan ved utlegging med denne fremgangsmåten, forekomme vanskeligheter med å tydelig dele inn områdene med ulike fallforhold. Områdene hvor vibrobryggen ikke kommer til er små og har forholdvis like fallforhold.

Det blir under arbeidet med oppgaven besluttet å legge plast på hele den frie overflaten av rundkjøringslokket. Dette utføres først etter overflaten har oppnådd tilstrekkelig fasthet til å gå på, uten å etterlate seg fotavtrykk. Beskrivelsen svarer ikke til kravet i fra PK2 om å dekke frie overflater rett etter avretting. Grunnen til at beskrivelsen ikke samsvarer med kravet er at utførelsen ikke lar seg gjennomføre uten å gå på bekostning av kvaliteten til den ferdige overflaten. Det blir derfor besluttet å kompensere for manglende plastfolie i den første delen av avbindingstiden med ekstra bruk av herdemembran.

## 5.4 Ressurser

### 5.4.1 Bemanning

Behovet for bemanning ved utstøpingen av rundkjøringslokket vil variere med fremdriften. Det vil for eksempel ikke være like stort behov for bemanning ved utstøpingen av søyletoppen, som det vil være når utstøping, avretting og herdetiltak foregår samtidig.

Under utstøpingen er det behov for et støpelag med fire betongarbeidere per betongpumpe, hvorav en er støpebas. En skal håndtere pumpe slangen å sørge for at betongen legges ut jevnt i riktige lagtykkelser. Resten av støpelaget sørger for komprimering og kosting av armeringen.

Første flo med topplag legges ut 9,5 timer etter oppstart på nordsiden av startpunktet, og 12,5 timer på sørsiden av startpunktet. Først da vil det være behov for to ekstra arbeidslag på 4 arbeidere. Deres arbeidsoppgave vil være avretting med vibrobrygge, nivellering av topplaget samt påføring av herdemembran rett bak vibrobryggen.

Når den ferdig avrettede overflaten har oppnådd tilstrekkelig fasthet, skal nok et arbeidslag engasjeres i utstøpingen. Deres arbeidsoppgave vil være utførelse av herdetiltak.

Under hele støpen skal en betongkontrollør for hver pumpe kontrollere betongkvaliteten i henhold til prosjektets kontrollprosedyre, i tillegg til kontinuerlig visuell kontroll av pumpbarhet og støpelighet. Betongkontrollørens arbeidsoppgaver vil også omfatte dirigering av betongbiler, og holde kontroll på at leveringstakten holder forutsetninger fra beregning av åpen tid. Kontrollen av leveringstakt skal også danne grunnlag for vurderingen av justering i retarderingsmengde.

Maksimalt antall bemanning per skift vil være 25 stk. Fordi utstøpingen vil foregå over et døgn, må det beregnes skiftarbeid med to skift for utstøpingen. Hvert skift varer i 12 timer, og det vil dermed være behov for to arbeidslag på 25 arbeidere i døgnet. Total bemanning under utstøpingen, ekskludert bemanning i betongleveranser, vil være 50 stk.



## 5.4.2 Utstyr

Utstørsbehovet avhenger av bemanningen, som igjen er avhengig av støpetakten. Høyere støpetakt, fører til høyere mannskaps- og utstørsbehov. Tabell 5 er en liste over utstyr for utstøpingen av rundkjøringslokket. Ved utarbeidelse av utstørslisten, er det tatt utgangspunkt i en støpetakt på 120 m<sup>3</sup>/t og en bemanning på 25 stk.

Tabell 5 Utstørsliste

<b>Utstørsliste</b>		
<b>Utstyr</b>	<b>Mengde i bruk</b>	<b>Backup</b>
Betongpumper	3 stk	
Stavvibrator	9 stk	3 stk
Vibrobygge 6 m	2 stk	1 stk
Sprøytekanner	4 stk	
Oljefat Pieri Curing Clear	9 stk	
Plastfolie	2756m <sup>2</sup> /70 ruller	
Presenning	2576m <sup>2</sup> /48 stk 6x10	
Nivelleringslasere	3 stk	
Fleksibel pumpe slang 4"	3 stk	3 stk
Flytavretter motordrevet	2 stk	
Flytavretter	2 stk	
Asfaltrive	12 stk	
Jernrive	4 stk	
Pusse Brett for kanter	10 stk	
Rettholdt	2 stk	
Strømfordelingsskap	1 stk	
Skjøteledning	20 stk	
Vannslanger	100 m	
Piasavakoster	5 stk	

Ved støper med lang varighet, er det viktig med kontinuerlig rengjøring av utstyret. Alt fra jernriver til betongbiler må rengjøres med jevne intervaller for å holde utstyret ved like, og oppnå et godt sluttresultat.

## 5.4.3 Diskusjon

På grunn av varierende start- og sluttidspunkt for de ulike arbeidsoppgavene, kunne det vært et alternativ å ha ulike tidspunkt for skiftstart. Til tross for dette velger bachelorgruppen å beholde Skanskas faste skifttider fra 0700-1900 og 1900-0700. Dette er innarbeidede skifttider, og enkelt å forholde seg til. Bemanningen til de ulike arbeidsoppgavene tilknyttet utstøpingen, vil uansett kunne flytte noe over i hverandre. Ved eventuell lediggang kan dette kombineres med matpauser, vask av utstyr, forberedelser og bytte av arbeidsoppgaver. Det er viktig å rullere på arbeidsoppgavene innad i støpelagene for å unngå overbelastning på den enkelte betongarbeider, da arbeidsoppgavene ofte er statisk og ensformig.

Det er noe usikkerhet relatert til nødvendig bemanning under utstøpingen. Med tanke på at utstøpingen av denne typen er lite utprøvd tidligere, finnes det lite erfaringstall for en slik arbeidsoppgave. Skanska har dog lang og god erfaring med betongkonstruksjoner, og har bistått gruppen med vurdering av bemanningsbehovet. Underbemanning kan føre til driftsforsinkelser under utstøpingen. Gruppen har derfor satt bemanningen til et antall som tilsvarer behovet under de mest ressurskrevende periodene i støpen.

## 5.5 Kontrollplan

### 5.5.1 Innhold i kontrollplan

Kontrollplanen skal foreligge for å sikre god styring, kontroll og oppfølging av prosjektet. Den må derfor omfatte alle prosesser som må gjennomføres for å ivareta styringen, kontrollen og oppfølgingen for det spesifikke prosjektet.

I kontrollplanen for utstøpingen av rundkjøringslokket (vedlegg G) er aktiviteter som mottakskontroll av betong, kontroll av støpearbeider, kontroll av etterbehandling samt kontroll av geometri kontrollpunkter. Disse sammenstilles med henvisning til beskrivelser, ansvarlig utførende, tidspunkt for utførelse og dokumentasjonsmetode. Kontrollpunkter i kontrollplanen skal gjennomføres og dokumenteres som beskrevet.

Støpearbeidet skal dokumenteres ved utfylt og signert støpedagbok, sjekklister og innmålingsprotokoller. Bilder, måleverdier, tidspunkt for kontroll skal inkluderes i støpedagboken. Kontrollpunktene godkjennes av produksjonsleder.

Eventuelle avvik som forekommer før, under eller etter utstøpingen dokumenteres i form av avviksmeldinger.

### 5.5.2 Diskusjon

Bachelorgruppen skulle i utgangspunktet utarbeide en kontrollplan for utstøpingen av rundkjøringslokket, i henhold til Skanskas retningslinjer. Skanska har en ferdig utarbeidet kontrollplan for betongkonstruksjoner i utførelsesklasse 3. Gruppens arbeid ble derfor å begrense kontrollpunktene i Skanskas kontrollplan til utstøpingen av rundkjøringslokket, og kontrollere henvisningene til lov- og regelverk. Skanskas kontrollplan blir benyttet fordi en egenprodusert kontrollplan ville skapt vanskeligheter knyttet til overførbarhet.

## 5.6 Støpeplan

### 5.6.1 Innhold i støpeplan

Støpeplanen (vedlegg F) er en informativ tekst som er satt sammen av resultatene i kapittel 5.1 til og med 5.4.

Støpeplanen skal i felleskap presenteres for alle som aktivt eller passivt skal delta i selve støpeprosessen. Det skal gjennomføres et informasjonsmøte hvor støpeplan og SJA gjennomgås. Dette for å sikre god samhandling mellom ulike roller og arbeidsoppgaver, i tillegg til å sikre at alle har god kjennskap til arbeidsprosessene.

Som en forutsetning for å starte utstøpingen av rundkjøringsløkket blir været avgjørende. Utstøpingen er planlagt utført i juni 2022, og dette er en måned med høy sannsynlighet for mye sol og høy lufttemperatur. Det ble avgjort å forutsette en lufttemperatur på maksimalt 25 °C og minimalt 5 °C for å starte utstøpingen.

### 5.6.2 Sikker jobbanalyse (SJA)

Behovet for en sikker jobbanalyse skal vurderes ut ifra arbeidsoperasjonens omfang og risiko. I sikker jobbanalyse skal det listes opp forhold man er bekymret for, hvilke farer som kan oppstå, tiltak og hvem som er ansvarlige for at tiltakene gjennomføres. Analysen skal gjennomgås med alle involverte i arbeidsoperasjonen og alle som er ansvarlige for eventuelle tiltak skal informeres om dette.

### 5.6.3 Diskusjon

I arbeidet med oppgaven ble det tidlig enighet om at produksjonsplanen skulle utarbeides teoretisk, samtidig som de praktiske aspektene blir ivaretatt. I planleggingen ble det tatt utgangspunkt i noen forutsetninger, som ikke nødvendigvis alltid samsvarer med de forhold som opptrer ute på anlegget. Det er derfor viktig å være bevisst på at teorien og praksisen ikke bestandig er ekvivalent, for å kunne vektlegge dette i arbeidet. Uten forståelsen for at differansen mellom teori og praksis finnes, kan behovet for sikkerhetsmarginer lett overses.

Å utforme en støpeplan som kan benyttes direkte i andre konstruksjoner viste seg å by på utfordringer. Støpeplaner er svært individuelle i form av ulike forutsetninger og forhold. Noe av det som gjør støpeplaner individuelle er ulikheter i utforming, gjeldende krav, beliggenhet, årstid samt tilgang på ressurser. En universell støpeplan er derfor verken mulig eller hensiktsmessig å lage.

Under arbeidet med støpeplanen har bachelorgruppen hatt tilgang til hele prosjektets produksjonsunderlag. Produksjonsunderlaget er grundig utarbeidet, med gode tegninger og høy detaljeringsgrad. Dette har bidratt til å utarbeide en støpeplan for rundkjøringsløkket. For utstøping av store kontinuerlige støper, har det vært en fordel å kunne ta utgangspunkt i Skanskas erfaringstall fra tidligere støper.

Bachelorgruppen har hatt god tilgang til prosjektet, og har besøkt anlegget jevnlig. Plassering av betongpumper, og tilkomst for betongbiler kan være utfordrende på trange anleggsområder. Befaringene har gitt et bedre bilde av konstruksjonens omkringliggende areal, og mulige oppstillingsplasser for betongpumpene. Anleggets tilkomstveier, og blandeverkens lokasjoner ga oss en mulighet til å fordele et blandeverk til en bestemt betongpumpe. Dette vil føre til enklere logistikk ved leveranse av betong.

## 6 Konklusjon

I oppgaven har bachelorgruppen utarbeidet en støpeplan med tilhørende kontrollplan og SJA, for utstøpingen av rundkjøringslokket. Støpeplanen er basert på forutsetninger og beslutninger vurdert i samråd med Skanska. Selve planen er prosjektspesifikk, mens fremgangsmåten gruppen benytter kan anvendes ved produksjonsplanlegging av lignede type.

Hovedutfordringen ved utstøpingen av rundkjøringslokket er å holde kontroll på betongens åpne tid, for å unngå utilsiktede støpeskjøter. Det ble derfor lagt stor vekt på beregninger for å begrense lengden av den åpne tiden under arbeid med oppgaven. Itereringsprosessen ved beregninger av åpen tid har vært en god fremgangsmåte for å optimalisere støpeopplegget.

For å kunne lage en god støpeplan for kontinuerlig utstøping av rundkjøringslokket, er det viktig å få god oversikt over alle teoretiske og praktiske problemstillinger. Et detaljert produksjonsunderlag, med tilhørende standarder og beskrivelser, har vært vesentlig for å skaffe denne oversikten. God tilgang til prosjektet har gitt gruppen kjennskap til forhold og ressurser på anlegget, noe som har styrket grunnlaget for å utarbeide støpeplanen. Ved å ta hensyn til de forutsigbare utfordringene knyttet til utstøpingen av rundkjøringslokket, har det bidratt til å redusere gjennomføringsrisikoen ved utførelse. Det kan utvilsomt oppstå situasjoner som er uforutsigbare, da et anlegg er dynamisk. Den involverende planleggingen har vært et virkemiddel for å øke omfanget av de forutsigbare faktorene i utstøpingsprosessen, og samtidig redusere omfanget av det uforutsigbare.

En kontrollplan skal foreligge etter gjeldende kontrollrutiner, og er grunnlaget for å kvalitetssikre konstruksjonen. Kontrollplanen i seg selv er likevel ikke en sikkerhet for god kvalitet. Alle kontrollpunkter må følges opp, og kontrollplanen må kontinuerlig oppdateres og benyttes. Under utarbeidelse av støpeplanen er det beregnet god nok tid til å kunne sikre forventet kvalitet på den ferdige konstruksjonen. Tilstrekkelige mengder utstyr og personell er medregnet i støpeplanen, for å unngå at mangel på ressurser går på bekostning av kvaliteten til sluttproduktet.

Ved å lage en SJA kan man sikre at alle bekymringsverdige forhold i arbeidsoperasjonen blir vurdert. Sikker jobbanalyse er vedlagt i oppgaven og er skrevet som et eksempel, da en SJA skal utarbeides og gjennomgås i samråd med alle inkluderte i utstøpingsprosessen. Ved å fylle ut SJA i felleskap blir sannsynligheten for å overse disse forholdene redusert, da flere synsvinkler blir tatt i betraktning. Tiltakene skal fordeles til ansvarlige personer for å unngå at ansvaret faller mellom to stoler, og på den måten sikre gjennomføring av tiltakene.

Den involverende planleggingen i arbeidet med oppgaven har ført til at utstøpingen av rundkjøringslokket har blitt belyst i fra ulike perspektiver. Gruppen har benyttet denne planleggingsmetoden ved å ha løpende dialog med ulike fagpersoner Skanskas organisasjon. Dette har resultert i en støpeplan, hvor både teoretiske og praktiske aspekter er hensyntatt. Støpeplanen vil dermed redusere gjennomføringsrisikoen ved utstøpingen av rundkjøringslokket.

## 7 Videre arbeid

Betongens bruksområde utvider seg stadig. Større og mer komplekse konstruksjoner kan i dag bygges med betong. Dette er en positiv utvikling for bransjen, samtidig som det skaper nye og mer omfattende utfordringer knyttet til utførelse. Det finnes i dag begrensede mengder klare retningslinjer for hvordan produksjonsplanlegging av betongkonstruksjoner skal utføres. Veien videre på dette feltet kan derfor være å danne beskrivelser eller prosedyrer for slike planleggingsarbeider.

Ved videre arbeid med oppgaven kunne det vært interessant å inkludere miljøbelastningen til de ulike alternative gjennomføringene som blir vurdert i resultatet. På denne måten blir resultatet ikke bare vurdert med hensyn til åpen tid og utførelse, men verdier for utslipp kan også sammenlignes.

## 8 Referanseliste

SINTEF Byggforsk (2011) 520.028 Oppfølging av betongens herdeforløp på byggeplass.

Tilgjengelig fra:

[https://www.byggforsk.no/dokument/4018/oppfoelging\\_av\\_betongens\\_herdeforloep\\_paa\\_byggeplass#i4](https://www.byggforsk.no/dokument/4018/oppfoelging_av_betongens_herdeforloep_paa_byggeplass#i4) (Hentet: 21.04.22).

SINTEF Byggforsk (2003) 522.111 Betonggolv på grunnen. Tilgjengelig fra:

[https://www.byggforsk.no/dokument/332/betonggolv\\_paa\\_grunnen#i51](https://www.byggforsk.no/dokument/332/betonggolv_paa_grunnen#i51) (Hentet: 05.03.22).

SINTEF Byggforsk (2016) 572.205 Betong, Typer, egenskaper og bruksområder.

Tilgjengelig fra:

[https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong\\_typer\\_egenskaper\\_og\\_bruksomraader#i44](https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader#i44) (Hentet 14.04.22).

Berggård, L.J. (2021) Rapport Styrte Praksis. Trondheim.

Bryhni, I. (2020) Etringitt. Store Nor. Leks. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ettringitt> (Hentet: 15.03.22).

DIBK (2022) Vedlegg 3.2 prosjekteringsprosessen.

Tilgjengelig fra:

<https://dibk.no/saksbehandling/kommunalt-tilsyn/temaveiledninger/tilsyn/> (Hentet 24.04.22)

Dr. Fredvik, T. (2022) HETT'97.

Etterbehandling av betong-dette gjøres etter støping. (2021) Kontrollrådet. Tilgjengelig fra:

<https://kontrollbetong.no/aktuelt/artikler/etterbehandling-av-betong-dette-gjores-etter-stoping/> (Hentet: 11.04.22).

Forskrift om tekniske krav til byggverk (2017) Tilgjengelig fra:

[https://www.byggforsk.no/byggeregler?gclid=CjwKCAjwj42UBhAAEiwACIhADrqOukGD0SeoDirkg34zYgd\\_OK8Ah06\\_cg4kb943XZaB-xw9lCqe9hoCL98QAvD\\_BwE](https://www.byggforsk.no/byggeregler?gclid=CjwKCAjwj42UBhAAEiwACIhADrqOukGD0SeoDirkg34zYgd_OK8Ah06_cg4kb943XZaB-xw9lCqe9hoCL98QAvD_BwE)

(Hentet: 04.05.22)

Håndbok R762 Prosesskode 2 Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier. (2018) Statens vegvesens håndbokserie. Vegdirektoratet

Juliebø, E. (2012) Betong. 1. utg. Oslo: Gyldendal Norsk forlag AS.

Kontrakt Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger E2 Hovedentreprise. (2019)

Lean construction institute. (2016) Lean construction defined. Tilgjengelig fra:

<https://leanconstruction.org/> (Hentet: 22.03.22)

Maage, M., Smeplass, S., Gjerp, P., Pedersen, B., Kristiansen, B., Injar, J. (2019) Betong-Regelverk, teknologi og utførelse. 1.Utgave/2.opplag. Bergen: Byggenæringens Forlag AS

Standard Norge (2013) NS-EN 206:2013+A2:2021+NA:2021 Betong-Spesifikasjoner, egenskaper, framstilling og samsvar. Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1262471> (Hentet: 11.04.22)

Standard Norge (2009) NS-EN 13670:2009 +NA:2010 Utførelse av betongkonstruksjoner.  
Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1309201> (Hentet: 07.05.22)

Gjerp, P., Morten, O., Smeplass, S., (2004) Grunnleggende Betongteknologi. 2. utg.  
Oslo: Byggenæringens forlag.

Norsk Industri (2016) Produksjonsplanlegging. Tilgjengelig fra:

[https://ressurs.norskindustri.no/html/dBRK5oi8YIBCoVNKItMSog/107/Produksjonsplanlegging\\_ny/story\\_content/external\\_files/Produksjonsplanlegging.pdf](https://ressurs.norskindustri.no/html/dBRK5oi8YIBCoVNKItMSog/107/Produksjonsplanlegging_ny/story_content/external_files/Produksjonsplanlegging.pdf) (Hentet: 18.04.22)

Statens Vegvesen (2019) Produksjonsunderlag Prosjekt Rv706 Nydalsbrua med tilknytninger.

Skjølsvik, O.B., Smeplass, S., Petersen, B.G., Engen, M., Ytterdal, S.G., Marstrander, B.B.  
(2018) Beskrivelse av spesialbetonger lavvarmebetong (No. 5). Norsk betongforening.

Tilgjengelig fra: [https://betong.net/wp-content/uploads/rapport-5\\_lavvarmebetong\\_web.pdf](https://betong.net/wp-content/uploads/rapport-5_lavvarmebetong_web.pdf)  
(Hentet: 07.04.22)



## 9 Vedleggsliste

Vedlegg A – Artikkel	1 side
Vedlegg B – Plakat	1 side
Vedlegg C - Første alternativ	12 sider
Vedlegg D - Andre alternativ	11 sider
Vedlegg E - Tredje alternativ	11 sider
Vedlegg F – Støpeplan	8 sider
Vedlegg G – Kontrollplan	3 sider
Vedlegg H – SJA	3 sider
Vedlegg I – Beregningsmodell excel	(elektronisk)

# **VEDLEGG A**

## **Artikkel**

# Storstøpen ved Nydalsbrua

*Av Lars Johan Berggård og Åsmund Rise Hauko*

Skanska er godt i gang med byggingen av et nytt landemerke, Nydalsbrua i Trondheim. Hovedelementet i prosjektet vil være ei skråstagbru som skal ta biltrafikken over Nidelva. Dette prosjektet vil også inneholde en av Norges største kontinuerlige dekkestøper, utstøpingen av rundkjøringslokket. 2700m<sup>3</sup> med betong skal legges ut over en periode på 27 timer i slutten av juni 2022. En kontinuerlig støp av denne størrelsen krever mye planlegging. To bachelorstudenter ved NTNU har utarbeidet en støpeplan for utstøpingen av rundkjøringslokket, og vi har fått et intervju med studentene.



*Illustrasjon: Statens vegvesen*

## Hva er hovedutfordringene med en så stor kontinuerlig støp?

Rundkjøringslokket er en sammensatt konstruksjon, med stort areal. Det gir oss en utfordring med betongens åpne tid, altså hvor lang tid det tar før utlagt betong blir dekket med fersk betong. Dersom betongen rekker å størkne, kan en få utilsiktede støpeskjøter. Her gjelder det å finne en god sammensetning av leveringstakt, utleggingsmønster, floinndelinger og lagtykkelser.



*Foto: Skanska Norge AS*

## Hvilken leveringstakt må til for å få dette til å gå?

Det er planlagt en total leveringstakt på 120 m<sup>3</sup>/t fra tre ulike blandeverk. Hvert blandeverk skal levere til sin respektive betongpumpe på anleggsplassen. Dette gir et maksimalt retarderingsbehov av betongen på en time og tre kvarter. Utstøpingen vil ta omtrent 27 timer fra start til slutt.

## Hvilke tiltak har dere gjort for å redusere gjennomføringsrisikoen?

Det er lagt inn sikkerhetsmarginer i alle beregninger. For å unngå kaldskjøter vil det være tilstrekkelig med en leveringstakt på 80 m<sup>3</sup>/t. Leveringstakten er likevel økt for å redusere konsekvensene av driftsstans eller forsinkelser. Betongen vil i tillegg bli retardert en time utover behovet, for å ta opp usikkerhetsmomenter. Vi har hatt fokus på samspillet mellom teori og praksis under utarbeidelsen av støpeplanen. Den involverende planleggingen har vært kritisk i arbeidet med støpeplanen, for å få innspill fra ulike synsvinkler. Itereringsprosessen i beregningsarbeidet har optimalisert støpeplanen og redusert gjennomføringsrisikoen.

## **VEDLEGG B**

### **Plakat**



Prosjektnr 2022-10   Lars Johan Berggård og Åsmund Rise Haukø  
Intern veileder: Amund Bruland   Ekstern kontakt: Sverre Smeplass

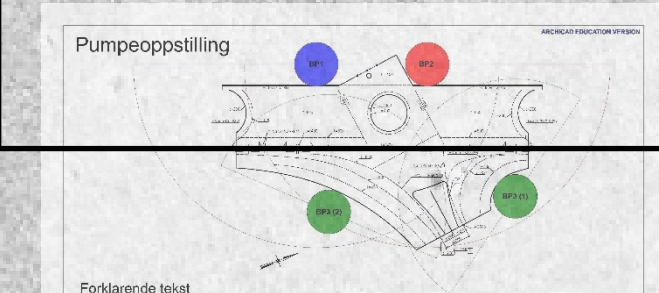
#### Prosjektbeskrivelse

Produksjonsplanlegge kontinuerlig utstøping av konstruksjonen rundkjøringslokket. Konstruksjonen består av 2707 m<sup>3</sup> betong.

Produksjonsplanleggingen skal til slutt resultere i en støpeplan med tilhørende kontrollplan og SJA.

#### Resultatmål

Redusere gjennomføringsrisiko ved å utarbeide en støpeplan som blir benyttet delvis eller i sin helhet i Skanskas prosjekt.



#### Konklusjon:

- Redusere gjennomføringsrisikoen ved involverende planlegging
- Itereringsprosessen kan benyttes som en fremgangsmåte for lignende typer produksjonsplanlegging

#### Resultat:

- Total utstøpingstid 27 timer
- Maksimal åpen tid 4 timer og tre kvarter
- Støpetakt 120 m<sup>3</sup>/t

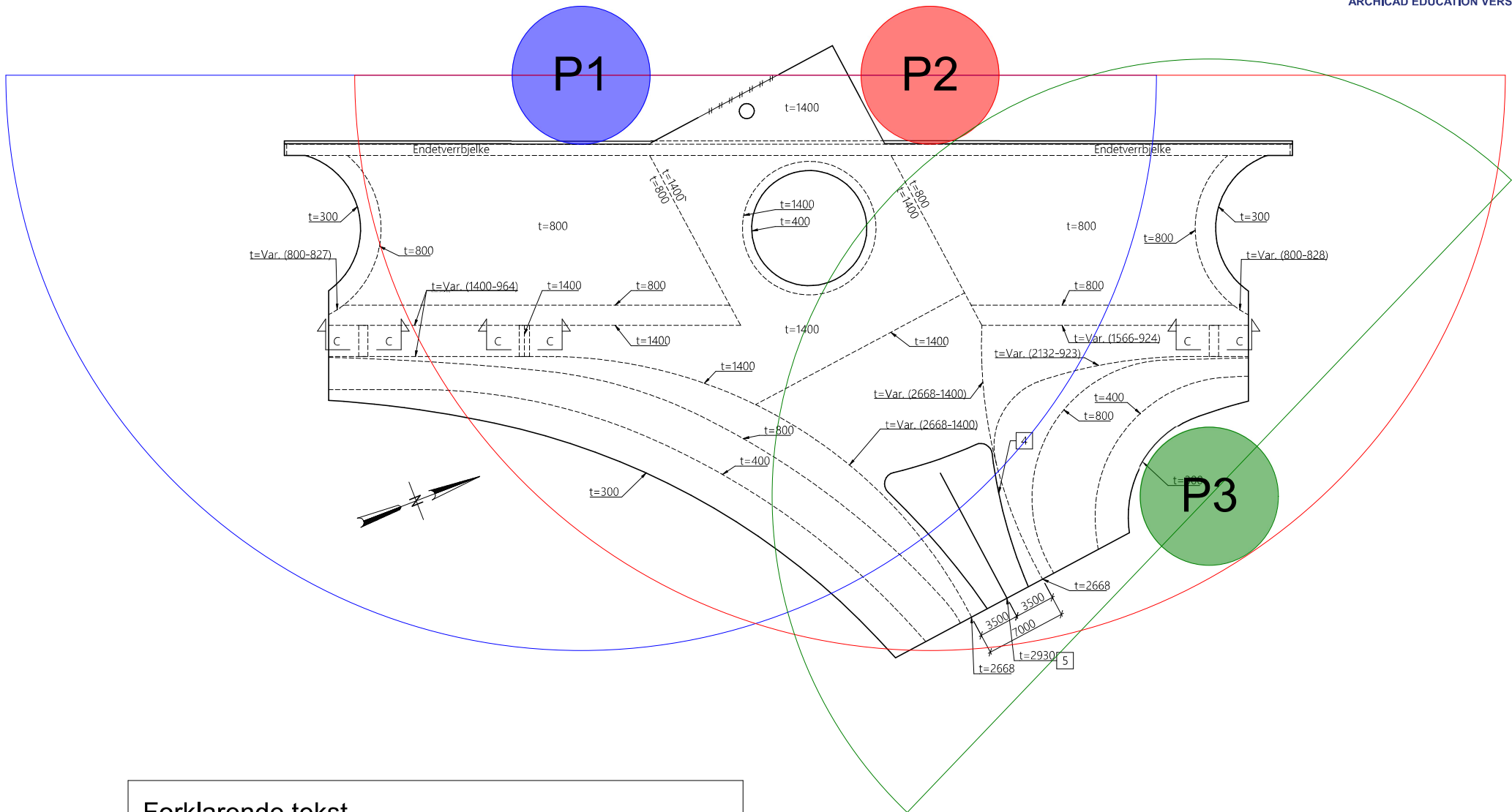




## **VEDLEGG C**

### **Første alternativ**

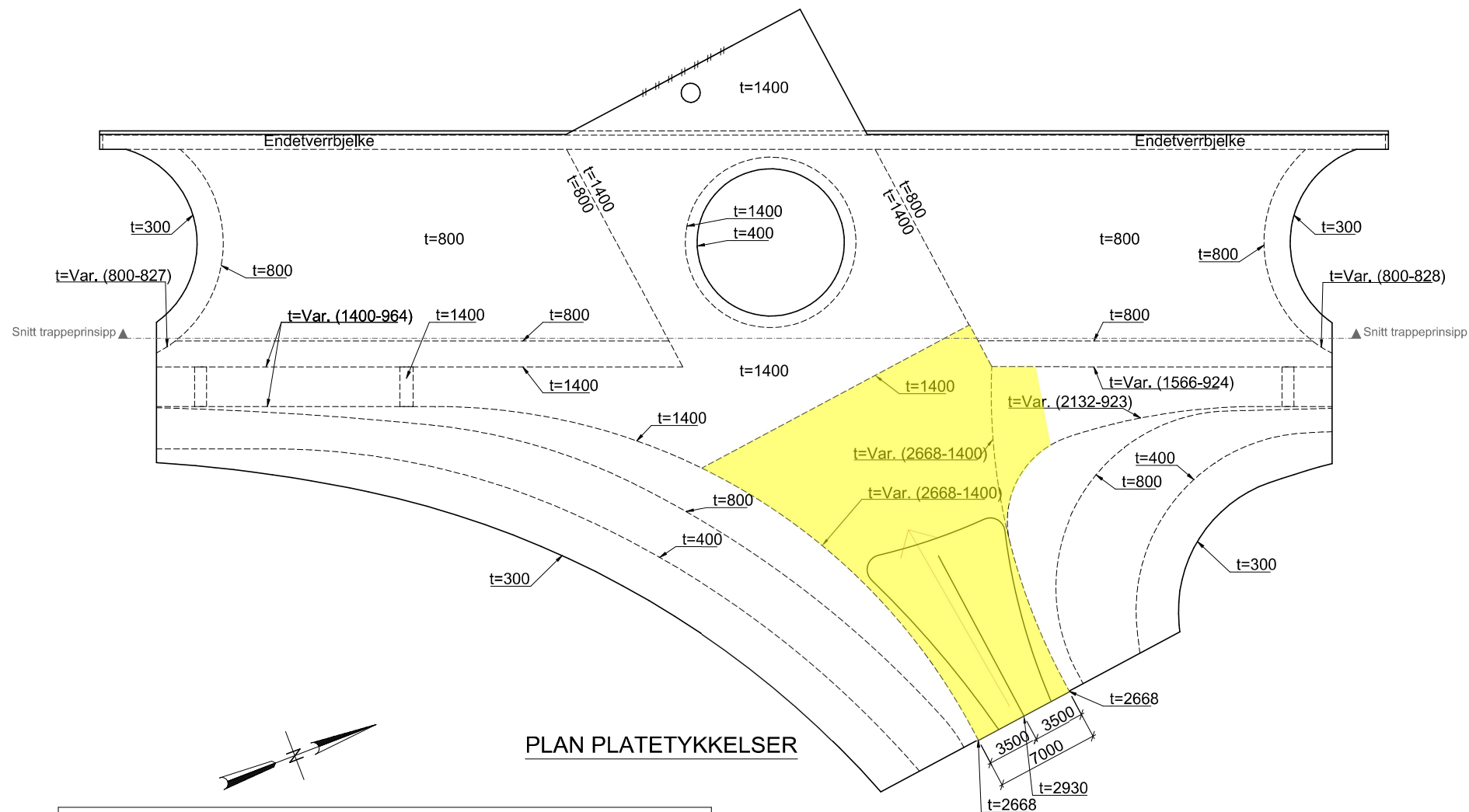




**Forklarende tekst**

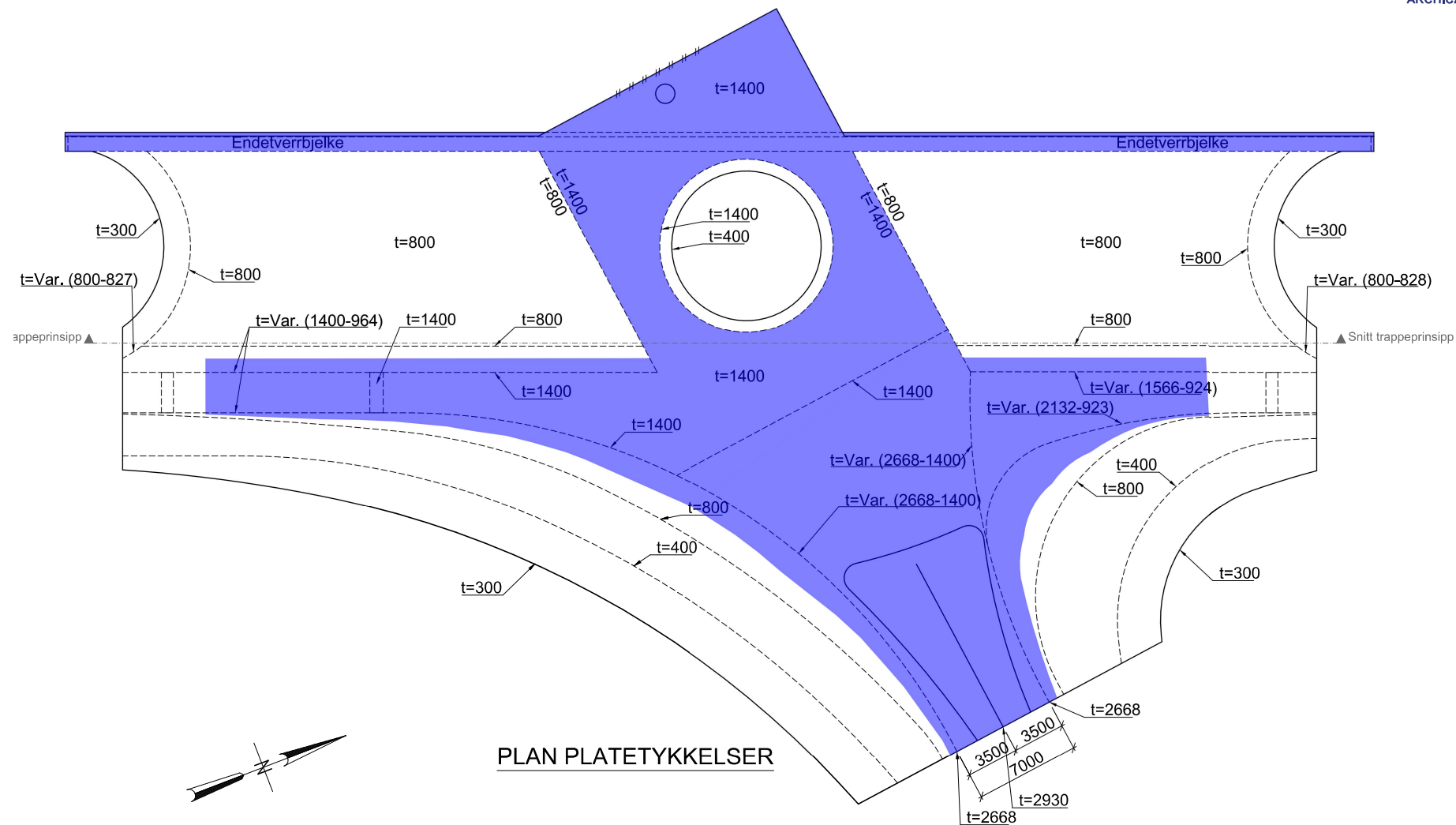
- Betongpumpe 1 (50m)
- Betongpumpe 2 (50m)
- Reservepumpe 3 (50m)  
(Plassering kan variere etter behov)





## Forklarende tekst

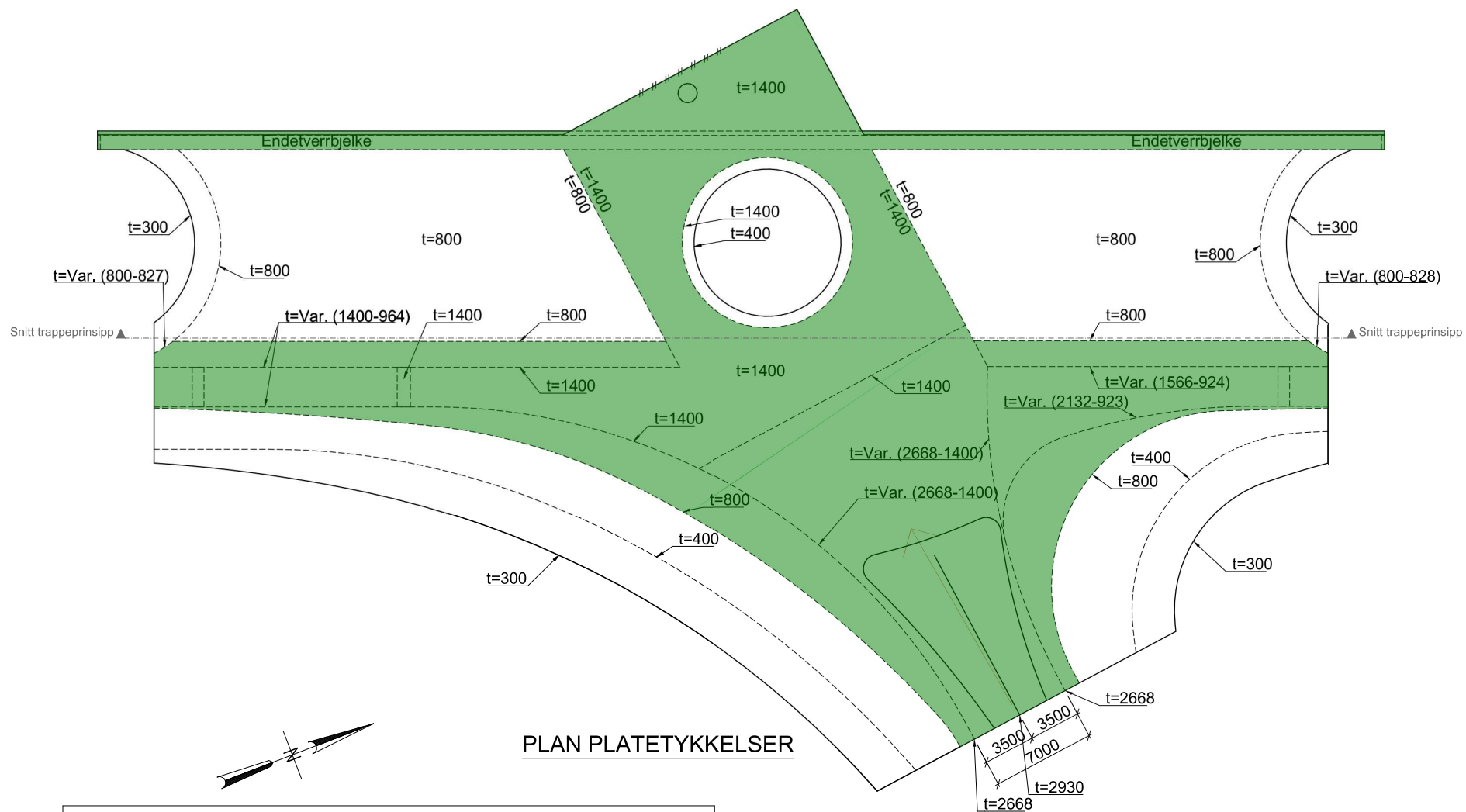
Første støpeområde er merket med gult.  
Området støpes ut ved å begynne i søyletopp, og fortsetter i den røde pilens retning i lag på ca 40 cm.



PLAN PLATETYKKELSER

## Forklarende tekst

Tredje støpeområde er merket med blått.  
Området støpes ut ved å begynne i østenden og  
fortsette i den røde pilens retning.



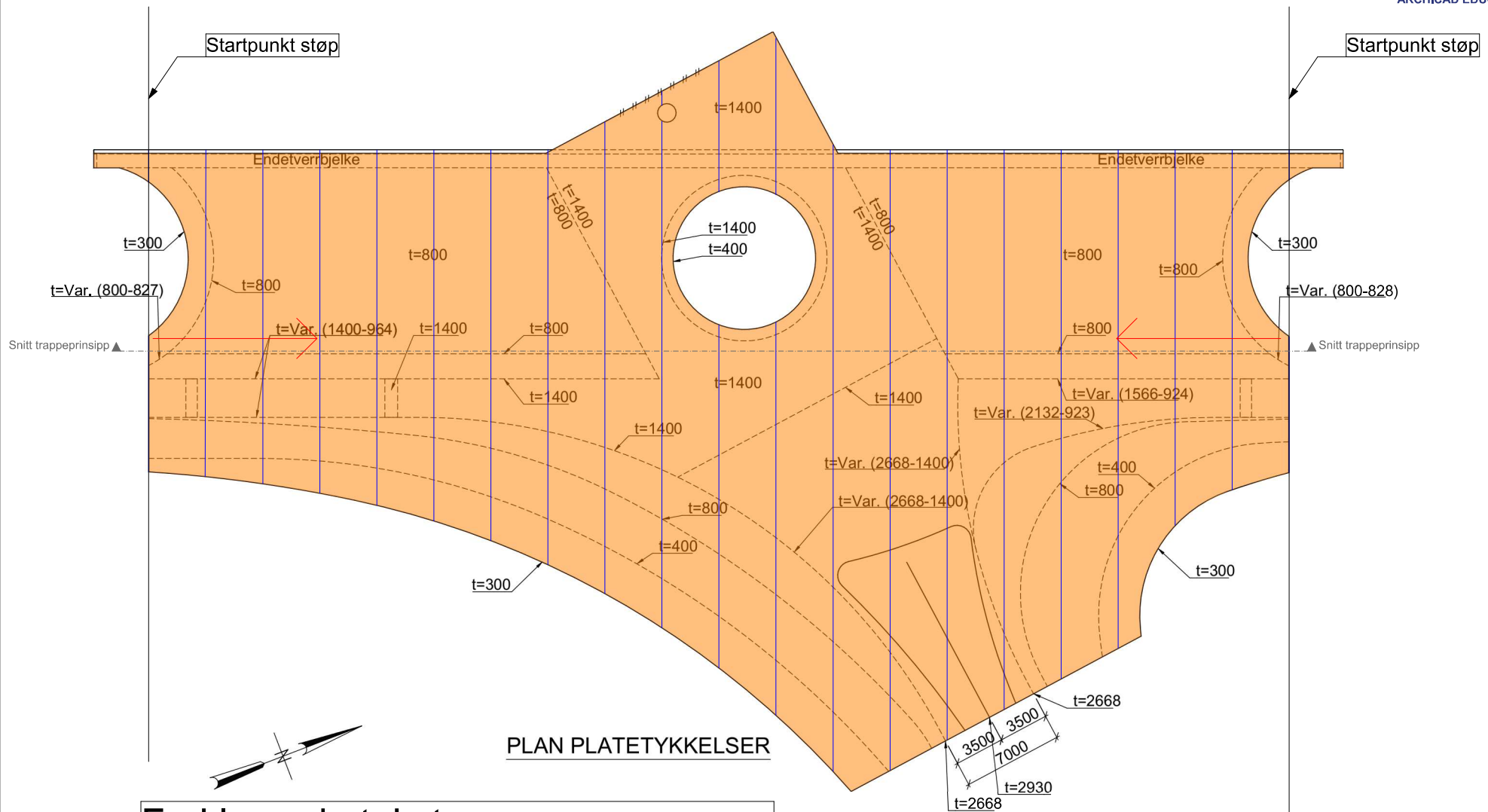
PLAN PLATETYKKELSER

## Forklarende tekst

Tredje støpeområde er merket med grønt.  
Området støpes ut ved å begynne i østenden og  
fortsette i den røde pilens retning.







## Forklarende tekst

Sjette støpeområde er merket med oransje.  
Området støpes ut ved å starte ved svart linje og  
fortsette inn i mot midten i den røde pilens retning.

## Volum støpefloer

Støpefloer lag 4				Støpefloer lag 5			
	Volum (m <sup>3</sup> )	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)		Volum (m <sup>3</sup> )	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)
1	12,18	18,27	40	1	19,64	29,46	40
2	23,19	34,79	40	2	26,70	40,05	40
3	23,63	35,45	40	3	27,01	40,52	40
4	23,78	35,67	40	4	27,75	41,63	40
5	24,17	36,26	40	5	28,72	43,07	40
6	24,67	37,01	40	6	30,12	45,18	40
7	27,00	40,50	40	7	31,85	47,77	40
8	30,17	45,26	40	8	35,36	53,05	40
9	35,09	52,64	40	9	40,38	60,57	40
10	30,81	46,22	40	10	38,08	57,12	40
11	32,60	48,90	40	11	39,84	59,77	40
12	38,13	57,20	40	12	46,16	69,23	40
13	45,26	67,89	40	13	51,02	76,53	40
14	49,29	73,94	40	14	50,51	75,77	40
15	48,03	72,05	40	15	48,02	72,03	40
16	41,07	61,61	40	16	45,45	68,18	40
17	29,70	44,55	40	17	40,24	60,36	40
18	24,87	37,31	40	18	33,17	49,76	40
19	22,91	34,37	40	19	27,74	41,61	40
20	11,12	16,68	40	20	18,82	28,22	40
<b>Sum</b>	<b>597,67</b>	<b>896,505</b>			<b>706,58</b>	<b>1059,87</b>	

Totalt tidsforbruk timer      52,48

## Støpefloer lag 6

Volum (m<sup>3</sup>) Tidsbruk (t) Lev.kap (m<sup>3</sup>/t)

1	14,74	35,38	25
2	18,42	44,21	25
3	18,78	45,07	25
4	19,40	46,56	25
5	20,16	48,38	25
6	21,16	50,78	25
7	22,38	53,71	25
8	24,78	59,47	25
9	28,26	67,82	25
10	27,74	66,58	25
11	28,46	68,30	25
12	33,06	79,34	25
13	35,18	84,43	25
14	33,72	80,93	25
15	31,80	76,32	25
16	30,44	73,06	25
17	29,76	71,42	25
18	24,28	58,27	25
19	19,74	47,38	25
20	14,68	35,23	25
	496,94	1192,66	



# Volumberegning K11 Rundkjøringslokk

Lag 1	Areal med lik tykkelse (M <sup>2</sup> )	Tykkelse (M)	Volum (M <sup>3</sup> )	Areal kile (M <sup>2</sup> )	Tykkelse 1 (M)	Tykkelse 2 (M)	Volum (M <sup>3</sup> )	
Flater					321,5	1,4	2,8	224,9
Topp søyle								25
<b>Sum volum</b>			<b>249,9</b>					
Lag 2								
Flater	754,2	0,3	226,3					
Flater Kile								
Flater Kile høyre				129,7	1,4	1,1	19,455	
Flater kile venstre				116,1	1,4	1,1	17,415	
Endetverrbjelke			63,3					
<b>Sum volum</b>			<b>326,5</b>					
Lag 3								
Flater	1075,5	0,3	322,65					
Flate kiler venstre				107,8	1,1	0,8	16,17	
Flate kiler høyre				65,57	1,1	0,8	9,8355	
Endetverrbjelke			25,8					
<b>Sum volum</b>			<b>374,4555</b>					
Lag 4								
Flater	1917,5	0,3	575,25					
Flater kile				226,4	0	0,3	33,96	
<b>Sum volum</b>			<b>609,21</b>					
Lag 5								
Flater	2143,9	0,2	428,78					
Flater	2482,9	0,1	248,29					
Flater kile				339	0	0,2	33,9	
<b>Sum volum</b>			<b>710,97</b>					
Lag 6								
Flater	2482,9	0,2	496,58					
<b>Sum volum</b>			<b>496,58</b>					

## Støperekkefølge

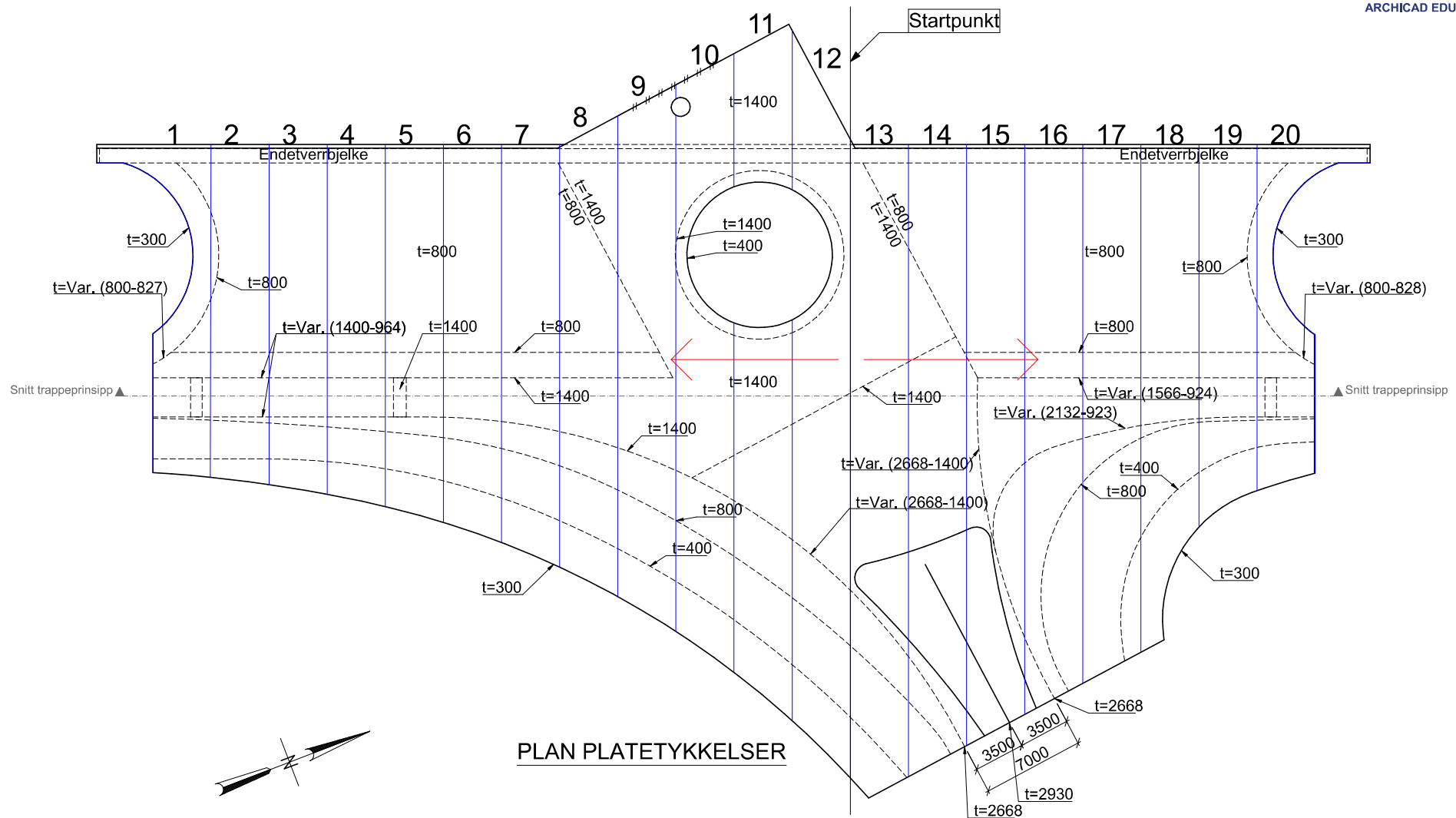
Rekkefølge P1				Rekkefølge P2					
	Tidsbruk	Åpen tid	Tid > 3 timer		Tidsbruk	Åpen tid	Tid > 3 timer		
1	1	18,27	53,06	-126,95	1	20	16,68	51,05	-128,96
2	2	34,79	99,69	-80,31	2	19	34,37	99,89	-80,11
3	1	29,46	104,95	-75,05	3	20	28,22	142,38	-37,62
4	3	35,45	146,54	-33,46	4	18	37,31	158,70	-21,30
5	2	40,05	151,61	-28,39	5	19	41,61	171,16	-8,84
6	1	35,38			6	20	35,23		
7	4	35,67	156,65	-23,35	7	17	44,55	203,29	23,29
8	3	40,52	162,61	-17,39	8	18	49,76	219,10	39,10
9	2	44,21			9	19	47,38		
10	5	36,26	159,96	-20,04	10	16	61,61	252,29	72,29
11	4	41,63	166,78	-13,22	11	17	60,36	258,86	78,86
12	3	45,07			12	18	58,27		
13	6	37,01	167,14	-12,86	13	15	72,05	285,58	105,58
14	5	43,07	175,31	-4,69	14	16	68,18	285,56	105,56
15	4	46,56			15	17	71,42		
16	7	40,50	179,32	-0,68	16	14	73,94	286,91	106,91
17	6	45,18	186,59	6,59	17	15	72,03	288,74	108,74
18	5	48,38			18	16	73,06		
19	8	45,26	196,45	16,45	19	13	67,89	277,17	97,17
20	7	47,77	204,24	24,24	20	14	75,77	285,81	105,81
21	6	50,78			21	15	76,32		
22	9	52,64	205,61	25,61	22	12	57,20	214,65	34,65
23	8	53,05	213,55	33,55	23	13	76,53	226,69	46,69
24	7	53,71			24	14	80,93		
25	10	46,22	215,16	35,16	25	12	69,23	153,67	
26	9	60,57	226,06	46,06	26	13	84,43		
27	8	59,47			27	12	79,34		
28	11	48,90	173,84	-6,16					
29	10	57,12	184,71	4,71					
30	9	67,82				Timer totalt P2	26,89		
31	11	59,77	126,34	-53,66		Timer til senter	20,39		
32	10	66,58							
33	11	68,30							

Timer totalt P1            25,59

Timer til senter            20,26

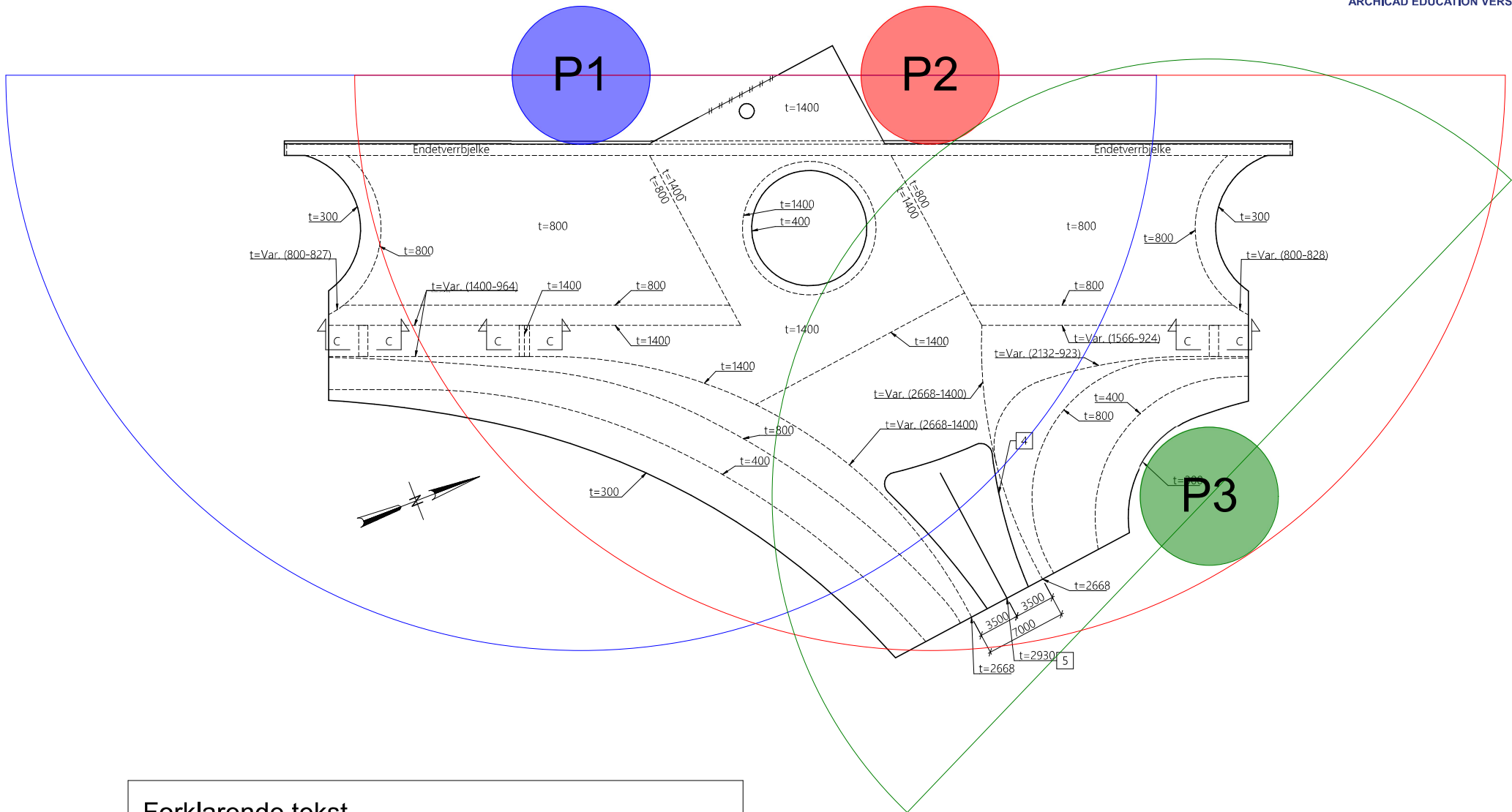
## **VEDLEGG D**

### **Andre alternativ**



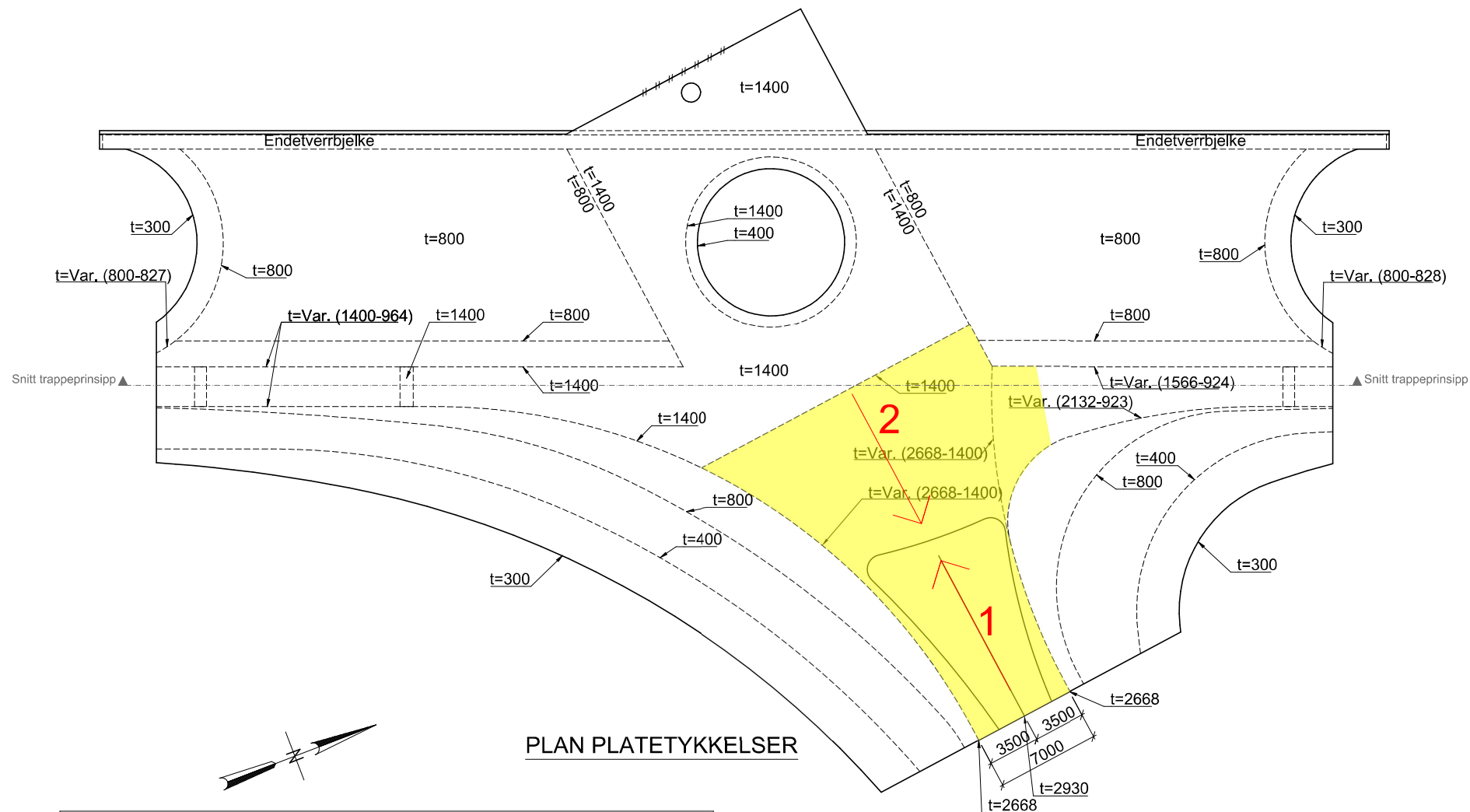
## Forklarende tekst

Støpen begynner ved den svarte streken og fortsetter til hver side i de røde pilenes retning.



### Forklarende tekst

- Betongpumpe 1 (50m)
- Betongpumpe 2 (50m)
- Reservepumpe 3 (50m)  
(Plassering kan variere etter behov)



## Forklarende tekst

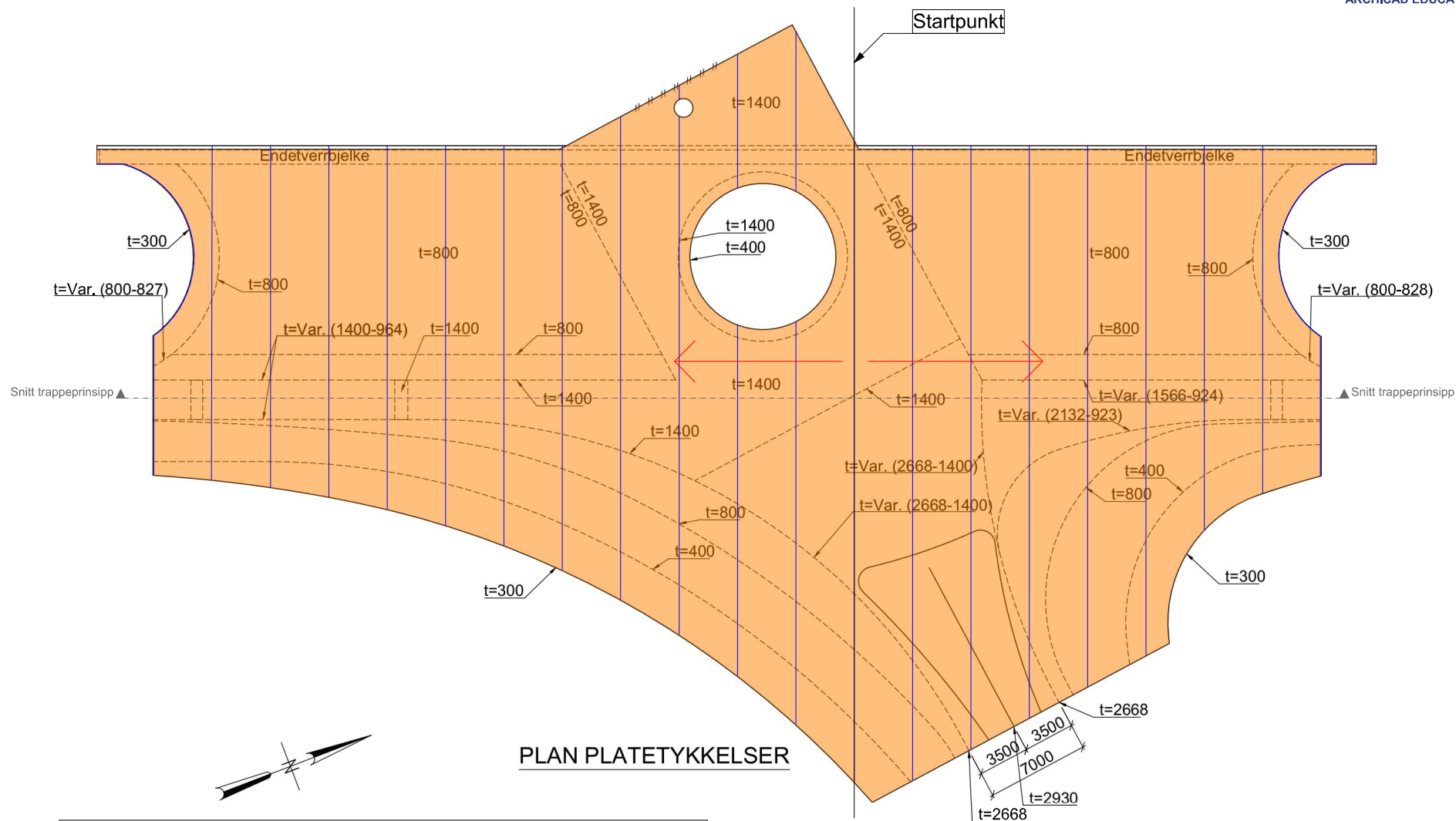
Støpeområde 1 er merket med gult.  
 Utstøpingen begynner i retning 1.  
 Øverste lag på 30 cm støpes i retning 2.











## Forklarende tekst

Støpeområde 5 er merket med oransje.  
 Utstøpingen begynner ved den svarte streken og fortsetter ut til hver side i de røde pilenes retning.  
 Floer er 4 meter i lengden og 20 cm i høyden.

## Volum støpefloer

Støpefloer lag 1		Volum (m³)	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)	Støpefloer lag 2		Volum (m³)	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)	Støpefloer lag 3		Volum (m³)	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)
1	NYD-3	25	18,75	80	1		9,29	13,93	40	1		15,96	23,94	40
2	NYD-2	224,9	168,675	80	2		6,54	9,81	40	2		25,85	38,78	40
3			0	40	3		8,36	12,54	40	3		26,49	39,74	40
4			0	40	4		9,71	14,57	40	4		27,20	40,80	40
5			0	40	5		11,93	17,90	40	5		27,52	41,28	40
6			0	40	6		12,53	18,80	40	6		28,68	43,02	40
7			0	40	7		13,91	20,86	40	7		30,50	45,75	40
8			0	40	8		24,23	36,34	40	8		36,13	54,20	40
9			0	40	9		46,48	69,71	40	9		45,44	68,16	40
10			0	40	10		43,88	65,81	40	10		40,42	60,63	40
11			0	40	11		46,88	70,31	40	11		42,82	64,23	40
12			0	40	12		55,55	83,33	40	12		50,04	75,06	40
13			0	40	13		65,75	98,62	40	13		60,86	91,28	40
14			0	40	14		60,88	91,32	40	14		61,97	92,96	40
15			0	40	15		47,96	71,93	40	15		58,92	88,38	40
16			0	40	16		22,35	33,52	40	16		45,09	67,64	40
17			0	40	17		13,57	20,36	40	17		32,42	48,62	40
18			0	40	18		9,82	14,72	40	18		27,90	41,85	40
19			0	40	19		7,91	11,86	40	19		25,10	37,65	40
20			0	40	20		10,48	15,71	40	20		17,45	26,17	40
<b>Sum</b>		<b>249,9</b>	<b>187,425</b>		<b>Sum</b>		<b>527,95</b>	<b>791,92</b>		<b>Sum</b>		<b>726,759</b>	<b>1090,1385</b>	
<b>Sum timer</b>			<b>3,12375</b>					<b>13,20</b>					<b>18,17</b>	

Totalt volum	2706,77
--------------	---------

Støpefloer lag 4 og 5							
Støpefloer lag 4				Støpefloer lag 5			
	Volum	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)		Volum	Tidsbruk (t)	Lev.kap (m3/t)
1	19,64	29,46	40	1	14,74	35,38	25
2	26,70	40,05	40	2	18,42	44,21	25
3	27,01	40,52	40	3	18,76	45,02	25
4	27,75	41,63	40	4	19,38	46,51	25
5	28,72	43,07	40	5	20,14	48,34	25
6	30,12	45,18	40	6	21,14	50,74	25
7	31,85	47,77	40	7	22,36	53,66	25
8	35,36	53,05	40	8	24,76	59,42	25
9	40,38	60,57	40	9	28,24	67,78	25
10	38,08	57,12	40	10	27,70	66,48	25
11	39,84	59,77	40	11	28,42	68,21	25
12	46,16	69,23	40	12	33,02	79,25	25
13	51,02	76,53	40	13	35,20	84,48	25
14	50,51	75,77	40	14	33,76	81,02	25
15	48,02	72,03	40	15	32,04	76,90	25
16	45,45	68,18	40	16	30,30	72,72	25
17	40,24	60,36	40	17	28,58	68,59	25
18	33,17	49,76	40	18	24,32	58,37	25
19	27,74	41,61	40	19	19,66	47,18	25
20	18,82	28,22	40	20	14,64	35,14	25
	<b>706,58</b>	<b>1059,87</b>			<b>495,58</b>	<b>1189,39</b>	
		<b>17,66</b>				<b>19,82</b>	

# Tidsberegning utlegging

Pumpe 1					Pumpe 2				
Rekkefølge nr.	Flo nr.	Tidsbruk	Åpen tid	Tid >3 timer	Rekkefølge nr.	Flo nr.	Tidsbruk	Åpen tid	Tid > 3 timer
1	Hele feltet	187,425	294,51	114,51	1	Hele feltet	187,425	353,15	173,15
2	12	83,33	153,64	-26,36	2	13	98,62	189,94	9,94
3	11	70,31	211,19	31,19	3	14	91,32	254,54	74,54
4	12	75,06	205,10	25,10	4	13	91,28	256,17	76,17
5	10	65,81	268,99	88,99	5	15	71,93	274,94	94,94
6	11	64,23	263,81	83,81	6	14	92,96	291,38	111,38
7	12	69,23	259,34	79,34	7	13	76,53	274,19	94,19
8	9	69,71	305,70	125,70	8	16	33,52	302,50	122,50
9	10	60,63	304,14	124,14	9	15	88,38	336,62	156,62
10	11	59,77	300,63	120,63	10	14	75,77	320,27	140,27
11	12	79,25			11	13	84,48		
12	8	36,34	250,68	70,68	12	17	20,36	255,76	75,76
13	9	68,16	268,54	88,54	13	16	67,64	284,03	104,03
14	10	57,12	260,95	80,95	14	15	72,03	284,57	104,57
15	11	68,21			15	14	81,02		
16	7	20,86	220,90	40,90	16	18	14,72	220,27	40,27
17	8	54,20	245,79	65,79	17	17	48,62	247,40	67,40
18	9	60,57	244,64	64,64	18	16	68,18	259,14	79,14
19	10	66,48			19	15	76,90		
20	6	18,80	203,26	23,26	20	19	11,86	202,51	22,51
21	7	45,75	227,49	47,49	21	18	41,85	228,30	48,30
22	8	53,05	229,51	49,51	22	17	60,36	236,21	56,21
23	9	67,78			23	16	72,72		
24	5	17,90	182,68	2,68	24	20	15,71	171,72	-8,28
25	6	43,02	206,06	26,06	25	19	37,65	182,17	2,17
26	7	47,77	208,22	28,22	26	18	49,76	186,14	6,14
27	8	59,42			27	17	68,59		
28	4	14,57	167,22	-12,78	28	20	26,17	126,15	-53,85
29	5	41,28	193,46	13,46	29	19	41,61	128,21	-51,79
30	6	45,18	195,25	15,25	30	18	58,37		
31	7	53,66			31	20	28,22	47,22	-132,78
32	3	12,54	156,95	-23,05	32	19	47,18		
33	4	40,80	184,16	4,16	33	20	35,14		
34	5	43,07	184,99	4,99					
35	6	50,74							
36	2	9,81	153,44	-26,56					
37	3	39,74	182,42	2,42					
38	4	41,63	183,19	3,19					
39	5	48,34							
40	1	13,93	139,74	-40,26					
41	2	38,78	149,75	-30,25					
42	3	40,52	151,02	-28,98					
43	4	46,51							
44	1	23,94	109,02	-70,98					
45	2	40,05	114,53	-65,47					
46	3	45,02							
47	1	29,46	73,66	-106,34					
48	2	44,21							
49	1	35,38							

Kritiske behov for retardasjon i timer :	2,89	Høyre side av påkobling hovedbru gult felt
	2,61	Flo nr 15 grønt lag

Tidsbruk P1 timer	41,1550525
Tidsbruk P2 timer	33,9478525

ARCHICAD EDUCATION VERSION

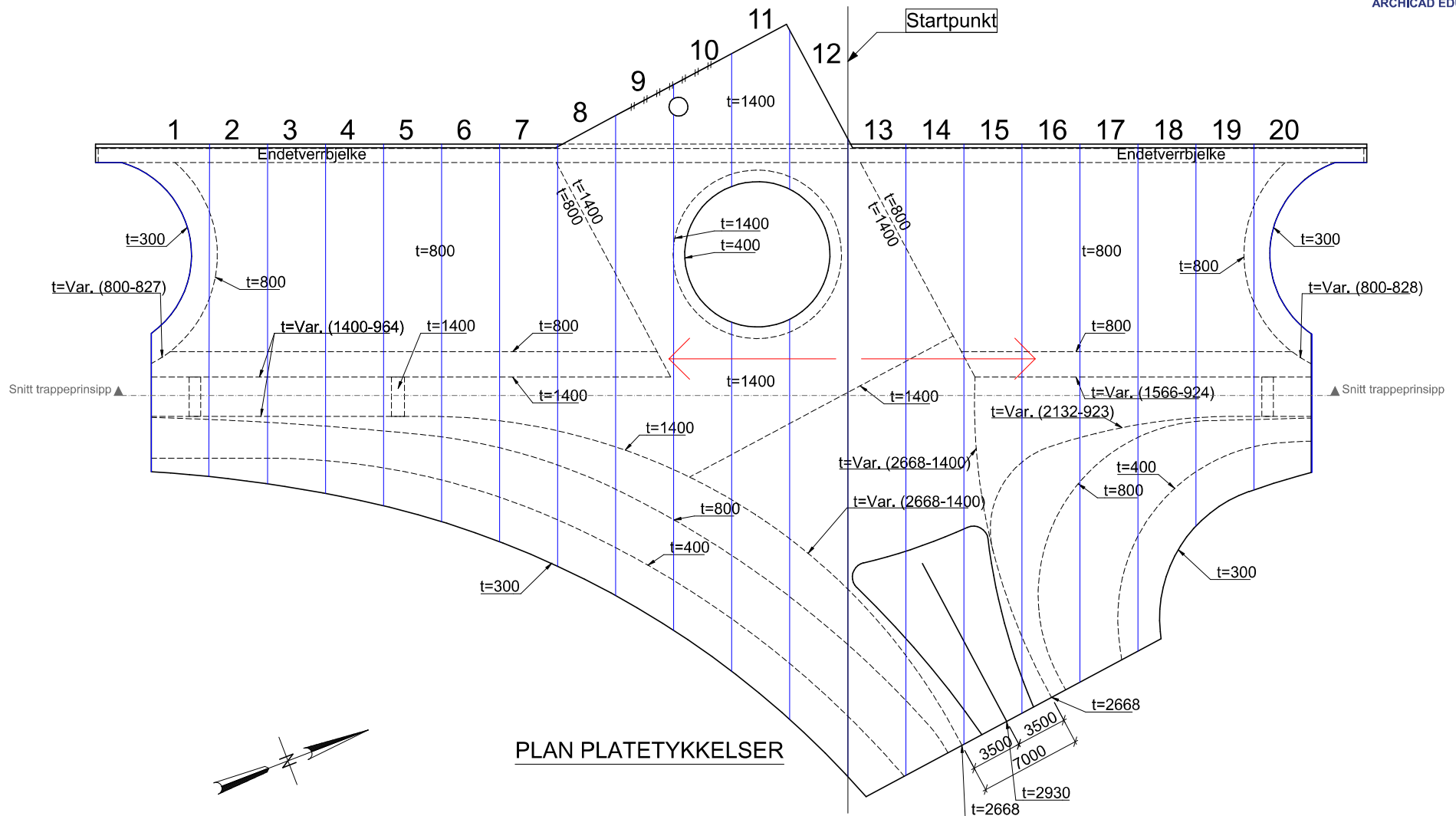
### Utleggingsrekkefølge



**Forklarende tekst**  
 Flø lengde - 4 meter  
 Lag høyder - 50/40/30/20 cm

## **VEDLEGG E**

### **Tredje alternativ**

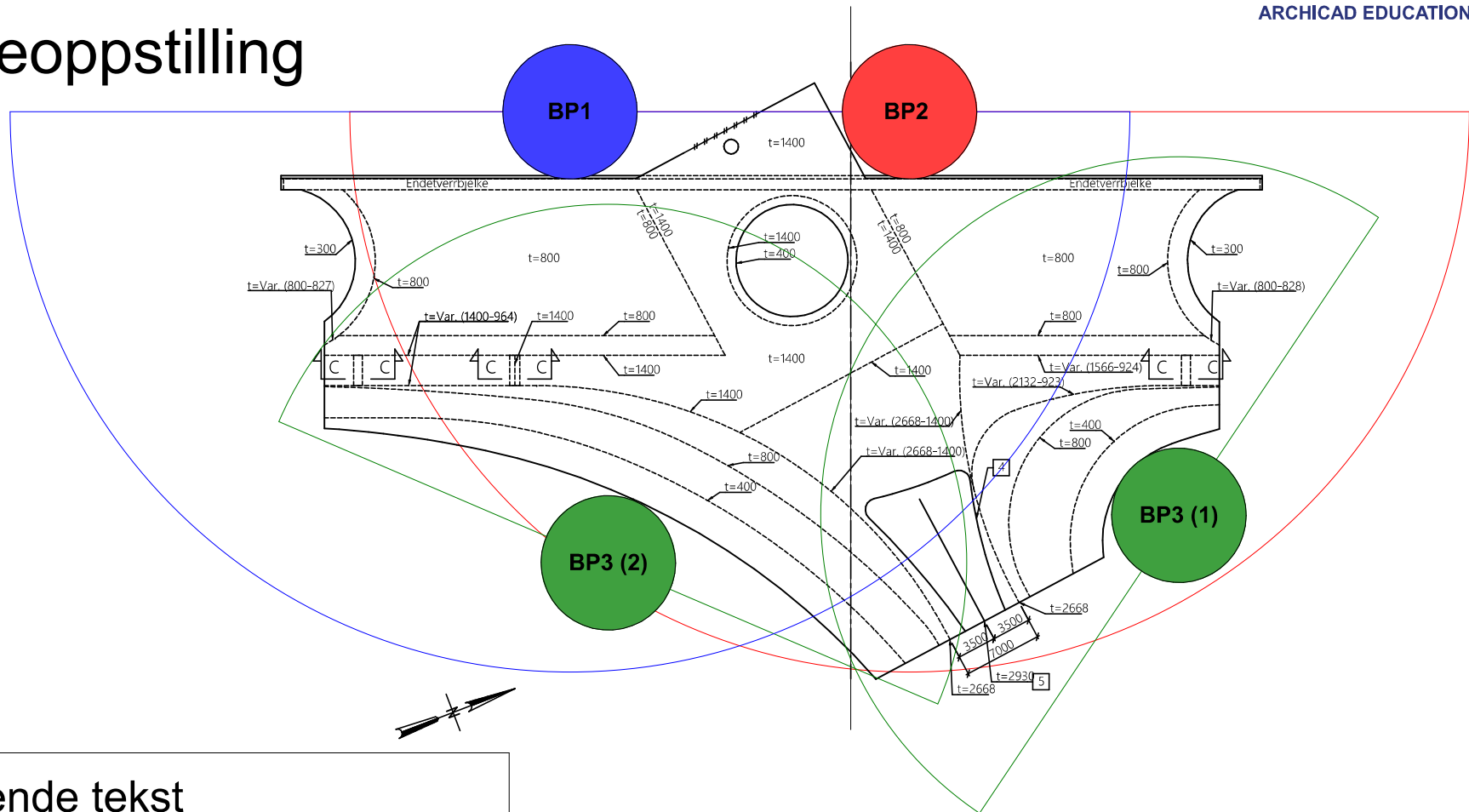


## Forklarende tekst

Støpen begynner ved den svarte streken og fortsetter til hver side i de røde pilenes retning. Floer er 4 meter i lengden.



# Pumpeoppstilling



## Forklarende tekst

Oversikt oppstillingsplass og rekkevidde

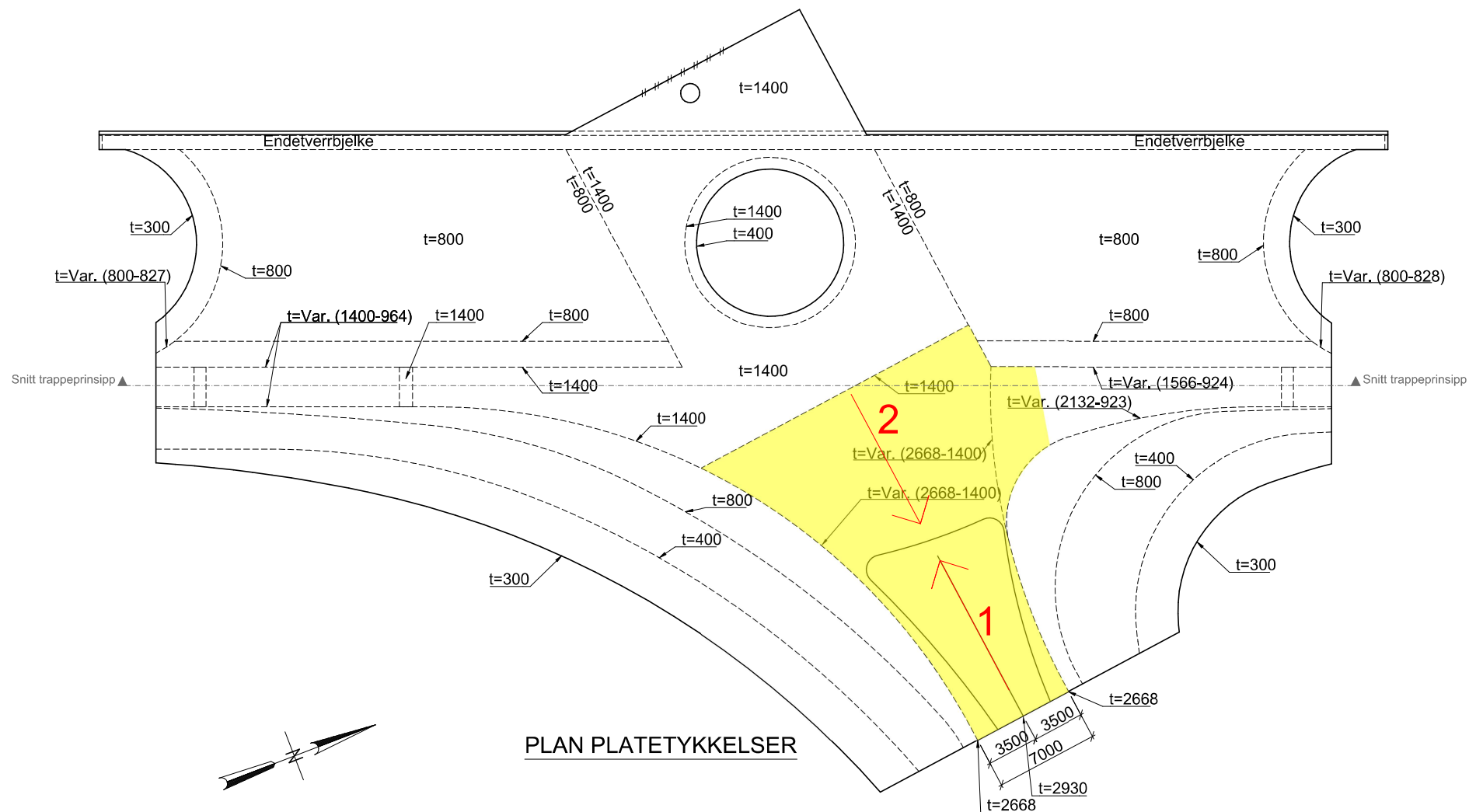
Betongpumpe 1 - BP1 (50m)

Betongpumpe 2 - BP2 (50m)

Betongpumpe 3 - BP3 (50m)

BP3 (1) - første oppstillingsplass

BP3 (2) - andre oppstillingsplass

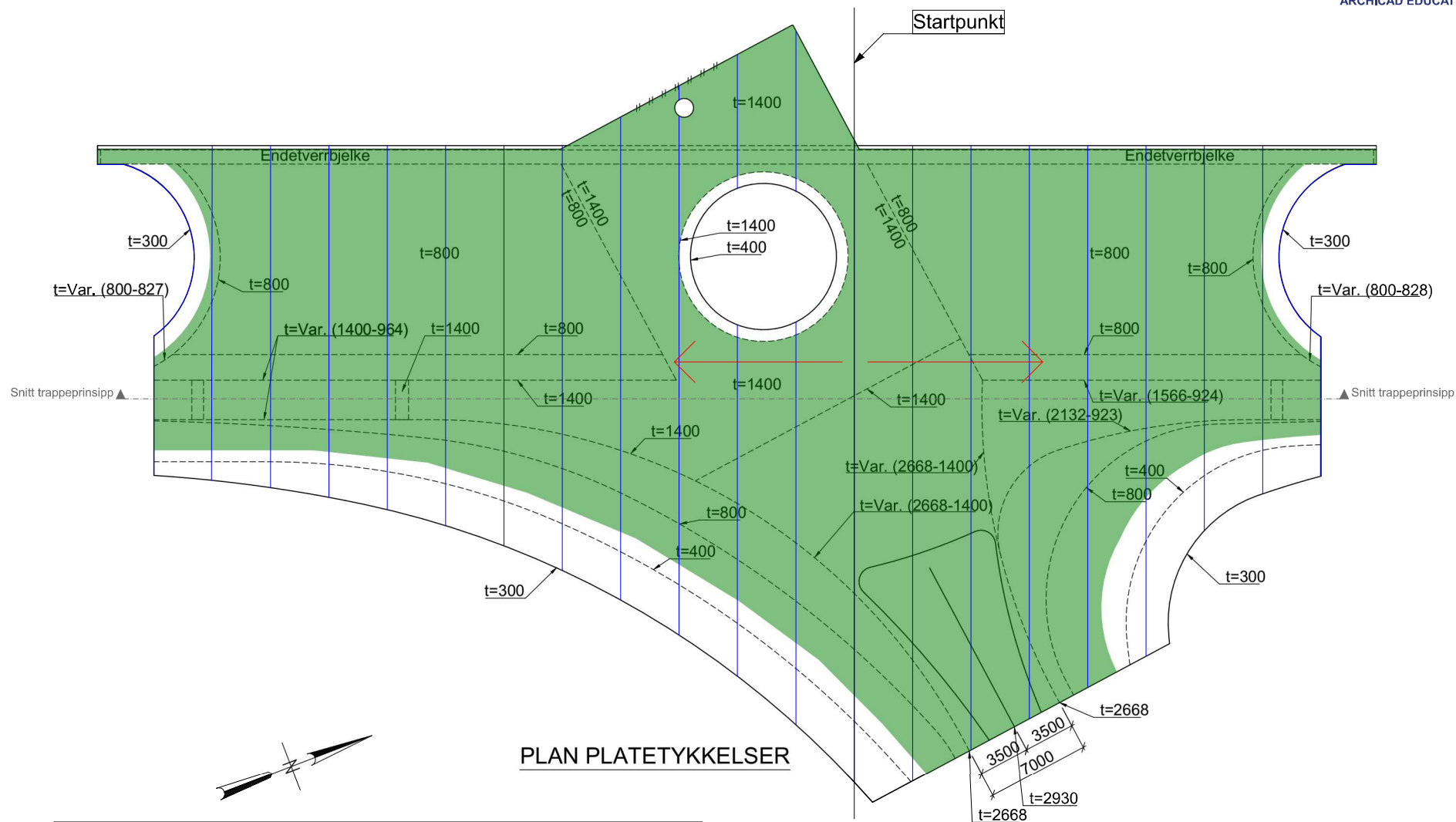


PLAN PLATETYKKELSER

## Forklarende tekst

Støpeområde 1 er merket med gult.  
 Utstøpingen begynner i retning 1.  
 Øverste lag på 30 cm støpes i retning 2.





## Forklarende tekst

Støpeområde 3 er merket med grønt.  
 Utstøpingen begynner ved den svarte streken og fortsetter ut til hver side i de røde pilenes retning.  
 Floer er 4 meter i lengden og 40 cm i høyden.





## Volum støpefloer

Støpefloer lag 1		Volum (m³)	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)	Støpefloer lag 2		Volum (m³)	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)	Støpefloer lag 3		Volum (m³)	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)
1	NYD-3	25	18,75	80	1		4,64	3,48	80	1		11,97	8,98	80
2	NYD-2	224,9	168,675	80	2		7,92	5,94	80	2		23,38	17,54	80
3			0	40	3		7,45	5,59	80	3		26,33	19,75	80
4			0	40	4		9,03	6,77	80	4		27,02	20,27	80
5			0	40	5		10,82	8,12	80	5		27,44	20,58	80
6			0	40	6		12,23	9,17	80	6		28,39	21,29	80
7			0	40	7		13,22	9,91	80	7		30,04	22,53	80
8			0	40	8		19,07	14,30	80	8		34,73	26,05	80
9			0	40	9		35,36	26,52	80	9		43,11	32,33	80
10			0	40	10		45,18	67,76	40	10		41,68	31,26	80
11			0	40	11		45,38	68,06	40	11		42,21	63,32	40
12			0	40	12		78,99	118,49	40	12		60,75	91,13	40
13			0	40	13		96,19	72,14	80	13		76,35	57,26	80
14			0	40	14		54,42	40,82	80	14		61,21	45,91	80
15			0	40	15		35,18	26,38	80	15		55,46	41,60	80
16			0	40	16		17,94	13,45	80	16		41,93	62,90	40
17			0	40	17		11,69	17,54	40	17		31,29	46,93	40
18			0	40	18		8,82	13,22	40	18		27,20	40,80	40
19			0	40	19		9,41	14,11	40	19		23,18	34,77	40
20			0	40	20		5,08	7,61	40	20		13,09	19,63	40
<b>Sum</b>		<b>249,9</b>	<b>187,425</b>		<b>Sum</b>		<b>527,96</b>	<b>549,36</b>		<b>Sum</b>		<b>726,759</b>	<b>724,80075</b>	
<b>Sum timer</b>			<b>3,12375</b>					<b>9,16</b>					<b>12,08</b>	

Totalt volum

2706,78

Støpefloer lag 4 og 5							
Støpefloer lag 4				Støpefloer lag 5			
	Volum	Tidsbruk (min)	Lev.kap (m3/t)		Volum	Tidsbruk (t)	Lev.kap (m3/t)
1	19,64	14,73	80	1	14,74	17,69	50
2	26,70	20,02	80	2	18,42	22,10	50
3	27,01	20,26	80	3	18,76	22,51	50
4	27,75	20,82	80	4	19,38	23,26	50
5	28,72	21,54	80	5	20,14	24,17	50
6	30,12	22,59	80	6	21,14	25,37	50
7	31,85	23,89	80	7	22,36	26,83	50
8	35,36	26,52	80	8	24,76	29,71	50
9	40,38	30,29	80	9	28,24	33,89	50
10	38,08	28,56	80	10	27,70	33,24	50
11	39,84	29,88	80	11	28,42	34,10	50
12	46,16	69,23	40	12	33,02	39,62	50
13	51,02	38,26	80	13	35,20	42,24	50
14	50,51	37,88	80	14	33,76	81,02	25
15	48,02	72,03	40	15	32,04	76,90	25
16	45,45	68,18	40	16	30,30	72,72	25
17	40,24	60,36	40	17	28,58	68,59	25
18	33,17	49,76	40	18	24,32	58,37	25
19	27,74	41,61	40	19	19,66	47,18	25
20	18,82	28,22	40	20	14,64	35,14	25
	<b>706,58</b>	<b>724,63</b>			<b>495,58</b>	<b>814,66</b>	
		<b>12,08</b>				<b>13,58</b>	



# Tidsberegning utlegging

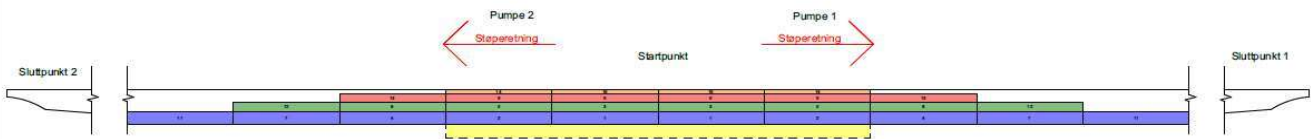
Pumpe 1 og 3					Pumpe 2 og 3				
Rekkefølge nr.	Flo nr.	Tidsbruk	Åpen tid	Tid > 180 min	Rekkefølge nr.	Flo nr.	Tidsbruk	Åpen tid	Tid > 180 min
1	Hele feltet	187,425	186,55	6,55	1	Hele feltet	187,425	112,95	-67,05
2	12	118,49	186,55	6,55	2	13	72,14	112,95	-67,05
3	11	68,06	226,95	46,95	3	14	40,82	124,46	-55,55
4	12	91,13	222,20	42,20	4	13	57,26	129,55	-50,45
5	10	67,76	226,83	46,83	5	15	26,38	124,01	-55,99
6	11	63,32	190,33	10,33	6	14	45,91	139,22	-40,78
7	12	69,23	156,89	-23,11	7	13	38,26	131,19	-48,81
8	9	26,52	141,58	-38,42	8	16	13,45	152,71	-27,29
9	10	31,26	147,40	-32,60	9	15	41,60	202,15	22,15
10	11	29,88	144,70	-35,30	10	14	37,88	232,58	52,58
11	12	39,62			11	13	42,24		
12	8	14,30	119,20	-60,80	12	17	17,54	246,70	66,70
13	9	32,33	130,95	-49,05	13	16	62,90	276,10	96,10
14	10	28,56	128,91	-51,09	14	15	72,03	281,38	101,38
15	11	34,10			15	14	81,02		
16	7	9,91	108,66	-71,34	16	18	13,22	219,33	39,33
17	8	26,05	121,28	-58,72	17	17	46,93	246,91	66,91
18	9	30,29	121,75	-58,25	18	16	68,18	260,34	80,34
19	10	33,24			19	15	76,90		
20	6	9,17	100,23	-79,77	20	19	14,11	195,61	15,61
21	7	22,53	112,35	-67,65	21	18	40,80	216,27	36,27
22	8	26,52	113,70	-66,30	22	17	60,36	225,23	45,23
23	9	33,89			23	16	72,72		
24	5	8,12	89,78	-90,22	24	20	7,61	160,74	-19,26
25	6	21,29	102,24	-77,76	25	19	34,77	172,75	-7,25
26	7	23,89	103,54	-76,46	26	18	49,76	179,60	-0,40
27	8	29,71			27	17	68,59		
28	4	6,77	82,36	-97,64	28	20	19,63	119,61	-60,39
29	5	20,58	95,85	-84,15	29	19	41,61	128,21	-51,79
30	6	22,59	96,81	-83,19	30	18	58,37		
31	7	26,83			31	20	28,22	47,22	-132,78
32	3	5,59	78,69	-101,31	32	19	47,18		
33	4	20,27	92,86	-87,14	33	20	35,14		
34	5	21,54	93,41	-86,59					
35	6	25,37							
36	2	5,94	74,15	-105,85					
37	3	19,75	85,75	-94,25					
38	4	20,82	86,26	-93,74					
39	5	24,17							
40	1	3,48	64,53	-115,47					
41	2	17,54	70,03	-109,97					
42	3	20,26	72,52	-107,48					
43	4	23,26							
44	1	8,98	51,52	-128,48					
45	2	20,02	57,26	-122,74					
46	3	22,51							
47	1	14,73	36,83	-143,17					
48	2	22,10							
49	1	17,69							

Kritiske behov for retardasjon i timer :	1,60	Flo nr 16 grønt lag
	1,69	Flo nr 15 rødt lag

Tidsbruk P1 timer	26,1226
Tidsbruk P2 timer	27,01581

ARCHICAD EDUCATION VERSION

### Utløggingsrekkefølge



**Forklarende tekst**

Flo lengde - 4 meter  
 Lag høyder - 50/40/30/20 cm

## **VEDLEGG F**

### **Støpeplan**

## Støpeplan for K11 Rundkjøringslokk

### Støpeplan

Denne støpeplanen er et tillegg til den generelle betongprosedyren i prosjektet. Denne planen gir en beskrivelse av støpeopplegget ved utstøping av rundkjøringslokket i K11.

Basiskontrollen og den interne systematiske kontrollen skal gjennomføres i henhold til den generelle betongprosedyren, med tilhørende kontrollplaner og sjekklister/støpedagbok.

### Ansvar og myndighet

Produksjonsleder/støpeleder skal kontrollere at alle aktører kjenner denne støpeplanen. Det skal gjennomføres et grundig oppstartsmøte med alle involverte, hvor støpeplan og SJA gjennomgås. Eventuelle spørsmål skal besvares slik at alle har forstått hvordan utstøpingen skal gjennomføres og hvilke varslingsrutiner som gjelder.

Betongteknolog er ansvarlig for tilpasning av betongens støpelighetsegenskaper og retardasjonsmengde under støpeoperasjonen.

### Objekt

Rundkjøringslokk K11 med støpeskjøter mot koblingsseksjoner i rampebru nord, rampebru sør og hovedbru. I vestenden avslutter rundkjøringslokket imot støttemuren K15. I tillegg til rundkjøringslokket omfatter støpen også toppen av skråsøyle i underbyggingen. Konstruksjonen er vist i figur 1.

### Utstyr

- 3 stk. Betongpumper
- 12 stk. Stavvibratorer
- 3 stk. Vibrobrygger 6 meter bred
- 4 stk. Sprøytekanner herdemembran
- 9 stk. Oljefat med herdemembran Pieri curing clear
- 2576 m<sup>2</sup> (70 ruller) plastfolie
- 2576 m<sup>2</sup> (48 stk) presenning 6x10m
- 3 stk. Nivelleringslasere
- 6 stk. Fleksibel pumpe slang 4tommer
- 2 stk. Flytavretter motordrevet
- 2 stk. Flytavretter
- 12 stk. Asfaltriver
- 4 stk. Jernriver
- 10 stk. Pussebrett for kanter
- 2 stk. Rettholter
- Strømskap i nærhet til konstruksjonen
- 20 stk. Skjøteledning
- Vanntilførsel med flere uttak ved betongpumpe 1, 2 og 3
- 100 meter vannslange
- 5 stk. Piasavakoster

## Bemanning per skift (12t)

- 3 stk. Støpelag på 4 personer
  - o 1 pumpehåndtering
  - o 3 komprimering og kosting av armering
- 2 stk. Avrettingslag på 4 personer
  - o 1 bryggekjøring
  - o 3 avretting og herdemembran

*Denne arbeidsoperasjonen begynner ikke før ca 9,5 timer etter støpestart på nordsiden av startpunkt og ca 12,5 timer etter støpestart på sørsiden av startpunktet.*

- 1 etterbehandlingslag på 2 personer
  - o 2 vanning og plast/presenning

*Denne arbeidsoperasjonen begynner ikke før betongoverflaten har tilstrekkelig fasthet. Dette vil bli aktuelt ca 7 timer etter avretting er utført.*

- 3 betongkontrollører
  - o 1 per pumpe

Maksimalt antall personer i drift samtidig vil være 25 stk.

En støpebas per skift som tas ut av støpen 30 minutter før skiftbytte, for å gjennomgå progresjon og avtale videre arbeid med støpebas på neste skift.

## Støpeopplegg

### Betongresept

Mottak- og identitetskontroll av betongen skal gjennomføres i henhold til den generelle betongprosedyren og kontrollplanen.

Det benyttes to ulike betongresepter under utstøpingen av rundkjøringsløkket:

I søyletoppen skal det benyttes betong klassifisert som B45 SV-std + FA SKB (NYD-3 i reseptlisten). De første fire bilene etter oppstart av utstøpingen skal leveres med NYD-3 (28m<sup>3</sup>). Betongen skal ha et utbredelsesmål på 650mm±20mm. Tilpassing av betongens støpelighet skal utføres ved blandeverket.

I resten av konstruksjonen skal det benyttes betong klassifisert som B45 SV-std + FA (NYD-2 i reseptlisten). Betongen skal ha et synkmål på 240mm±20mm. Tilpassing av betongen skal gjøres ved blandeverket. Betongen skal i utgangspunktet retarderes 3 timer, men prosjektets betongteknolog kan ta avgjørelser på endring av retarderingsmengde ved endret behov.

Lass med avvikende luftinnhold skal avvises, og ikke forsøkes justert på byggeplass. Lass med avvikende støpelighet returneres til blandeverk. Tilsiktet luftinnhold er 4,5% med toleranse ±1,5%.

Betongen blir bestilt med en temperatur på 15°C, og temperaturen skal måles som en del av mottakskontrollen.

### Utsøping

Ved varmt og tørt vær i forkant av utstøpingen, skal bordkledning i formen mettes med vann. Betongsøl på åpen armering skal kostes og frigjøres for betong under utstøpingen.

Utsøpingen starter kl 1200 på dagen, for å unngå å få floer med kritisk åpen tid i perioder med høye lufttemperaturer.

Utsøpingen er delt inn i to deler, først skal gult støpeområde støpes ut til 1400mm under overkant rundkjøringslokk (figur 3). Deretter fortsetter støpen i fra mellom flo 12 og 13 og ut til hver sin side med trappinger. Total støpetid er beregnet til 27 timer.

**Gult støpeområde**

Gult støpeområde støpes ut med betongpumpe 1 og 2, med total leveringstakt på 80m<sup>3</sup>/t eller ca 5-6 biler i timen per pumpe (figur 8). Utstøpingen begynner i toppen av skråsøyle ved bruk av 4 biler ganger 7m<sup>3</sup> med SKB (NYD-3). Videre fortsetter støpen fra bunnen ved hovedbrua mot senter rundkjøringlokk ved bruk av konstruksjonsbetong (NYD-2) (figur 3). Siste lag i gult støpeområde støpes i motsatt retning (figur 3).

**Brustøp**

Brustøpen er delt inn i floer på 4 meters lengde, normalt på endetverrbjelken som vist i figur 1. Brustøpen utføres med 3 betongpumper. Hver betongpumpe vil få levering av betong fra hvert sitt faste blandeverk, med en leveringstakt på 40m<sup>3</sup>/t. Total leveringstakt vil være 120m<sup>3</sup>/t. Ved topping vil utlegging, komprimering og avretting ta noe lenger tid, og estimert støpetakt for toppingen er 25m<sup>3</sup>/t.

Etter gult lag er fylt, begynner brustøpen imellom flo 12 og 13 (figur 1) hvor floer er inndelt med ulike tykkelser (fig 7). Trappinger opprettes i fra midten og fortsetter utover mot Nord og Sør. Støperetninger, flotykkelser og rekkefølge er vist i figur 7. Endetverrbjelke skal også støpes ut som en del av trappingen, det er derfor viktig å støpe ut denne sammen med de respektive lagene.

Fra start vil betongpumpe 3 på oppstillingsplass BP3 (1) supplere betongpumpe 2 mot Nord frem til og med oransje støpeflo nr. 13. Deretter skal betongpumpe 3 flytte over til oppstillingsplass BP3 (2), og supplere betongpumpe 1 mot Sør. Pumpeoppstillingsplasser er vist i figur 8.

**Komprimering**

Vibrator benyttes systematisk med maksimal avstand lik 10 x vibratorens diameter på store flater og 3-4 x vibratorens diameter langs kantene. Det er spesielt viktig å vibrere sammen nytt og eldre lag, ved å stikke vibratoren 200mm ned i tidligere utlagt lag.

**Avretting**

Toppflaten avrettes i hovedsak med vibrobrygge, mens nivelleringslaser og flytavretter benyttes der vibrobryggen ikke kommer til. Vibrobryggen trekkes etter anlagte meier på øvre armeringslag. Armeringen måles inn og justeres før støp for å sikre riktig fall i avrettet overflate. Høyden på bryggene tilpasses overdekningskravet ( $C_{min}$  75mm for konstruktiv armering).

**Tildekking og herdetiltak**

Herdemembran av typen Pieri Curing Clear skal sprøytes på avrettet flate like bak vibrobryggen. Forbruket skal være ca. 0,5 kg/m<sup>2</sup>.

Vann og herdemembran påføres i et tynt lag, før dobbelt lag 0,15mm plastfolie rulles ut. Plastfolien rulles ut fortløpende når topplaget har fått tilstrekkelig fasthet (sko legger ikke igjen avtrykk).

Vanning skal skje jevnlig ved høy lufttemperatur og vind, samt ved observasjon av for tidlig overflateherding.

**Driftsstans**

Dersom vedvarende driftsstans i betongpumpe 1 eller betongpumpe 2, med tilhørende leveringslogistikk, oppstår, skal det tilstrebes å holde drift i oppstillingsplassene BP1 og BP2 på vestsiden av rundkjøringslokket, da disse gir tilstrekkelig rekkevidde.

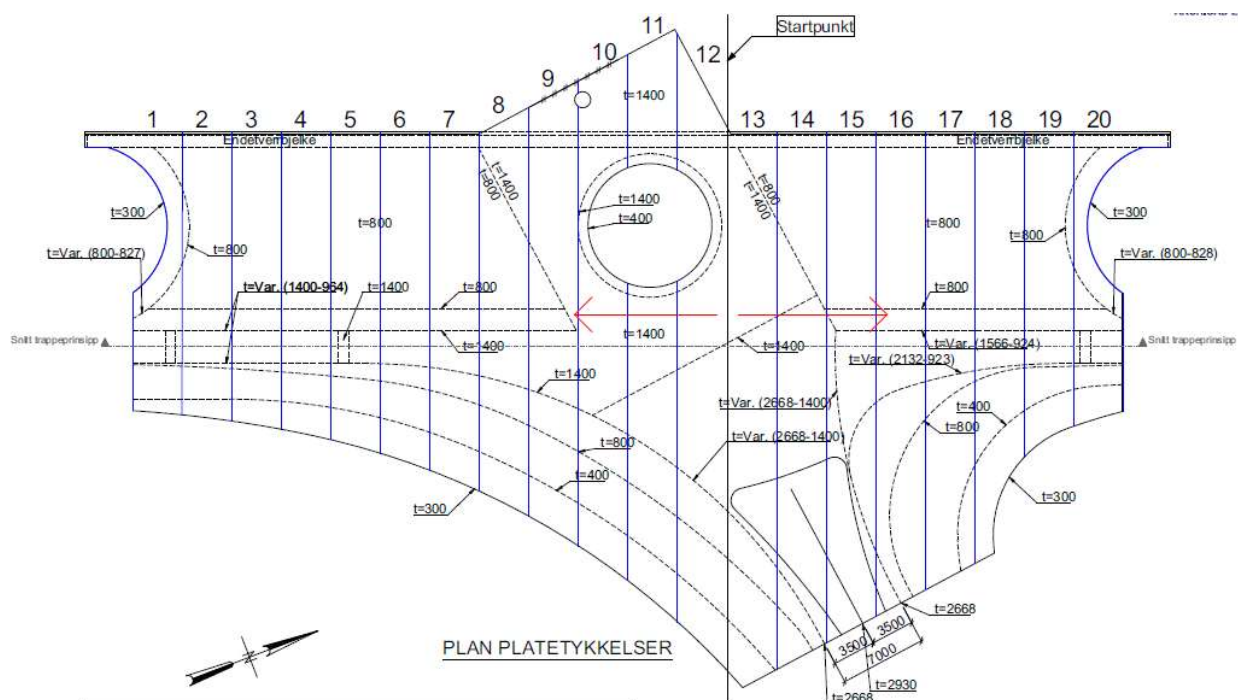
**Dokumentasjon**

Støpearbeidet dokumenteres ved utfyllt og signert støpedagbok, sjekklister og innmålingsprotokoller. Herdetemperatur dokumenteres ved innstøping av termoelementer tilkoblet en datalogger. Målepunkter skal måles inn. Logget temperaturforløp sammenstilles, og sammenlignes med beregnet temperaturforløp.

---

Original sist publisert	[SGVDOOriginalSistPublisert]	Org. dokument-id	[SGVDOOriginalDokumentID]
Dokument sist lagret	19.05.2022	Dokumentnavn	Støpeplan K11

Tegninger og skisser

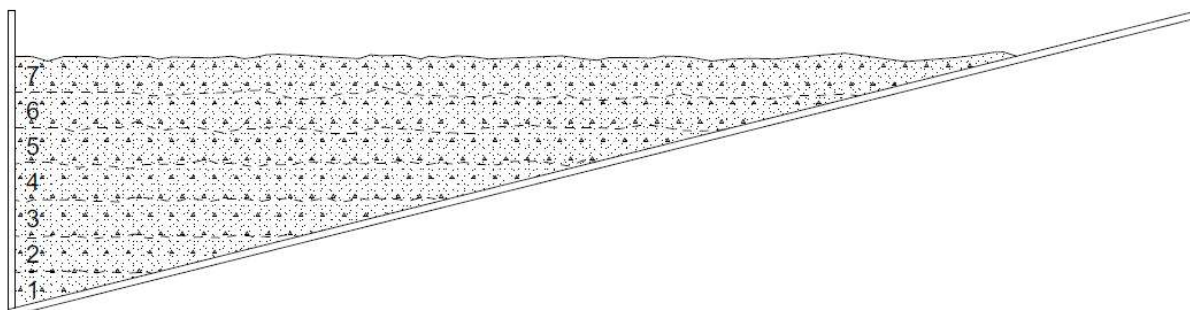


**Forklarende tekst**

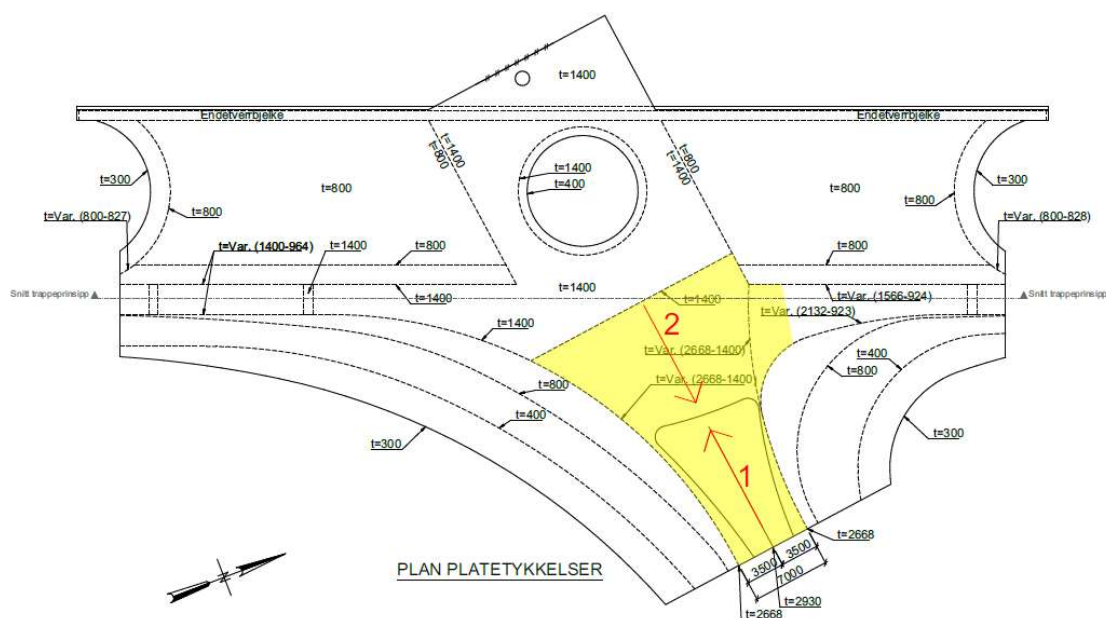
Støpen begynner ved den svarte streken og fortsetter til hver side i de røde pilenes retning. Floer er 4 meter i lengden.

Figur 1 Oversikt støpefloer

Riktig utstøping på skrått underlag



Figur 2 Riktig utstøping på skrått underlag

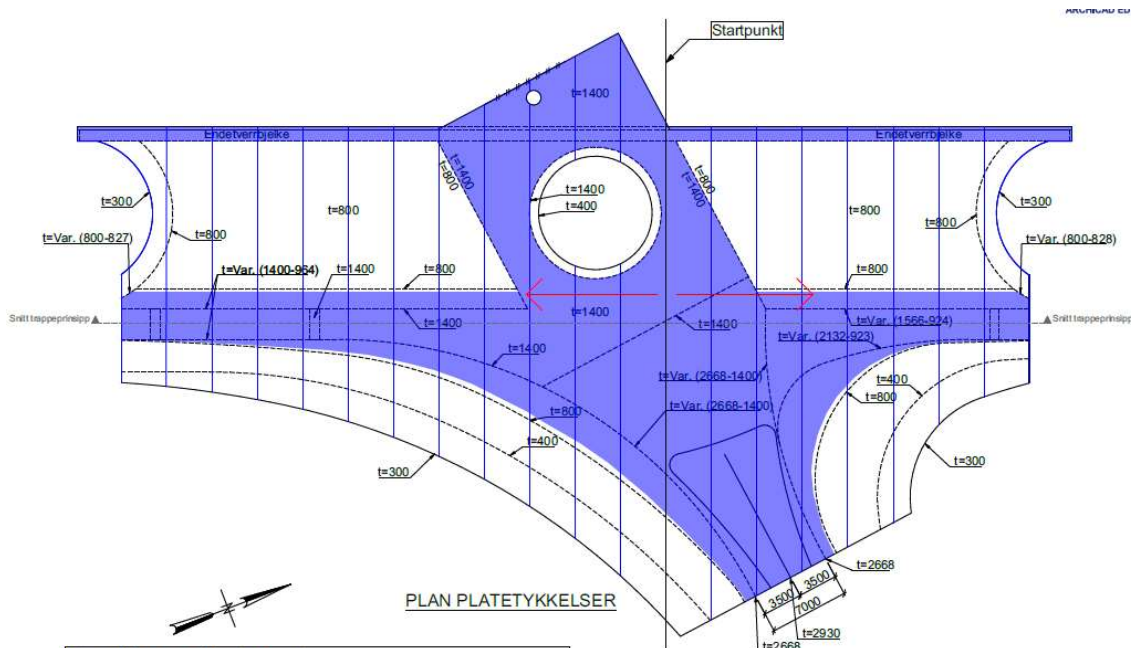


**Forklarende tekst**

Støpeområde 1 er merket med gult.  
 Utstøpingen begynner i retning 1.  
 Øverste lag på 30 cm støpes i retning 2.

Figur 3 Lag 1 Gult støpeområde

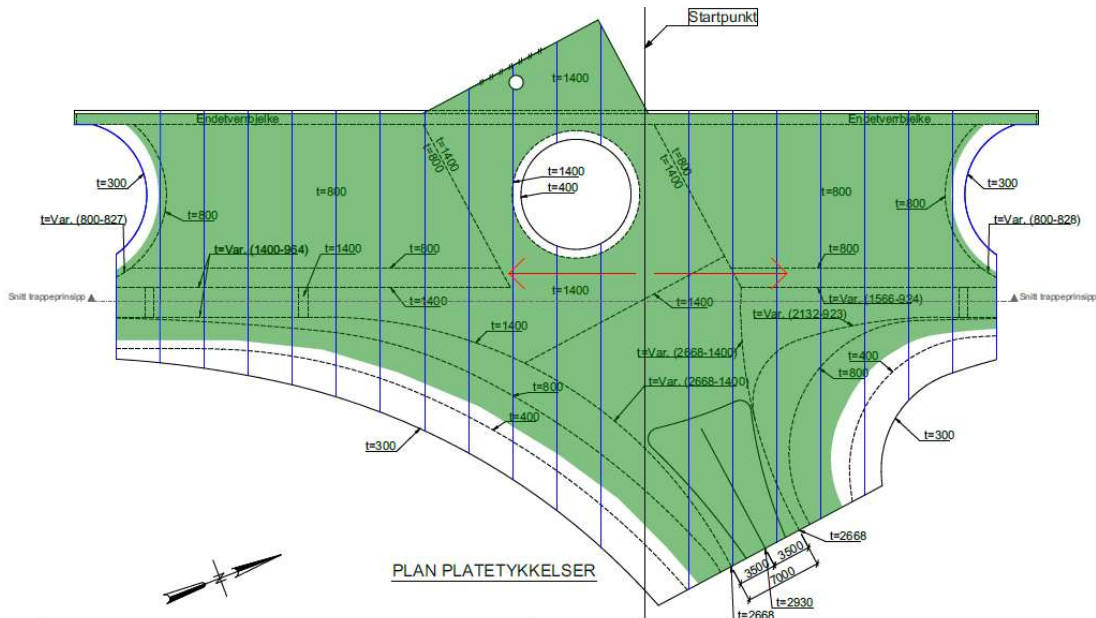




Forklarende tekst

Støpeområde 2 er merket med blått.  
 Utstøpingen begynner ved den svarte streken og fortsetter ut til hver side i de røde pilenes retning. Floer er 4 meter i lengden og 50 cm i høyden.

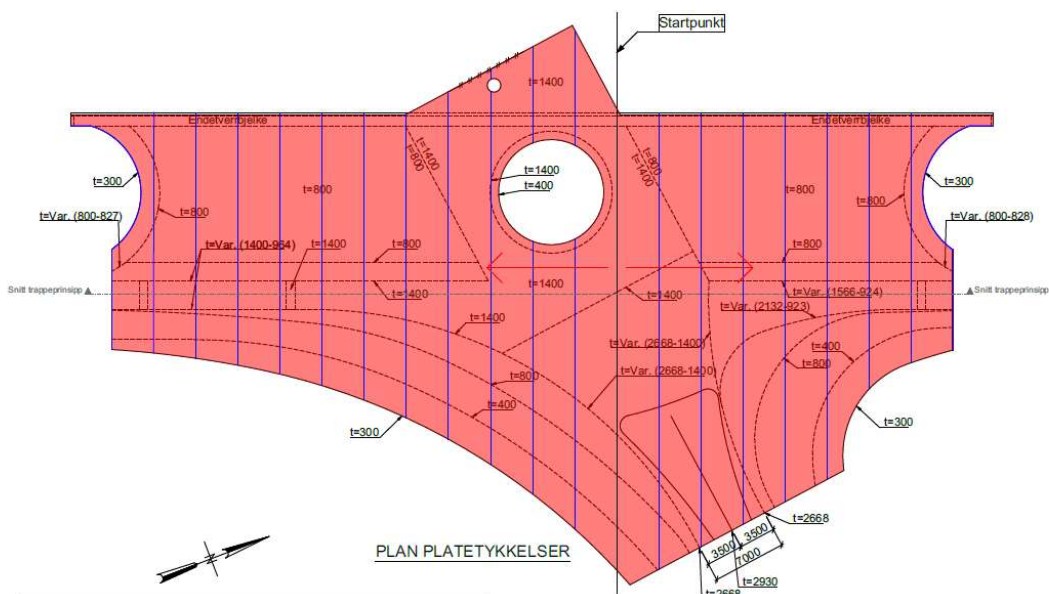
Figur Lag 2 Blått støpeområde



Forklarende tekst

Støpeområde 3 er merket med grønt.  
 Utstøpingen begynner ved den svarte streken og fortsetter ut til hver side i de røde pilenes retning. Floer er 4 meter i lengden og 40 cm i høyden.

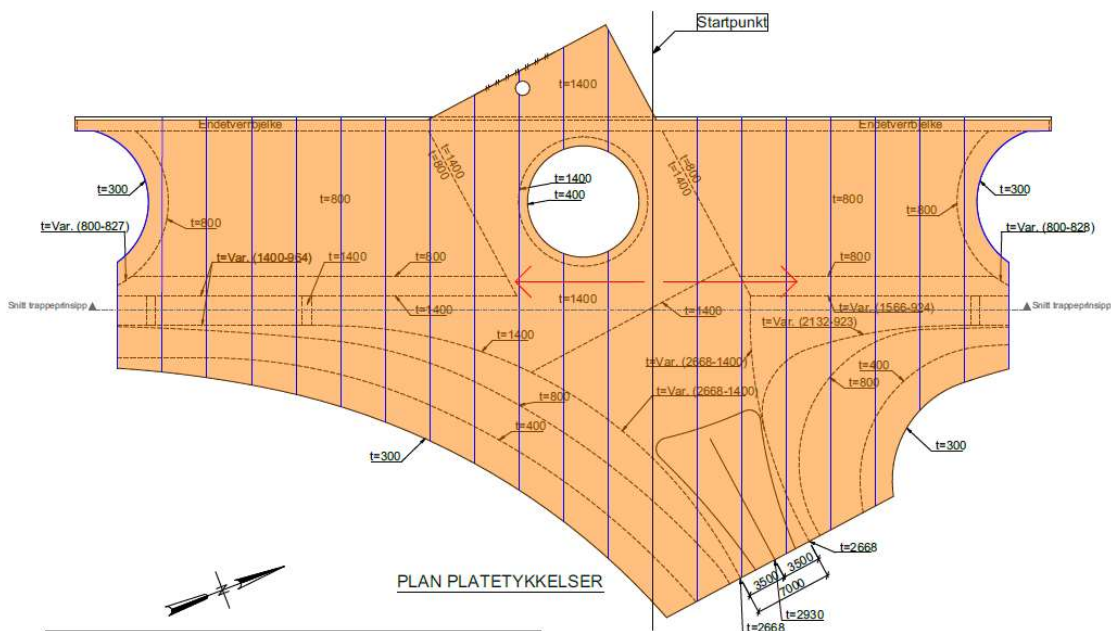
Figur 4 Lag 3 Grønt støpeområde



**Forklarende tekst**

Støpeområde 4 er merket med rødt.  
 Utstøpingen begynner ved den svarte streken og fortsetter ut til hver side i de røde pilenes retning. Floer er 4 meter i lengden og 30 cm i høyden.

Figur 5 Lag 4 Rødt støpeområde

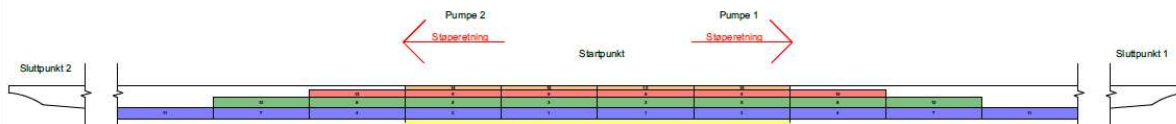


**Forklarende tekst**

Støpeområde 5 er merket med oransje.  
 Utstøpingen begynner ved den svarte streken og fortsetter ut til hver side i de røde pilenes retning. Floer er 4 meter i lengden og 20 cm i høyden.

Figur 6 Lag 5 Oransje lag

Utleggingsrekkefølge

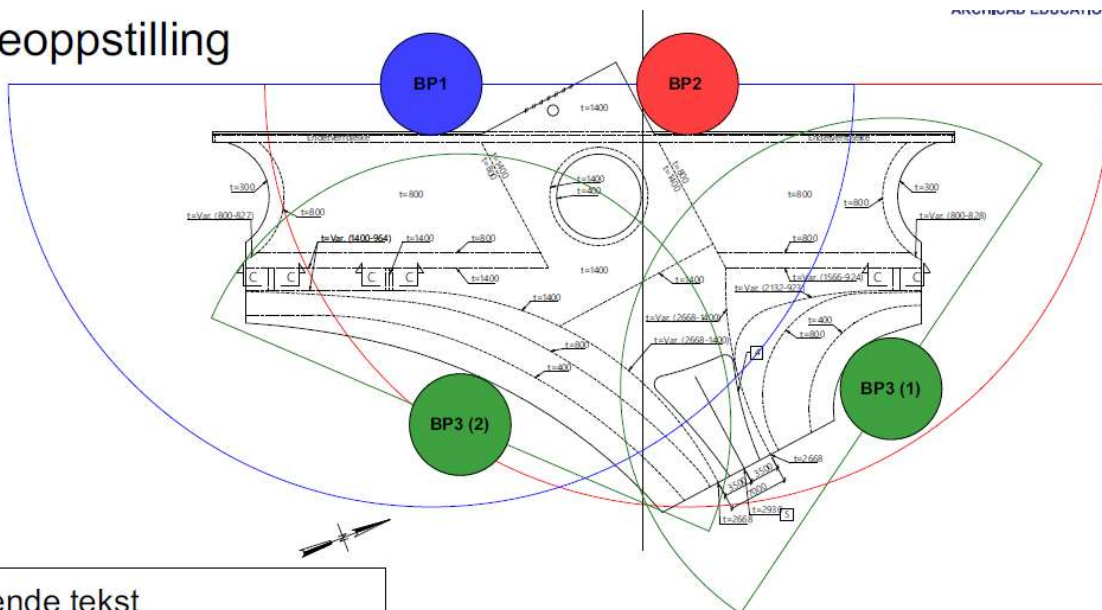


Forklarende tekst

Flø lengde - 4 meter  
Lag høyder - 50/40/30/20 cm

Figur 7 Utleggingsrekkefølge

Pumpeoppstilling



Forklarende tekst

Oversikt oppstillingsplass og rekkevidde  
 Betongpumpe 1 - BP1 (50m)  
 Betongpumpe 2 - BP2 (50m)  
 Betongpumpe 3 - BP3 (50m)  
 BP3 (1) - første oppstillingsplass  
 BP3 (2) - andre oppstillingsplass

Figur 8 Oversikt pumpeoppstilling

# **VEDLEGG G**

## **Kontrollplan**

### Kontrollplan for betongarbeid. Utførelsesklasse 3

#### Iverksettelse og oppdatering på prosjekt:

0	06.05.2022	Utstøping rundkjøringslokk K11			
<i>Rev. nr.</i>	<i>Dato</i>	<i>Revisjonen gjelder</i>	<i>Utarbeidet av</i>	<i>Kontrollert av</i>	<i>Godkjent av</i>

#### Utgivelse og oppdatering i basisorganisasjon:

4	2021-01-01	Mindre endringer	N.Borvik	S.Smeplass	G. Gucwa
3	2017-10-30	Oppdatering til SGVD 2.0	N. Borvik	S. Smeplass	Geir Ståland
2	2014-08-04	Oppdatering	M. Maage/N. Borvik	S. Smeplass	Geir Ståland
1	2011-06-10	Ny NS-EN 13670	M. Maage	S. Smeplass	Geir Ståland
0	2010-08-24	Oppdatert format	S. Smeplass	M. Maage	Geir Ståland
<i>Rev. nr.</i>	<i>Dato</i>	<i>Revisjonen gjelder</i>	<i>Utarbeidet av</i>	<i>Kontrollert av</i>	<i>Godkjent av Fagansvarlig</i>

Kontrollplanen viser omfanget av entreprenørens kontroll av materialer, produkter og utførelse for betongarbeider. Dette dekker den interne systematiske kontrollen. Kontrollen gjennomføres under oppsyn av kontrolleder (*ofte også produksjonsleder*).

Aktivitet nr:	Kontroll av	Produksjonsunderlag (Beskrivelse, tegn, prosedyre - skriv inn)	Utføres av	Tidspunkt/Hyppighet/Sted	Dokumentasjon	Kommentarer	Dokumenthåndtering	
							Arkiveres internt	Overleveres byggherre ved forespørsel
1	Mottakskontroll betong	Iht. NS-EN 13670: pkt 4.3.2, tab 1, pkt 8.1 og 8.3 pluss NA.						
1,1	Kontroll av følgeseddel	Iht. NS-EN 13670: pkt 8.3(1) og (2) pluss NA. Bestillinger, tekniske spesifikasjoner.	Produksjonsledere	Før lossing	Følgeseddel, Avviksrapporter ved mangler	Kontroll av opplysninger på seddel (kvalitet, mengder) opp mot bestilling. Betong skal returneres hvis krav ikke er oppfylt.	X	(X) hvis avvik
1,2	Uttak av prøver for trykkfasthet (Identitetskontroll).	Iht. NS-EN 13670: pkt 8.3(4) pluss NA. Prosess 84.4 e)	Produksjonsledere	To prøveuttak ved oppstart, og et ved hver påbegynte 200 m <sup>3</sup> eller støpeskift.	Betongkontroll på byggeplass	En prøve består av to terninger (prøvestykker). Ved oppstart tas det ut to prøver (4 prøvestykker)	X	X
1,3	Kontroll av fersk betong: Støpelighet	Iht. NS-EN 13670: pkt 8.3(4) pluss NA. Prosess 84.4 e)	Produksjonsledere	Hver påbegynte 200 m <sup>3</sup> eller påbegynt støpeskift.	Sjekkliste for betongarbeider (Støpedagbok)		X	X
1,4	Kontroll av fersk betong: Luft (når det er foreskrevet luftinnføring)	Iht. NS-EN 13670: pkt 8.3(4) pluss NA. Prosess 84.4 e)	Produksjonsledere	Ved oppstart og hver påbegynt 50 m <sup>3</sup> og minst hver 3. time.	Sjekkliste for betongarbeider (Støpedagbok)		X	X
2	Kontroll av støpearbeider og etterbehandling	Iht. NS-EN 13670: pkt 8.2 og 8.5-8.8 pluss NA.	Produksjonsledere	Hver støp	Sjekkliste for betongarbeider (Støpedagbok)		X	X
3	Kontroll av geometri	Iht. NS-EN 13670: pkt 10 pluss NA.	Stikningsingeniør	Hver støp	Måledata Sjekkliste for betongarbeider (Støpedagbok)		X	X

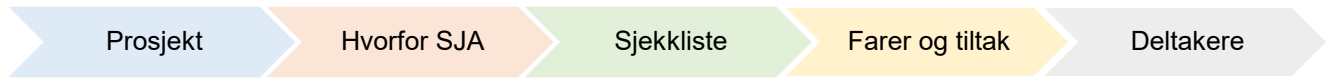
4	Etterkontroll av herdet betong, ferdigbefaring		Produksjonsledere	Etter ferdigstillelse	Sjekkliste for betongarbeider (Støpedagbok)		X	X
---	--	--	-------------------	-----------------------	---	--	---	---

## **VEDLEGG H**

**SJA**



## HMS – Sikker jobbanalyse SJA



<b>Prosjekt</b>			
<b>Prosjektnummer: 072</b>	241370	<b>Dato:</b>	07.05.2022
<b>Prosjektnavn</b>	Rv706 Nydalsbrua		
<b>Arbeidet ledet av (navn)</b>	Produksjonsleder Betong		
<b>Ansvarlig firma</b>	Skanska Norge AS		
<b>Arbeidsoperasjon (se liste)</b>	Betongarbeider utstøping		
<i>Riggarbeider</i>	<i>Tett bygg/fasader</i>	<i>Sprengning</i>	<i>Veggfundament</i>
<i>Grunnarbeider</i>	<i>Innvendige arbeider</i>	<i>Tunneler</i>	<i>Vegdekke</i>
<i>Betongarbeider</i>	<i>Utomhus arbeider</i>	<i>Grøfter/kummer/rør</i>	<i>Veg-utstyr/miljøtiltak</i>
<i>Råbygg/prefab.</i>	<i>Uttesting/oppstart tekniske anlegg</i>	<i>Masseforflytning</i>	<i>Bruer/kaier</i>
<b>Kort beskrivelse av aktiviteten</b>	Ustøping av rundkjøringslokk K11, 27 timer kontinuerlig støp.		

Hvorfor SJA (sett ett eller flere kryss)	Forklaring:
<input type="checkbox"/> Aktiviteten er ny og ukjent	<i>Gjennomgå det som er nytt og ukjent for å sikre at alle kjenner gangen i aktiviteten.</i>
<input type="checkbox"/> Folk som ikke kjenner hverandre, skal jobbe sammen	<i>Sørg for at alle som skal delta i aktiviteten kjenner hverandre og hvilke oppgave/rolle den enkelte har.</i>
<input checked="" type="checkbox"/> Behov for å gi / dokumentere utstyrsspesifikk opplæring (Forskrift om utførelse av arbeid § 10-4)	<i>Skal det brukes arbeidsutstyr som er ukjent for brukerne, gjennomgå bruksanvisningen for utstyret og dokumenter hvilket arbeidsutstyr det er gitt opplæring på og hvem som har fått opplæring.</i>
<input type="checkbox"/> Forutsetninger for aktiviteten er endret (værforhold, tid, rekkefølge, andre aktiviteter i nærheten)	<i>Fokuser på det som er endret og avtal nødvendige tiltak for å ha kontroll på risikoen som er knyttet til de endrede forutsetningene.</i>
<input type="checkbox"/> Arbeidet medfører avvik/ending fra beskrivelser i prosedyrer og planer	<i>Sørg for at alle er kjent med avvik/-endingene i planer og gjennomføring og gjennomfør nødvendige risikovurderinger av det som er nytt.</i>
<input checked="" type="checkbox"/> Ulykker/uønskede hendelser har skjedd tidligere ved tilsvarende aktiviteter	<i>Ta frem læring fra tidligere hendelser og bruk disse som innspill til det som det er viktig å ha kontroll på.</i>
<input checked="" type="checkbox"/> Arbeidet innebærer risiko for helseskade	<i>Identifiser mulige negative helseeksponeringer/-konsekvenser og avtal nødvendige tiltak, herunder krav til bruk av personlig verneutstyr</i>

Sjekkliste før oppstart av aktiviteten		Ja	Nei*
1	Er alle som skal delta i arbeidsoperasjonen med på SJA?		
2	Er det planlagt med tilstrekkelig tid for aktivitetene?		
3	Har alle nødvendig kompetanse/opplæring/sertifisering for jobben/for bruk av utstyr?		
4	Er prosedyrer, monterings- eller bruksanvisning kjent for alle?		
5	Er koordinering med annen aktivitet på området ivarettatt?		
6	Er kommunikasjon (språkforståelse) sikret og egnede kommunikasjonsmiddel på plass?		
7	Har vi nødvendig utstyr og materiell for å gjøre jobben?		
8	Kan jobben gjøres uten å fjerne eksisterende sikring?		
9	Har alle riktig og tilstrekkelig verneutstyr?		
10	Er det tatt hensyn til installasjoner i nærheten som utgjør en fare?		
11	Er det tatt hensyn til arbeid i høyden/flere nivåer og evt. behov for merking/skilting/avsperring?		
12	Er det tilfredsstillende tilkomst/rømning, transportforhold for materialer og utstyr?		
13	Er det tatt hensyn til mulig helserisiko - eksponering for tunge løft, uheldige arbeidsstillinger, vibrasjon, støy, gass/væsker, røyk, støv, kjemikalier?		
14	Er nødvendig beredskapsutstyr på plass?		

\*) Hvis Nei: Beskriv hvilken fare dette kan gi og tilhørende tiltak på neste side.



