



FOSENBRUA

TEKNISK RAPPORT GRUPPE 23

TROND AUGDAL DAHL, HENRIK HEKSEM SANDNES, NICOLAI WELLM SVENSEN, NINA KRISTIN SØRLI, CHRISTER ARNTSEN WILHELMSSEN

Forord

Denne oppgaven er en del av emnet *ingeniørfaglig systemtenkning* i bachelorutdanningen bygg- og miljøteknikk hos NTNU. Studentkullet er delt i grupper på tvers av fordypningsretning, hvor alle har fått tildelt et tema med fokus på en framtidsrettet utvikling av Trondheimsområdet. Dette prosjektet samt 7 andre utgjør utviklingsområdet “På sjøen”, hvor de ulike prosjektene har en viss sammenheng med hverandre og sammen skal gi en helhetlig utvikling av et geografisk område. Denne oppgaven er utarbeidet med utgangspunkt i det gitte temaet: “Fosenbrua - Løsning fra andre verdenskrig”.

Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven var å finne en mulig løsning av utfordringen med fergefritt samband over Trondheimsfjorden, mellom Flakk-Rørvik. Rapporten tar for seg mulighetene for å krysse fjorden via en nesten 7 km lang bruløsning, og fokuserer spesielt på utformingen av selve brua. For å løse oppgaven er det benyttet enkle beregninger, analyser og generell innhenting av informasjon av personer og bedrifter i fagmiljøet. Rapporten viser at en fjordkrysning kan la seg gjøre med en nesten 7 km lang leddet flytebru, forankret i «kunstig sjøbunn». Den viser at en slik løsning kan gi omtrent 25 minutter forkortet reisetid mellom Flakk-Rørvik, i tillegg til at den vil være døgnåpen. Undersøkelser viser også at det meste av brua kan bygges i nærområdet, som igjen betyr økt sysselsetting for regionen.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	i
Innhold	iii
Figurliste.....	iv
Vedleggsliste	v
Introduksjon	1
Målsetting	2
Visjon	2
Kartlegging av behov	3
Løsningselementer	5
Gjennomføring/arbeidsmetoder	7
Konsept bru	8
Konsept brukasse.....	8
Konsept vegbane	9
Konsept ledd.....	10
Konsept pontonger	11
Konsept forankring.....	15
Totalkonsept	16
Resultater.....	17
Vegbane.....	17
Ledd.....	20
Pontonger	22
Avkjørsel	25
Forankring	25
Bærekonstruksjon.....	27
Miljø og klima.....	39
KTR-Skjema.....	41
Diskusjon.....	41
Konklusjon	45
Kildeliste	47

Figurliste

Figur 1: Dybder i Trondheimsfjorden (1)	1
Figur 2: Tankekart - Behovsutredning	3
Figur 3: Oversikt over løsningsselementer	5
Figur 4: Konsept brukasse	8
Figur 5: Konsept vegbane	9
Figur 6: Konsept ledd	10
Figur 7: Konsept pontonger	11
Figur 8: Pontongdesign	12
Figur 9: Enkel avkjørsel	13
Figur 10: T-kryss	14
Figur 11: Rundkjøring	14
Figur 12: Totalkonsept	16
Figur 13: Vegbane	17
Figur 14: Målsatt tverrsnitt av vegbane	18
Figur 15: Vegoppbygning	18
Figur 16: Rekkverk med innfesting	19
Figur 17: Oversikt ledd	20
Figur 18: Kule	20
Figur 19: Dempefunksjon i ledd	20
Figur 20: Målsatt tverrsnitt av ledd	21
Figur 21: Målsatt tegning av ledd sett fra siden	21
Figur 22: Pontong under konstruksjon (2)	22
Figur 23: Forflytning av pontong (15)	22
Figur 24: Konstruksjon av pontonger (2)	23
Figur 25: Seilingshøyde bruelementer	24
Figur 26: Ulike kjøretøys krav til minste kjørefeltbredde i sirkulasjonsarealet(10)	25
Figur 27: Eksempel på mulig forankringsløsning (17)	26
Figur 28: Illustrasjon av kunstig sjøbunn (16)	26
Figur 29: Lasttilfelle 1: Trafikk kun i midtre felt. Laster i kN/m ²	27
Figur 30: Lasttilfelle 2: Trafikk i ytre felt. Laster i kN/m ²	28
Figur 31: Analyse for bjelkebru.	29
Figur 32: Analyse fagverk, 100m langt	30
Figur 33: Lasttilfelle 1: Utnyttelse av profiler 60m element	31
Figur 34: Lasttilfelle 2: Utnyttelse av profiler 60m element	31
Figur 35: Utnyttelse av profiler i endene av bruelementet. (Snitt YZ)	32
Figur 36: Utnyttelse av profiler i nedre del av fagverket (Snitt XY, høyde 0m fra opplager) ..	32
Figur 37: Utnyttelse av profiler øvre del av fagverket (Snitt XY- høyde 10m fra opplager) ..	32
Figur 38: Utnyttelse av profilerer på sidene i fagverket (Snitt XZ)	33
Figur 39: Sett fra siden, (Snitt XY). Mål i mm.	33
Figur 40: Sett ovenfra. (Snitt XY- høyde 10m fra opplager) Mål i mm.	33
Figur 41: Oversikt profiler	34
Figur 42: Oversikt profiler i endene av bruelementet (Snitt YZ)	34
Figur 43: Oversikt profiler (Snitt XY, høyde 0 meter fra opplager)	35
Figur 44: Oversikt profiler. (Snitt XY- høyde 10 meter fra opplager)	35
Figur 45: Oversikt profiler. (Snitt XZ)	35
Figur 46: Eksempel på gangvei for inspeksjon på Bergsøysundbrua.(20)	38
Figur 47: Aksonometrisk fremstilling av avkjøring	42
Figur 48: Overlappende profiler	44

Vedleggsliste

Vedlegg 1. Målsatt tverrsnitt

Vedlegg 2. Målsatt element

Vedlegg 3. Målsatt pontong

Vedlegg 4. Målsatt ledd

Vedlegg 5. Beregninger pontong

Vedlegg 6. Gantt diagram

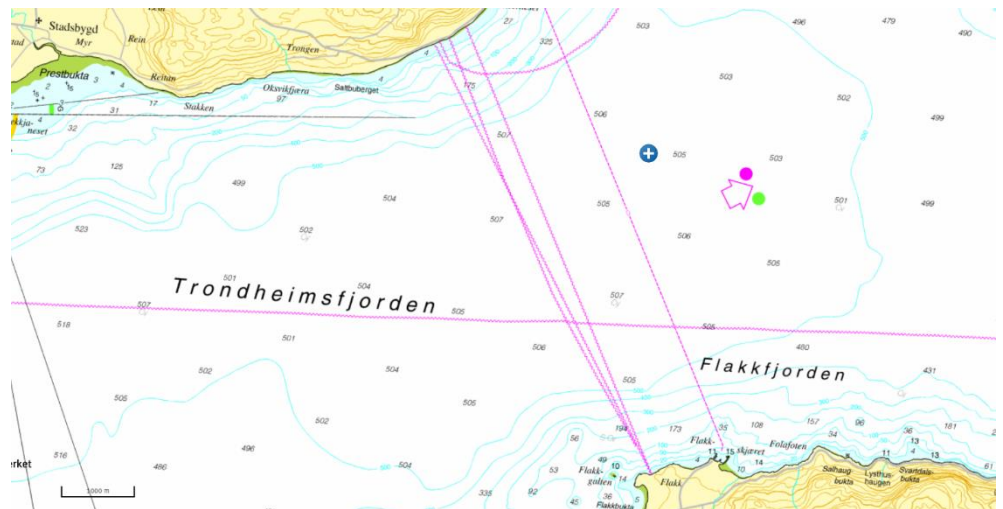
Vedlegg 7. KTR-skjema

Introduksjon

Korteste veg i dag mellom Trondheim og Rissa kommune er med bilferge over Trondheimsfjorden mellom Flakk-Rørvik. Flakk-Rørvik-sambandet på Fylkesveg 715 går mellom Flakk i Trondheim og Rørvik i Rissa kommune, og har siden 2011 blitt trafikkert av Fjord 1 AS.(3) Ruten trafikkeres i dag av de nye gassfergene MF Glutra, MF Tresfjord og MF Korsfjord med en kapasitet på henholdsvis 124, 124 og 125 kjøretøy hver.(3) Nå reiser omtrent 2000 personer mellom Fosen og Trondheimsregionen daglig.(4) Det er derfor viktig å sikre en sikker og stabil reisevei for disse.

Med dagens situasjon innstilles fergeavgangene ved moderat vind, og en bruløsning vil være mindre følsom for værpåvirkninger. Reisetiden med bruløsning vil kortes ned betraktelig, og raske overslag gir en redusert reisetid på minimum 25 minutter. På lang sikt vil en bruløsning gi store miljøgevinster da fergesambandet avvikles, og vil også kunne gi store økonomiske fordeler for transportavhengig næring ute på Fosen. Ved bygging av bru vil Stadsbygd kunne fungere som en forstad til Trondheim på lik linje med Melhus og Malvik.(5) I tillegg vil en bru være helt nødvendig om en by på sjøen skal realiseres. Her henvises det til rapporten *Fram - en moderne eksposisjon*, av gruppe 19.

Bildet til høyre er hentet fra karttjenesten norgeskart.no og gir en oversikt over havdybder ved dagens ferjeleie Flakk-Rørvik. Som man kan se er det dybder på over 500 meter og det vil være urealistisk å ha brupillarer midt ute i fjorden. I tillegg er det snakk om en total



Figur 1: Dybder i Trondheimsfjorden (1)

lengde på rundt 7 km noe som ville gitt urealistiske lange spenn på bruen. På bakgrunn av dette omhandler dette prosjektet en flytende bruløsning. I dette prosjektet vil det ikke bli sett på en løsning for passasje av større båter og konstruksjoner. For løsningen på dette henviser vi til gruppe 24 sine arbeider med rørtunnel.

Rapporten *Bru over Trondheimsfjorden* har tatt for seg den mest gunstige plassering for bru og konsekvenser for de ulike plasseringene i forhold til trafikk og miljø.(6) Vi vil benytte oss av plassering og løsning fram til bru beskrevet i rapporten og har derfor ikke sett nærmere på dette i denne rapporten.

Målsetting

Samfunns mål:

- Forenkle ferdsel mellom Trondheim og Fosen
- Tilrettelegge for økt bosetting
- Bedre transportmuligheter for næringen i regionen
- Åpner for nye attraktive boligområder ca. 20 min fra Trondheim

Effekt mål:

- Raskere levering av fisk til fastlandet fra oppdrettsnæringen ute på Fosenhalvøya
- Enklere og raskere transportløsning for pendlere
- Knytte sammen industribygda Leksvik med Trondheim
- Forenkle tilknytning til en eventuell marineby
- Lage en mindre værutsatt transportløsning enn dagens ferjetilbud

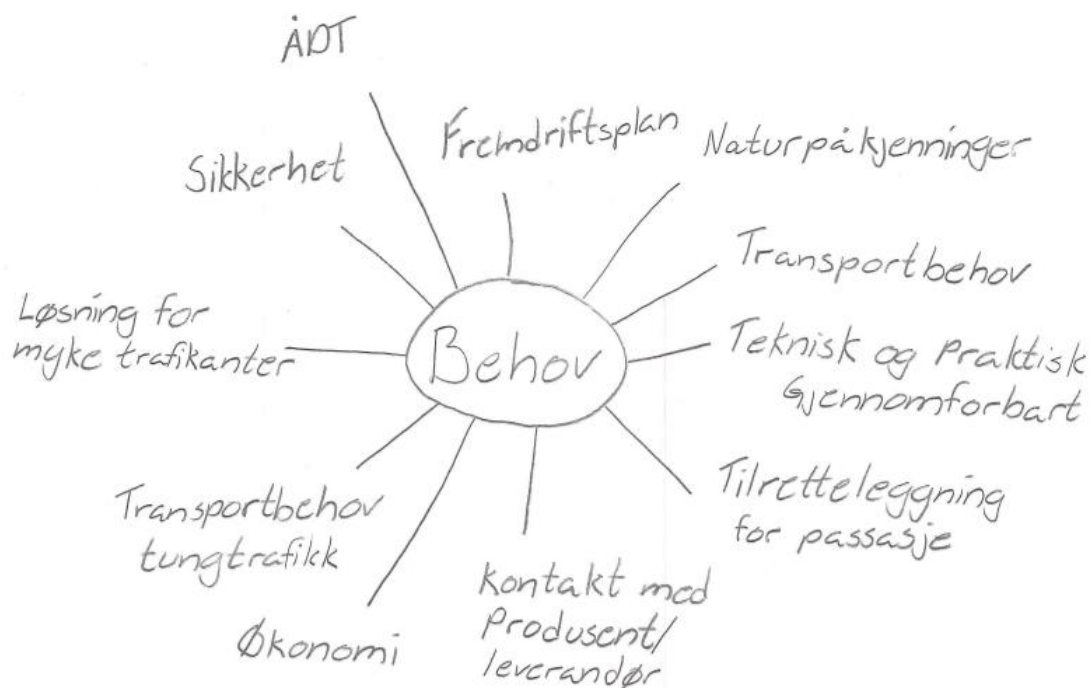
Resultat mål:

- Bru over Trondheimsfjorden
- Minimum 3-feltsveg over fjorden
- Gang- og sykkelvei over fjorden
- Passasje for båter med seilingshøyde på opptil 10 meter for hver 500 meter bru
- Mulighet for krysning av fjorden døgnet rundt
- Legge til rette for egen passasje for større båter og konstruksjoner

Visjon

Åpne helt nye muligheter «nord for Trondheim»

Kartlegging av behov



Figur 2: Tankekart - Behovsutredning

Funksjoner som skal dekkes og eventuelle spesielle behov

- Forbindelse mellom Fosen og "fastlandet" som ikke er avhengig av ferge
- En transportløsning som er raskere enn ferge.
- En mer værrobust transportløsning
- Dekke transportbehovet mellom fastlandet og Fosen på et 50-årsperspektiv
- Design av en transportløsning som er teknisk og praktisk gjennomførbart
- Passasje for større båter/transport som foregår i fjorden.
- Transportløsningen skal ikke begrense anløpene til havnene innover i fjorden
- Transportløsningen skal ikke være et hinder for at mer godstransport til og fra trondheim flyttes over fra hjul til kjøll.
- Transportløsningen skal være sikker å bruke.
- Transportløsningen skal takle tungtransport til Fosenhalvøya og ta høyde for en økning av dette i forbindelse med blant annet utbygging av jagerflybasen på Ørlandet og en eventuell vindmøllepark på Fosen.
- Det er behov for produsenter/leverandører som kan produsere bruelementer, pontonger og

det som måtte høre til.

- Fremdriftsplan (Gantt diagram): Hensikten med fremdriftsplanen er å holde oversikt over fremdriften i et prosjekt, slik at man har en noenlunde oversikt når ting kan forventes ferdig. Oppdeling av arbeidet og fastsetting av tider baserer seg på antakelser, og vil ikke være noe nøyaktig mål.

Driftsmessige forutsetninger

Brua skal sikre god framkommelighet for alle trafikanter over fjorden, samtidig som trafiksikkerheten og miljøet ivaretas. Konstruksjonen skal ha tilfredsstillende bæreevne, trafiksikkerhet og bestandighet, samt opprettholde et godt visuelt inntrykk

Geografiske forutsetninger

På grunn av dybder på 500 meter ved planlagt kryssing av fjorden må dette tas hensyn til med tanke på forankring.

Nærmiljø- og brukernes forutsetninger

Mulighet for myke trafikanter til å nytte sambandet uten buss. Ikke gi et dårligere tilbud enn hva som finnes i dag, da dagens ferge ordning gir mulighet for myke trafikanter for å krysse fjorden.

Miljøhensyn

Evaluerer miljømessige konsekvenser knyttet til brua, gjennom å identifisere og beskrive energi- og materialforbruket, samt avfall og forurensninger til miljøet. Dette inkluderer å analysere konsekvensene av overstående. Analysen må inkludere hele livssyklusen til brua - fra uttak av råmaterialer, produksjon, distribusjon, bruk, gjenbruk, vedlikehold, resirkulering - til endelig kassering, inkludert all transport involvert i prosessen.

Finansiering

Prosjekter i en slik klasse vil koste mye å bygge og drifte/vedlikeholde, og dette må finansieres. Her vil aktuell finansiering finnes innen: Stat/fylke, private aktører, bompenger

og forskermiljø. I tillegg kan det være aktuelt å bygge energiløsninger i tilknytning til bruene som en del av finansieringen. Dette kan f.eks. være vindmøller, bølgekraft, strømkraft.

Løsningselementer



Figur 3: Oversikt over løsningselementer

- **Pontonger:**
Pontongene må dimensjoneres og det må hentes inn anbud. Pontonger må forankres. En løsning med mulighet for serieproduksjon av pontonger vil redusere kostnadene knyttet til prosjektet.
- **Bruelementer:**
Bruelementene må dimensjoneres og det må hentes inn anbud for produksjon. En løsning med serieproduksjon av bruelementer vil redusere kostnadene.
- **Transport:**
Pontonger og brudeler skal transporteres og dette må planlegges med tanke på miljø, tid og kostnad.
- **Arealplan:**
En arealplan må opprettes før man kan bygge en bru.
- **Reguleringsplan:**
En reguleringsplan må på plass før bru kan bygges, da området per nå ikke er regulert for denne type bruk.

- **Fra land til bru:**

Må tenke på hvor bru skal landsettes i forhold til eksisterende infrastruktur og kostnad.

- **Fra bru til passasje:**

Ut i fra hvilken passasje som blir valgt må vi ta hensyn til dette i vår prosjektering.

- **Leddets/sveiset løsning:**

En leddet løsning vil være å foretrekke da en statisk ubestemt konstruksjon vil gi tvangskrefter i konstruksjonen, på grunn av bevegelsene til pontongene.

- **Passasje:**

Gruppe 24 er ansvarlig for prosjektering av passasje for høye båter, store skip og konstruksjoner.

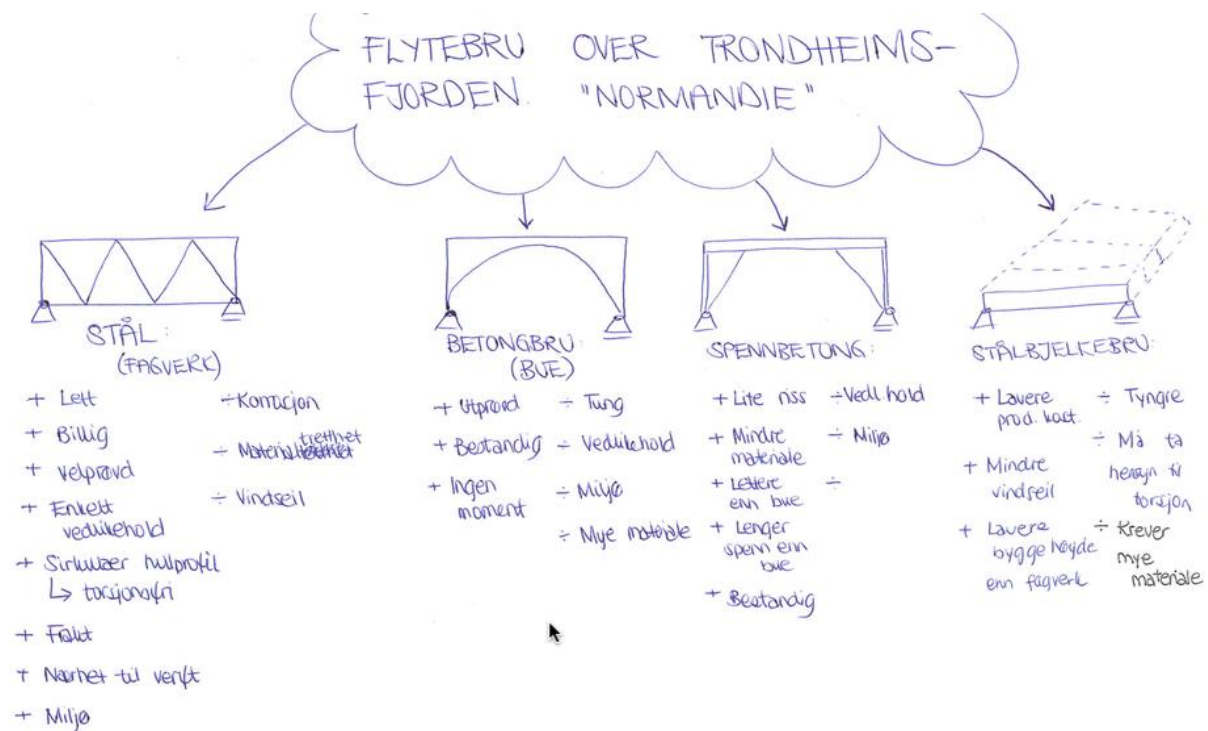
Gjennomføring/arbeidsmetoder

I all hovedsak er det brukt brainstorming og søk i ulike kilder for å komme frem til resultatene nevnt i denne rapporten. For utforming av fagverket er det tatt utgangspunkt i designet på Bergøysundbrua i Gjemnes kommune og forsøkt modellert en tilsvarende løsning i SAP2000. For modelleringen gjennomført i AutoCAD er det tatt utgangspunkt i brainstorming rundt de relevante områdene og det arbeidet som er gjennomført i SAP2000.

Program	Kort beskrivelse av programmet	Bruksområde
SAP2000	FEM-analyseprogram som utfører statiske, dynamiske, lineære og ikke-lineære analyser av strukturer. Det er også et kraftig designverktøy for å designe strukturer etter forskjellige byggeforskrifter og standarder.	Analyse og design av fagverkskonstruksjon
AutoCAD	Program for 2D og 3D dataassistert konstruksjon (computer-aided design CAD)	3D-modellering av fagverkskonstruksjon, dekke, pontonger og ledd. 2D-tegninger med målsetting.
MS-project	Prosjektprogramvare der man kan utvikle en plan, tildele ressurser til oppgaver, spore fremgang, administrerende budsjett, og analysere arbeidsmengde.	Utforming av Gantt-skjema og planlegging prosjekt.
Microsoft Word	Tekstbehandlingsprogram	Tekstbehandling
Microsoft Excel	Beregningsprogram	Beregninger og grensesnitt
Microsoft Powerpoint	Presentasjonsprogram	Presentasjon

Konsept bru

I denne fasen av utviklingen av "Fosenbrua" er det sammenliknet ulike typer konsepter, og der er lagt vekt på faktorer som pris, funksjonalitet av materialer, gjennomførbarhet, nærhet til verft og miljø. Utforming av brukasse, pontonger, vegbane, ledd og forankring er elementene som ligger til grunn for valget av konsept.



Figur 4: Konsept brukasse

Konsept brukasse

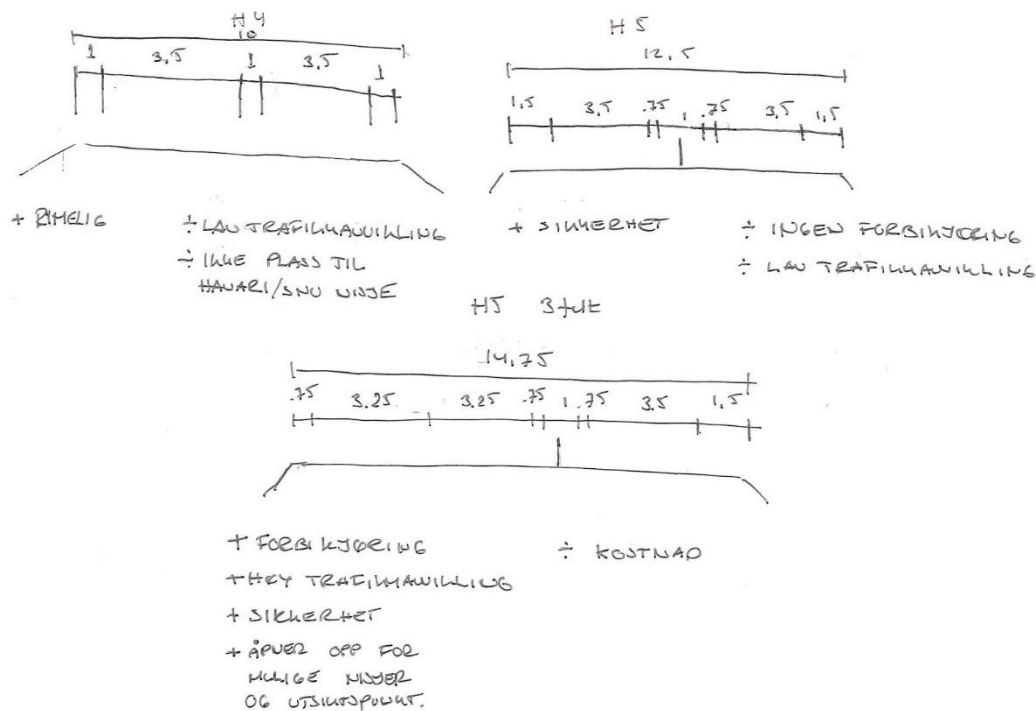
Kartlegging og idémyldring av ulike typer brukasser som kan fungere for flytebrua. Etter å ha veid for- og mot for alle typene, ser det ut til at en brukasse av stål er mest fordelaktig.

Brukasse av betong kan også fungere, men ville krevd enormt mye materiale sammenliknet med stål. Betong er vanskeligere å vedlikeholde og mindre miljøvennlig, samtidig vil større masse utgjøre mer egenlast som har et stort utslag på pontongstørrelse.

Stål er resirkulerbart, lavpris, enkelt å vedlikeholde og kan produseres på verft i nærmiljøet, for eksempel ved Kværner Verdal i Nord-Trøndelag.

Konsept vegbane

Dagens trafikkbelastning på strekningen er ifølge Statens vegvesens vegdatabank 2060 ÅDT(4), dette er antatt å stige med 200% til ca. 6000 ved enklere, raskere og rimeligere løsning over fjorden. Det er tatt utgangspunkt i ÅDT mellom 4000 og 6000 og fartsgrense 80 km/t. Valgene står i mellom de forskjellige vegklassene til Statens Vegvesen, men de forskjellige løsningen innenfor vegklassene vil bli sett på som veiledende.



Figur 5: Konsept vegbane

Vegklasse H4

Utgangspunkt i en H4 veg, 10,0 meter bredde som vil gjøre brudekket smalt og bruen mindre kostnadskreven. Bruen vil være omtrent 7 kilometer lang uten mulighet for forbikjøring eller plass til å snu eller stoppe ved havari. Dette medfører betydelig risiko ved scenarioet hvor bil havarerer, og med betydelig risiko for ulykke kjøres det forbi havarerte kjøretøy. Løsningen vil innebære lav trafikkavvikling.

Vegklasse H5:

H5 veg med/uten midtdeler, gir større følelse av sikkerhet for bilistene og lavere ulykkesrisiko, det vil være mulighet til å kjøre til siden ved havari slik at andre kjøretøyer kan passere. Dette vil sannsynlig medføre kødannelse på bruen. Løsningen vil innebære lav trafikkavvikling.

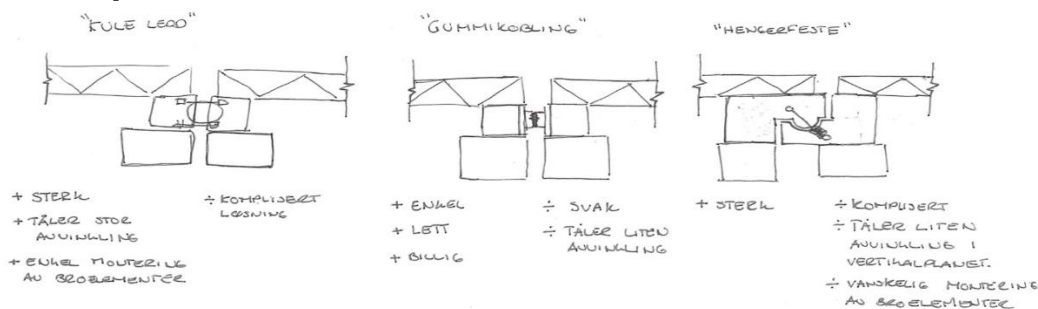
Vegklasse H5 med forbikjøringsfelt

H5 veg med forbikjøringsfelt, med/uten midtdeler gir en stor følelse av sikkerhet for bilistene og lavere ulykkesrisiko. Det er tenkt et bytte av hvilken retning som får to felt hver kilometer på bruene, dette vil medføre at bruene får særs god trafikkavvikling. Ved denne løsningen vil kjøretøy også ha mulighet for å kjøre til siden ved havari. Det vil også være mulighet for utsiktspunkt på enkelte deler av bruene. Dette er det mest kostnadskrevenne konseptet.

Konklusjon

Utgangspunktet i vegklasse H5 med forbikjøringsfelt er valgt som konsept det går videre med. Trafikkavviklingen er svært god, samtidig så er det mulig å gi trafikantene en opplevelse på veien ved å legge inn utsiktspunkter og visuelle positive opplevelser langs vegbanen. Dette er en dyrere løsning men dette veies opp av de positive aspektene ved løsningen.

Konsept ledd



Figur 6: Konsept ledd

Leddene som skal holde hver enkelt del av bruene sammen må tåle store krefter. Leddene skal kunne bøyes i vertikal og horisontal retning, men må sørge for en demping av bevegelsene uten å hindre dem. Leddene skal tåle store krefter uten å bryte sammen.

Kuleledd

Tenkt kuleledd konsept er sterkt med en kule som to halve sirkler kan rotere rundt, hydraulikk vil dempe bevegelsen på lignende måte slik en demper i bil fungerer. Løsningen for leddet gjør monteringen enkel ved at brudelene settes sammen uten at det er nødvendig med kran. Det er mulig å legge inn sensorer som måler friksjon i leddet for å bestemme om det er nødvendig med vedlikehold. Burde sikres med reserveløsning om leddet kollapser. Det er ønskelig med en lokal leverandør på ledd, spesielt siden dette ikke er hyllevare.

Gummikobling

Fungerer slik at en del med plast sitter som et ledd mellom konstruksjonsdelene, plasten vil

gummifiseres ved store påkjenninger og fungere som et ledd. Denne løsningen vil være lett og kan gjøres rimelig. Det vil stilles store krav til materialteknologi ved denne løsningen, og i denne fasen innehar ikke gruppen kompetanse innen dette området. Denne løsningen gir ingen forvarsel før svikt og det er mulig reserveløsning ved brudd er nødvendig.

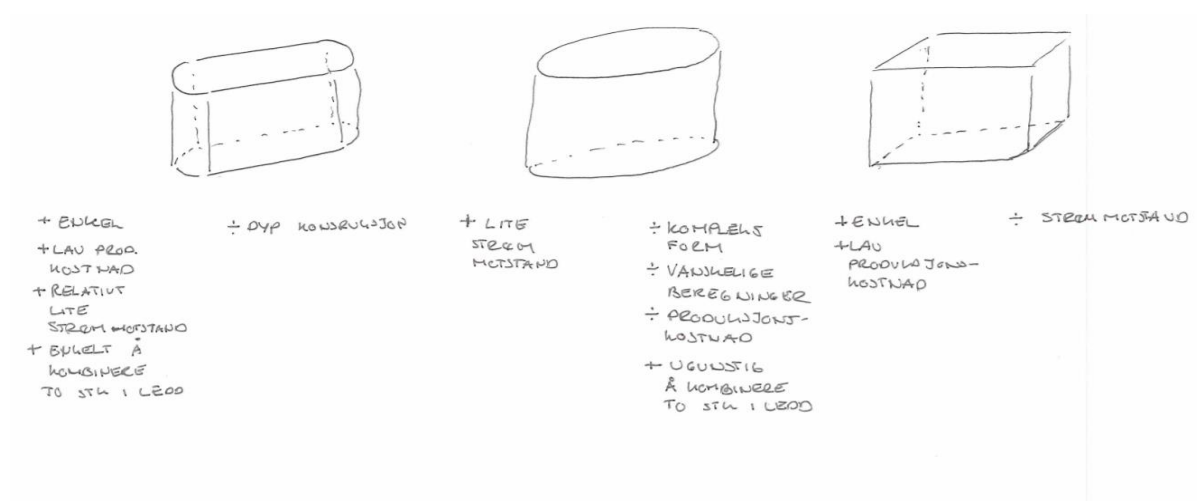
Hengerfesteledd

Konseptet går ut på hengerfestepriippet med demping med hydraulikk. Denne løsningen er svært sterk i aksialretningen på bruene. Løsningen vil kunne rotere fritt i horisontal retning men vil ha begrenset bevegelighet i vertikal retning. Hengerfesteleddet vil kreve kran ved montering.

Konklusjon

Kuleleddet er valgt for sine gode egenskaper innen alle de ønskede kvalifikasjoner. Løsningen er også valgt fordi den er muligens den løsningen med lavest driftskostnader over tid. Kuleleddet gjør det mulig er mulig å montere bruelementer uten kran.

Konsept pontonger



Figur 7: Konsept pontonger

Pontongene må være dimensjonert oppdrift for vertikale trafikkklaster, brukonstruksjonens vertikale last i spennet og pontongenes egenvekt. Pontongene må også ta hensyn til horisontale bevegelser og rotasjon fra bølger-, vind-, strømnings- og trafikk krefter. Pontongen vil bli produsert i moduler.

Rektangelformet med sirkelavrunding

Dette er en enkel fasong som ikke har spesielt vanskelige konstruksjonselementer.

Fasongen på pontongen gir lav vannmotstand mot konstruksjonen. Problemene ved denne fasongen er at den gir et lite areal, som fører til en høy konstruksjon.

Oval-form

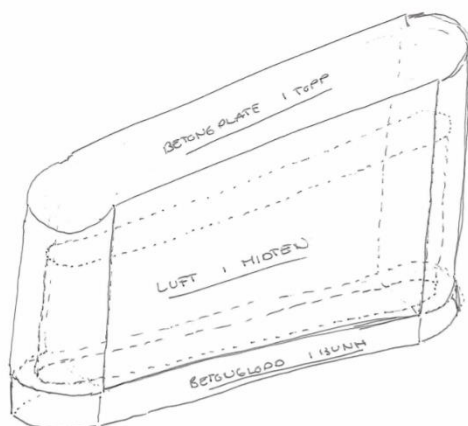
Denne konstruksjonen gir minst vannstrømmotstand i begge retninger. Pontongens bredde-lengde forhold gir også muligheten til å en lavere konstruksjon. Den trenger ikke ligge like dypt i vannet som konsept 1. Problemet med denne fasongen vil være ved sammenkoblingen mellom leddene i brukonstruksjonen, og utregningene av oppdriftene.

Rektangulær form

Konstruksjonen er enkel å prosjektere, og gir lave bygge kostnader. Løsningens svakhet er at formen gir stor vannstrømmotstand, dette gir en større belastning på leddkonstruksjonen, som allerede er den svakeste delen av konstruksjonen.

Konklusjon

Rektangelformet med sirkelavrunding er valgt for sine gode egenskaper innen alle de ønskede kvalifikasjoner. Dette gir en god helhetsløsning, med lavere konstruksjonskostnad og lavere vannmotstand, som medfører mindre slitasje på ledd. Utformingen av pontongene skal defineres nærmere i analysen.



Figur 8: Pontongdesign

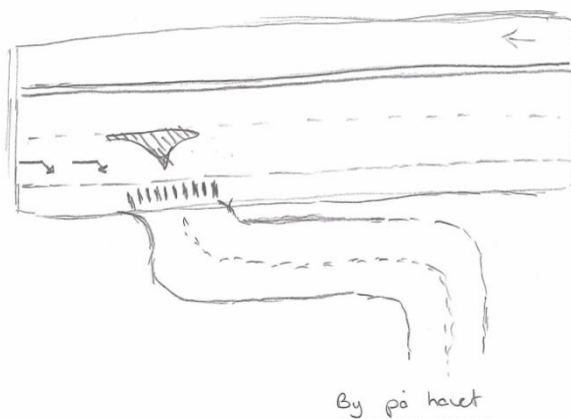
Konsept avkjørsel

I sammenheng med boliger på sjøen og subsea testsenter skal det prosjekteres avkjørsel fra bruene. Trafikk på avkjørselsveien vil være begrenset til transport av varer og tjenester. Dette utfra bestemmelser fra gruppe 19 sin tilnærming til oppgaven om ingen biltrafikk på området. Avkjørselen skal ikke begrense trafikken betydelig, men samtidig gi en sikker opplevelse for bilister og myke trafikanter.

Enkel avkjørsel

Avkjørselsfelt fra Flakk.

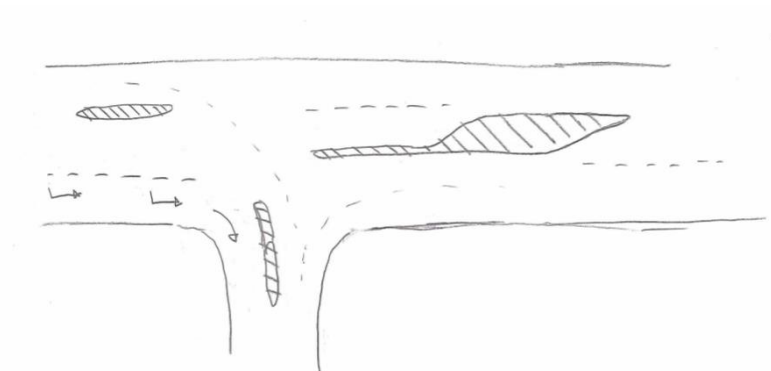
Økonomisk løsning der to av feltene i veien er upåvirket av avkjørsel. Dette gir kun mulighet for av/påkjørsel i en retning, og kan være uønskelig grunnet de lange avstandene. Denne løsningen gir jevn trafikk og dermed mindre forurensing. En mulighet er å ha av/påkjøring på begge sider, en løsning som krever en planskilt kryssing av bruvegbanen.



Figur 9: Enkel avkjørsel

T-kryss

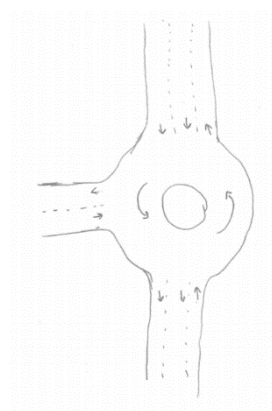
T-kryss-løsning. Gir mulighet for av/påkjørsel i begge retninger. Farlig løsning da man uansett må krysse vegbanen i en kjøreretning. Tar opp mer plass enn konsept 1 og konsept 3. Gir stopp i trafikk, ugunstig med tanke på forurensing. En viss mulighet til å snu, da man kan kjøre av i krysset for så å snu.



Figur 10: T-kryss

Rundkjøring

Rundkjøring. Tar mindre plass enn T-kryss og medfører en lavere trafikkrisiko. Løsningen gir i tillegg mulighet for av/påkjørsel i begge retninger. Senkning av fartsgrense er nødvendig, i tillegg til at en rundkjøring fungerer som en fysisk fartsregulering, og dermed redusert risiko. Samtidig vil en rundkjøring gi en mer jevn trafikk enn hva T-kryss vil gi noe som resulterer i mindre forurensing. Ved å velge en rundkjøring som avkjørsel vil det også gi mulighet for å snu på den 7 km lange brukonstruksjonen.



Figur 11: Rundkjøring

Konklusjon

En av/påkjørings-løsning på ei bru medfører en større risiko enn om det hadde blitt gjort på land, da en eventuell ulykke har større mulighet for fatale konsekvenser. Dette er noe man naturligvis må ta hensyn til ved valg av løsning. I tillegg er økonomi (her: krav til areal/plass) en avgjørende faktor som i alle prosjekter. Med bakgrunn i dette er rundkjøring valgt som av/påkjørings-løsning på denne bruene, på grunn av sikkerheten denne løsningen gir samt en mulighet for å snu på en 7 kilometer lang brukonstruksjon.

Konsept forankring

Sugeanker

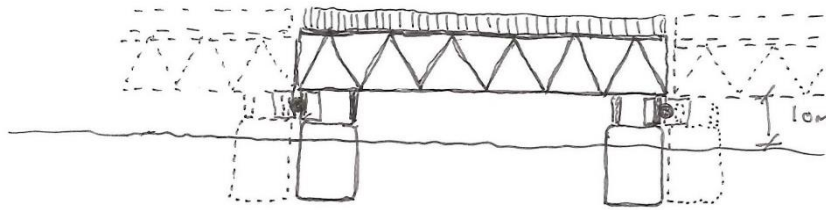
For å minimere laterale forflytninger og dermed høye strekkspenninger kan brua ankres mot bunnen med sugeanker. Sugeankere blir i dag ofte benyttet til å ankre opp offshoreinstallasjoner som skal ligge permanent plassert. Et sugeanker er en tynnvegget stålkonstruksjon med åpen bunn. Ankeret trenger ned i mudder og slam på bunnen, og for å få ankeret til å senkes godt ned kan vannet inne i ankeret pumpes ut slik at det suger seg ned i bunnen. Når sugeankeret er plassert holdes det nede av suget og det hydrostatiske trykket på fjordbunnen.(7)

“Kunstig sjøbunn” med vertikale strekkstag

Inspirasjon er hentet fra forankringssystem fra offshore olje og gassindustri, hvor flytende plattformer forankres med strekkstagteknologi. Dette skjer uten direkte forankring i sjøbunnen. En “kunstig sjøbunn” bestående av forspente rør på kryss av fjorden på 30 meters vanddybde forankres inn i fjellkammer på hver landside.(8) Over en så lang fjordkryssing som Trondheimsfjorden, er det helt nødvendig med en avstiving for materialbevegelse. Den kunstige sjøbunnen absorberer belastningene for flytebrua i form av miljølaster slik en normal sjøbunn ville gjort, dersom fjorden ikke var så dyp.

Brukonseptet med kunstig sjøbunn er relativt nytt. Løsningen er nå inne i en fase hvor det gjennomføres fysiske eksperimenter for å studere innvirkningen bølger, strøm og vind vil ha på ulike komponenter. Testene avdekker i første omgang om bruene tåler belastninger fra vann og vind som vi ikke allerede kjenner til.(9)

Totalkonsept



Figur 12: Totalkonsept

Brukasse

Brukasse laget av stål. Det må gjøres beregninger i dataverktøy for å kontrollere nærmere hvilken type stålkonstruksjon som velges.

Vegbane

Konseptet som er valgt tar utgangspunkt i vegklasse H5 med tre felt. Trafikkavviklingen er svært god, samtidig er det mulig å gi trafikantene en opplevelse på veien ved å legge inn utsiktspunkter og visuelle positive opplevelser langs vegbanen. Dette er en dyrere løsning men dette veies opp av de positive aspektene ved løsningen som trafiksikkerhet og trafikkavvikling.

Ledd

Kuleledd velges for gode egenskaper innen ønskede kvalifikasjoner. I tillegg er det sannsynligvis den løsningen med laveste driftskostnader, og er mulig å montere uten kran.

Pontonger

For å få en god helhetsløsning, lavere konstruksjonskostnad og lavere vannmotstand, og da mindre slitasje på ledd, er det valgt en rektangelformet pontong med sirkelavrunding.

Avkjørsel

Av/påkjørings-løsning på bru medfører større risiko enn på land, da en ulykke har større sannsynlighet for fatale konsekvenser. I tillegg er pris (her: krav til areal/plass) en avgjørende faktor. Derfor er rundkjøring valgt som av/påkjørings-løsning for brua.

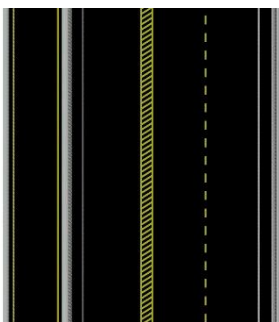
Forankring

Kunstig sjøbunn og vertikale strekkstag. En "kunstig sjøbunn" bestående av forspente rør på kryss av fjorden på 30 meters vanddybde forankres inn i fjellkammer på hver landside.

Resultater

Vegbane

Under konseptutviklingen ble bruklasse H5 med forbikjøringsfelt valgt som utgangspunkt. Statens Vegvesen vegklasse H5 er gyldig for årsgjennsnittstrafikken som er antatt lik til 6000, men er gjort store avvik fra denne vegklassen i dimensjonering av vegen.(10) Vegklasse H5 angir

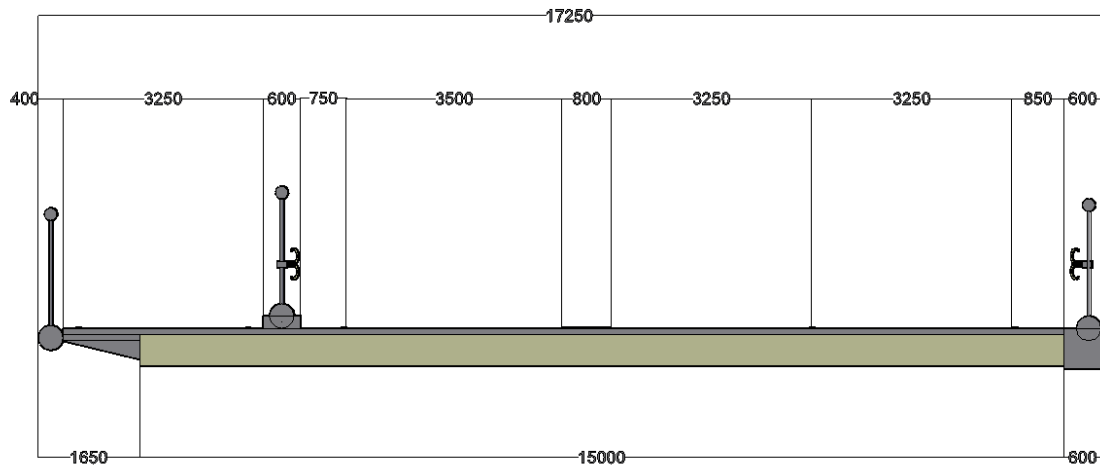


fartsgrense på 90 km/t. I følge Statens vegvesen håndbok N400 kapittel 13.12.1.1 er maksimal tillatte hastighet på bru med knekk 70 km/t. Dette medfører at kravet for fysisk midtdeler faller bort, og vil bli erstattet av et bredt skravert felt. Denne løsningen åpner for passasje og evakuering av bruene når en ulykke inntreffer.

Figur 13: Vegbane

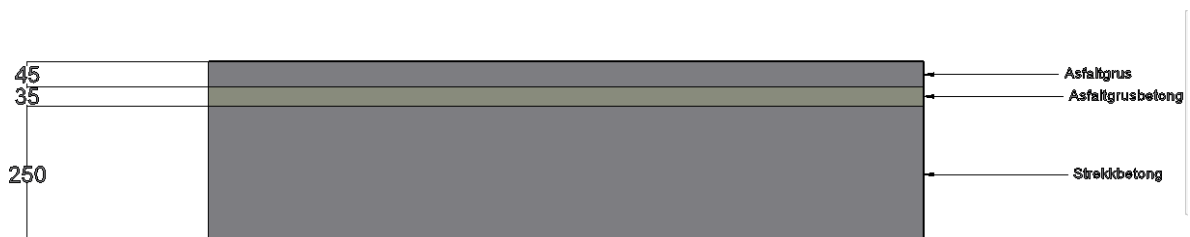
Store deler av bruene vil bestå av elementer med tre felt. Vekslingen mellom forbikjøringsfelt foregår en gang hver kilometer og påvirker ikke konstruksjonen i noen grad. Endringen vil påvirke veimerking som males etter at bruelementene er på plass, og dekke er lagt.

Brubredden totalt med rekkverk, skulder og vegbaner er satt til 17,25 meter. Det vil være 2 kjørefelt i en retning med bredde 3,25 meter, og en i andre retningen med bredde 3,5 meter. Det skraverte feltet mellom kjøreretningene vil være 0,8 meter og vil synliggjøre at det ikke er lov å krysse denne. Dobbel heltrukket linje ble vurdert som ikke tilstrekkelig i dette tilfellet. Selve bæreelementet til vegbanen vil bygges opp av et 15,0 meter og 0,25 meter tykt strekkbetonglag som sørger for tilstrekkelig stivhet for veibanen. En del av gang/sykkelvegen vil gå 1,65 meter utover dette elementet. Denne utbyggingen vil være konstruert i stål og dette åpner for muligheter for gjennomsyn ned mot vannoverflaten og konstruksjonen.

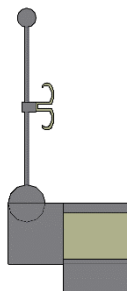


Figur 14: Målsatt tverrsnitt av vegbane

Dekket dimensjoneres i henhold til håndbok N200.(11) Det er bare ÅDT som er dimensjonerende for dekket, trafikkbelastningen i dette tilfellet er antatt til årsdagtrafikk 6000. For årsdøgntrafikk > 5000 og stive dekketyper, er kravet 4,5 cm over 3,5 cm. Valgt dekke er 4,5 cm asfaltgrus over 3,5 cm asfaltgrusbetong, dette påføres bærelaget når bruene er ferdig satt sammen. Fall på brudekket vil være 1:50 mot sluk som opptrer 7 ganger per bruelement og 10 meter fra hverandre.



Figur 15: Vegoppbygning



Figur 16: Rekkverk med innfesting

Brurekkverket er valgt ut i fra håndbok V161. Bruen ønskes tilrettelagt for gang og sykkeltrafikk og rekkverk kreves mellom kjørebane og gang/sykkelveg. Dette medfører rekkverksklasse H2/L2.(12) Rekkverk på brua vil ikke hindre sikt men vil lages slik at det vil være delvis mulig å se gjennom. Anbefalt rekkverk høyde er 1,2 meter i henhold til håndbok V161.(12) Autovern vil inkluderes i disse rekkverkene og hindrer avkjørsel fra motorferdsfelt av bru eller på gang/sykkelveg.

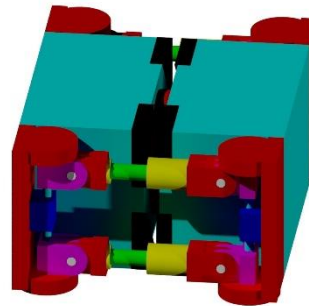
Antagelser med hensyn på gående og syklende over bruen er satt til 10 gående og 25 syklende per time. Det anses også som mulig at dette kan eskalere ved bygging marineby i tilknytning til bruen. Håndbok N100 stiller krav til 3 meter bredde på gang/sykkelveg etter antatt trafikk.(10) Det er her valgt å gå opp til 3,25 meter total bredde på gang/sykkelveg med mulighet for separering av feltene ved senere tidspunkt. Det skal tilrettelegges for utsiktspunkter ved severdigheter. Planen er da å gå ned til to felt på vegbanen hvor det blir en plattform med utkikkspunkt, visuelle forbedringer, informasjonsskilt og liknende. Disse utkikkspunktene kan ikke nås med bil men vil bare være mulig å nå ved hjelp av gang/sykkelveg.

Det skal benyttes mekaniske brufuger, fingerfuger, som tilkobling av vegdekke mellom bruelementene. Fugene skal utformes iht. håndbok N400 *Bruprosjektering*(13) og etter anbefalingene gitt i Statens vegvesens rapport Nr400 *Mekaniske brufuger*.(14)

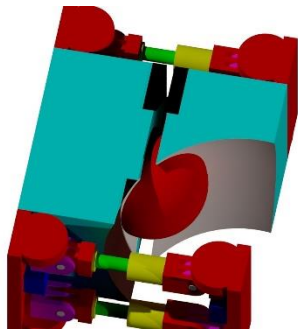
Ledd

Leddene skal binde sammen elementene, og samtidig være en del av konstruksjonen.

Det er nødvendig med avbøyning i ledd mellom elementene på grunn av bruens bevegelser over tid. Avbøyning i ledd må kunne forekomme i både horisontal og vertikal retning, dette er svært viktig for konstruksjonen. Det er nødvendig med demping av bevegelser for å minimere påkjenninger på andre deler av konstruksjonen.



Figur 17: Oversikt ledd



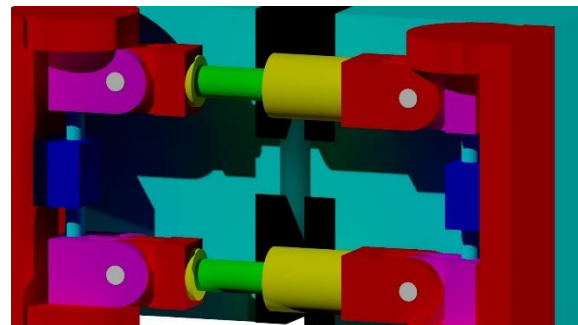
Figur 18: Kule

Egenlast, trafikklast, ulykkeslast, vindlast og kraft fra strøm i vannet er ulike laster leddet er nødt til å dimensjoneres etter. I forprosjektet er det ikke beregnet hvilke laster og størrelser på disse som påvirker leddet. Dimensjonering av de forskjellige deler av leddet er heller ikke gjennomført.

Leddene er bygget opp rundt en metallkule i senter som gir mulighet til rotasjon i alle retninger.

Kulen har en diameter på to meter og vil være oljesmurt. Når olje blir presset ut vil denne bli pumpet tilbake inn i sokkelen til kule.

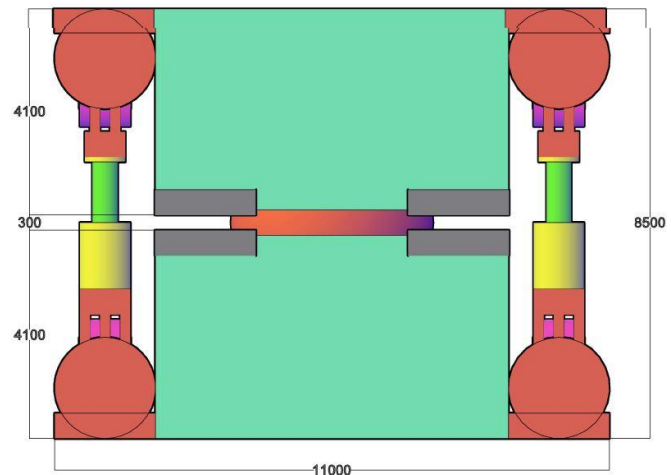
Oljefylte dempere forsinker bevegelser mellom bruelementene. Totalt vil det være fire dempere, to på hver side av leddet. Demperne har ledd i hver ende og er montert i et stag slik



Figur 19: Dempefunksjon i ledd

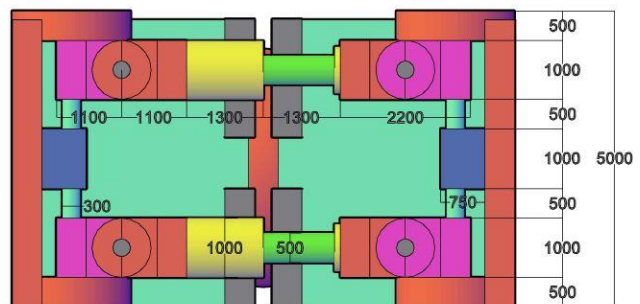
at de kan rotere fritt i horisontal og vertikal retning. Gummiklosser i endene av stålklossen som omkranser kule tar opp støt ved full utbøyning av leddet. Hele konstruksjonen vil være omkranset i et beskyttende skall av stål med gummi mellom skjøtene til bruelementene for å unngå at korrosivt miljø påvirker mekanismen direkte.

Vedlikehold vil kunne skje i rolig vær hvis to elementer låses sammen, det vil bli produsert en rigg som låser leddet og tar opp kreftene mellom elementene. Ved låsing av leddet er det mulig å utføre service og vedlikehold på konstruksjonen. Dempere vil bli utslitt og må byttes etter et gitt intervall. Kontroll av kule og smøringssystem er viktig, oljeskift må også utføres på en slik konstruksjon. Gummi som lukker mellom de to skallene må være tett for å hindre unødvendig korrosjon.



Figur 20: Målsatt tverrsnitt av ledd

Totalt er et ledd når to elementer er koblet sammen 8,5 meter langt og bredden 11 meter. Før montering er leddet 4,1 meter langt og bygger ikke nevneverdig ut fra brudekket. Kulen skal kunne festes i ene delen av leddet, og dette vil være mulig å bytte på slik at levetiden til kulen vil forlenges. Maksimal rotasjon før kontakt mellom gummiklosser er 5 grader. Dette medfører en maksimal forskyvning i andre enden av elementet på 5,25 meter.



Figur 21: Målsatt tegning av ledd sett fra siden

Pontonger

Bergsøysundbruen er brukt som referanse med tanke på utformingen av pontongene. Veggene består av 20 cm, bunn 50 cm og topp 30 cm. Det er benyttet armert høyfast lettbetong for å danne en sterk og lett konstruksjon. Pontongen skal være fylt med flytelementer, og pumper. Dette for å forhindre synking ved eventuelle skader og lekkasjer i konstruksjonen.



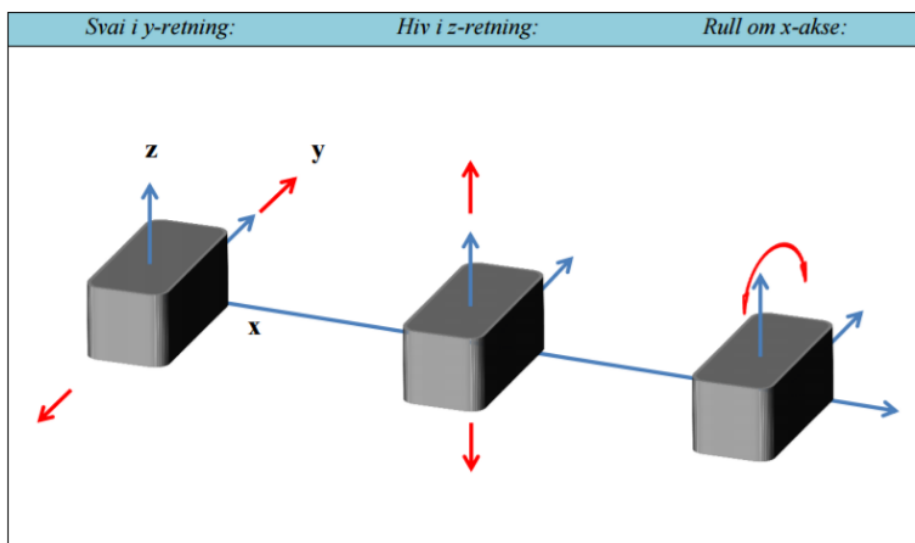
Figur 22: Pontong under konstruksjon (2)

Innvendig vil pontongen forsterkes med vertikale og horisontale stålsøyler. Vertikale søyler skal føre kreftene fra bruelementene ned i den tykke bunnen av konstruksjonen. Vanntrykket mot bunn av pontong vil derfor kunne ta opp kreftene fra bærekonstruksjonen.

Vanntrykket fra begge sider mot pontongen er i likevekt. Dette kan utnyttes ved horisontale trykkstaver som sterkt reduserer belastningen mot betongveggene, og tillate en slank veggkonstruksjon.

Hydrodynamiske krefter

Ytre krefter forårsaker bevegelse i konstruksjonen, dette i form av svai, hiv og rull. På figuren under er det illustrert hvordan pontongen blir forsjøvet langs de forskjellige aksene.



Figur 23: Forflytning av pontong (15)

Svai er forflytning i det horisontale planet, enten i x eller y-retning. Strømmer i vannet vil være hovedårsaken til slike påkjenninger.

Hiv er forflytning i det vertikale planet, og er grunnet bølgekraft. Disse bevegelsene vil bli minimale på grunn av tyngden på konstruksjonen samt lokasjonen på bruene.

Rull er rotasjon om de vertikale eller horisontale aksene. Vindkraft som blir fanget opp i fagverkskonstruksjonen, som er fast innspent i tilhørende pontong. Et ugunstig tilfelle vil være rotasjon rundt x-aksen. Lengdene på pontongene må kunne beregnes etter disse lastene. Det er ikke tatt hensyn til disse eksterne kreftene ved dimensjonering av pontongene.

Pontongenes avlange fasong vil forminske påvirkning fra strømningskrefter. Det er disse kreftene som vil forårsake bruens sideveis forflytning, og er særdeles ugunstige. Det er lagt stor vekt på å redusere disse kreftene mest mulig. Prosjektet forankringsmetode er kunstig sjøbunn, der det skal trekkes vertikale strekkstag. En slik løsning dimensjoneres etter vertikale påvirkninger. Formen på pontongene vil være med på å redusere disse kreftene.

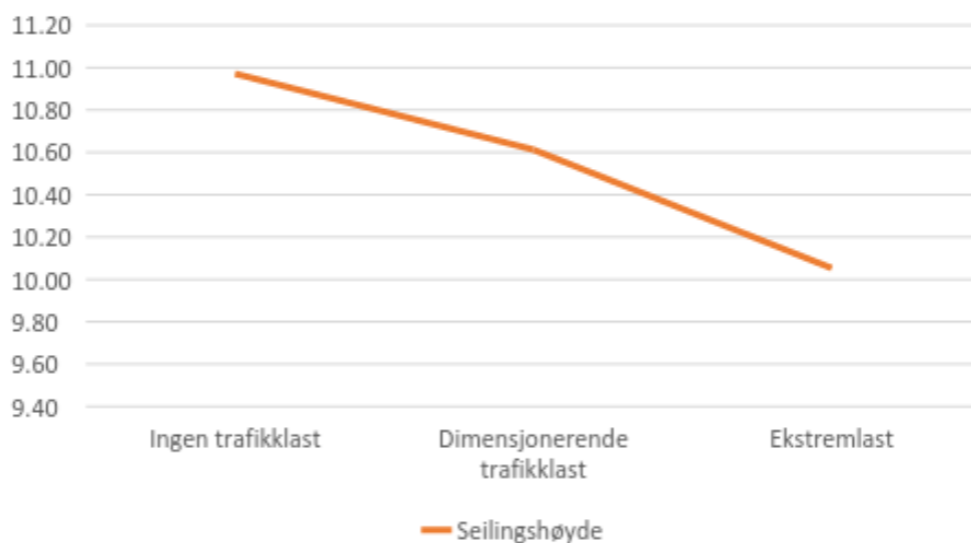


Figur 24: Konstruksjon av pontonger (2)

Ved dimensjonering av pontongene er det tatt høyde for egenvekt, trafikklast, leddkonstruksjon, veidekke og fagverk. Det ble valgt å montere leddløsningen direkte på pontongen for å sikre stabiliteten til konstruksjonen. Forbeholdet om seilingshøyde på 10 m. er opprettholdt ved at pontongen oppnår høyde på 5 meter over havet.

Under vedlegg 5 beskrives hvilke parametere som ligger til grunn for beregninger av pontongen. Bredder og lengder på pontong ble satt etter estetiske mål, som symmetri mot lengde på bruelementene og bredde lengde forhold

Grafen viser seilingshøyden på bruelementene.



Figur 25: Seilingshøyde bruelementer

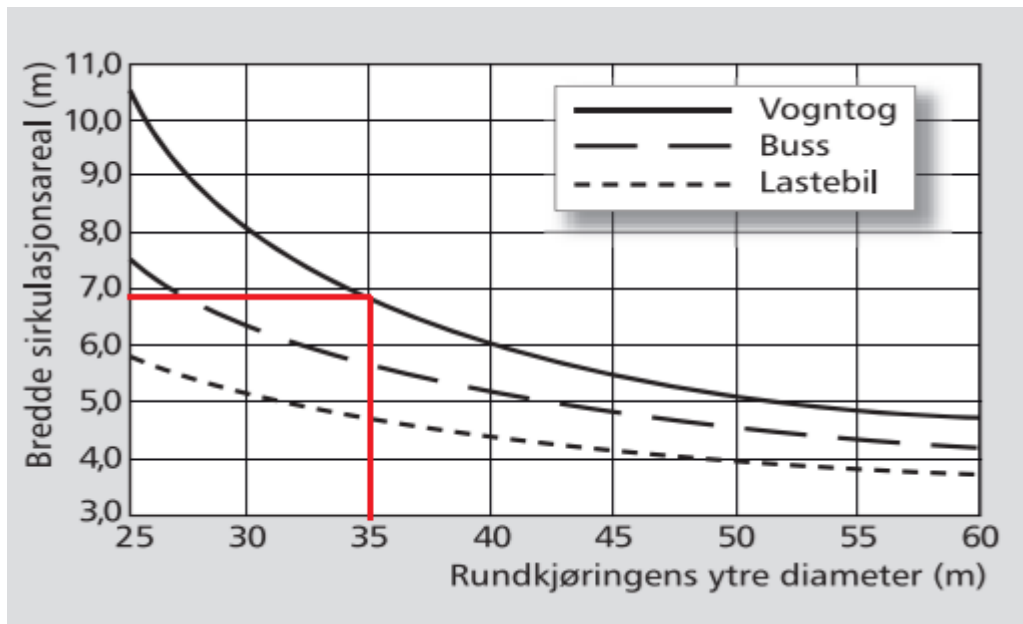
Ekstremlasttilfelle er iberegnet en sikkerhetsfaktor på 1,4 for egenlastene til elementene i konstruksjonen. Som vist skal opptredende seilingshøyde aldri underskride 10m. uavhengig av mengde trafikk på bruene.

Trykkbelastningene på pontongen har ikke blitt simulert, og det er derfor stor usikkerhet i dimensjoneringen av betongtykkelsene, og armeringsmengde i konstruksjonen. Analyse av opptredende eksterne krefter som vind, bølge og støm må gjøres for å prosjektere nødvendige dimensjoner.

Gjennom luke i toppen av pontongen vil det være mulighet for vedlikehold og rutinemessig kontroll av innvendige forhold. Hvordan dette skal være mulig med tanke på installerte flytelementer må detaljprosjekteres videre.(15)

Avkjørsel

Utforming av rundkjøringen er gjort iht. “Håndbok N100 Veg- og gateutforming”



Figur 26: Ulike kjøretøys krav til minste kjørefeltbredde i sirkulasjonsarealet(10)

Figuren ovenfor er hentet fra “Håndbok N100”. Viser sammenhengen mellom ytre diameter i rundkjøringen og kjørefeltbredden basert på hva slags type kjøretøy man dimensjonerer for. Det er tatt utgangspunkt i 35 meter som ytre diameter, som da gir en nødvendig kjørefelts bredde i rundkjøringen på 6,9 meter. Sentral øya i midten av rundkjøringen vil ha en diameter på 11 meter. Håndboken stiller krav til stigningsgrad og sikt inn mot rundkjøringen. Det antas at disse kravene er oppfylt.(10)

Det vil være en innsnevring før rundkjøringen slik at vegen går fra 3 til 2 felt gjennom rundkjøringen. I tillegg vil det også være 2 felt ved avkjøringen mot marinebyen. Hvert felt har en bredde på 3,5 meter.

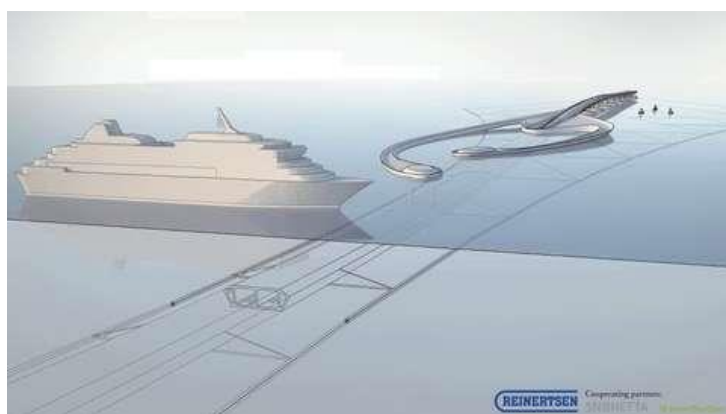
Forankring

Forankringssystem fra offshore olje og gassindustri, hvor flytende plattformer forankres med strekkstagteknologi, uten direkte forankring i sjøbunnen. En “kunstig sjøbunn” bestående av forspente rør på kryss av fjorden på 30 meters vanddyp forankres inn i fjellkammer på hver landside. Over en så lang fjordkryssing som Trondheimsfjorden, er det helt nødvendig med en avstiving for materialbevegelse. Den kunstige sjøbunnen absorberer belastningene for

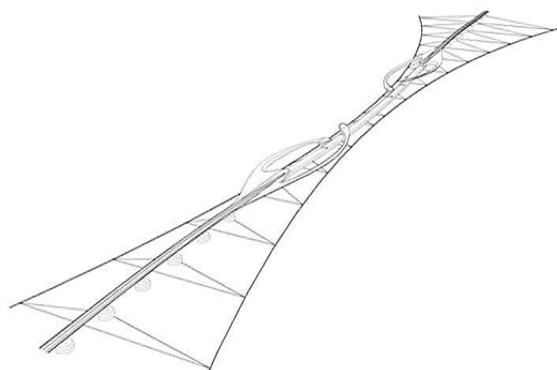
flytebrua i form av miljølaster slik en normal sjøbunn ville gjort, dersom fjorden ikke var så dyp.(16)

For strukturintegritet og sikkerhetskrav må konseptet valideres mot forsøk hvor blant annet ulike miljølaster påføres strukturen. Prosjektets neste fase vil være hvor det skal utarbeides og gjennomføres fysiske eksperimenter for å studere innvirkningen bølger, strøm og vind vil ha på ulike komponent-tverrsnitt relevant for fjordkrysningen.(9)

Det er Reinertsen AS som har patent på idéen. Brukonseptet, utarbeidet av Reinertsen, Dr.techn. Olav Olsen AS og Snøhetta, er en videreføring av mulighetsstudien "Ferjefri E39" utført av Statens vegvesen. Dette videreutvikles i samarbeid med forskningsrådet. Slike vertikale strekkstag er kosteffektive, for forankring av oljeplattformer på dypt vann. Stagene er blant annet benyttet på oljeplattformen Heidrun, som Reinertsen er godt kjent med fra tidligere offshorearbeid.(8)



Figur 27: Eksempel på mulig forankringsløsning (17)



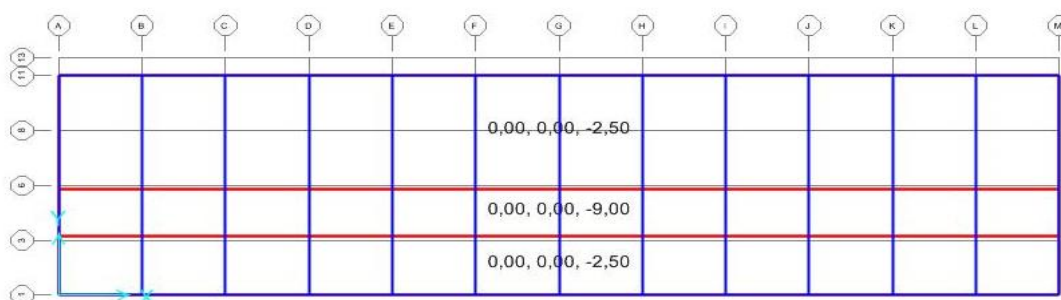
Figur 28: Illustrasjon av kunstig sjøbunn (16)

Bærekonstruksjon

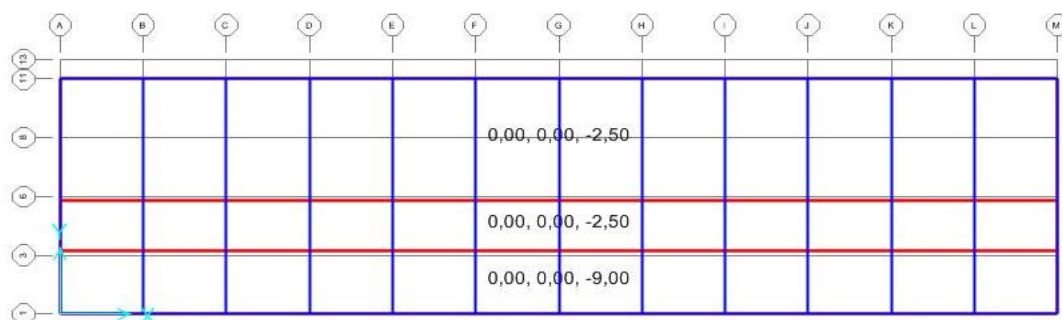
Stålkonstruksjonene bygget opp av fagverk og bjelke er testet opp mot hverandre i SAP2000 for å avgjøre hvilken som er mest fordelaktig. Begge modellene er testet med like spenn for å sammenligne kapasitet og dimensjoner på bjelkebru kontra fagverksbru. I analysen er det valgt et maksimalt spenn på 100 meter. Det er valgt 100 meter grunnet at det finnes tilsvarende spenn på lignende flytebruer som er prosjektert. I tillegg vil dette begrense behovet av pontonger til et minimum da det vil være to pontonger per ledd mellom to 100 meters elementer.

Det er benyttet SAP2000 til en enkel analyse for å få et bedre bilde av vekt og dimensjoner. Hvert element er tegnet som om de skulle være fritt opplagt. Verdier for nyttelast er hentet fra NS-EN-1991-EC1 - *Laster på konstruksjoner Del 2*. Egenlast er hentet fra SAP2000. Kapasitetsberegninger er gjort iht. NS-EN-1993-EC3. Det er ikke tatt med belastning fra vindlast, strømlast og oppdrift i analysen. Spesifikke faktorer gitt i håndbok *N400 Bruprosjektering* kapittel 13.12 er ikke lagt til grunn for dimensjoneringen.

Begge analysene viser at ved å bygge 100 meters elementer, som er opplagret i hver ende, stilles det store krav til profilene ved opplager. Vanligvis blir last ført ut til opplagrene på land, men her skal hvert element fungere som et uavhengig element og dette stiller større krav til profilene på endene av hvert element. Fordeling av last er også gjort i henhold til NS-EN-1991-EC1- *Laster på konstruksjoner Del 2*. Det er analysert to lasttilfeller der det er tenkt trafikk i en av veibanene for å oppnå mest ugunstig tilfelle.



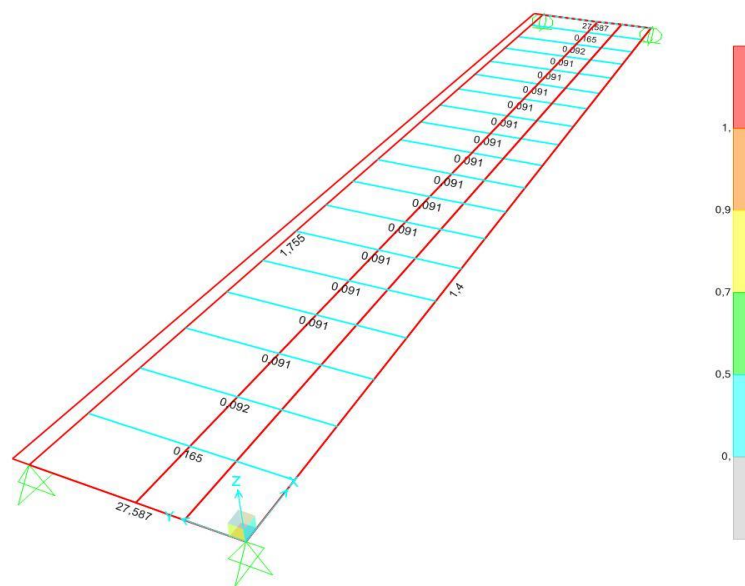
Figur 29: Lasttilfelle 1: Trafikk kun i midtre felt. Laster i kN/m^2



Figur 30: Lasttilfelle 2: Trafikk i ytre felt. Laster i kN/m^2

Bjelkebru

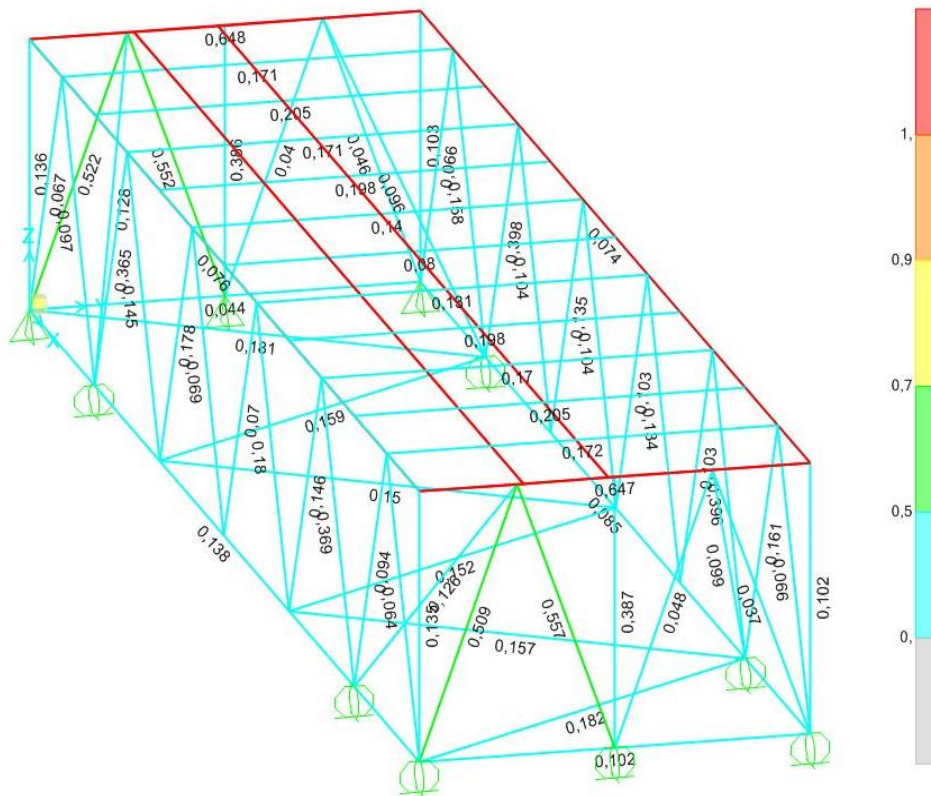
Analysen viser at det er vanskelig å oppnå et spenn på 100 meter, med utgangspunkt i de nyttelastene oppgitt i NS-EN-1991-EC1. Modellen består av to langsgående H-bjelker med et avstivningssystem i mellom. Et spenn på 100 meter kan la seg gjøre, men dette vil kreve enorme dimensjoner på de to hovedbjelkene. En bjelkebru vil gi en relativt lav konstruksjonshøyde, noe som gjør det lettere å oppnå en akseptabel seilingshøyde under bruene. Ulempen er at det vil gå med enorme mengder materiale for å oppnå tilstrekkelige dimensjoner på bjelkene. Fra bildet under ser man at enkelte profiler får belastning som er nesten 30 ganger så høy som kapasiteten, selv om de største profilene som lå inne i programmet som ble benyttet.



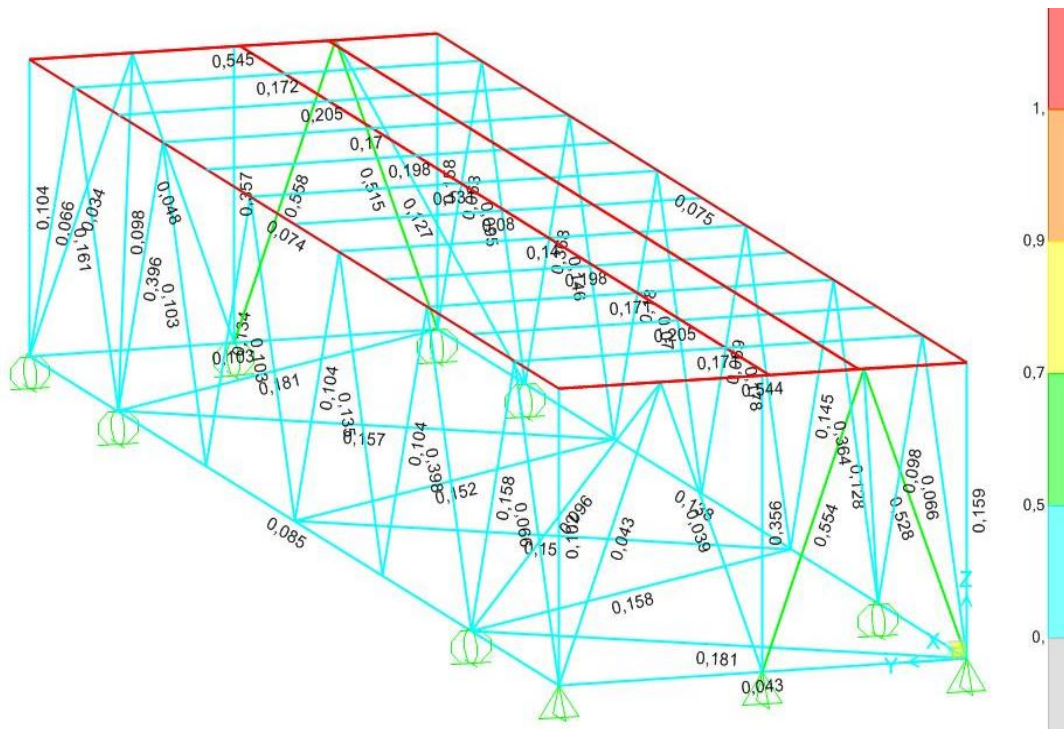
Figur 31: Analyse for bjelkebru.

Fagverksbru

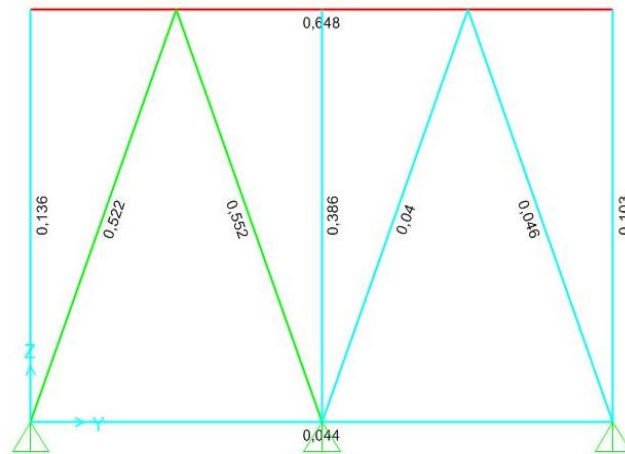
For utforming av fagverket er det hentet inspirasjon fra designet på den eksisterende flytebruen Bergøysundbrua i Gjemnes. Analysen viser at med forholdsvis små dimensjoner vil det meste av bruelementet tåle påkjenningen fra trafikklast og egenvekt. De profilene som ikke har tilstrekkelig kapasitet ligger i enden av elementene ved opplagrene på pontongene. Fra bildet under kan det ses at den horisontale bjelken i toppen får belastning som nesten er tre ganger så mye som dens kapasitet, selv om profil HEA-1000 er benyttet. Skråstavene i forkant har også langt ifra tilstrekkelig kapasitet. Her er det analysert med de største sirkulære hulprofilene programmet hadde.



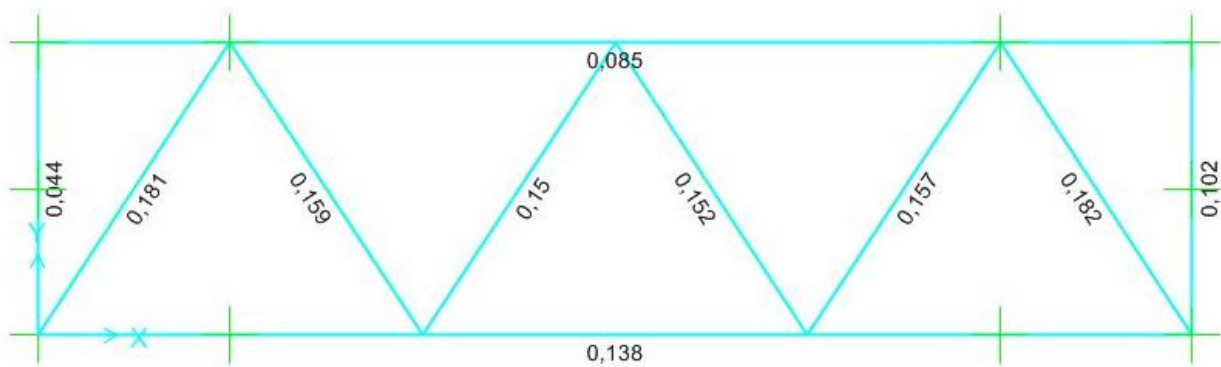
Figur 33: Lasttilfelle 1: Utnyttelse av profiler 60m element



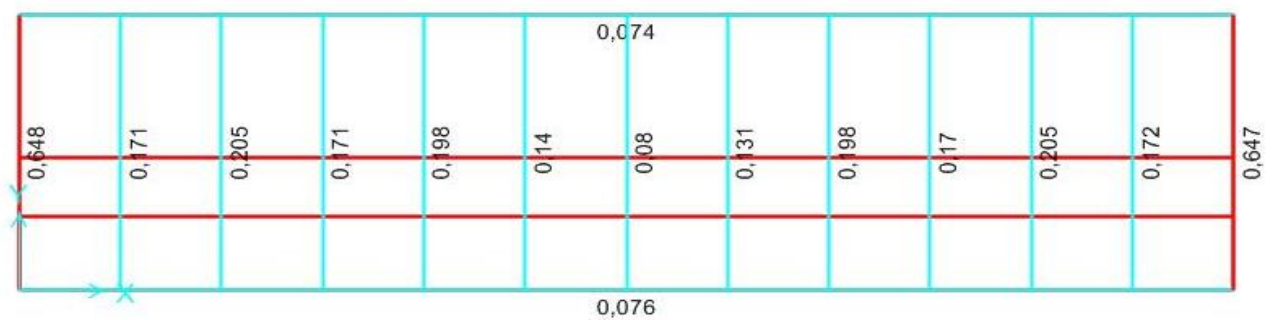
Figur 34: Lasttilfelle 2: Utnyttelse av profiler 60m element



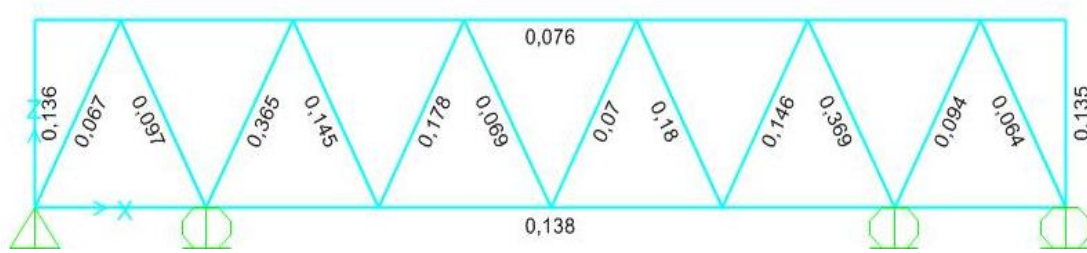
Figur 35: Utnyttelse av profiler i endene av bruelementet. (Snitt YZ)



Figur 36: Utnyttelse av profiler i nedre del av fagverket (Snitt XY, høyde 0m fra opplager)

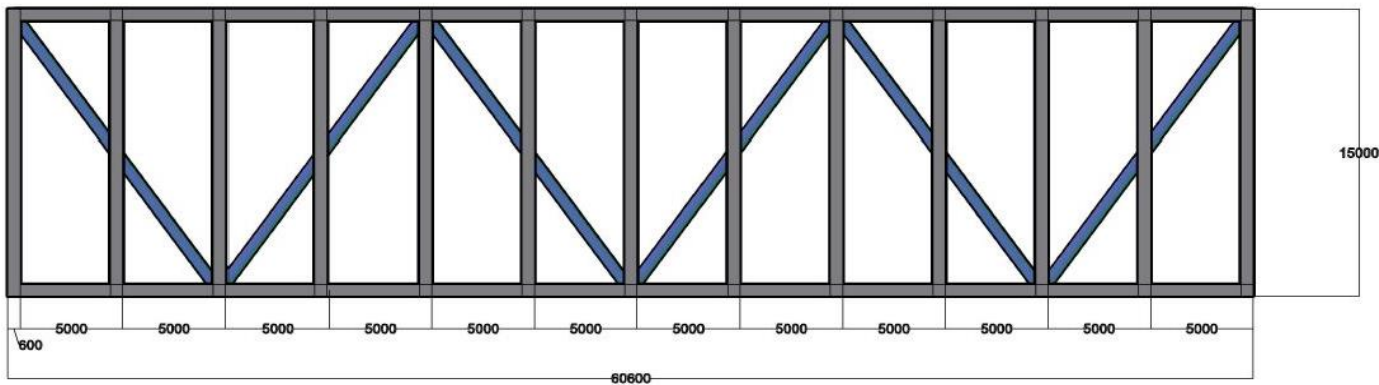


Figur 37: Utnyttelse av profiler øvre del av fagverket (Snitt XY- høyde 10m fra opplager)

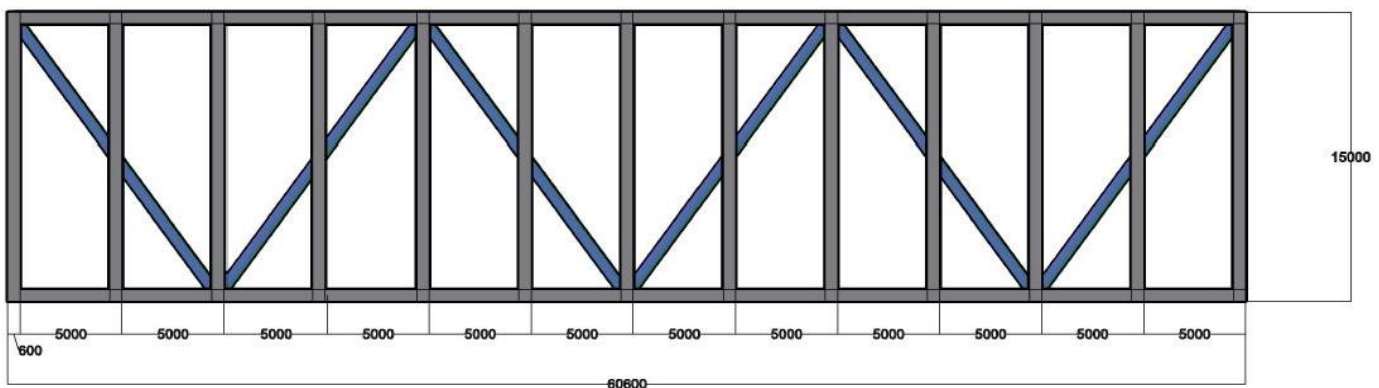


Figur 38: Utmøtelse av profilerer på sidene i fagverket (Snitt XZ)

Fagverket skal ligge under veibanen og være opplagret på pontongene. Hvert element skal være omtrent 60 meter lang, med 40 meter langt spenn, 10 meter høy og 15 meter bred.



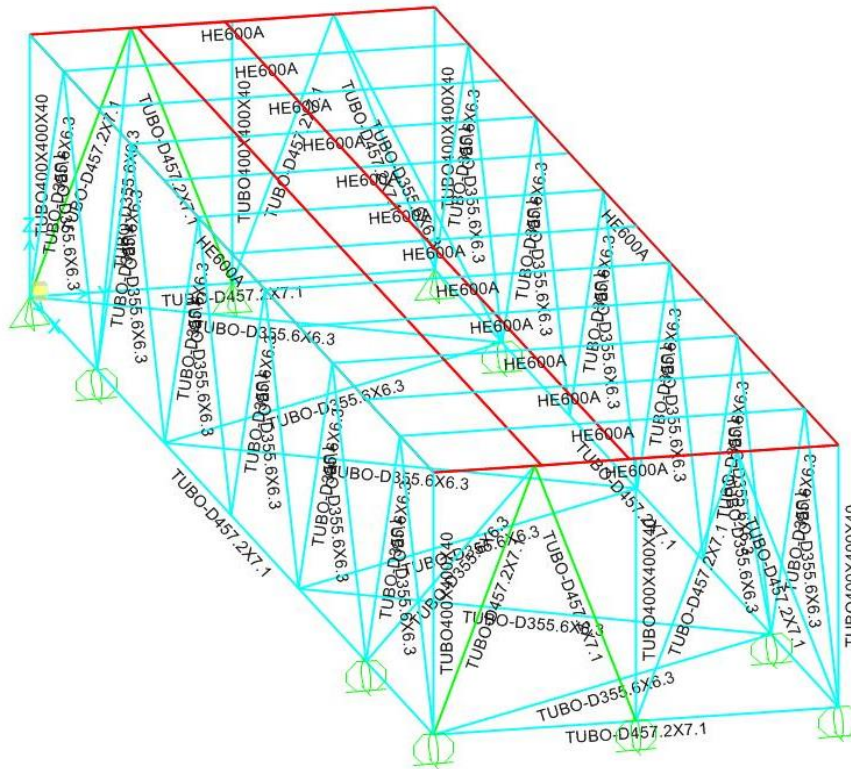
Figur 39: Sett fra siden, (Snitt XY). Mål i mm.



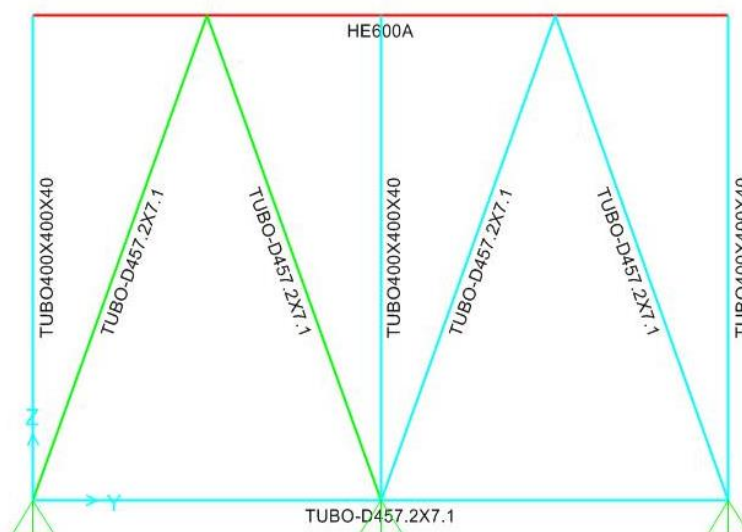
Figur 40: Sett ovenfra, (Snitt XY - høyde 10m fra opplager) Mål i mm.

Det er valgt H-bjelker for langsgående bjelker på topp og sirkulære hulprofiler for langsgående profiler i bunn. Disse skal føre trafikklaster bort til opplagerne på pontongene. Mellom disse er det skrå sirkulære hulprofiler på hele lengden. Disse fungerer som avstivning og de fører lasten fra dekket ned i de langsgående profilene. Mellom langsgående bjelker på topp er det H-bjelker for avstivning og som underlag for veidekket. Ovenfor lagrene er det skrå sirkulære hulprofil som fungerer som avstivning for profil rett ovenfor lageret og i tillegg

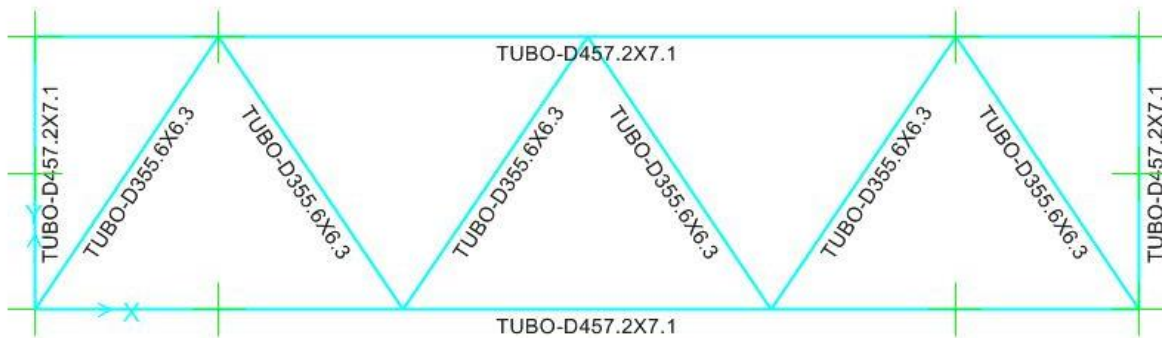
fører det lasten fra konstruksjonen ned i lagrene. Det er begrenset med dimensjoner og profiler i SAP2000 og i virkeligheten kunne man valgt hulprofiler med mer veggtykkelse. Større veggtykkelse hadde gitt muligheten til lengre elementer.



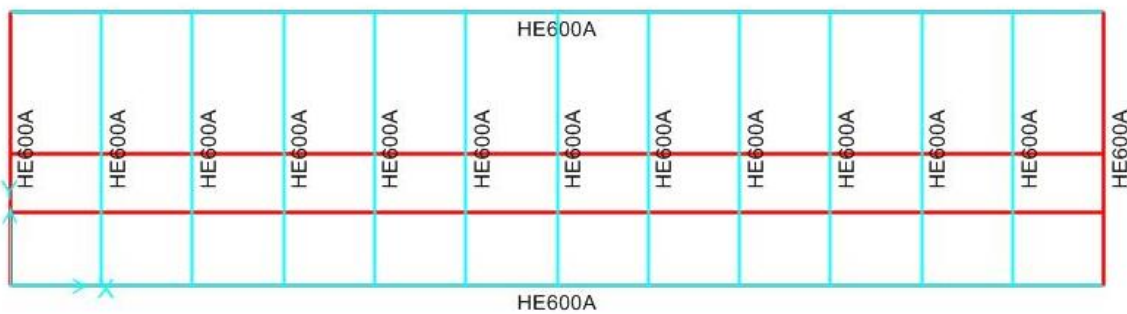
Figur 41: Oversikt profiler



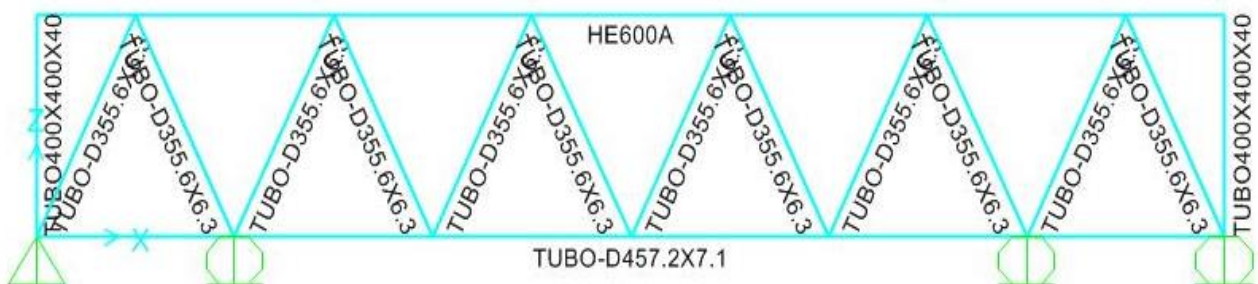
Figur 42: Oversikt profiler i endene av bruelementet (Snitt YZ)



Figur 43: Oversikt profiler (Snitt XY, høyde 0 meter fra opplager)



Figur 44: Oversikt profiler. (Snitt XY- høyde 10 meter fra opplager)



Figur 45: Oversikt profiler. (Snitt XZ)

Ingen av dimensjonene som lå inn i SAP2000 hadde tilstrekkelig kapasitet i forhold til det 100 meter lange spennet som oppnås ved å designe brua som en bjelkebru. Her blir SAP2000 sin stavmodell litt enkel, men likevel fås en indikasjon på at en bjelkebru vil bli for tung og at det vil kreve enorme dimensjoner for å gjennomføre. Med kortere spenn vil dimensjonene gå ned, men samtidig vil det være nødvendig med flere pontonger. En fagverksbru gir en lettere

konstruksjon og gir muligheten til lengre spenn enn en bjelkebru. Med profilene som lå inne i SAP2000 gikk det ikke å oppnå 100 meter lange elementer med 80 meter frie spenn. En ny analyse med 60 meter lange elementer og 40 meter fritt spenn viser at dette vil være en mer reell konstruksjon da alle profiler er godt innenfor kravene som stilles i NS-EN 1993 - EC3.

Hva gjelder lastene påført konstruksjonen har vi testet for de to scenarioene vi anser som verst tenkelige. Dette vil da være rushtrafikk i 1 felt, samtidig som vi har tilnærmet ingen trafikk i de 2 andre feltene. Laster er i henhold til NS-EN-1991-EC1. Profilene som er benyttet er overdimensjonert i forhold til trafikklast og egenvekt, men disse er likevel benyttet med tanke på at ulykkeslast, vindlast, strømlast og oppdrift ikke er tatt med i beregningene. Dette grunnet mangel på kunnskap og kapasitet for å gjennomføre beregningene. Et fagverk vil fungere som et vindseil og ved lengre brukonstruksjoner er det ofte vindlast som er dimensjonerende. Vindlast er utelukket fra dimensjonering og er en stor svakhet i analysen. Beregninger begrenser seg til trafikklast og egenvekt er det disse lasttilfellene som blir avgjørende for valg av brutype. På bakgrunn av dette er bruens designet som en flytebru med bæresystem av fagverk.

Byggeprosess og vedlikehold

Fabrikasjon av pontonger vil skje der det finnes ledig kapasitet, og slepes til Verdal. Ledd og lager fabrikeres på fabrikker med kapasitet og fraktes til Verdal og monteres på verftet. Fabrikasjon av bruelementene på Verdal som deretter monteres på pontonger. Element kan også overflatebehandles på verftet og "flekkes" etter montasje. Samlet element slepes ut til monteringssted med taubåter og boltes sammen med et annet element. Det kan være aktuelt å montere sammen flere elementer på Verdal for å så slepe ut en større konstruksjon.

Produksjon av bruelementer og pontonger i nærområdet vil være meget gunstig med tanke på sysselsetting og miljø. Begrenser da utslipp knyttet til frakt til et minimum og sikrer mange jobber i nærområdet i lang tid fremover. Som nevnt over er det viktig og ikke låse en bedrift til brukonstruksjon og derfor kan det bli vel mye for Kværner med all produksjon og montasje av fagverket på pontonger. Det kan være aktuelt at andre verft fabrikkere mindre deler av fagverket og at Kværner monterer disse sammen til et helt element. Da avlaster man Kværner, men samtidig vil det da bli større utslipp med tanke på frakt av alle små deler av fagverket. Ved å montere elementene på pontongene i Verdal i stedet for montering midt ute i fjorden får man en mindre værutsatt montasje, man kan benytte seg av kranparken til Kværner og

man slipper å rekvirere kranbåter for montasje. Ved å ferdigstille så mye som mulig på hvert element i Verdal og legge til rette for montering med bolter så slipper man lang holdetid for taubåter og begrenser monteringskostnadene ute i fjorden. Dette gir også en sikrere prosess da det blir mindre behov for mannskap og utstyr ute i fjorden under montasje av bruelement.

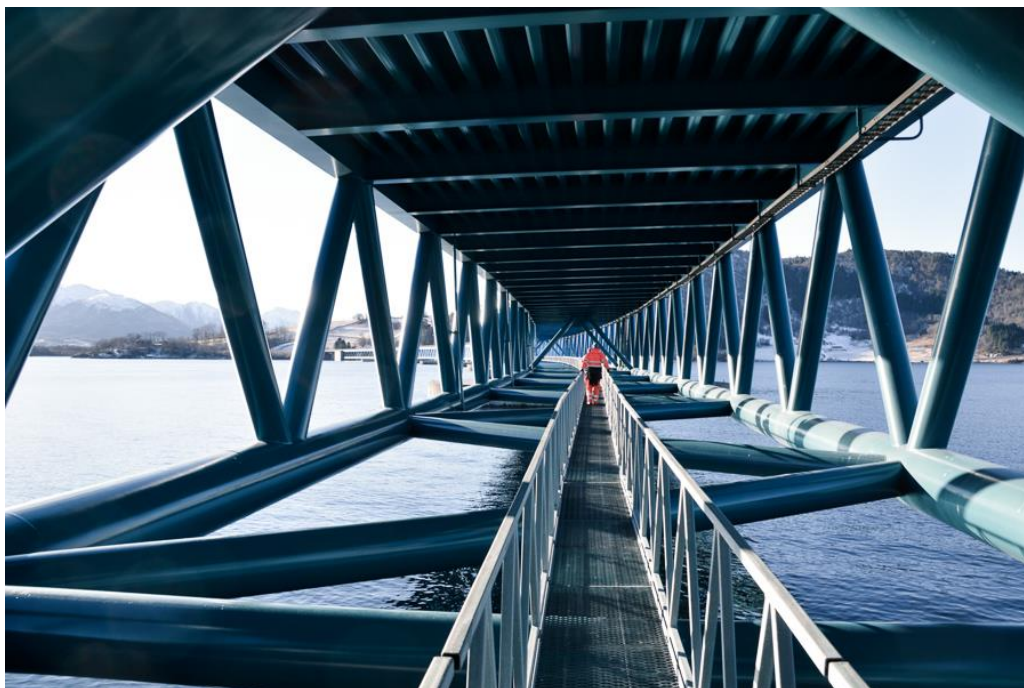
Overflatebehandling av stål er et komplekst fagområde og flytebruer er spesielt utsatt for korrosjon da disse ligger nærmere sjøen enn andre brukonstruksjoner. I tillegg kan det være betydelig kondensasjon av salter under kjørebanen.(18)

Ved mye dårlig vær kan konstruksjonen være kontinuerlig oversprøytet med sjøvann. Det vil derfor være veldig viktig at det stilles store krav i byggeprosessen for å forhindre skader. Det kan være nødvendig med utvidet kontroll av overflatebehandlingen for å forsikre at bruene oppnår ønsket kvalitet. Tenkt overflatebehandling vil være duplex malingsystem etter Statens vegvesens anbefalinger, f.eks. termisk sprøytet sink (TSZ) + wash primer + alkydklorkautsjukmaling.(19)

Et vedlikeholdsprogram vil også være nødvendig for å opprettholde kvaliteten på bruene. Her skal anbefalinger fra Statens vegvesen følges, men også her kan det bli nødvendig med oftere vedlikehold da flytekonstruksjoner, for eksempel flytebruer, er veldig utsatt for korrosjonsskader. Etter kapittel 13.12.5 - *Brukshåndbok* i N400 gjelder følgende:

Prosjekteringsforutsetninger knyttet til oppfølging av brua skal nedfelles i ei brukshåndbok. Det gjelder blant annet prosedyrer for eventuell utskifting av elementer, justering av forspenning i forankringssystem, overvåking og inspeksjon (15.02,17)

Det er tiltenkt en gangvei på nedre del av fagverket som kan benyttes for inspeksjon og mindre vedlikehold av fagverk, ledd og betong. Ved større vedlikehold kan en brulift, kran og båt benyttes.



Figur 46: Eksempel på gangvei for inspeksjon på Bergsøysundbrua.(20)

Ettersom dette er en flytende, dynamisk konstruksjon gjelder også spesifikke krav til utstyr som skal installeres. Følgende krav, gitt i N400, kap. 13.12.8.2 - *Annet utstyr*, skal være oppfylt:

Adkomst til oppdriftslegemer etableres via mannhull med vanntette luker. Det skal være adkomst til alle rom i oppdriftslegemer slik at pumper kan monteres i tilfelle lekkasje. Gangveier mellom rom skal ligge over ytre vannstand.

Instrumenter for systematisk registrering av konstruksjonens bevegelser og annen lastrespons, samt for overvåking av eventuelle beskyttelsessystemer, armeringskorrosjon eller annen nedbryting, skal installeres.

Det skal videre installeres instrumenter tilkoplede alarmanlegg for registrering av uventet stor vannansamling i oppdriftslegemer.(13)

Miljø og klima

Et klimagassregnskap beregner utslippene av klimagasser til et produkt gjennom hele livsløpet, altså fra utvinning av råvarer via produksjon og fram til avhending også kalt vugge til grav. Det er vanlig å sette beregningstiden på 60 år. Regnskapet inkluderer også materialbruk, energibruk og transport i driftsfasen, samt energibruk og transport i byggefasen.(21)

Det er viktig å forstå hvordan vi kan integrere et miljøhensyn i forbindelse med bygging av en bruløsning over Trondheimsfjorden. Betraktelig lavere reisetid og avvikling av ferjesambandet vil gi miljøgevinster, men bygging av infrastruktur som veger, tunneler og bruer vil til dels gi store utslipp særlig gjennom produksjon og transport av byggematerialer. Det samme gjelder i hele drifts- og vedlikeholdsperioden, og særlig når det må foretas oppgraderinger og utskiftinger på deler av brua. Drivstofforbruk og utslipp fra vegtrafikken påvirkes av vegstandard, fart, kurvatur, stigning, og endringer i veglengde.

Det er hovedsakelig to typer tiltak som kan redusere klimagassutslippene fra transport. Dette gjelder for veitrafikk, fly, andre mobile kilder og sjøfart og fiske, og tiltakene handler om å:

- Redusere transport totalt og få overgang til transportformer med lavere utslipp, for eksempel å sykle i stedet for å kjøre bil
- Gjennomføre tekniske tiltak som gir mindre utslipp per transportmiddel (for eksempel kjøre elbil i stedet for dieseldrevet bil)

Vesentlig reduksjon i reisetid vil redusere størrelsen og effektivisere transportflåter som trafikkerer strekningen. Om ferjesambandet erstattes opphører utslippene fra selve ferjene, og enkelte flyforbindelser og hurtigbåtruter vi benytter i dag blir overflødige.(22)

Forskning, utvikling og alternative energikilder kan redusere energiforbruk. For eksempel kan produksjon av sterkere materialer bety at vi kan bruke lavere mengder. Nye materialer kan erstatte dagens og forbedre teknisk levetid.

For å senke utslippene knyttet til byggingen, produksjon og transport bør det legges føringer for valg av materialer. Kravene til byggebransjen når det gjelder bærekraftig bygging og lavere byggekostnader er store. Økt gjenvinning er en forutsetning for en bærekraftig utvikling og krever materialer som kan gjenvinnes eller gjenbrukes.(23) Stål er et slikt

materiale. Fagverkselementene for brukassen vil også produseres ved et nærliggende verft, som bidrar til at utslipp fra transport reduseres. Leddene som benyttes til kjeding av bruelementene vil også i hovedsak bestå av stål. Pontongene som brukassen hviler på består av armert høyfast lettbetong, i likhet med Bergsøysundbrua (1992) og Nordhordlandsbrua (1994).(24)

Klimaregnskap for en ferjefri transport over Trondheimsfjorden er komplisert. Dagens kunnskap er til dels motstridende, og det finnes i dag ikke omforente beregningsmetoder. Det er imidlertid vanskelig å forutse utviklingen framover på teknologiområdet. Dette gjelder særlig teknologi for å utnytte fornybare kilder og hvilken takt overgangen til nye energikilder vil få. Vi foreslår betydelig innsats for å øke kunnskap om disse effektene.

På sikt vil kortere reisetid gi mer effektive samfunnsstrukturer av betydning for handel, tjenesteyting og produksjon.(22)

KTR-Skjema

Det er vedlagt 7 KTR-skjemaer for å beskrive mengdene av materialer som vil bli brukt i dette prosjektet. Oversikten over massene skal gi grunnlag til å beregne anbud for det totale prosjektet. Dette gjelder alt fra prosjekteringsfasen, bygging, frakt og montering av de forskjellige elementene. Dette er et grovt overslag som baserer seg på egne beregninger. Tidsperspektivet på de forskjellige aktivitetene er ikke undersøkt nøye, og vil derfor kunne være villedende.

Diskusjon

I gjennomføringen av prosjektet er det gjort antagelser, og dette svekker resultatene. Blant annet er det ikke beregnet nærmere på ledd eller forankring. Dette er to elementer som vil bli utsatt for store krefter og muligens kunne vært dimensjonerende med tanke på lengder på bruelementer og brukonstruksjonen. Beregningene for pontongene og bærekonstruksjonen er meget forenklet og disse må det ses nærmere.

Det er ikke foretatt økonomiske beregninger, men det er gjort antagelser på hva som vil være mest fornuftig å velge med tanke på pris og gjennomførbarhet. Dette er altså en svakhet ved vår rapport da økonomi alltid vil være i sentrum for et prosjekt på denne størrelsen.

Vegbane

Stor usikkerhet i fremtidig årssøgntrafikk gjør valg av dimensjoneringsklasse vanskelig å gjennomføre. Datagrunnlaget er manglende for slike lange fjordkryssninger, men det er mulig at statistikk fra tidligere bruløsninger kan være relevante for denne problemstillingen. Antall gående og syklende avhenger sterkt av hvilken løsning som velges for passasje for båter, olje- og gasskonstruksjoner. Løsningen for dette må inkludere en transportmåte for gående/syklende og dette er ikke avgjort per dags dato. Det er ikke gjort noen beregninger av stivheter i dekker og dekketyper sammen, og det er ønskelig at blir gjort før videre utredning av løsningen.

Ledd

Simulering av funksjonen til ledd er ikke gjennomført og det er usikkert om konstruksjonen fungerer som antatt. Leddet er ikke konstruert til å ta opp endring i lengde av brukonstruksjonen på grunn av temperaturendring. Dette kan tas opp ved å forankre

bruelementer slik at dette tilsvarer en buktende form, men medfører større aksialkrefter i leddkonstruksjonen. Dimensjoner på de forskjellige løsningselementene er veiledende og må dimensjoneres med hensyn på laster og påkjenninger.

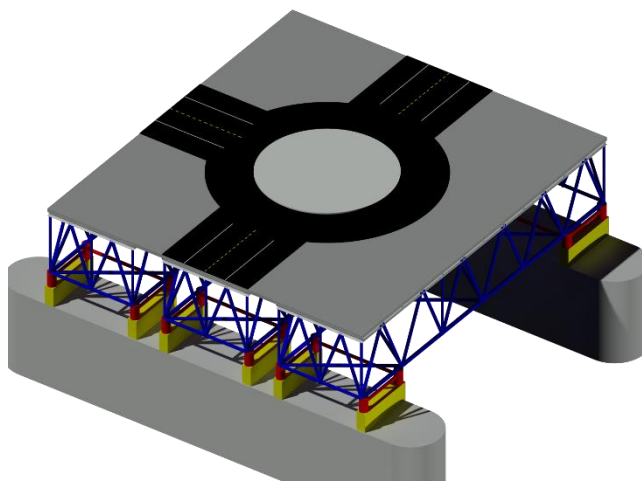
Pontonger

Trykkbelastningene på pontongene har ikke blitt simulert, og det er derfor stor usikkerhet i dimensjoneringen av betongtykkelsene, og armerings mengde i konstruksjonen. Analyse av opptredende eksterne krefter som vind, bølge og strøm må gjøres for å prosjektere nødvendige dimensjoner. Disse kreftene vil også føres videre til forankring, og derfor være kritiske for dimensjonering.

Gjennom luke i toppen av pontongen vil det være mulighet for vedlikehold og rutinemessig kontroll av innvendige forhold. Hvordan dette skal være mulig med tanke på installerte flyteelementer må detaljprosjekteres videre.(15)

Aavkjørsel

Ved anlegging av ei rundkjøring vil det kreves en spesialtilpasning. Dette ikke er prosjektert i denne oppgaven, da rundkjøringen blir bredere enn hva selve fagverket er i utgangspunktet. Ved en lignende utforming på rundkjøringen, som illustrert til høyre, vil det bli en del ubenyttet areal. Dette kan brukes for påkobling for en gang- og sykkelvei fra marinebyen til den allerede prosjekterte gangveien på flytebruen. I tillegg kan noe av arealet benyttes som utsiktspunkt/rekreasjonsområde.



Figur 47: Aksonometrisk fremstilling av avkjøring

Hovedårsaken for valget av rundkjøring som avkjørsel er sikkerheten. Som vist på figur E.12 er det mulig å prosjektere rundkjøringen helt ned til en diameter på 25 meter. Dette ville ført til en plassbesparelse og en mulig reduksjon i fagverkskostnadene. Allikevel ville man da fått ei sentral øy på 3 meter i diameter da kjørefeltsbredden i rundkjøringen er satt til 11 meter. I tillegg skal det - ifølge håndbok N100 - ved valg av minste ytre diameter konstrueres slik at 1-2 meter av sentral øy er overkjørbar. Dersom dette er tilfelle ville avbøyningen gjennom

rundkjøringen blitt såpass liten at den fysiske fartsreguleringsfaktoren som ei rundkjøring utgjør blitt kraftig redusert.(10)

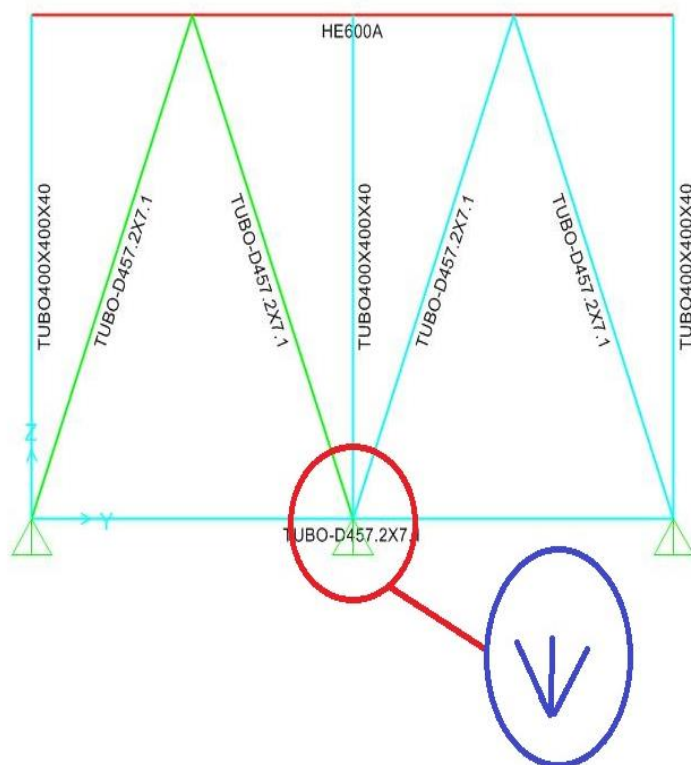
Forankring

En forankringsløsning med vertikale strekkstag er mer kosteffektivt enn forankring med sugeanker, som kunne potensielt blitt dyrere enn selve flytebrua. Sugeanker-løsningen ville blitt veldig dyr da dypet er så stort, over 500 meter noen steder. Samtidig ville dette gjort at området under bruene og ned til havbunnen hadde vært fylt med tau i kryss og tvers og dermed forverret situasjonen for ubåter. En løsning med strekkstag og "kunstig sjøbunn" ville antageligvis bli en del billigere enn sugeanker-løsningen da det ikke er nødvendig med samme mengde forankringstau som en sugeanker-løsning trenger. Samtidig blokkerer man ikke området under bruene og ned til havbunnen annet enn de 30 meterne strekkstagene ligger på. Derfor er det valgt å gå for konsept med kunstig sjøbunn og vertikale strekkstag.

Bæresystem

Alle profiler med tilknytning til veidekke er bjelkeprofiler da dette gir en enklere tilknytning til dekke i tillegg til at profilene tar opp trykkreftene fra vegdekket. Hulprofiler er gunstige da de ikke er utsatt for torsjon i tillegg til at nærliggende verft, f.eks. Kværner Verdal, har mye erfaring fra konstruksjoner med hulprofiler. Fagverket på Bergsøysundbrua ble i sin tid fabrikkert på Kværner og VP engineering Kværner Verdal, Erik Stiklestad, ser mulighet for at brua over fjorden også kan produseres der. Dette gir mulighet for en serieproduksjon av bruelementer i nærområdet som deretter kan fraktes via båt ut til montasjested.

Det er ikke foretatt en Detaljprosjektering av fagverket. Som analysen viser av den endelige konstruksjonen, er mange av profilene kraftig overdimensjonert i forhold til vår lastsituasjon. Disse kunne vært byttet ut med mindre profiler for å redusere egenvekt og kostnader. Samtidig vil overdimensjonerte profiler gi kapasitet for tilknytning av infrastruktur fra marinebyen til land. Allikevel er det ikke mulig å fastslå om disse profilene kan optimaliseres på dette tidspunkt, da det gjenstår - som nevnt ovenfor - å dimensjonere for flere lastsituasjoner. Fagverk er heller ikke helt optimalisert i forhold til serieproduksjon da det blant annet forekommer overlappende profiler i vår analyse. Med et overlappende profiler menes knutepunkt der profil er avhengig av montasjen av et annet profil.



Figur 48: Overlappende profiler.

Bildet over er et eksempel på overlappende profiler. Her kan ikke vinkelen på de sirkulære hulprofilene, $\text{Ø}457.2 \times 7.1$, være som i vår analyse siden RHS-profiler, $400 \times 400 \times 40$ også må sammenføres med det horisontale profilet. RHS-profilet må også monteres enten 48 timer før eller etter hulprofilene.

En slik utforming av fagverket vil medføre ekstra fabrikkasjonskostnader og gjennomløpstid blant annet med tanke på toleranser, tilkomst og holdetid mellom hver sveis. Det vertikale hulprofilet ble satt inn for å løse kapasitetsproblemer for horisontale endeprofiler, men dette burde vært løst annerledes om man tenker på de ekstra kostnadene dette ville medført. Antall buelementer som kreves kan også bli problematisk for en bedrift å produsere. For Kværner kan dette bli et problem da det ville ha "låst" deres produksjonslinje i lang tid til bruproduksjon og svekket deres posisjon innen oljeplattform-produksjon. Derfor kan det tenkes at flere verft rundt om i landet, kanskje i utlandet også, må utføre deler av produksjonen.

Byggeprosess og vedlikehold

Ved å bruke Vegvesenets duplex malingsystem med eventuelle små justeringer benyttes en allerede utprøvd metode som SINTEF har testet til å være tilfredsstillende.(19) Ved å overflatebehandle elementer på Kværner så vil man mest sannsynlig oppnå en generell høyere kvalitet på overflatebehandlingen enn maling “on site”. Et problem med ferdig overflatebehandling er at elementene mest sannsynlig vil få skader under frakt. Dette bør ikke være noe problem om eventuelle malingskader “flekkes” iht. gjeldende prosedyrer etter montasje og kontrolleres nøyaktig. Det er viktig at man heller legger litt ekstra ressurser i kontroll underveis og sluttkontroll enn at man slurver med dette i byggefase og heller får store vedlikeholdskostnader knyttet til overflatebehandling noen år fram i tid grunnet dårlig utført arbeid.

Overflatebehandling på Kværner vil antageligvis medføre lavere kostnader og en sikrere prosess, da man på verftet vil ha egne malingshaller med ferdigrigget utstyr mens maling “on site” medfører mye ekstra tid og kostnad knyttet til rigging av utstyr og sikring av operatører.

Konklusjon

Vår oppgave var å se nærmere på utfordringen med fergefri løsning over Trondheimsfjorden, og hvordan dette kunne løses. Grunnet store dyp i fjorden og lange spenn ble det sett på en leddet flytebruløsning. Med inspirasjon fra eksisterende konstruksjoner sammen med ny teknologi er det skissert en løsning som virker å være gjennomførbare.

Den skisserte flytebruløsningen vil forenkle ferdselen mellom Trondheim og Fosenhalvøya. Reisetiden blir kortet ned med rundt 25 minutter. Dette gir også en fastlandsforbindelse for den tiltenkte byen på fjorden, noe som kan være en forutsetning for at prosjektet blir gjennomført. En døgnåpen bru vil forbedre transportmulighetene for næringene i regionen og tilrettelegge for økt bosetning på Fosenhalvøya som var målet med oppgaven.

Det vil også være en mindre værutsatt løsning enn dagens fergeløsning, da det er meget sjelden at slike konstruksjoner stenges grunnet vind. Dagens tilbud for pendlere og myke trafikanter vil ikke svekkes da brua vil ha gang- og sykkelveg.

Trafikk fra verft i regionen vil ikke bli svekket da det vil bli bygget en passasje for større fartøy midt i fjorden. Passasjen vil også måtte ta unna skipstrafikk, dette forstyrrer i liten grad dagens skipstrafikk på grunn av at leia allerede går midt i fjorden.

Seilingshøyden for båter vil være 10 meter over hele brustrekket. Ønsket var å oppnå 15 meter seilingshøydepassasjer hver 500 meter med bru, dette målet ble ikke oppfylt i denne fasen av prosjektet. Dette betyr at bruene vil være et hinder for seilbåter og andre båter høyere enn 10 meter, som må gå helt ut til midten av fjorden for å passere.

Kildeliste

1. Norgeskart.[Hentet 17.1.17] Tilgjengelig fra: <http://www.norgeskart.no/>.
2. Hasselø JA. Agenda E39: *Statens vegvesen*. [Hentet 14.2.17] Tilgjengelig fra: http://www.moreaksen.no/site/img/575/2015-08-25-Tingvoll-Ferrie39-J_rn-Arve.pdf.
3. Killingberg A, Ledang S, Overland SH. *FosenNamsos sjø får tilbake Flakk-Rørvik Brekstad*. [Hentet 17.1.17] Tilgjengelig fra: <http://www.fosna-folket.no/nyheter/2016/06/16/FosenNamsos-sj%C3%B8-f%C3%A5r-tilbake-Flakk-%E2%80%93-R%C3%B8rvik-12889568.ece>.
4. Statens vegvesen. *Nasjonal vegdatabank*. [Hentet 18.1.17] Tilgjengelig fra: <http://www.vegvesen.no/fag/teknologi/Nasjonal+vegdatabank/Kart>.
5. Fosenavisa. *Trondheimsfjordbrua i 2022?* [Hentet 18.1.17] Tilgjengelig fra: <http://www.fosenavisa.no/trondheimsfjordbrua-i-2022/>.
6. Roven J, Skaar M, Eggen S, Dybvad S. *Bru over Trondheimsfjorden Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet* [Hentet 24.1.17] Tilgjengelig fra: <http://konstruksjon.com/manuel/gammel/ref/Bruer/BruOverTrondheimsfjorden.pdf>.
7. Das B, Shukla S. *Earth Anchors 2nd edition*: J. Ross Publishing; 2013.
8. Dr.techn.OlavOlsen. *Kunstig sjøbunn for lange flytebroer*. [Hentet 15.2.17] Tilgjengelig fra: <http://www.olavolsen.no/nb/node/79>.
9. Reinertsen AS. *Kunstig sjøbunn*. [Hentet 15.2.17] Tilgjengelig fra: <https://reinertsenas.wordpress.com/2013/10/22/kunstig-sjobunn/>.
10. Statens vegvesen. *Veg- og gateutforming*. [Hentet 7.2.17] Tilgjengelig fra: <http://www.vegvesen.no/attachment/61414/binary/964095>.
11. Statens vegvesen. *Vegbygging*. [Hentet 15.2.17] Tilgjengelig fra: [http://www.vegvesen.no/attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+\(21+MB\).pdf](http://www.vegvesen.no/attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+(21+MB).pdf).

12. Statens vegvesen. *Brurekkverk*. [Hentet 2.2.17] Tilgjengelig fra: http://www.vegvesen.no/_attachment/635061/.
13. Statens vegvesen. *Bruprosjektering*. [Hentet 14.2.17] Tilgjengelig fra: http://www.vegvesen.no/_attachment/865860/binary/1030718?fast_title=H%C3%A5ndbok%20N400%20Bruprosjektering.pdf.
14. Statens vegvesen. *Mekaniske brufuger*. [Hentet 14.2.17] Tilgjengelig fra: http://www.vegvesen.no/_attachment/972501/binary/1048918?fast_title=Nr+400+Mekaniske+brufuger.pdf.
15. Fossbakken S. *Konseptstudie for flytebru Trondheim*: NTNU. [Hentet 25.1.17] Tilgjengelig fra: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:657079/FULLTEXT01.pdf>.
16. Garathun MG. "*Oljeteknologi*" skal gi forankring til megabruer: Teknisk ukeblad. [Hentet 15.2.17] Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/samferdsel-oljeteknologi-skal-gi-forankring-til-nye-megabruer/233639>.
17. Ellevset I. *Flytebru med senketunnel*. [Hentet 15.2.17] Tilgjengelig fra: <http://www.driva.no/nyheter/article8561841.ece>.
18. Pedersen PH. *Ruster opp Bergøysundbrua*: bygg.no. [Hentet 13.2.17] Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/102337>.
19. Klinge R. *Korrosjonsbeskyttelse av norske stålbruer*. [Hentet 13.2.17] Tilgjengelig fra: <http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=5202>.
20. Loraas G. *Under brukassa på Bergøysundbrua Trondheim*: NTNU. [Hentet 31.1.17] Tilgjengelig fra: <http://www.ntnu.no/kt/forskning/dynamikk>.
21. SINTEF Byggforsk. *Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA)*. [Hentet 14.2.17] Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/4144>.
22. Statens vegvesen. Statusrapport: *Ferjefri E39*. [Hentet 14.2.17] Tilgjengelig fra: http://www.vegvesen.no/_attachment/926185/binary/1041502?fast_title=Statusrapport+Ferjefri+E39+mai+2015.pdf.

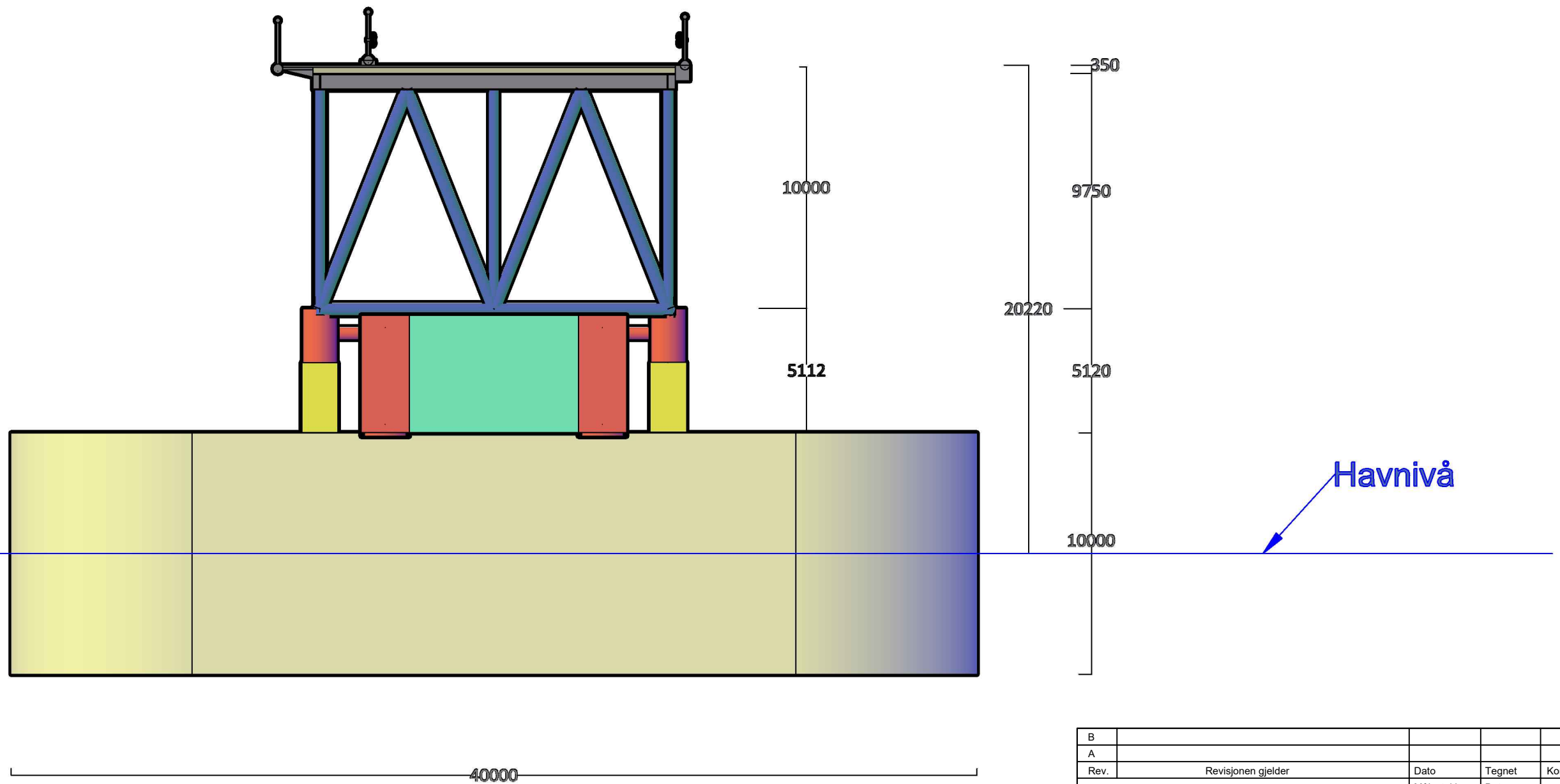
23. Norsk Stålforbund. *Miljø*. [Hentet 13.2.17] Tilgjengelig fra:

<http://www.stalforbund.no/om-stal/miljo>.

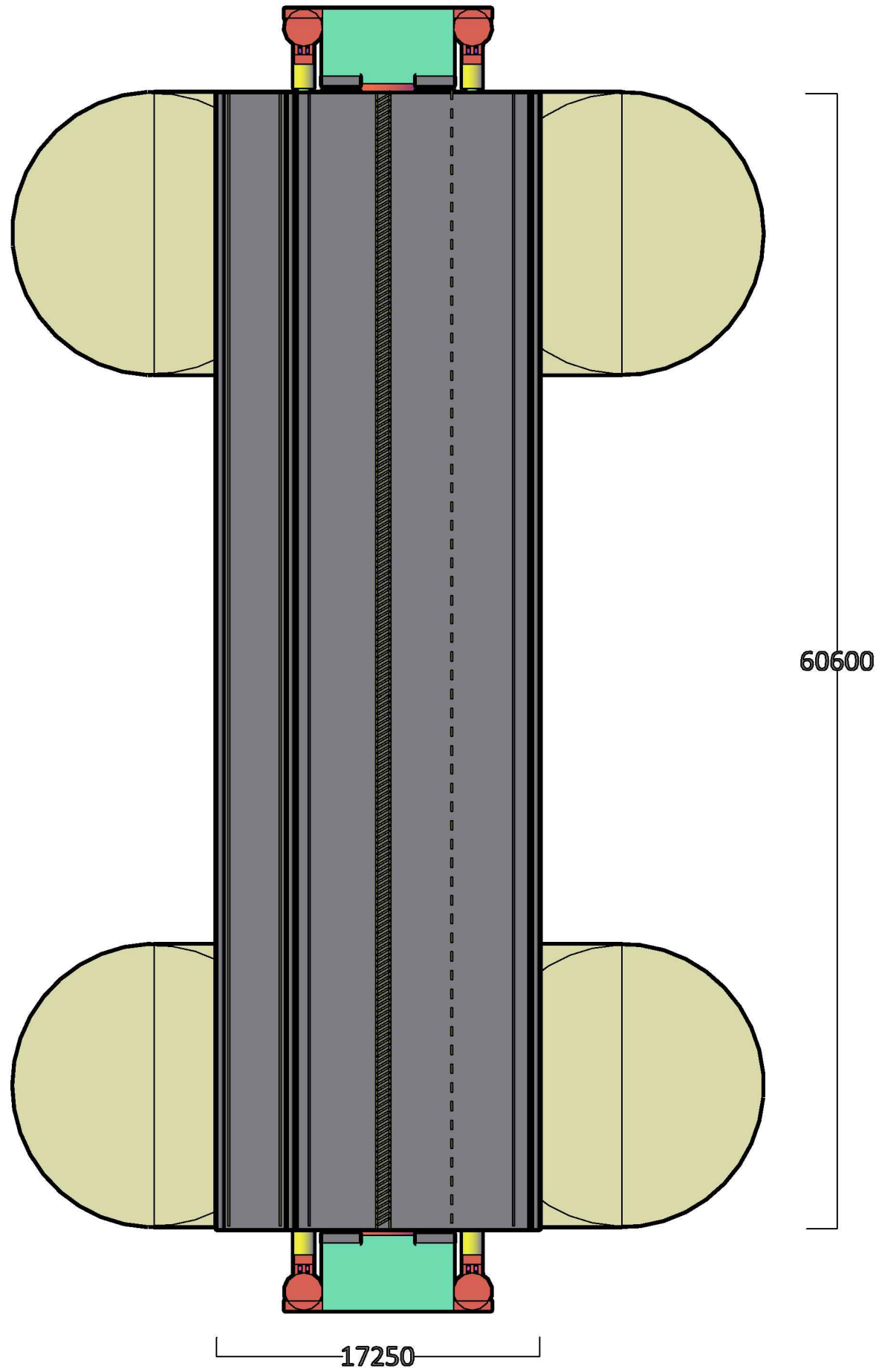
24. Statens vegvesen. *Alkalireaksjoner - Erfaringer med lettbetong*. [Hentet 15.2.17]

Tilgjengelig fra:

http://www.vegvesen.no/_attachment/1372468/binary/1110706?fast_title=Nr+499+Alkalireaksjoner+-+Erfaringer+med+lettbetong.pdf.



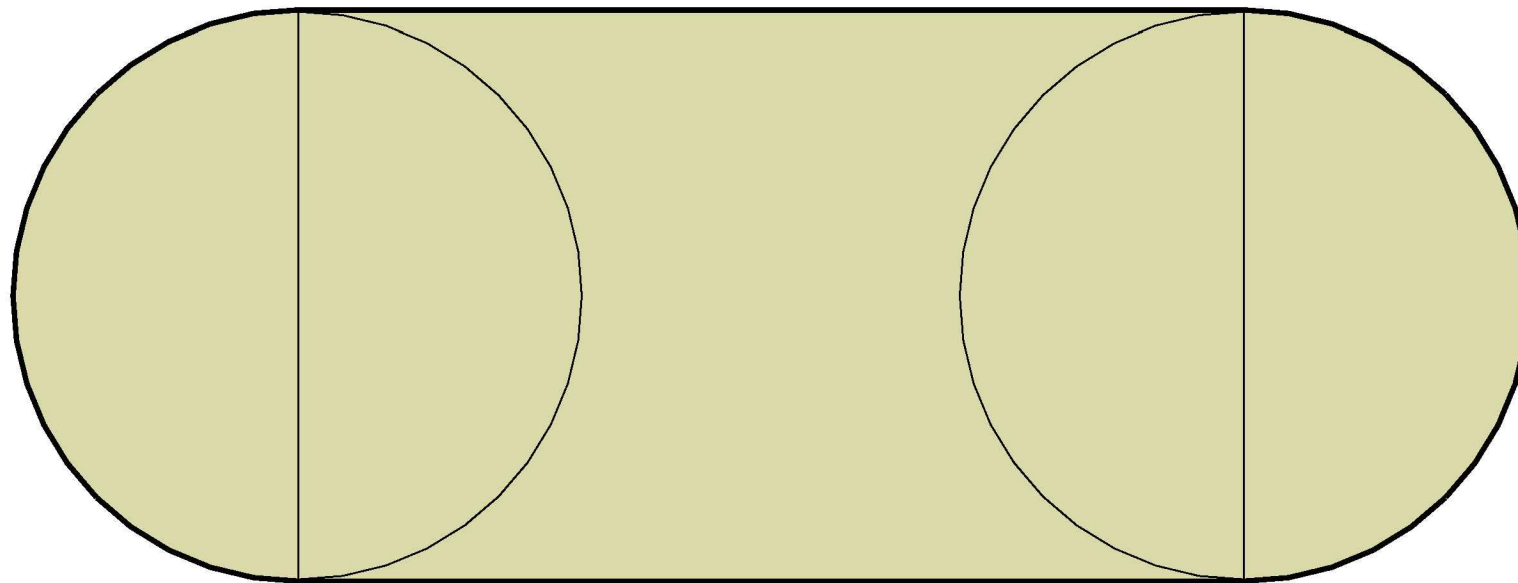
B					
A					
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet	Kontr.	Godkjent
	Fosenbrua Målsatt tverrsnitt	Målestokk	Dato	16 februar 2017	
		1:200	Tegnet	Christer W.	
			Kontr.		
			Godkjent		
		Arkiv bet.			
		Erstatn. for			
		Tegning nr.			Rev.
		01			A



B					
A					
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet	Kontr.	Godkjent
	Fosenbrua Målsatt Element	Målestokk	Dato	16 februar 2017	
		1:300	Tegnet	Christer W.	
		Arkiv bet.	Kontr.		
		Erstatn. for	Godkjent		
		Tegning nr.			Rev.
		02			A



10000

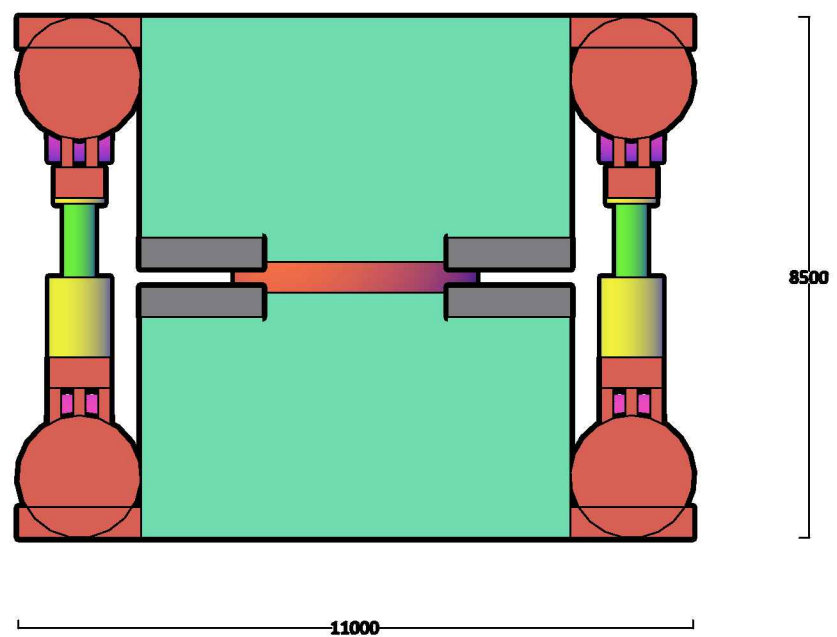
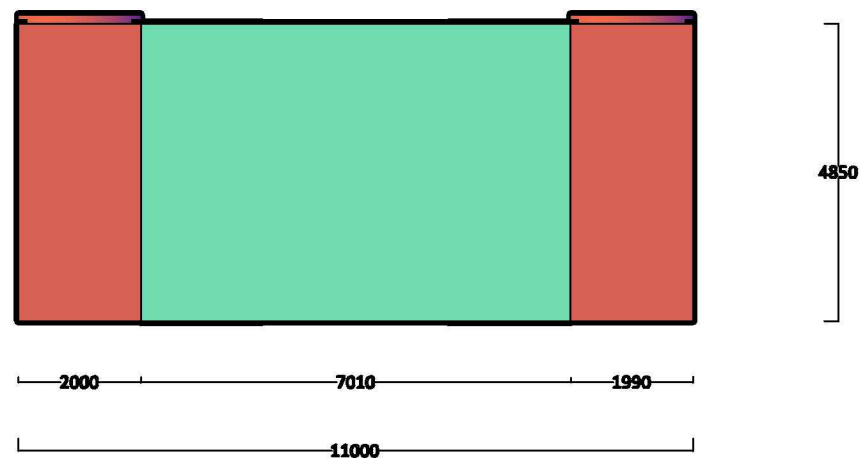
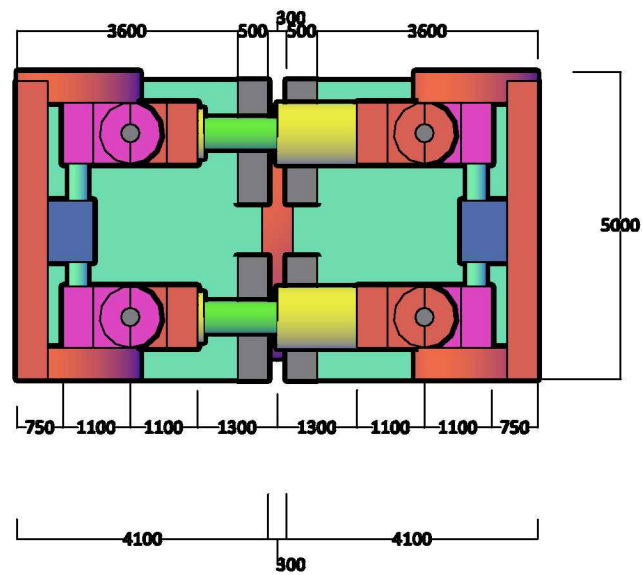


15000

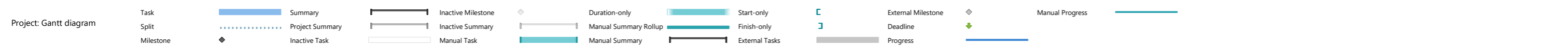
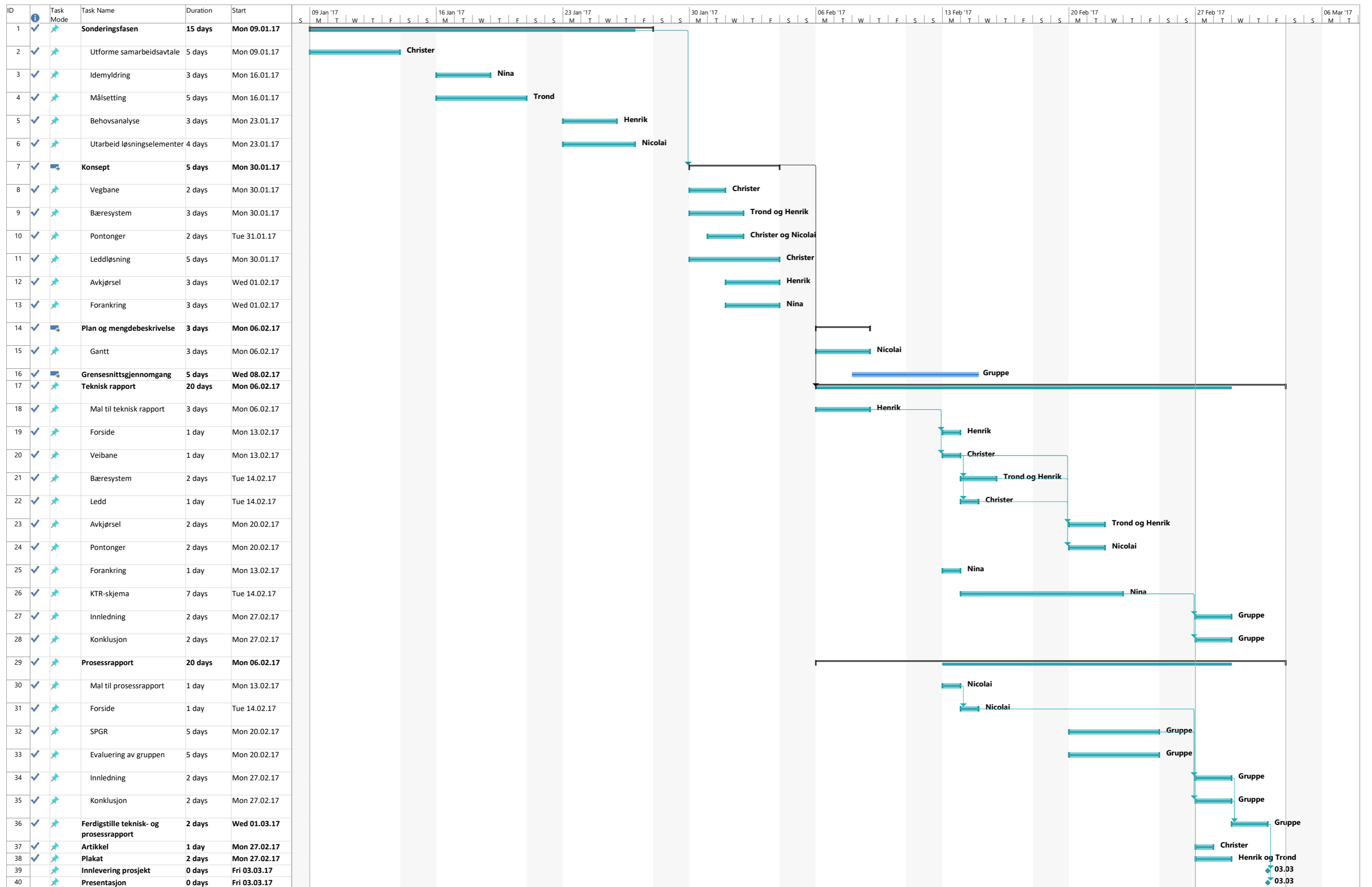
7500 25000 7500

40000

B					
A					
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet	Kontr.	Godkjent
	Fosenbrua Målsatt pontong	Målestokk	Dato	16 februar 2017	
		1:200	Tegnet	Christer W.	
			Kontr.		
			Godkjent		
	Arkiv bet.				
	Erstatn. for				
		Tegning nr.			Rev.
		03			A



B					
A					
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet	Kontr.	Godkjent
	Fosenbrua Målsatt Ledd	Målestokk	Dato	16 februar 2017	
		1:100	Tegnet	Christer W.	
			Kontr.		
			Godkjent		
	Arkiv bet.				
	Erstatn. for				
	Tegning nr.				Rev.
	04				A



Beregninger Pontonger

Inngangsdata

Massetettheter

Lettbetong 1800 kg/m³

Vann 1000 kg/m³

Sikkerhetsfaktor 1,4

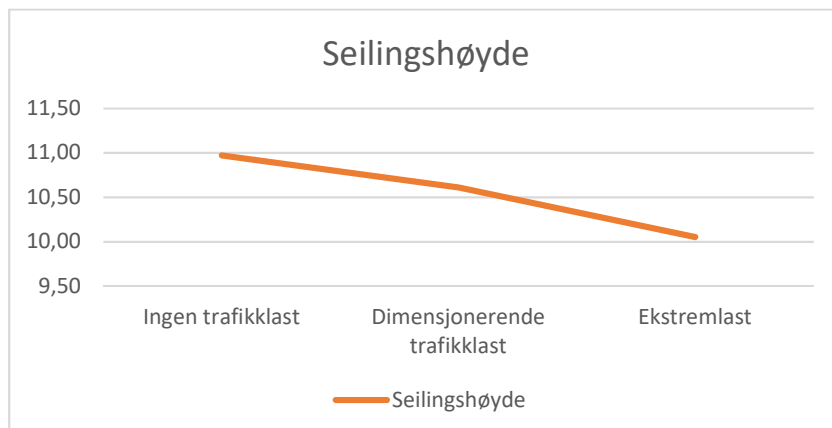
Krefter		Med sikkerhetsfaktor
Egenlast vegbane	2811669,50 N	3936337,3
Egenlast ledd	49050,00 N	68670
Egenlast Fagverk	613708,50 N	859191,9
Egenlast pontong	11199480,55 N	15679272,77
Trafikklast	1976250,00 N	1976250,00
Sum	16650158,55 N	22519721,97

Volumer	Rektangel	Sirkel	Sum
Betong bunn	187,50	88,31	275,81
Betong topp	112,50	52,99	165,49
Betong sider	100,00	92,94	192,94
Sum			634,24

Tyngde objekt	11199480,55 N
Veggtykkelse	0,20 m
Dybde	15,00 m
Radius	7,50 m
Høyde	10,00 m
Høyde betongplate topp	0,30 m
Høyde betongplate bunn	0,50 m
Lengde	25,00 m

Tyngdeakselerasjonen 9,81 m/s²

	Belastning	Høyde under vannet	Seilingshøyde
Ingen trafikklast	10600000	4,03	10,97
Dimensjonerende trafikklast	12541764	4,39	10,61
Ekstremlast	15570000	4,95	10,05



Bedrift: Fosenbrua AS	Oppdragsnavn.: Flytebru over Trondheimsfjorden			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-01	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: TD	Kontrollert: HS	Godkjent: CW

Aktivitetsnavn: Sonderingsfase
Formål:
Omfang: Omfanget gjelder utarbeiding av ny, effektiv og værbestandig transportløsning over Trondheimsfjorden, mellom Flakk og Rørvik. Etablering av gang- og sykkelvei inkluderes.
Basis/forutsetninger: <ul style="list-style-type: none"> • Utforme samarbeidsavtale • Idemyldring • Utarbeide visjon • Sammenfatte behovsanalyse • Utarbeide løsningselementer <p>Byggherre ønsker at bruforbindelsen skal prosjekteres som flytebru, grunnet store dybder i fjorden som gjør at dette er den mest gunstige løsningen</p>
Grensesnitt – interne og eksterne: Her kreves omfattende koordinering med påkobling av passasje for rørtunnel Tilknytning til bølge- og vindforskning
Kundens ytelse til denne aktiviteten:
Start- og sluttidspunkt: Januar 2017 – mars 2017
Ansvarlige for aktiviteten: Dahl, Sandnes, Svensen, Wilhelmsen og Sørli

Bedrift: Fosenbrua AS	Oppdragsnavn.: Flytebru over Trondheimsfjorden			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-02	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: HS	Kontrollert: CW	Godkjent: NS

Aktivitetsnavn: Konsept
Formål: <ul style="list-style-type: none"> • Pontonger • Bæresystem • Leddløsning • Forankring • Vegbane • Avkjørsel til marinebyen
Omfang: Fremskaffe konsepter til de ulike løsningselementene, og velge konsept basert på forhåndsbestemte kriterier.
Basis/forutsetninger: Grunnundersøkelser gjort på stedet av geotekniker Problemstilling og visjon er avklart Grundig datagrunnlag for å ta valg
Grensesnitt – interne og eksterne: Koordinering med påkobling av passasje for rørtunnel Koordinering med forankring Koblinger mellom land og bru
Kundens ytelse til denne aktiviteten: Byggherre stiller krav om at konseptet baseres på løsning fra andre verdenskrig, nærmere bestemt Normandie flytebro
Start- og sluttidspunkt: Januar 2017 – mars 2017
Ansvarlige for aktiviteten: Dahl, Sandnes, Svensen, Wilhelmsen og Sørli

Bedrift: Fosenbrua AS	Oppdragsnavn.: Flytebru over Trondheimsfjorden			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-03	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: NS	Kontrollert: CW	Godkjent: HS

Aktivetsnavn: Plan- og mengdebeskrivelse
Formål: Utarbeide Gantt-diagram Fordele ansvarsområder Tidsplanlegging (KTR)
Omfang: Utarbeide en kostnad-, tid- og ressursanalyse som resulterer i en tidsplan med definerte oppgaver til hvert enkelt grupped medlem
Basis/forutsetninger: Microsoft Project for utarbeiding av Gantt-diagram
Grensesnitt – interne og eksterne: Dialog mellom grupped medlemmer for å kartlegge ansvarsområder
Kundens ytelse til denne aktiviteten:
Start- og sluttidspunkt: Januar 2017 – mars 2017
Ansvarlige for aktiviteten: Dahl, Sandnes, Svensen, Wilhelmsen og Sørli

Aktivitetsnr.: A-04	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: NS	Kontrollert: CW	Godkjent: HS
-------------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	------------------------

Aktivetsnavn: Teknisk rapport
Formål: Figurliste Tabelliste Sammendrag Innledning Konsekvensutredning Teori <ul style="list-style-type: none"> - Konseptvalg - Bærekonstruksjon - Vegdekke - Pontonger - Avkjørsel Resultater Konklusjon Referanser Vedlegg
Omfang:
Basis/forutsetninger: Plan- og mengdebeskrivelse må være avgjort Konsept er godkjent og bestemt
Grensesnitt – interne og eksterne:
Kundens ytelse til denne aktiviteten:
Start- og sluttidspunkt: Januar 2017 – mars 2017
Ansvarlige for aktiviteten: Dahl, Sandnes, Svensen, Wilhelmsen og Sørli

Aktivitetsnr.: A-05	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: NS	Kontrollert: CW	Godkjent: HS
-------------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	------------------------

Aktivetsnavn: Prosessrapport
Formål: KTR-skjema SPGR <ul style="list-style-type: none"> - Gruppeevaluering - Personlig evaluering - Forbedringstiltak Møtereferater Samarbeid
Omfang:
Basis/forutsetninger: KTR-skjema utarbeides SPGR-undersøkelse utført av alle gruppe-medlemmer i tidligfase og slutfase
Grensesnitt – interne og eksterne:
Kundens ytelse til denne aktiviteten:
Start- og sluttidspunkt: Januar 2017 – mars 2017
Ansvarlige for aktiviteten: Dahl, Sandnes, Svensen, Wilhelmsen og Sørli

Aktivitetsnr.: K-01	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: CW	Kontrollert: HS	Godkjent: NKS
-------------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	-------------------------

Aktivitetsnavn:

Fabrikasjon av vegbane, dimensjonering av betong og armering til bærelag.

Formål:

Bestilling av bærelag, slitelag, rekkverk og maling av slitelag.

Omfang:

Fabrikasjon av betongelementer som funksjon å operere som bærelag for dekket på bruelementene. Produksjon av rekkverk med håndlist og monteringslementer. Legging av slitelag og oppmerking. Oppdragshaver må dimensjonere betongkvalitet og dimensjonere armering i bærelag.

Dekket skal bygges opp av 4,5 cm asfaltbetong over 3,5 cm asfaltgrusbetong. Bærelag av strekkbetong på 0,25 meter i tykkelse og 60 meter lengde støpes på fagverk. Bærelaget skal utvides med stålelementer under deler av gang/sykkelveg, kan ses på vedlegg **xx**.

Maling av slitelag gjøres etter montering av bruelementer er ferdigstilt i

Trondheimsfjorden, gjøres i henhold til SVV standard.

Oppdragshaver står fritt til å velge løsningsmetode for innenfor rekkverksklasse H2/L2, løsningen skal inneholde autovern mot vegbane på begge sider av vegen.

Bredde totalt med rekkverk, skulder og vegbaner: 17,25 meter. Krav til fall på brudekket vil være 1:50 mot sluk, opptre 7 ganger per bruelement og 10 meter fra hverandre.

Antall elementer 72.

Hvert element inneholder

1 stk. bærelag, strekkbetong H = 0,25m, B = 15,00m, L = 60,00m

1 stk. utvidelse bærelag H = 0,25m, B = 1,65m, L = 60,00m

3 stk. rekkverk hvorav to er med autovern, høyde minimum 1,2m

2. stk dekkelag 4,5cm Ab over 3,5cm Agb, gang/sykkelveg B = 1,65m, kjørebane B = 12,4m

Vegmerking bestående av fire helmarkeringer, et stiptet og et skravert felt.

Basis/forutsetninger:

Det forutsettes at dimensjonering av bærelag foretas og resultat ikke setter hinder for utførelse.

Forutsetter at dimensjonering, fabrikasjon og overflatebehandling foregår etter gjeldende standarder, anbefalinger og prosedyrer slik at konstruksjonen oppnår ønsket kvalitet og funksjon.

Grensesnitt – interne og eksterne:

Internt:

Dimensjonering må gjøres før konstruksjonene kan bygges.

Eksternt:

Ett Fagverkselement må være ferdigstilt før konstruksjon av bærelaget kan påbegynnes.

fastlandsforbindelse, montasje, rørtunnel og avkjørsel til marineby må være ferdigstilt før vegmerking kan begynne.

Kundens ytelse til denne aktiviteten:

Kunden stiller med funksjonskrav som skal oppfylles.

Start- og sluttidspunkt:

april 2020 – juni 2021

Ansvarlige for aktiviteten:

Wilhelmsen

Aktivitetsnr.: K-02	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: TD	Kontrollert: HS	Godkjent: NKS
-------------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	-------------------------

Aktivitetsnavn:

Fabrikasjon av fagverkelementer

Formål:

Bestilling av fagverkselementer fra Kværner Verdal

Omfang:

Fabrikasjon av brukasse der brukassen produseres i 60 meters lange elementer, der hvert element består av følgende profiler:

TUBO-D355.6x6.3

34 stk med total ca. lengde på 435 meter. Stålvakt ca. 23,6 tonn

TUBO-D457.2x7.1

12 stk med total ca. lengde på 235 meter. Stålvakt ca. 18,6 tonn

HE600A

15 stk med total ca. lengde på 315 meter. Stålvakt ca. 55,9 tonn

TUBO400x400x40

6 stk med total lengde på ca 60 meter. Stålvakt ca. 27,1 tonn

Ca. stålvakt per element: 130 tonn.

Det må være 72 elementer som gir total stålvakt på 9360 tonn

Overflatebehandling av 72 elementer

AS-built-kontroll av elementer og overflatebehandling.

Basis/forutsetninger:

Det forutsettes at dimensjonering er gjort iht. NS-EN-1991-EC1 og NS-EN-1993-EC3.

Det forutsettes at man forsøker å unngå overlappende rørelementer da dette vil gi ekstra fabrikkasjonskostnader og gjennomløpsti (toleranser, tilkomst, holdetid mellom hver sveis etc.)

Det forutsettes at fabrikasjon og overflatebehandling foregår etter gjeldende standarder, anbefalinger og prosedyrer slik at konstruksjon oppnår ønsket kvalitet og kapasitet.

As-built kontroll utføres av 3. part.

Grensesnitt – interne og eksterne:

Interne: Fabrikasjon av fagverk må være ferdig før overflatebehandling kan gjøres.

Eksterne: Veibane angir bredde på fagverk og må være bestemt før fagverk fabrikeres.

Fagverk må være ferdig dimensjonert og fabrikasjonstegninger skal foreligge.

Kundens ytelse til denne aktiviteten:**Start- og sluttidspunkt:**

Januar 2018 – januar 2021

Ansvarlige for aktiviteten:

Dahl og Sandnes.

Aktivitetsnr.: K-03	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: CW	Kontrollert: HS	Godkjent: TD
-------------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	------------------------

Aktivetsnavn:

Dimensjonering, simulering og fabrikasjon av ledd.

Formål:

Bestilling av ledd til kjeding av bruelementene.

Omfang:

Fabrikasjon, dimensjonering og simulering av ledd som skal binde bruelementer sammen. Disse leddene skal muliggjøre avbøyninger mellom hver bruelement, og samtidig overføre aksialkrefter mellom elementene. Hvert element inneholder to halve leddkonstruksjoner, dette betyr at det må være like mange leddkonstruksjoner som bruelementer.

Leddkonstruksjonen skal dimensjoneres og simuleres av utførende, det skal tas utgangspunkt i gjeldende mål og design gitt i vedlegg **XX**. Totalmål for leddet skal ikke overskrides (lengde, bredde og høyde).

Antall ledd 72.

Hvert ledd inneholder:

- 4 stk. dempere med tilhørende vertikal ledd.
- 4 stk. festestag for dempere med fester
- 1 stk. stålbull
- 2 stk. halve hus til stålbull
- 1 stk. smøremekanisme
- 4 stk. gummi/plast kompositt dempeplater for hjørner
- 1 stk. hus til leddkonstruksjon med gummi til skjøt

Basis/forutsetninger:

Det forutsettes at dimensjonering av konstruksjonselementer foretas og simulering av funksjon ikke setter hinder for utførelse.

Det forutsettes at fabrikasjon og overflatebehandling foregår etter gjeldende standarder, anbefalinger og prosedyrer slik at konstruksjonen oppnår ønsket kvalitet og funksjon.

Grensesnitt – interne og eksterne:

Interne:

Dimensjonering og simulering må gjøres før konstruksjonene kan bygges.

Eksterne:

Vegbane må være dimensjonert før dimensjonering og produksjon av ledd kan starte.

Fagverk må være dimensjonert før dimensjonering og produksjon av ledd kan starte.

Rørtunell må være dimensjonert før produksjon av ledd kan starte.

Kundens ytelse til denne aktiviteten:

Kunden stiller med funksjonskrav som skal oppfylles.

Start- og sluttidspunkt:

Januar 2018 – januar 2021

Ansvarlige for aktiviteten:

Wilhelmsen

Aktivitetsnr.: K-04	Versjon: 01	Dato: 14/02-2017	Utført: NS	Kontrollert: CW	Godkjent: NKS
-------------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	-------------------------

Aktivetsnavn:

Pontonger

Formål:

Bestilling og produksjon av pontonger

Omfang:

Dimensjonering og fabrikering av pontongelementer til flytebru.
Rektangelformede pontonger med sirkelavrundede endepunkter.
Armerte pontonger av LC55 høyfast lettbetong.
Flytebruene skal bestå av 144 pontongelementer fordelt over hele brustrekningen.

Parametre som er lagt i grunn for beregning av oppdrift pr. pontong.

Veggykkelse	0.20 m
Tykkelse betongplate topp:	0,3m
Tykkelse betongplate bunn:	0,5m
Høyde pontong:	15m
Høyde over vannet:	5m
Lengde:	25m
Radius halvsirkel:	7,5m
Dette gir et totalvolum på:	634,24m ³
Lettbetong med egenvekt på 1800kg/m ³ gir:	1141 Tonn

Basis/forutsetninger:

Dimensjonerende laster fra vind skal beregnes ut ifra vindfang i fagverket.
Dimensjonerende laster fra kjøretøy skal beregnes ut ifra prosjektert ÅDT.
Laster fra vegbane, bæresystem og ledd må prosjekteres.
Det forutsettes ingen uforventet last fra energiltak som vindmøller eller vannturbiner.

Grensesnitt – interne og eksterne:

Interne:

Beregning og utførelse av armeringsjern.
Dimensjonering og simulering må gjøres før konstruksjonene kan bygges.

Eksterne:

Prosjektering av veibane, ledd og bærekonstruksjon må ferdigstilles før nødvendig oppdrift kan beregnes.
Ferdigstilt forankring før montasje av bruelementene samt pontonger kan monteres.
Prosjektert lengde på flytetunnel.
Vektfordeling ved overgang flytebru/flytetunnel.

Kundens ytelse til denne aktiviteten:

Kunden stiller med funksjonskrav som skal oppfylles.

Start- og sluttidspunkt:

Januar 2017 – mars 2017

Ansvarlige for aktiviteten:

Svensen og Wilhelmsen

Aktivitetsnr.: K-05	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: TD	Kontrollert: HS	Godkjent: NKS
-------------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	-------------------------

Aktivitetsnavn:

Montasje og frakt av bruelementer

Formål:

Montere bruseksjoner til uavhengige elementer. Frakte bru til montasjested, montere og forankre bru.

Omfang:

Frakt av pontonger og ledd fra produsenter til Verdal.

144 stk pontonger og 72 stk ledd.

Montasje av bruelementer og lager på pontonger i Verdal

72 stk elementer og 9360 tonn stål

Støping av bærelag

Frakt av ferdige elementer ut til montasjested i fjorden.

72 antall seksjoner

Montasje av bruelementer og forankring av bruelementer

Forankring

As-built-kontroll

Basis/forutsetninger:

Det forutsettes at alle forbindelser og deler er utført etter gjeldende standarder og prosedyrer.

Det forutsettes at det finnes transportmiddel som kan frakte deler og seksjoner både på land og til sjøs.

Det forutsettes at montasje og forankring foregår etter metodetegninger, standarder og prosedyrer som er gitt.

As-built- kontroll utføres av 3. part

Grensesnitt – interne og eksterne:

Interne: Elementene må være ferdig bygget og kontrollert før montasje.

Eksterne: Pontonger og ledd må være ferdig produsert og fraktet til Verdal før montasje av de. Forankring må være på plass innen montasje av elementer.

Kundens ytelse til denne aktiviteten:

Start- og sluttidspunkt:

Februar 2018 – mai 2021

Ansvarlige for aktiviteten:

Dahl

Aktivitetsnr.: K-06	Versjon: 01	Dato: 07/02-2017	Utført: CW	Kontrollert: HS	Godkjent: TD
-------------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	------------------------

<p>Aktivitetsnavn: Dimensjonering, simulering og fabrikasjon av forankring.</p>
<p>Formål: Bestilling av forankring til bruelementene.</p>
<p>Omfang: Fabrikasjon, dimensjonering og simulering av forankring som skal forhindre store deformasjoner av den totale brukonstruksjonen. Disse forankringene skal muliggjøre avbøyninger mellom hver bruelement, og samtidig ta opp horisontalkreftene fra elementene. Hvert forankring går til to forspente rør som spenner over fjorden under vann.</p> <p>Forankringskonstruksjonen skal dimensjoneres og simuleres av utførende, det skal tas utgangspunkt i gjeldende og design.</p> <p>Totalt konsept inneholder: 2 stk. vaiere som spenner fra pontonger til kunstig sjøbunn med hensiktsmessig avstand. 2 stk. forspente rør som strekker seg over fjorden.</p>
<p>Basis/forutsetninger: Det forutsettes at dimensjonering av konstruksjonselementer foretas og simulering av funksjon ikke setter hinder for utførelse. Det forutsettes at fabrikasjon og overflatebehandling foregår etter gjeldende standarder, anbefalinger og prosedyrer slik at konstruksjonen oppnår ønsket kvalitet og funksjon.</p>
<p>Grensesnitt – interne og eksterne: Interne: Dimensjonering og simulering må gjøres før konstruksjonene kan bygges. Eksterne: Vegbane må være dimensjonert før dimensjonering og produksjon av forankring kan starte. Fagverk må være dimensjonert før dimensjonering og produksjon av forankring kan starte. Pontonger må være dimensjonert før dimensjonering og produksjon av forankring kan starte. Rørtunnell må være dimensjonert før produksjon av forankring kan starte.</p>
<p>Kundens ytelse til denne aktiviteten: Kunden stiller med funksjonskrav som skal oppfylles.</p>
<p>Start- og sluttidspunkt:</p>

Januar 2018 – januar 2021

Ansvarlige for aktiviteten:
Wilhelmsen