



**Høgskulen
på Vestlandet**

BACHELOROPPGAVE

Standardisere prosjektering til fiskekar

Standardize structural design of fish farm tanks

Rasmus Lande

Rune Kråkenes Bårøy

Vegard Sørgård

FIN/Byggfag/Prosjekt- og byggeledelse, med
konstruksjonsprofil

Jan Bernt Husebø

22. mai 2019

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10

Forord

Bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende utdanning for studieretningen bygg, ved Høgskulen på Vestlandet fakultet Bergen.

Vi har utviklet oppgaven i samarbeid med Multiconsult. Problemstillingen vi har valgt å se på er hvordan man kan standardisere prosjekteringen av landbaserte oppdrettskar. Oppgaven ble valgt grunnet felles interesse for oppdrettsnæringen og betong.

Vi ønsker å takke Multiconsult for et godt samarbeid i utarbeidelse av oppgave. Videre ønsker vi å rette en spesiell takk til vår veileder, Jan Bernt Husebø, for hjelpelighet når vi møtte på utfordringer.

Bergen den 21. mai 2019

Rasmus Aleksander Røssland Lande

Rasmus Lande

Rune Kråkenes Bårøy

Rune K. Bårøy

Vegard Sørgård

Vegard Sørgård

Sammendrag

Hensikten med oppgaven er å se om man kan standardisere prosjekteringen av landbaserte fiskeoppdrettskar, bygd av betong. Dette er av interesse siden prosjekteringen til nå er utført ulikt fra prosjekt til prosjekt. Oppgaven tar derfor for seg prosjekteringen av en standardisert løsning.

Opgaven er begrenset til hvordan man kan standardisere veggelementene til fiskekar. Det blir presentert teori om bygningsmaterialene og designet som er valgt. Forskjellige designløsninger blir gjennomgått med beregninger og antagelser som fører til endelige designløsninger.

Dimensjoneringen er gjennomført med bruk av beregningsprogrammer som Autodesk Robot og BT snitt. Det er også foretatt kontrollberegninger for hånd, og en logisk drøfting av resultatene basert på kunnskap tilegnet gjennom byggingeniørstudiet.

Resultatet vårt viser at det er mulig å standardisere prosjekteringen ved å benytte prefabrikkerte betongelement, hvor det blir brukt spennkabler. Dette kan redusere prosjekteringskostnader og antall timer brukt på byggeplass under byggingen.

Abstract

The purpose of the task is to see if one can standardize the design of land-based fish farm tanks built of concrete. This is of interest since the design has so far been carried out differently from project to project. This thesis therefore deals with the design of a standardized solution.

The task is limited to how to standardize the wall elements of the fish tank. The theory of the building materials and the design chosen is presented. Different design solutions are reviewed with calculations and assumptions that lead to final design solutions.

The design has been carried out with the use of calculation programs such as Autodesk Robot and BT snitt. Control calculations have also been carried out by hand, and a logical discussion of the results based on knowledge acquired through the civil engineering degree.

Our result shows that it is possible to standardize the design by using prefabricated concrete elements, where tension cables are used. This can contribute to reduce design costs and the number of hours spent on site during construction.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag	II
Abstract.....	III
1. Innledning	1
1.1. Prosjekteringsgrunnlag.....	3
1.2. Problemstilling	3
1.3. Metode.....	4
2. Betong.....	5
2.1. Betongteknologi	5
2.2. Plastøppte betongkar.....	6
2.3. Prefabrikkerte betongkar	7
2.4. Overflatebehandling.....	8
2.5. Hvorfor valg av prefabrikkert	9
2.6. Spennarmering	10
3. Dataprogrammer	10
4. Utforming.....	12
5. Logistikk utfordringer.....	14
5.1. Vogntog.....	14
5.2. Lekter og båt.....	14
5.3. Løftesystem	14
6. Beregningssystem	15
6.1. Begrensning og antagelser	15
6.2. Statisk system - Lasttilfeller.....	17
6.2.1. Lasttilfelle 1 – Kar uten vann.....	17
6.2.2. Lasttilfelle 2 – Kar med vann.....	18
7. Dimensjonering og analyse.....	20
7.1. Skjør- og momentkrefter fra hydrostatisk vanntrykk	20
7.2. Valg av spennkabel – Overdekning i ribbene	22
7.3. Løftesystem	24
7.4. Overdekning og klassifisering.....	28
7.5. Lasttilfelle 1 – Kar uten vann - Horisontalarmering	30
7.6. Lasttilfelle 2 – Kar med vann - Vertikalarmering	34

7.7. Kraftoverføring.....	36
7.8. Armerings tegninger.....	38
8. Diskusjon	42
9. Konklusjon.....	43
Etterord	IV
Referanseliste.....	V

Figur liste

Figur 1 - Landbasert akvakultur.....	1
Figur 2 - Illustrasjon av funksjon til fiskekar [3].....	2
Figur 3 - "Uredd rasteplass Foto: Lars Grimsby/Statens vegvesen [5].....	5
Figur 4 – Forskaling.....	6
Figur 5 - Montering av fasade - Prefabrikkert betong [7].....	7
Figur 6 - Bilde fra Acryliccon Superimpregnering med porefylling - Bremnes Seashore avd. Trovåg.....	8
Figur 7 - Illustrasjon av funksjonen til spennarmering [10]	10
Figur 8 - Bilde fra Autodesk Robot - Hydrostatisk vanntrykk på 6 meter element.....	11
Figur 9 - Illustrasjon fra Autodesk Revit	11
Figur 10 - Forskjellige sirkulasjonskar til landbasert fiskeoppdrett [2].....	12
Figur 11 - Åttekantet kar.....	13
Figur 12 - Lengder åttekantet kar.....	13
Figur 13 - Sirkulært kar.....	13
Figur 14 - Jevnt fordelt last fra spennkabel	13
Figur 15 - Ti, åtte og seks meter høye kar	15
Figur 16 - Illustrasjon av veggelementene.....	16
Figur 17 - Spennkabel i ribber	17
Figur 18 - Ribber vist i vertikalt snitt.....	17
Figur 19 - Jevnt fordelt last fra spennkabel	17
Figur 20 - Sett ovenfra - Snitt av skjõt mellom to elementer – Dekkomponering av trykk	18
Figur 21 – Statisk system for kar uten vann	18
Figur 22 – Statisk system for kar fullt med vann.....	19
Figur 23 - Tegnforklaring nedbøyning	19
Figur 24 - Momentdiagram for 6 meter høyt element med vanndybde lik 5 meter. $M^* = 1,77$ KNm.....	20
Figur 25 - Momentdiagram for 6 meter høyt element med vanndybde lik 5 meter. $M^* = 2,94$ KNm.....	21
Figur 26 - Skjærkrefter ved opplager.....	21
Figur 27 - Illustrasjon av " e ".....	22
Figur 28 - Løft fra P2 og normalkraft fra grunn (P1)	24
Figur 29 - Monteringsløft.....	25
Figur 30 - Vinkelforklaring løfteanker	27
Figur 31 – Overdekning - figur fra Revit.....	29
Figur 32 - Beregning av tverrsnittareal - Tegnforklaring	30
Figur 33 - Bestemme flens bredde (b1) - Tegnforklaring.....	31
Figur 34 - Tverrsnittmål i BT snitt for 6 og 8 meter veggelementer	32
Figur 35 - Horisontal armering i 6 meter og 8 meter veggelement	32
Figur 36 - Kontroll horisontal armering 6 og 8 meter veggelement	33
Figur 37 - Skjærkrefter ved ribber	34
Figur 38 - Vertikal armering til 6, 8 og 10 meter veggelementer	35
Figur 39 – Kontrollberegning for vertikal armering 6 meter og 8 meter veggelementer	36
Figur 40 - SUMO® Wall Shoe	36
Figur 41 - SUMO® Wall Shoe i tegning fra revit	36
Figur 42 - Vertikal skjõt fra Revit.....	37
Figur 43 Vertikalt armerings snitt.....	39
Figur 44 Armerings detalj 1 for Ribb 2	40
Figur 45 - Horisontalarmering snitt	41

Tabell liste

Tabell 1 - Høyde og diameter på kar som dimensjoneres.....	16
Tabell 2 - Maksimum moment- og skjærkrefter - Nødvendig kraft fra spennkabel.....	22
Tabell 3 - Nødvendig spennkabel ved ulikt behov for opplagerkraft [14]	23
Tabell 4 - Overdekning til valgt spennkabel [14]	24
Tabell 5 - Resultat lasttilfeller ved løft	27
Tabell 6 - Valg av løfteanker	27
Tabell 7 Tabell 4.1 i NS-EN 1992	28
Tabell 8 Tabell 4.3N i NS-EN 1992	28
Tabell 9 Tabell 4.2 i NS-EN 1992	28
Tabell 10 - Valg av kabel - Maksimum moment- og skjærkrefter fra kabel	31
Tabell 11 - Størrelse på flens	31
Tabell 12 - Dimensjonerende krefter til beregninger for vertikalarmering	35

Vedlegg

Vedlegg 1.	Spørreundersøkelse	VII
Vedlegg 1.	6 meter vegger	XV
Vedlegg 2.	6 meter vegger	XVI
Vedlegg 3.	6 meter vegger	XVII
Vedlegg 4.	6 meter vegger	XVIII
Vedlegg 5.	6 meter vegger	XIX
Vedlegg 6.	6 meter vegger	XX
Vedlegg 7.	6 meter vegger	XXI
Vedlegg 8.	6 meter vegger	XXII
Vedlegg 9.	8 meter vegger	XXIII
Vedlegg 10.	8 meter vegger	XXIV
Vedlegg 11.	8 meter vegger	XXV
Vedlegg 12.	8 meter vegger	XXVI
Vedlegg 13.	8 meter vegger	XXVII
Vedlegg 14.	8 meter vegger	XXVIII
Vedlegg 15.	8 meter vegger	XXIX
Vedlegg 16.	8 meter vegger	XXX
Vedlegg 17.	BT-snitt horisontal og vertikal armering	XXXI
Vedlegg 18.	Vertikal armering 6m og 8m	XXXIII
Vedlegg 19.	10 meter vegger	XXXV
Vedlegg 20.	10 meter vegger	XXXVI
Vedlegg 21.	10 meter vegger	XXXVII
Vedlegg 22.	10 meter vegger	XXXVIII
Vedlegg 23.	10 meter vegger	XXXIX
Vedlegg 24.	10 meter vegger	XL
Vedlegg 25.	10 meter vegger	XLI
Vedlegg 26.	10 meter vegger	XLII
Vedlegg 27.	BT- snitt Horisontal armering 10m	XLIII
Vedlegg 28.	BT-snitt vertikal armering 10m	XLV
Vedlegg 29.	Peiko KK løftesystem teknisk manual utdrag	XLVII
Vedlegg 30.	Spennkabler	LXXI
Vedlegg 31.	Kontroll momentkapasitet	LXXII

Vedlegg 32. Armerings tegninger 6 meter.....	LXXIII
Vedlegg 33. Armerings tegninger 6 meter.....	LXXIV
Vedlegg 34. Armerings tegninger 6 meter.....	LXXV
Vedlegg 35. Armerings tegninger 6 meter.....	LXXVI
Vedlegg 36. Armerings tegninger 8m.....	LXXVII
Vedlegg 37. Armerings tegninger 8m.....	LXXVIII
Vedlegg 38. Armerings tegninger 8m.....	LXXIX
Vedlegg 39. Armerings tegninger 8m.....	LXXX
Vedlegg 40. Armerings tegninger 10m.....	LXXXI
Vedlegg 41. Armerings tegninger 10m.....	LXXXII

1. Innledning

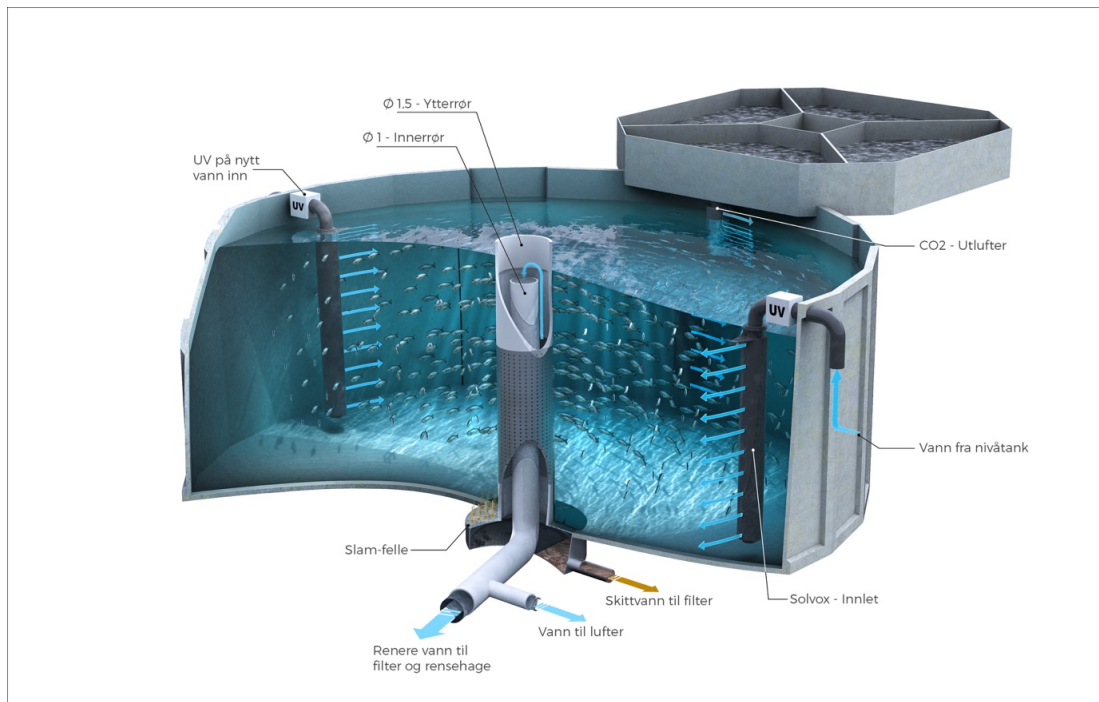
Landbasert akvakultur er en fellesbetegnelse for landbasert oppdrett av organismer i vann [1]. I Norge er oppdrett av laks- og ørret yngel mest utbredt. I anleggene blir fisken klekket og avlet frem til den har oppnådd ønsket vekt, 100g. Dette tar rundt et år. Veksten avhenger hovedsakelig av varme, fôr kvalitet og lys. Forholdene blir regulert i dagens anlegg for å få fisken klar til ønsket



Figur 1 - Landbasert akvakultur

utsettelsesdato. Anleggene trenger ferskvann til fôredlingen og ligger som regel nær en ferskvannskilde. De ligger også nær kysten, slik at yngelen lett kan transporteres til en brønnbåt som frakter fisken videre til sjøanlegg [2].

Dagens landbaserte anlegg driver nå i stadig større grad med oppdrett av laks og ørret fra de er øyerogn til de er slakterklar, rundt 5 kg. Hovedfordelene med landbasert er temperaturoptimalisering og null lakselus. Lakselusen er en stor utfordring for oppdrett i sjø, da det stilles strenge krav til antall lus per fisk, noe som fører til at laksen ofte må avluses. Denne prosessen er hard for fisken, og veldig dyr med tanke på tapt tilvekst og selve behandlingskostnaden [2].



Figur 2 - Illustrasjon av funksjon til fiskekar [3]

Lakseoppdrett på land foregår i kar hvor forskjellige komponenter virker sammen for å gi laksen et godt miljø. Det stilles krav til vannkvalitet og sirkulasjon. I karene går en vannstrøm som holder fisken aktiv samtidig som den får overflødig biomasse fra fisken inn mot senter, hvor den senere blir fjernet. Overflødig biomasse er eksempelvis avføring. Dagens kar har som regel betong, plast eller glassfiber som byggemateriale. De kommer i forskjellige størrelser fra en til 15 meter i diameter, avhengig av hvilken størrelse fisken i karet har.

1.1. Prosjekteringsgrunnlag

Dagens oppdrettsanlegg er kostbare å etablere målt mot produksjonskostnad pr stk/kg. Utviklingen går i retning av økt produksjon på land både i antall fisk og i kg fisk. Det medfører både økt arealbehov og ikke minst et økt behov for effektiv transport av produksjonsvann. Store vannvolumer som skal transporteres/sirkuleres i anlegget krever smarte løsninger.

I landbasert akvakultur lever fisken i kar. Fisken transporteres fra mindre til større kar når de vokser. Forlengelse av fiskens liv på land stiller krav til større dimensjoner på kar. Størrelsen varierer etter behov.

Produksjon og prosjektering av anlegg på land er en kompleks prosess. Forskjellige ønsker fra kundene medfører at prosjekteringen er forskjellig fra prosjekt til prosjekt. Store variasjoner i hvert prosjekt bidrar til at erfaring ikke blir utnyttet. Erfaring er et godt hjelpemiddel som man ønsker å utnytte for optimalisering. Det er et forbedringspotensial i prosjektering- og byggefasen.

1.2. Problemstilling

Ønsket er å redusere dagens høye utgifter knyttet til prosjektering av anleggene, og å redusere byggetiden. Prosjekteringen omhandler et skalerbart kar bestående av betongelementer, hvor vi skal se på hvor stort det er hensiktsmessig å dimensjonere. Løsningen skal være skalerbar, tilfredsstillende krav, standardisert og dimensjonert på en økonomisk og sikker måte.

En standardisering av prosjekteringsmetoden og materialbruken kan bidra til å redusere dagens høye utgifter knyttet til prosjektering av anlegg og redusere byggetiden.

Kan vi standardisere prosjektering av fiskekar ved bruk av prefabrikkert betong som byggemateriale?

1.3. Metode

I enighet med Multiconsult utarbeides et fokus på fiskekar i oppgaven. Ønsket fra Multiconsult er at oppgaven skal løses uten retningslinjer for å redusere påvirkning av tidligere løsninger. Vi starter med å innhente relevant faglitteratur om oppdrett og utforming av kar.

Vi starter med å utarbeide et eget design i samsvar med krav til karet. Deretter sammenligner vi plaststøpt og prefabrikkert betong. Videre utformes et design med antatt dimensjonering. For å oppnå et best mulig design foretar vi et bedriftsbesøk hos Mowi avdeling Fjæra, og gjennomfører en spørreundersøkelse hos Eidesvik Settefisk AS, Byggservice AS og Multiconsult AS som tidligere har deltatt i utvikling av landbaserte anlegg. Dette gjøres for å fusjonere vår nytenking med eksisterende løsninger, for å utnytte styrker hos begge parter.

Revit, Robot og BT-Snitt blir brukt til design og beregninger. Designet ble modellert og beregnet i Robot, og kontrollberegnet i BT snitt og for hånd. Antagelser er gjort sammen med veileder for å bestemme statisk system, og det er lagt en begrunnelse i bunn.

2. Betong

Betong er et byggemateriale som dannes av sement, vann og tilslag av sand- og stein [4]. Det er et av verdens mest brukte byggematerialer [4]. Her ses det på betong som byggemateriale. Fordeler og ulemper ved plasstøpt og prefabrikkert blir sammenlignet opp mot hverandre.

2.1. Betongteknologi

Betong har fordeler som formbarhet, lang levetid og styrke [4]. Betong er allsidig når det kommer til styrke og bestandighet. Egenskapene styres av forholdet mellom mengde vann per sement [4]. Dette forholdstallet blir kalt «v/c tall». Kostnader kan reduseres ved lavt behov for styrke og bestandighet.



Figur 3 - "Uredd rasteplass Foto: Lars Grimsby/Statens vegvesen [5]

Svakheten med betong er at den har ca 10 prosent av styrken i strekk, sammenlignet med trykk [4]. En betongkonstruksjon bruker derfor stål, også kalt armering, til å ta opp strekkrefter. Betong kan armeres med slakk- eller spennarmering. Det viser seg ikke alltid å være nødvendig med armering når kreftene som oppstår ikke overgår betongens kapasitet.

Betongen kan danne sprekker kalt «riss» i herdeprosessen eller livsløpet. Det er derfor minimumskrav til armering i betongstandardene [4].

2.2. Plasstøpte betongkar

Den mest utbredte metoden for betong er plasstøpt betong Figur 4 [6].

Armering bindes og det forskales på byggeplassen. Betongen ankommer normalt flytende i betongbil og støpes i forskalingen. Betongen blir vibrert slik at luftbobler forsvinner og den blir jevnt fordelt i alle deler av forskalingsformen [4].



Figur 4 – Forskaling

Fordeler med plasstøpt betong ved prosjektering av fiskekar:

- Det er mulig å støpe et kar uten skjøter
- Kan gjøre konstruksjons endringer underveis (endre forskalingen)
- Tak kan være installert før betongbil ankommer
- Trenger kun plass til betongbil

Ulemper med plasstøpt betong ved prosjektering av fiskekar:

- Det må forskales og støpes på byggeplass - krever lagringsplass og tid
- Herdeprosessen gjennomgås på byggeplass - tidkrevende og kan by på utfordringer ved skiftende vær
- Det krever forskalingsnekkere, betongarbeidere og jernbindere på byggeplass
- Det må være innenfor 1.5 timers kjøreavstand fra et betongverk – hvis ikke må det fremstilles betong på plassen

2.3. Prefabrikkerte betongkar

Prefabrikkerte betong er element av ferdig herdet- og armert-betong som er fremstilt på fabrikk. Eksempler på hva som blir prefabrikkert er trappeoppganger, søyler, bjelker og dekker. Elementene monteres ved hjelp av kran.



Figur 5 - Montering av fasade - Prefabrikkert betong [7]

Fordeler med prefabrikkerte element ved prosjektering av fiskekar:

- Kort ferdigstillingstid på byggeplass - ikke nødvendig med forskaling og herding på byggeplassen
- Godt størkne- og herdemiljø
- Gode komprimeringsforhold
- Kan bygge langt fra nærmeste betongblandeverk
- Det kan bygges med prefabrikkert hele året – regulert herdemiljø

Ulemper med prefabrikkert betong ved prosjektering av fiskekar:

- Lang bestillingstid – ingen fleksibilitet etter produksjonsstart
- Behov for kranbiler ved montering
- Danner skjøter – kan skape komplikasjoner ved vanntetthet
- Kraftoverføring i skjøter

2.4. Overflatebehandling

Overflatebehandling brukes for å beskytte mot armeringskorrosjon ved at klorider kommer inn i betongen ved vann og fukt [8]. Bruk av overflatebehandling har flere fordeler som; enklere å rengjøre, kan sklisikre, fjerner betongstøv, porefyller og dekorerer. I akvakultur er det krav til at alle overflater som er i kontakt med vann og fisk må være næringsmiddelgodkjent [2]. Utenom kravet bidrar overflatebehandling til å motvirke bakterievekst og skader på fisk pga. porer og ujevnheter i betongen. Det hindrer også at smuss og alger setter seg fast i porer.

Det stilles store krav til behandlingen. Den optimale overflatebehandlingen skal ikke være giftig, men må være fleksibel, slitesterk, motstandsdyktig i forhold til kjemikalier, rask å installere, glatt overflate og ha god vedheft. Å finne et belegg som utfyller alle kravene til en rimelig pris kan være utfordrende.



Figur 6 - Bilde fra Acrylicon Superimpregnering med porefylling - Bremnes Seashore avd. Trovåg

Stort tidspress på byggeplassen kan gjøre at arbeidsoppgaver utføres på en rask, men ikke tilfredsstillende måte. Et eksempel på dette er at overflatebehandling påføres før betongen er ferdig herdet. Når overflatebehandling påføres oppstår det problemer ved at vann blir stengt inne i betongen. Etter hvert trekker vannet ut mot undersiden av belegget. Dette har en negativ effekt på vedheft.

Volumendring, eller svinn i herdeprosessen til betong er en stor utfordring når det kommer til overflatebehandling. Svinn oppstår mest i høystyrkebetong på grunn av det lave forholdet mellom vann og sement [8]. Lite vann gjør at betongen tørker ut og trekker seg sammen og danner riss og sprekker.

Bruk av prefabrikkert betong gjør at man slipper at karene gjennomgår herdeprosessen på byggeplassen. Overflatebehandlingen kan starte på byggeplass så fort elementene er ferdig montert. Betongelementer gir gode forutsetninger for at overflatebehandlingen skal få en bedre vedheft og ikke bli utsatt for svinnkrefter. Det kan redusere tid før eventuelt vedlikehold og utbedringer må utføres.

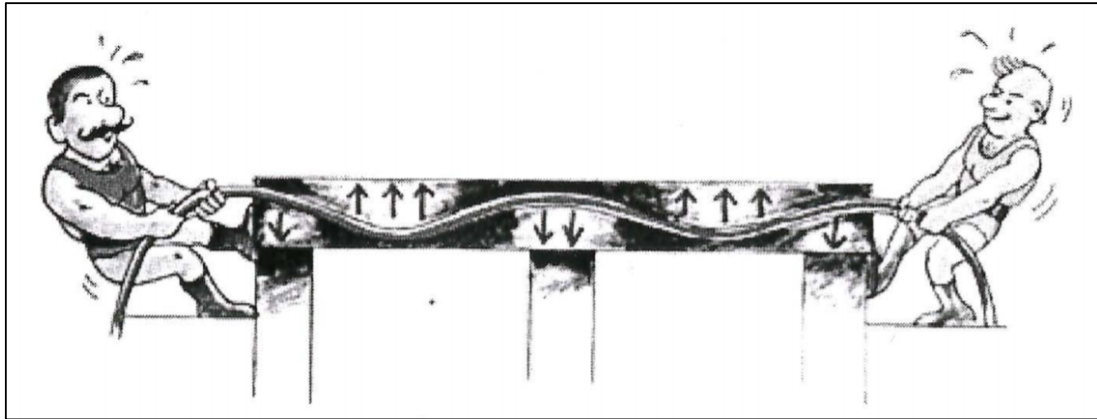
2.5. Hvorfor valg av prefabrikkert

Prefabrikkerte element blir valgt siden det har egenskaper som egner seg bedre når det kommer til masseproduksjon og standardisering. Det skyldes at standardiserte element ikke har behov for å kunne gjøre brå endringer under monteringen på byggeplass. Det er heller ikke nødvendig å ha helstøpte skjøter, da skjøten mellom to prefabrikkerte element kan holdes tett. Videre er det ikke nødvendig å ferdigstille bygget før karene kommer. Fordelene med plasstøpt er derfor neglisjerbare sammenlignet med fordelene til prefabrikkering. Bruk av prefabrikkert betong gjør at man slipper at karene gjennomgår herdeprosessen på byggeplassen. Overflatebehandlingen kan starte når elementene er ferdig montert. Betongelementer gir gode forutsetninger for at overflatebehandlingen skal få en bedre vedheft og ikke bli utsatt for svinnkrefter. Det kan redusere tid før eventuelt vedlikehold og utbedringer må utføres. Andre tungtveiende fordeler;

- Prefabrikkerte element kan lagres på fabrikk, kjøres ut og monteres på kort varsel, plasstøpt krever derimot lengre tid da hele støpe- og herdeprosessen må gjennomføres på byggeplass
- Forutsetninger for god komprimering og godt herdemiljø
- Redusert krav til fagarbeidere på byggeplass
- Det kan bygges med prefabrikkerte element hele året

2.6. Spennarmering

Spennarmering består av et trekkør og en vaier/armeringsjern, hvor trekkøret blir støpt inn i betongen. Vaieren ligger i trekkøret og påføres ønsket spenn når betongen har herdet tilstrekkelig. Betongen får da påført aksialkraft, som gjør at det kan påføres større krefter før det oppstår strekk [9]. Det er sett på spennarmering som en mulig sammenkoblingsløsning.

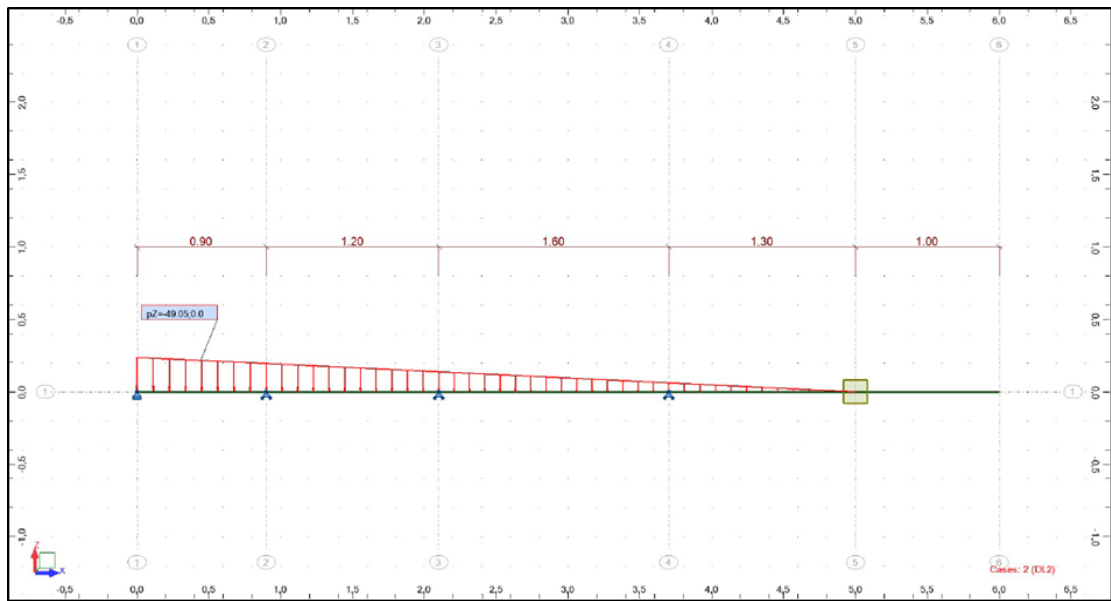


Figur 7 - Illustrasjon av funksjonen til spennarmering [10]

3. Dataprogrammer

I denne oppgaven benyttes hjelpemidler til beregninger, dimensjonering og illustrering. Programmene vi bruker er *Autodesk Robot Structural Analysis* [11], *Autodesk Revit* [12] og *Ove Sletten BT snitt* [13]. De har forskjellig bruksområder. Revit blir brukt til å lage detaljtegninger, mens Robot og BT snitt brukes til dimensjonering.

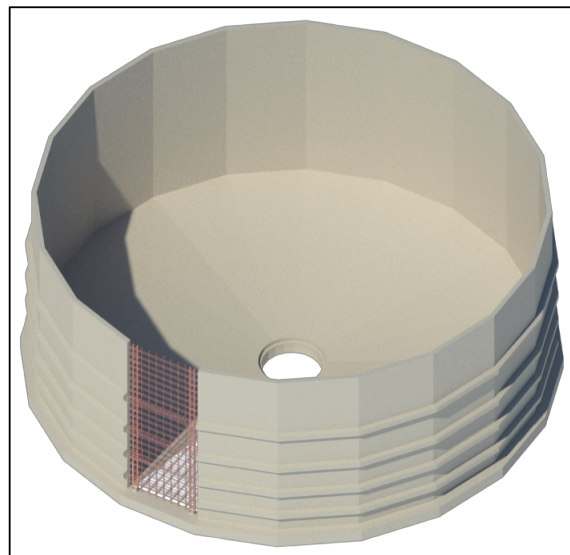
Dataprogrammer er en erstatting for tidkrevende beregninger for hånd. Robot er et dataprogram som kan beregne skjær- og momentkrefter [11]. Programmet setter konstruksjonen i et statisk system som beregner størrelsen og plasseringen til kreftene. Man kan ta ut diagrammer som viser ekstremalverdiene og hvor de oppstår. Disse verdiene avgjør krav til konstruksjonen sin kapasitet, og diagrammene er hjelpemiddel til å indentifisere hvor konstruksjonen er utsatt for trykk og strekk. Dette kan bidra til å opprette en god forståelse til hvordan krefter opptrer.



Figur 8 - Bilde fra Autodesk Robot - Hydrostatisk vanntrykk på 6 meter element

Revit brukes til å tegne konstruksjoner[12]. Det blir brukt til å illustrere hvordan man ønsker at konstruksjonen skal se ut. Tegninger av hele bygg kan importeres i andre programmer for å så gjennomføre beregninger av avanserte konstruksjoner.

BT snitt er en del av Ove Sletten programvaren. Det er en serie programmer som brukes til dimensjonering. BT snitt gjelder kun for betongkonstruksjoner. Fremgangsmåte er at man legger inn forslag til tverrsnitt av konstruksjonen, materialdata og et forslag til armering. Programmet gjennomfører så kontrollberegninger. Beregningene gjøres i samsvar med norsk standard. Kontrollberegningene er delt i tre deler; momentkontroll, skjærkontroll og risskontroll.

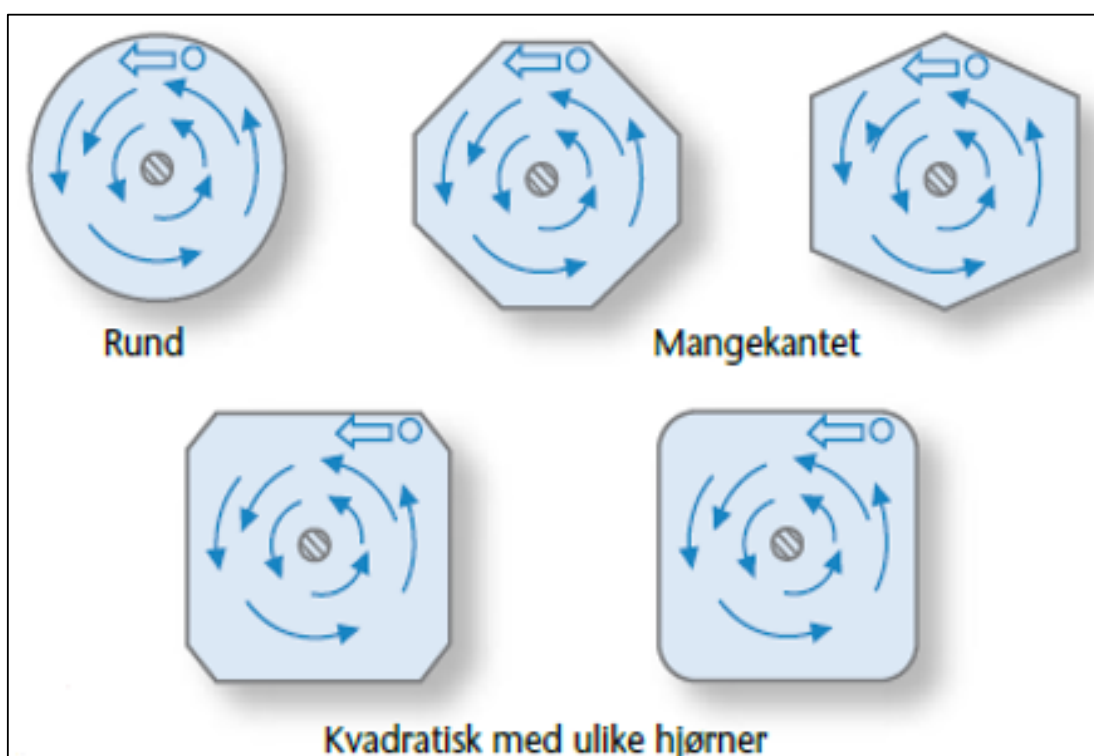


Figur 9 - Illustrasjon fra Autodesk Revit

4. Utforming

Utformingen til betongkaret gjennomføres etter retningslinjer gitt av laksenæringen. Det stilles krav til sirkulasjon og vanntilførsel. Karene må derfor bygges med disse retningslinjene i bunn [akvabok]:

- «Kar og vanntilførsel skal være slik at fisken stiller seg i hele karets volum»
- «Kar og vanntilførsel skal være slik at det gir vann og strøm i jevn fordeling i hele kare»
- «I tillegg er det en fordel om karene er lett tilgjengelige for røkting og har lave investeringskostnader»

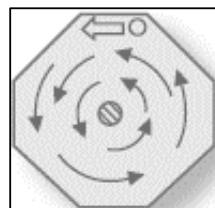


Figur 10 - Forskjellige sirkulasjonskar til landbasert fiskeoppdrett [2]

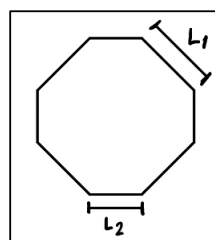
Laksenæringen bruker i dag fem forskjellige karmodeller som tilfredsstillere kravene, Figur 10. Disse modellene bygges med 1:3 i høyde og breddeforhold [2]. Her vurderes prosjekteringsfordeler og -ulemper med kvadratisk og sirkulære kar, da disse representerer ytterpunktene av arealutnyttelse og sirkulasjon.

Åttekantet kar:

- Det åttekantede karet gir best arealutnyttelse, utenom kvadratisk kar. Det blir ikke brukt kvadratisk kar på grunn av risikoen for stillestående vann i hjørnene, noe som kan føre til algeoppblomstring. Algeoppblomstring er uønsket siden alger kan være dødelige for fiskene. Det kan resultere i at all fisk i karet dør [2].
- Sidene har to ulike lengder L_1 og L_2 vist i Figur 12. Det fører til at det må prosjekteres og prefabrikeres to ulike elementstørrelser.
- L_1 vil være betydelig lengre enn L_2 og vil derfor bli utsatt for et stort moment. Det antas at tykkelsen på L_1 må være større enn L_2 for å få plass til armering.



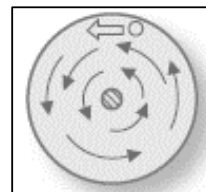
Figur 11 - Åttekantet kar



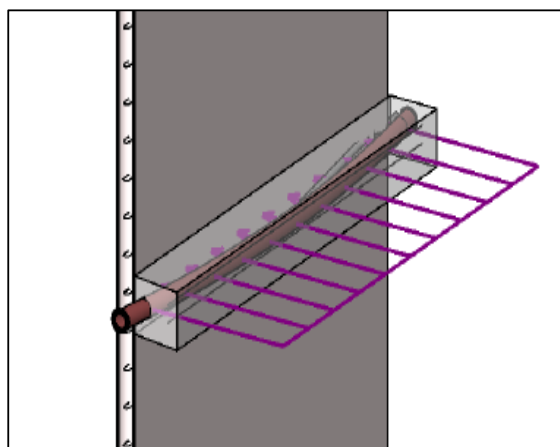
Figur 12 - Lengder åttekantet kar

Sirkulære kar:

- Sirkelformen gjør at karet antas å ha best sirkulasjon, og fisken fordeler seg bedre grunnet gode strømforhold i hele karet.
- Elementene i et rundt kar kan ha lik størrelse og har da like dimensjonerende krefter. Man må bare prosjektere ett element. Det reduserer mengde prosjektering ved skalering.
- Spennarmering kan brukes. En spennkabel med kontakt i ribber gir jevnt fordelt trykk inn mot vannet. Jevnt trykk motvirker samling av krefter i skjøtene. Se Figur 14.
- Ved bruk av spennarmering har man muligheten til å spenne kabelen opp til et nivå hvor det alltid vil være trykk i skjøtene. Det kan bidra til å holde skjøtene tett.



Figur 13 - Sirkulært kar



Figur 14 - Jevnt fordelt last fra spennkabel

5. Logistikk utfordringer

Prefabrikkert betong må bli fraktet fra fabrikk til byggeplassen på en eller annen måte. Transport kan gå via vei eller sjø. Vi ser på muligheten til å frakte på lastebil på vei og lekter/båt via sjø. Når betongelementene ankommer byggeplassen skal de monteres. Montasje har behov for en eller flere kraner til løft. Kranene løfter hele element og dermed må elementene utstyres med løftepunkter. Løftepunktene må dimensjoneres.

5.1. Vogntog

For å frakte elementene fra fabrikk til byggeplassen må man ta hensyn til lover for frakting av gods på vei. Byggeplassen og vei til byggeplassen må være kapabel til å bli belastet av vogntog. Derfor tas bare hensyn til hvilke lover som gjelder for transport av gods på hovedvei. Loven sier at bredden kan være opptil 2,55 meter før man må søke om løyve til å transportere jf. forskrift om bruk av kjøretøy § 3-4-1a.

5.2. Lekter og båt

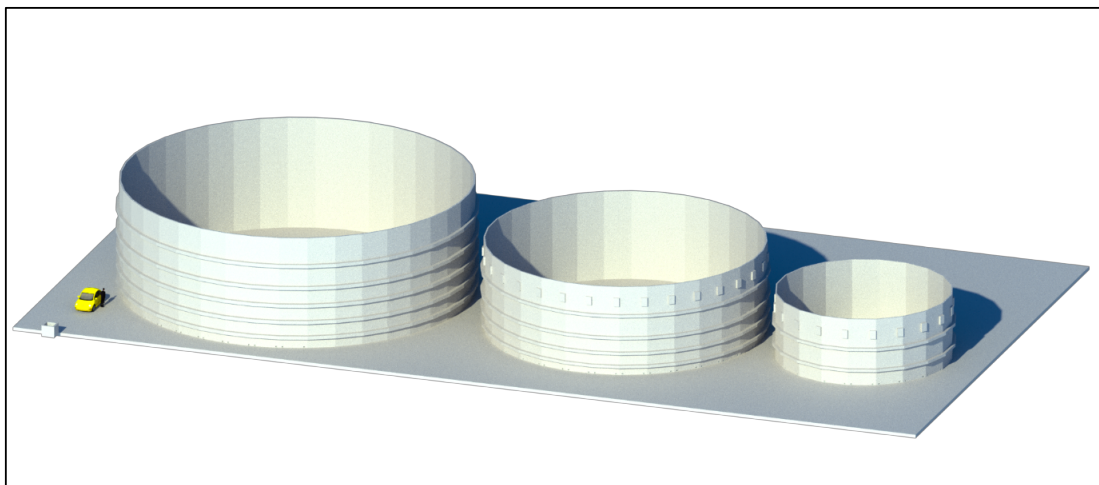
Lekter eller båt er gode alternativ til godstransport via vei, da oppdrettsanlegg normalt ligger i nærhet til sjøen. Den største fordelen er muligheten til å frakte store og mange element over lange avstander. Man kan levere alle elementene samtidig ved behov.

5.3. Løftesystem

Håndtering av elementene kan gjøres med løfteanker og kran. Ankrene støpes i elementene ved produksjon. Disse brukes fra elementet blir tatt ut av forskalingsformen, til montasje på byggeplassen. Beregninger må gjennomføres i bestemmelse av hvilken type anker og løftemetode som skal brukes. Det finnes standardiserte løsninger hvor man kan velge anker ved å beregne lasttilfeller og så velge ut fra tabeller. Andre metoder er å støpe hull i dekket eller støpe fast armering. Faktorer når man velger anker/løfte system er elementets størrelse, vekt, geometri, tyngdepunkt og transportprosess etter produksjon.

6. Beregningssystem

Grunnet begrensning i tid, velges det å begrense oppgaven slik at store deler av produktet blir dimensjonert. Hvilke løsninger som blir sett på videre i oppgaven beskrives i begrensning og statisk system.



Figur 15 - Ti, åtte og seks meter høye kar

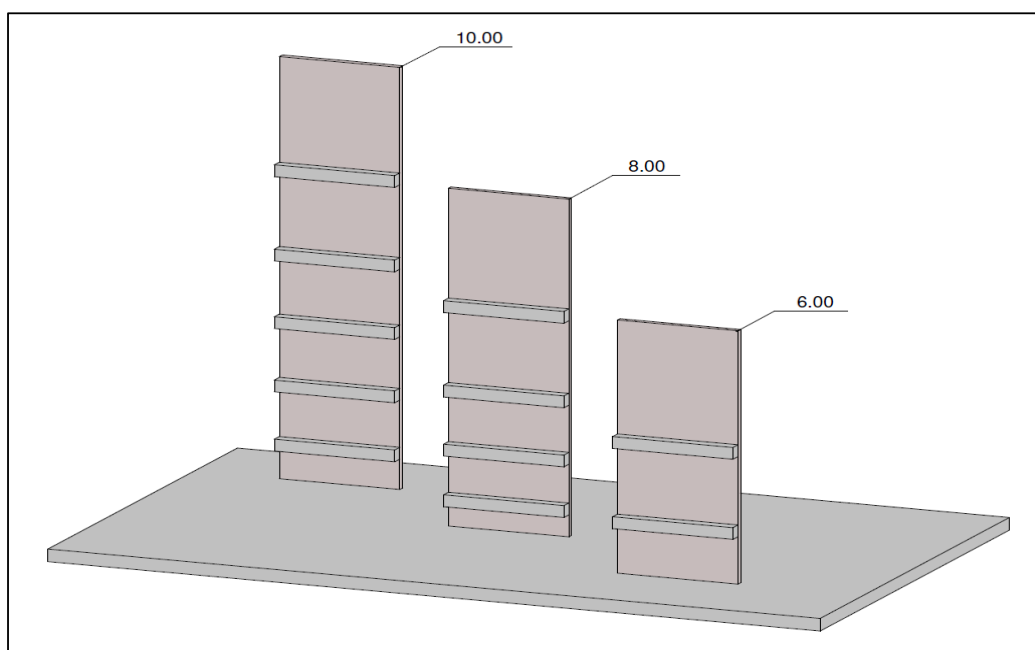
6.1. Begrensning og antagelser

Det velges å se på utforming av tilnærmet sirkulære kar (herav sirkulære kar) med spennkabler. Valget blir tatt med hensyn på prosjekteringskostnader for skalering og logistikkutfordringer. Fordelene som er lagt vekt på er at det kun er nødvendig å prosjektere to element. Det er her snakk om et standardelement, og et spesialelement designet etter krav til oppspenning av spennkabler. Spennkablene deler konstruksjonen opp i mindre effektive lengder som er en faktor i moment. Det kan redusere krav til kapasitet fra veggelementene. Bredden på elementene er satt til tilnærmet lik 2,4 meter. Det blir da mulig å frakte elementene liggende på lastebil. I oppgaven gjøres noen antagelser som medfører at diverse punkter ikke blir undersøkt i detalj. Videre i teksten kommer det frem hvor og hva som blir antatt.

Opgaven fokuserer på utforming og dimensjonering av veggelementer. Elementene blir satt sammen med en vinkel og danner et sirkulært kar. Veggelementene blir dimensjonert i tre forskjellige høyder for å se hvilke faktorer som er dimensjonerende ved øking i størrelse. De tre forskjellige høydene er valgt slik at forholdet mellom vannhøyde og diameter er tilnærmet 1:3. Vegghøyden er en meter høyere enn vannhøyden for å motvirke at fisk hopper ut eller at vann renner over/spruter når fisk hopper. Opgaven går videre med tre alternativ;

Tabell 1 - Høyde og diameter på kar som dimensjoneres

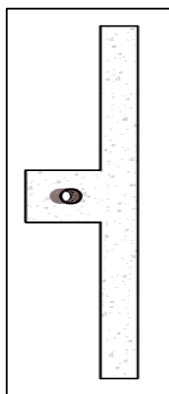
<i>Høyde på veggelementer</i>	<i>Tilnærmet diameter</i>
<i>6 meter</i>	<i>15 meter</i>
<i>8 meter</i>	<i>21 meter</i>
<i>10 meter</i>	<i>27 meter</i>



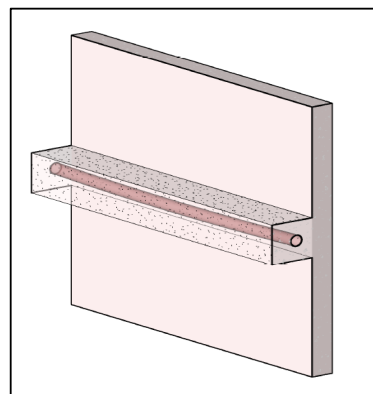
Figur 16 - Illustrasjon av veggelementene

Fundamentet og gulvet til karet blir ikke dimensjonert i oppgaven. Gulvet kan være plaststøpt eller prefabrikkert. Beregninger på veggelementene gjøres med antagelser om at det er fast fundament med mulighet for å feste forankringsbolter der elementveggene skal monteres.

Bruk av spennkabler krever en metode for å spenne opp kablene. Det er normalt plassert oppspenningspunkt på konstruksjonen. Det kan plasseres på et veggelement som antas å være utformet på en annen måte enn resterende element. Grunnet annerledes dimensjoneringsbehov vurderes dette ikke i detalj i oppgaven.



Figur 18 - Ribber vist i vertikalt snitt



Figur 17 - Spennkabel i ribber

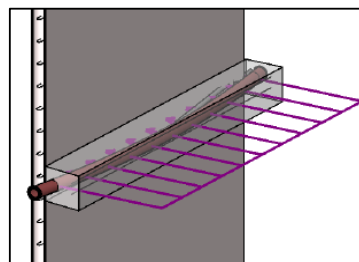
Metoden spennkabel som skal bli brukt er som følger. Den skal plasseres rundt elementene. Rundt kablene er det betong. Betongen rundt kablene kalles ribber. Ribbenes effekt er i hovedsak å begrense knekken på kablene og for at kablene skal være i kontakt med veggen ikke bare i skjøtene. Da fordeles kreftene fra kablene ut over veggelementet i det horisontale planet. Ser for oss spennkabelen som vist i Figur 18 og Figur 17.

6.2. Statisk system - Lasttilfeller

Fiskekarene står ovenfor to lasttilfeller. De forskjellige lasttilfellene gir bøyninger i forskjellige retninger. Tilfellene er når karet er tomt for vann og når det er fullt med vann til en meter fra kanten.

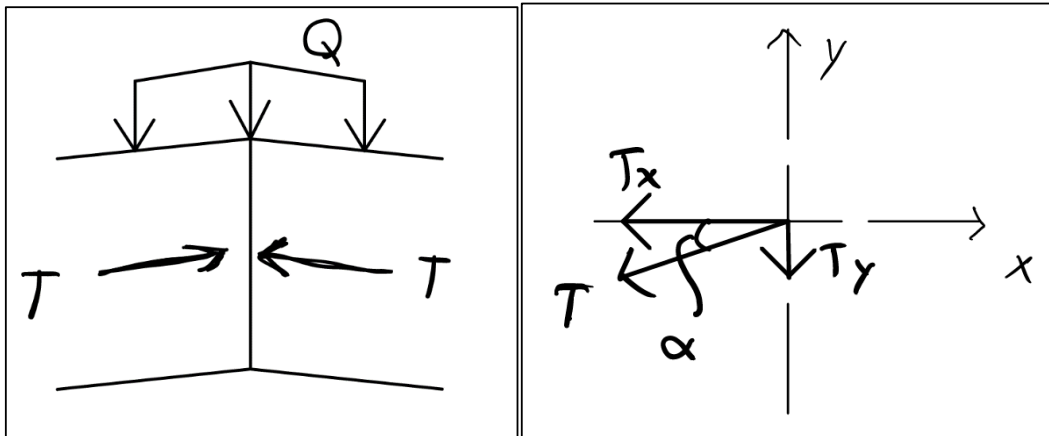
6.2.1. Lasttilfelle 1 – Kar uten vann

Når karet er tomt for vann er kablene i spenn. Kablene i spenn virker inn mot senter av karet og det antas at kraften fra kablene er tilnærmet en jevnt fordelt (Q) last på veggelementet. Hele elementet vil bli trykket innover, men det antas at største bøyninger vil være i samme område som kablene.



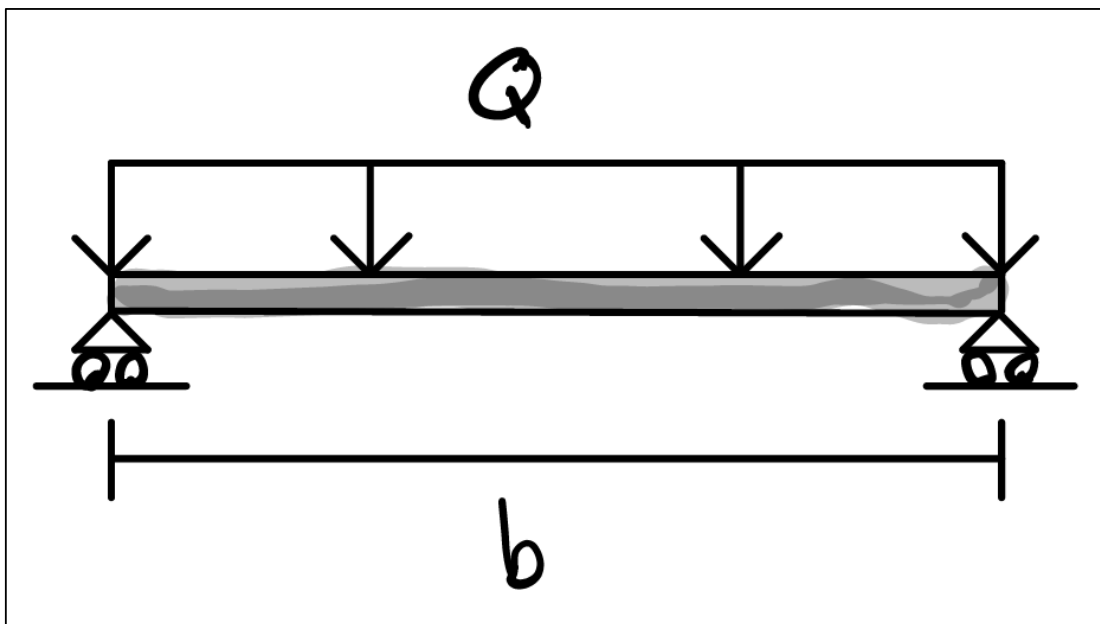
Figur 19 - Jevnt fordelt last fra spennkabel

Skjøtene mellom elementene skal støpes fast og vil være under trykk. Siden skjøtene er vinklet og under trykk vil en dekomponert kraft (T_y) virke normalt på ribbene. Se Figur 20. Den virker i motsatt retning av Q . Antar at den oppfører seg som en opplager. Vi ser på ribbene som en bjelke.



Figur 20 - Sett ovenfra - Snitt av skjøt mellom to elementer – Dekomponering av trykk

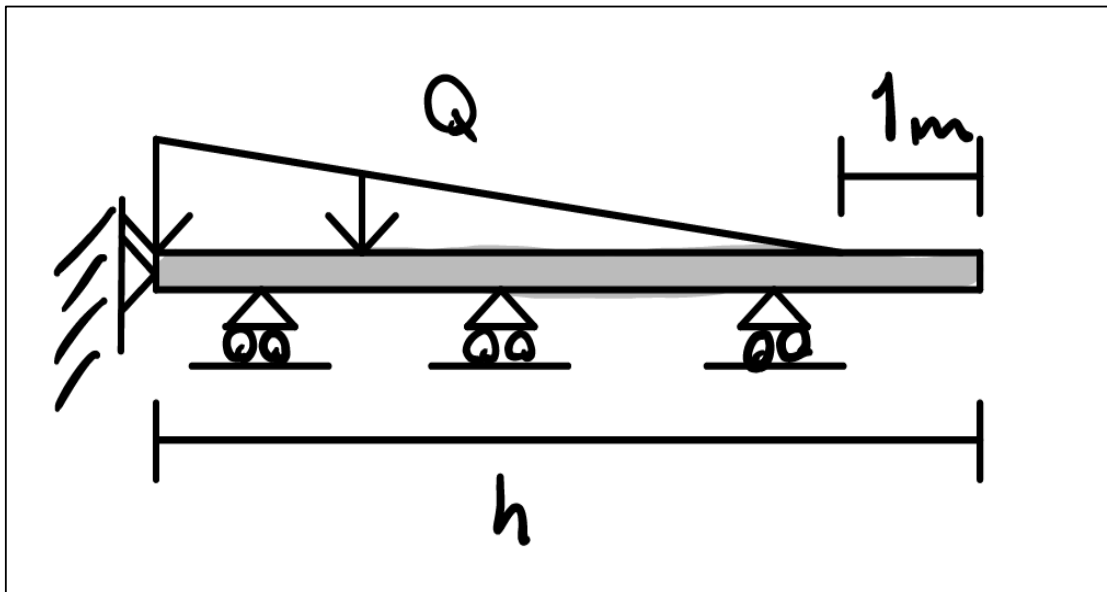
På veggelementene er det flere ribber. Når vi dimensjonerer armeringen for dette lasttilfellet brukes den ribben der det er størst kraft fra kabelen. Beregninger er gjort ved antagelse om at ribbene oppfører seg som en fritt opplagt bjelke med bredde (b) vist i Figur 21.



Figur 21 – Statisk system for kar uten vann

6.2.2. Lasttilfelle 2 – Kar med vann

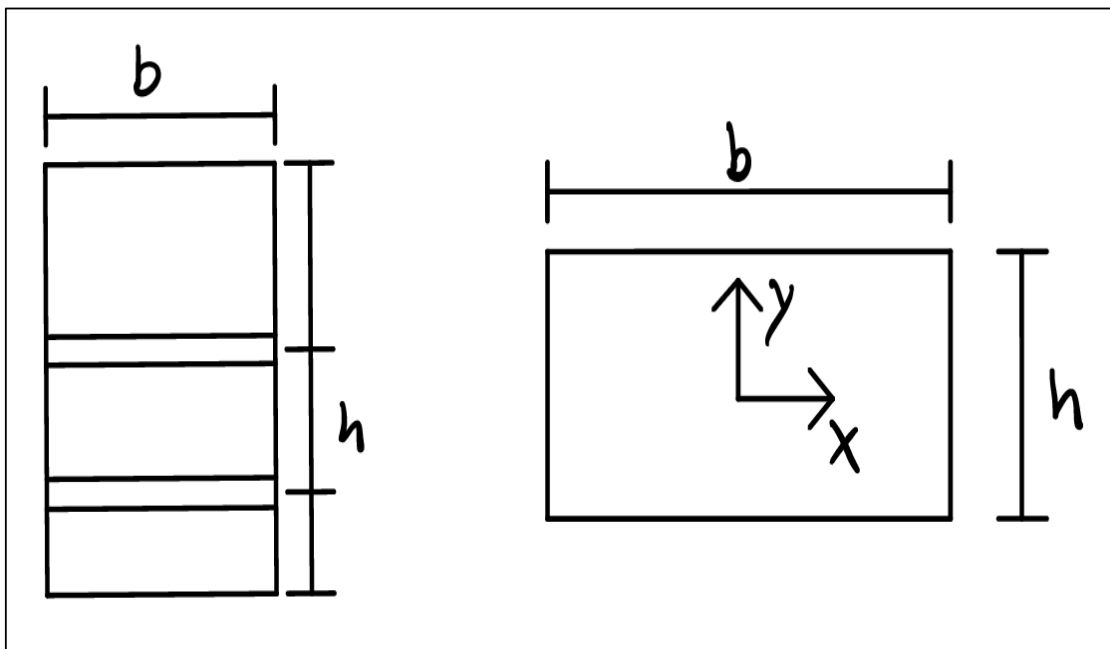
Når karet er fullt med vann virker et hydrostatisk vanntrykk på veggen. I statisk beregninger identifiserer vi ekstremalverdiene til skjær og moment. Det statiske systemet er to dimensjonalt. Det ses på veggen som en bjelke med opplagere som er fast i motsatt retning av vanntrykket. Kobling mot bunn antas å være fast i begge dimensjonene.



Figur 22 – Statisk system for kar fullt med vann

Nedbøyningsvurdering av plate feltet viser at feltet er stivere der hvor lengden er minst. Lengden er vist på Figur 23 som bredde (b) og høyde (h). Formelen for nedbøyning er;

$$\text{Nedbøyning} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I}$$



Figur 23 - Tegnforklaring nedbøyning

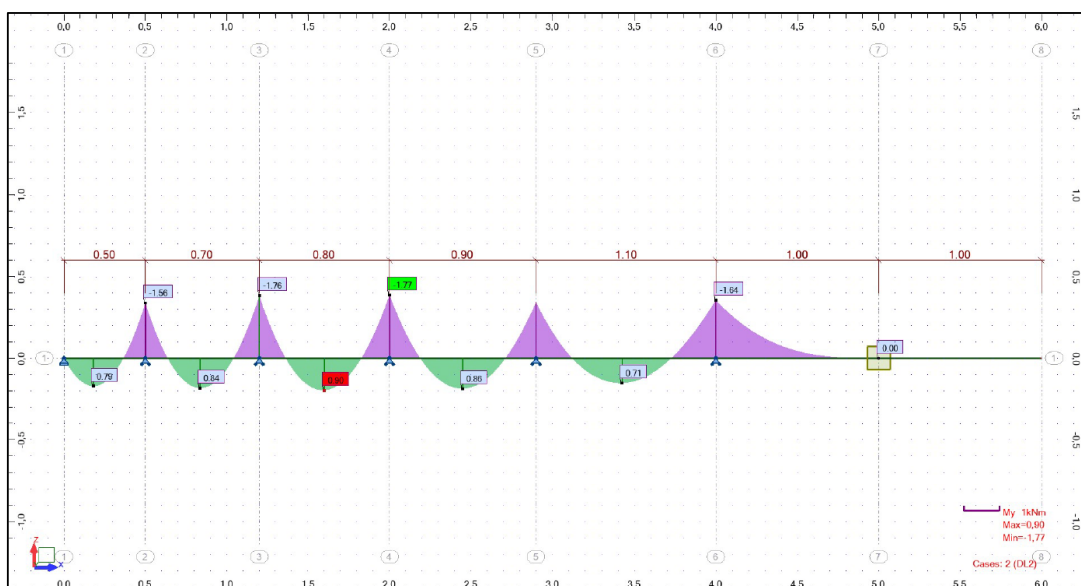
7. Dimensjonering og analyse

Dette kapittelet omhandler beregninger og resultat som vi tar med oss videre i dimensjonering av vårt produkt. Fremgangsmåten beskrives og resultatet presenteres. Resultatene vurderes underveis.

7.1. Skjær- og momentkrefter fra hydrostatisk vanntrykk

Autodesk Robot brukes til å utføre statiske beregninger. Robot tilbyr funksjonene som kreves og det er tidligere kjennskap til Autodesk programmer i gruppen. Statiske beregninger er når programmet ser på konstruksjonen i likevekt. Når den er i likevekt vil det oppstå indre krefter i form av skjær- og momentkrefter. For å vite hvor store disse kreftene er må de ytre krefter identifiseres. Vanntrykket starter på null fra vannoverflaten og øker med 9,81 KN per meter vann nedover.

Det legges inn en rektangulær betong bjelke som er fast i Z- og X-retning i bunn, og fast i Z-retning hvor det er opplagere som vist i Figur 24. Man gjennomfører tester med forskjellig antall opplagere. Det gjør man for å vurdere flere tilgjengelig alternativ når man møter på utfordringer som må løses. Alle elementhøydene blir testet med fire forskjellige antall opplagere. Videre ses det på hvor mange opplagere som trengs ut i fra hvor store krefter som opptrer.

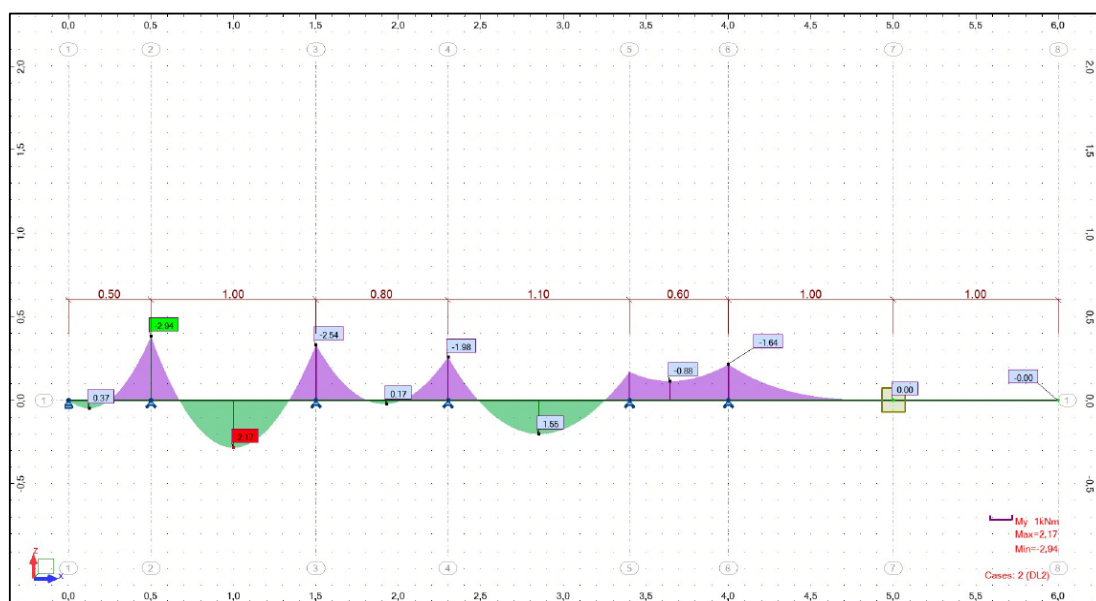


Figur 24 - Momentdiagram for 6 meter høyt element med vannedybde lik 5 meter. $M^* = 1,77 \text{ KNm}$

Hvor store krefter som opptrer bestemmes blant annet av antall opplagere og hvor de er plassert. I Robot er det mulig å endre plassering på opplagere. Hvis man flytter rundt på opplageren ser man at skjær- og momentkreftene ikke er de samme.

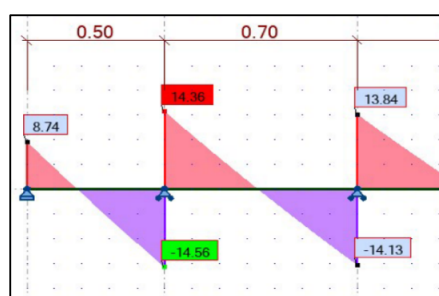
I Figur 25 er det like krefter og likt antall opplagere som i Figur 24, men momentet er nesten to ganger så stort. Her ser man konsekvensene av dårlig plasserte opplagere.

Går videre når kreftene er jevnest mulig og kan nå finne ut hvor store krefter opplagerne må virke med.



Figur 25 - Momentdiagram for 6 meter høyt element med vanddybde lik 5 meter. $M^* = 2,94 \text{ KNm}$

Analysere man skjærdiagrammet kan man finne ut hvor mye krefter opplagerne må være dimensjonert for. I dette tilfelle tilsvarer dette hvor store krefter spennkablene må virke med inn mot elementet. Differansen i skjærkrefter på opplagerne er lik nødvendig kraft fra spennkabel. I Figur 26 er kraften opplageren må tåle 28,92 KN per meter.



Figur 26 - Skjærkrefter ved opplager

Den største kraften opplagerne må virke med, er hvor differansen er størst på opplagerne. I vedleggene ser man alle skjær- og momentdiagrammene. Når man vet hvor store krefter kabelen må virke med går vi videre til å dimensjonere spennkabel.

Tabell 2 - Maksimum moment- og skjærkrefter - Nødvendig kraft fra spennkabel

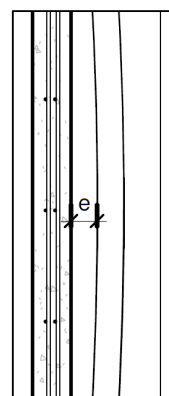
Type element	M^* [KN·m]	M^* [KN·m]	V^* [KN]	V^* [KN]	Nødv. Kraft [KN/m]
6 m – 2 ribber	+6,47	-8,94	+28,13	-34,31	62,44
8 m – 4 ribber	+5,11	-8,61	+33,87	-33,01	66,88
10 m – 5 ribber	+6,12	-11,64	+51,43	-52,10	103,53

7.2. Valg av spennkabel – Overdekning i ribbene

I dimensjonering av spennkabler blir det brukt løsninger fra leverandøren Spenneteknikk [14]. Spennkablene blir dimensjonert på grunnlag av nødvendig opplagerkraft i senter av elementene. Videre blir opplagerkreftene og spennkabelens største avstand (e) til hovedelementet målt i Revit. Se Figur 27. Dette gir grunnlaget for formelen som er brukt til å beregne nødvendig kabelstyrke:

$$N_{sp} = \frac{q * L^3}{8 * e}$$

$$\text{Dimensjonerende kabelspenn} = \frac{N_{sp} * 1.1}{0.7}$$



Figur 27 - Illustrasjon av " e "

Her er q nødvendig opplagerkraft og e er avstand fra kabel til element. 1.1 er lastfaktoren til spennkabler hentet fra NS-EN 1992-1-1:2004/NA:2008 (NA.2.4.2.2(1)). Videre er 0.7 brukt som et overlegg for å ta hensyn til tap i kablene, da den vil ha 70% av oppspent kraft som reell kraft etter tapet. Dette gir grunnlaget for å finne en dimensjonert kabel. Det blir brukt kabler fra Spenneteknikk, da de har en oversiktlig brosjyre som gir oversikt over nødvendig kabel, trekkordiameter og hvordan man skal spenne kabelen opp. Når kabeldimensjonen er funnet, bruker man denne formelen for å finne nødvendig overdekning;

$$\text{Overdekning} = \sqrt{\frac{\text{Kablens totale tverrsnitt}}{\pi} * 2 * 1.5 + 10}$$

Det er eksponeringsklassen og utførelsen av støpearbeidet som bestemmer overdekningen. I dette tilfellet er det spennkabelen som stiller krav til minimum overdekning (C_{\min}). Kabelen vil ut fra NS-EN 1992 4.2.1.2 (3) kreve en overdekning på 1.5x kabeldiameteren. Nominell overdekning (C_{nom}) er total overdekningen man må bruke. Det er da krav at C_{\min} skal økes med, C_{dev} lik 10 mm. Dette er gitt i Tabell 6 NS - EN 1992 4.4.1.3 (1).

Tabell 3 - Nødvendig spennkabel ved ulikt behov for opplagerkraft - Funnet i vedlegg 30 [14]

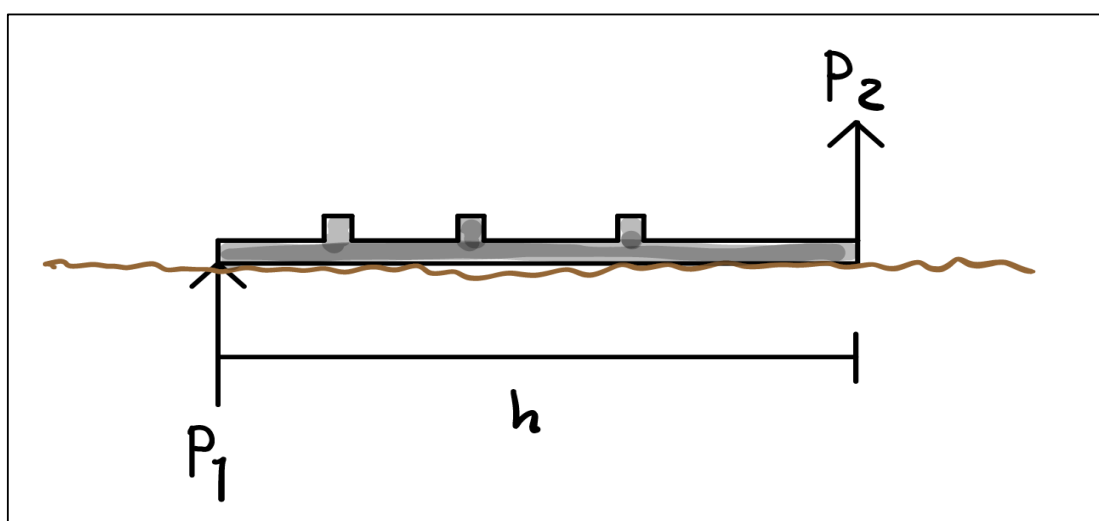
q (Dimensjonerende) (kN)	Nødvendig spenn i kabel (kN)	Spennkabeltype	Q (Dimensjonerende spennkabeltrykk) (kN)
60	1394	6 x CONA CMB SP n06-165	86
70	1627	8 x CONA CMB SP n06-140	100
80	1859	8 x CONA CMB SP n06-165	115
100	2324	12 x CONA CMB SP n06-140	143
110	2525	12 x CONA CMB SP n06-140	156

Tabell 4 - Overdekning til valgt spennkabel [14]

Spennkabeltype	Kabeldiameter (mm)	Kabelrørdiameter (mm)	Overdekning (mm)
6 x CONA CMB SP n06-165	36	70	64
8 x CONA CMB SP n06-140	38	85	67
8 x CONA CMB SP n06-165	42	85	72
12 x CONA CMB SP n06-140	48	85	81
12 x CONA CMB SP n06-140	48	85	81

7.3. Løftesystem

Etter elementet er støpt må det løftes ut av formen, her må det tas hensyn til løftemetode og vedheft som oppstår i formen. Elementet må så løftes på bil og transporteres til byggeplassen. Enkleste løft til montering ville vært å løfte fra en kortsiden (P_2) i liggende posisjon til elementet blir hengende med andre kortsiden ned. Løftet gjør elementet utsatt for et stort spenn (h) mellom løftepunkt og normalkraft fra grunn. Stort spenn med egenvekten til betong gir et moment slik;



Figur 28 - Løft fra P_2 og normalkraft fra grunn (P_1)

$$q = \text{tykkelse} \cdot \text{bredde} \cdot \text{egenvekt normalt armert betong} \quad [\text{KN/m}]$$

$$q = 0,12 \cdot 2,40 \cdot 25,00 = 7,20 \text{ KN/m}$$

$$M^* = \frac{q \cdot h^2}{8} \quad [\text{KN} \cdot \text{m}]$$

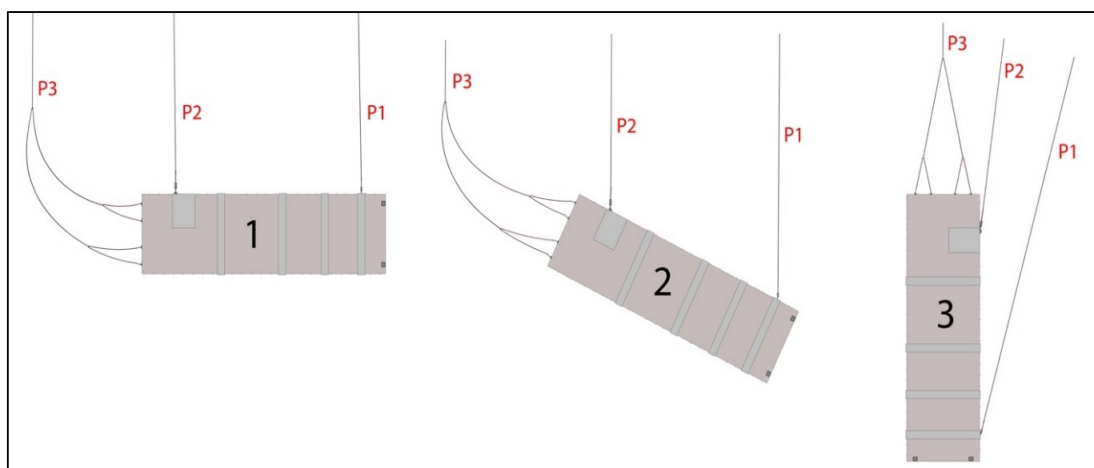
$$\textbf{Moment ved oppreisning: } M^* = \frac{7,20 \cdot 6,00^2}{8} = \textbf{32,40 KN} \cdot \textbf{m}$$

Ved å gjennomføre et mer avansert løft trenger vi ikke dimensjonere for dette momentet. Vi ser foreløpig bort fra å løfte om den største momentaksen og ser på et løft hvor elementet roteres under løftet.

Dimensjonering

For selve monteringen på byggeplass må det utføres et komplisert løft som innebærer og rotere elementet fra horisontal (langside) til vertikal stilling hvor elementet henger fra ankrene på kort side vist på Figur 29. Løftet kan ikke utføres før betongen har oppnådd en trykkfasthet på 25 MPa for at elementet skal kunne ta opp kreftene og ikke skades.

Løftet blir utført som illustrert på Figur 29. Elementet løftes først opp via P1 og P2 på lang side. Når elementet har god nok klaring over bakken senkes P1, og P2 løftes inntil P2 holder hele elementet og da er elementet nesten snudd. Da strammes kablene på kortsiden og P2 slakkes, da henger elementet vertikalt fra kortsiden.



Figur 29 - Monteringsløft

Dimensjoneringen er utført etter veiledning i Peikko manual i vedlegg 29 [15]. Først må enhetsvekt og form vedheft beregnes. Disse beregnes ut i fra geometrien til elementet.

$$\text{Elementets vekt: } F_g = V * \rho_G \text{ [kN]}$$

$$\text{Form vedheft: } F_{adh} = q_{adh} * A_f \text{ [kN]}$$

For å beregne kreftene ankerene må kunne håndtere trenger vi dynamisk faktor « Ψ_{dyn} », denne henter vi fra tabell 24 i «KK løftesystem, teknisk veiledning». Det blir brukt mobilkran dermed er dynamisk faktor 1,3. Elementet må støpes i oljet stålform eller oljet plastbelagt kryssfiner form slik at formafhesjonen blir $q_{adh} \geq 1,0 \text{ kN/m}^2$.

Det blir brukt 3 lasttilfeller for å beregne løftet:

Lasttilfelle 1: Enhetsvekt + dynamisk last + diagonalt løft F_Z . Denne gir krefter pr. Anker i kN ved diagonalt løft.

$$F_Z = F_G * \Psi_{dyn} * \frac{Z}{n} \text{ [kN]}$$

Lasttilfelle 2: Enhetsvekt + vedheft + tilt-up med diagonalløft.

$$F_Q = \left(\frac{F_G}{2} + F_{adh} \right) * \frac{Z}{n} \text{ [kN]}$$

Lasttilfelle 3: Enhetsvekt + dynamisk last + tilt-up med diagonalt løft

$$F_{QZ} = \left(\frac{F_G}{2} \right) * \Psi_{dyn} * \frac{Z}{n} \text{ [kN]}$$

Resultat

I valg av anker som skal håndtere kreftene må man bruke løfteåk i alle løft hvor vinkelen ikke overstiger 12,5 grader. Det blir løftet etter 4 punkt på kortsiden og 2 på langsiden. Elementet må transporteres vertikalt på siden som vist på Figur 29 og løftes fra samme stilling under montasje.

Dette gir resultatene

Tabell 5 - Resultat lasttilfeller ved løft

Element høyde	6m [KN]	8m [KN]	10m [KN]
Element vekt F_G	64,24	74,66	76,82
Formvedheft F_{adh}	21,27	24,77	25,58
Tilt-up lang side F_{QZ}	26,70	31,05	31,99
Løft lang side F_Z	41,76	48,53	49,93
Løft kort side F_Z	21,39	24,85	25,57
Rotasjons løft $P_2 (F_Z)$	86,54	99,41	102,29

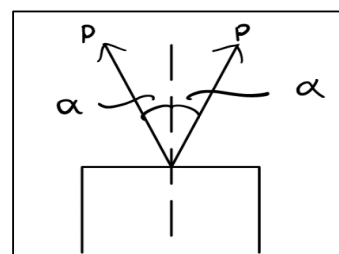
Ut fra disse beregningene velger vi følgende løfteanker

Tabell 6 - Valg av løfteanker

Element høyde	6m	8m	10m
Kort side	KKS2,5x520	KKS2,5x520	KKS2,520
Langside P1	SRA36Mx690	SRA36x690	SRA52x950
Langside P2	SRA52x950	SRA52x950	SRA52x950

Behov for løftekapasitet har ført til valget av to løfteanker av type SRA36x690 i P1 og SRA52x950 i P2 [16]. Kapasiteten til ankerene oppnås når disse er innstøpt i ribbene på langsiden av veggen slik at kravene om veggykkelse oppfylles. Disse vil bli brukt til å løfte veggen ut av støpeformen, håndtering på fabrikk og til å laste på transport. Ved montering av veggen på byggeplass trengs det innstøpte ankre på kortsiden av veggen. Det støpes inn fire ankre av KKS2,5X520 [15] i P3 slik at veggen kan være tynnere enn ved bruk av færre ankere.

Ankere på kortsiden krever ekstra armering hvis vinkelen (α) er større enn 12,5 grader. I snuoperasjonen vil ankerene være utsatt for en vinkel over 12,5 grader, men det antas at kraften som skal til før ankeret er innen 12,5 grader er betydelig mindre enn kapasiteten til ankeret. Dermed ses det bort fra behov for skråarmering til ankerene på kortsiden til elementet.



Figur 30 - Vinkelforklaring løfteanker

7.4. Overdekning og klassifisering

Overdekningen som er dimensjonerende for områder hvor spennkabelen ikke stiller krav er gitt i tabell 4.1 i NS-EN 1992.

Tabell 7 Tabell 4.1 i NS-EN 1992

XS1	Utsatt for luftbårne klorider, men ikke i direkte kontakt med sjøvann	Konstruksjoner nær eller på kysten.
-----	---	-------------------------------------

Ut fra standarden ble eksponeringsklasse XS1 valgt siden betongen skal være behandlet med vanntett overflatebehandling på innside og kanten på toppen. Dette gjøre at betongen bare er utsatt for luftbårne klorider på utsiden av betongkaret.

Tabell 8 Tabell 4.3N i NS-EN 1992

Konstruksjonsklasse							
Kriterium	Eksponeringsklasse etter tabell 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Dimensjonerende brukstid lik 100 år	klassen økes med 2	klassen økes med 2	klassen økes med 2	klassen økes med 2	klassen økes med 2	klassen økes med 2	klassen økes med 2
Fasthetsklasse ^{1) 2)}	≥ C30/37 klassen reduseres med 1	≥ C30/37 klassen reduseres med 1	≥ C35/45 klassen reduseres med 1	≥ C40/50 klassen reduseres med 1	≥ C40/50 klassen reduseres med 1	≥ C40/50 klassen reduseres med 1	≥ C45/55 klassen reduseres med 1
Konstruksjonsdel med plategeometri (armerings plassering ikke påvirket av byggeprosessen)	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1
Spesiell kvalitetskontroll av betongproduksjonen er krevd	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1	klassen reduseres med 1

Tabell 4.3N i NS-EN 1992 anbefaler videre at overdekningen kan reduseres dersom konstruksjonen tilfredsstillte gitte konstruksjonskriterium. Her tilfredsstillte konstruksjonen kriteriet vedrørende plategeometri, og spesiell kvalitetskontroll.

Tabell 9 Tabell 4.2 i NS-EN 1992

Miljøkrav for $c_{min,dur}$ (mm)							
Konstruksjons-klasse	Eksponeringsklasse etter tabell 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

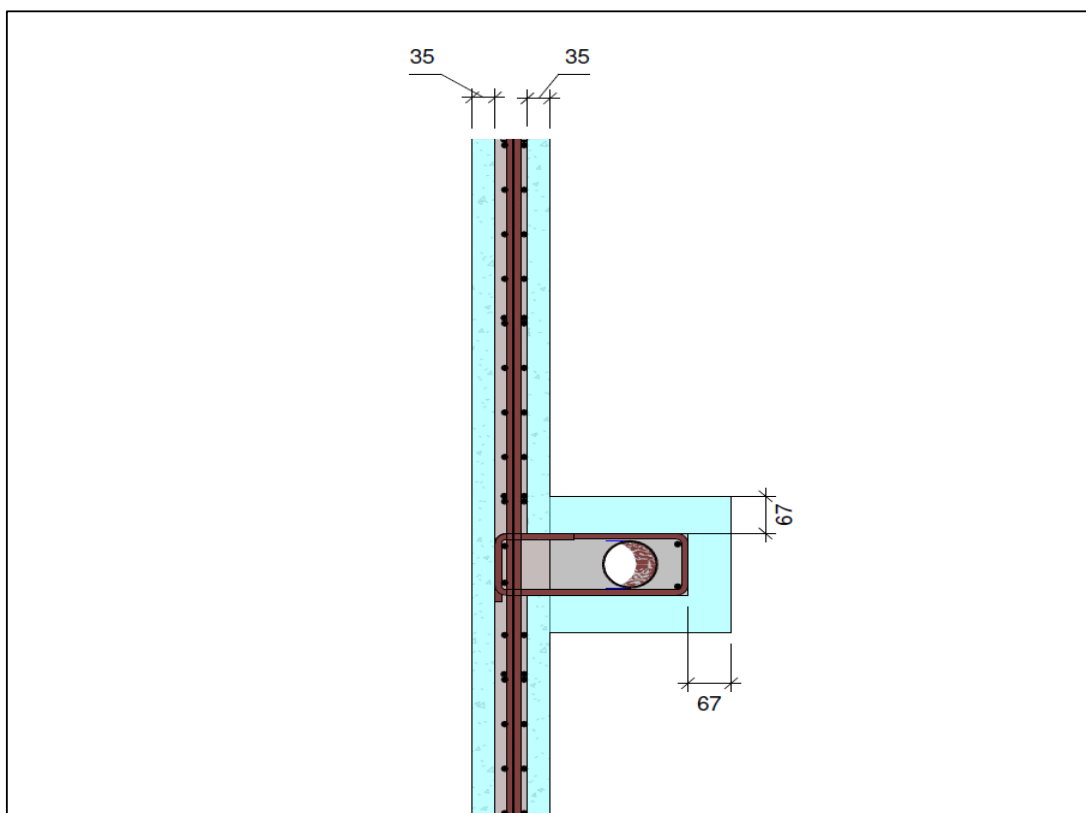
Dette gjør at overdekningen som er gitt av tabell 4.4N i NS-EN 1992 kan reduseres med 2 konstruksjonsklasser. Det gir en reduksjon fra konstruksjonsklasse S4 som er standard for konstruksjoner med brukstid 50 år, gitt av tabell 4.2 i NS-EN 1992. Reduksjonen er 2, som fører til den dimensjonerende konstruksjonsklassen S2. S2 er større en S1, som er anbefalt laveste konstruksjonsklasse fra NS-EN 1992 (4.4.1.2(5)). Dette gir en dimensjonerende overdekning, C_{min} , på 25 mm, ifølge tabell 4.4N i NS-EN 1992.

Her blir valget å dimensjonere med hensyn på pris, fremfor til sikker side, som er grunnen til at reduksjonen blir brukt. Det var også mulig å redusere overdekningen med ytterligere 5 mm som følge av NA.4.4.1.3. Denne reduksjonen stiller omfattende krav, som fører til at den blir valgt bort. I Figur 31 ser vi overdekningen til seks og åtte meter veggelement.

Beregning for nødvendig overdekning til vanlig armering blir:

$$C_{nom} = C_{min} + C_{dev} \quad [mm]$$

$$C_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

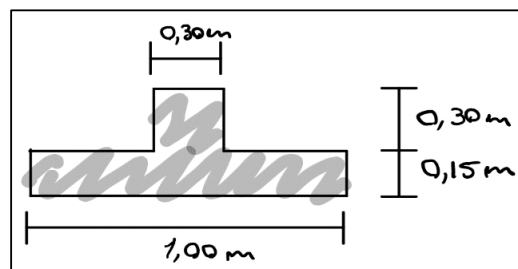


Figur 31 – Overdekning - figur fra Revit

7.5. Lasttilfelle 1 – Kar uten vann - Horisontalarmering

Kreftene som skaper tøyninger i denne retningen må identifiseres. Det er to tilfeller hvor det skapes tøyninger i denne retningen, kraften fra spennkablene og når elementet ligger flatt og skal løftes opp om den minste momentaksen. Egenvekten til normalt armert betong er 25 KN/m^3 . Beregner hvor stort momentet blir ved først å finne tverrsnittarealet til en meter av elementet. Tverrsnittet inkluderer en ribbe for å finne det største momentet. Bruker at ribben er $30 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm}$ og at tykkelsen er lik 150 mm .

Arealet til tverrsnittet multipliserer man med egenvekten for å finne en jevnt fordelt last over elementet. Så kan man finne ut hvor stort momentet blir ved å bruke formelen for M^* . Formlene for å beregne V^* og M^* for en fritt opplagt bjelke er;



Figur 32 - Beregning av tverrsnittareal - Tegnforklaring

$$V^* = \frac{Q \cdot L}{2} \quad [\text{KN}/\text{m}]$$

$$M^* = \frac{Q \cdot L^2}{8} \quad [\text{KN} \cdot \text{m}]$$

$$\text{Tverrsnittsareal 1 meter: } A = 1,00\text{m} \cdot 0,15\text{m} + 0,30\text{m} \cdot 0,30\text{m} = 0,24\text{m}^2$$

$$\text{Jevnt fordelt last sett ovenfra: } Q = 0,24\text{m}^2 \cdot 25,00 \text{ KN}/\text{m}^3 = 6,00 \text{ KN}/\text{m}$$

$$\text{Maks moment ved løft: } M^* = \frac{6,00 \text{ KN}/\text{m} \cdot (2,45\text{m})^2}{8} = 4,50 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Dette er momentet til et ti meter høyt element, og det er større enn momentet som oppstår ved løft i seks og åtte meter høye element. Går så videre for å beregne kreftene fra spennkablene når karet er tomt.

Sikkerhetsfaktorer for spennkabel gjør at Q blir større enn q . Man bruker Q til videre beregninger av V^* og M^* . For å kunne gjøre raske endringer er det benyttet et Excel ark med formlene for V^* og M^* . I Tabell 10 ser man at momentet her er større enn ved løftet. Kreftene fra spennkabel blir dermed dimensjonerende for horisontal armering.

Tabell 10 - Valg av kabel - Maksimum moment- og skjærkrefter fra kabel

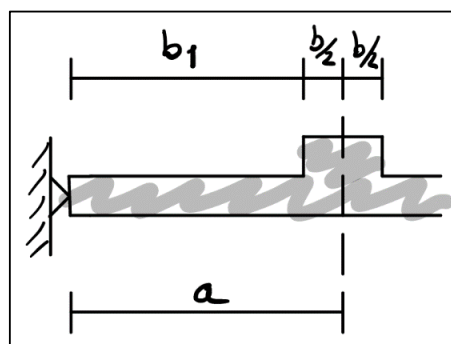
Elementtype	q [KN/m]	Q [KN/m]	M^* [KN·m]	V^* [KN/m]
6 m - 2 ribber	62,44	143,00	111,72	178,75
8 m - 4 ribber	66,88	143,00	111,72	178,75
10 m - 5 ribber	103,53	156,00	121,88	195,00

Dimensjonere DLB tverrsnitt

BT snitt brukes til å beregne kapasiteten til snittet. Trenger derfor dimensjonene til tverrsnittet. Bjelkesnittet er av typen DLB. Grunnet spesifikke krav til overdekning ved bruk av spennkabel bestemmes størrelsen på ribbene av hvilken type spennkabel og trekkør som brukes. I beregninger av løfteanker er det en vektbegrensning som avgjør hvor mange ribber som kan brukes. Åtte og seks meter høye elementer krever samme kabel. Ti meter høye elementer krever større kabel og annerledes overdekning.

Det må bestemmes hvor stor del av elementet man kan beregne som flensen til bjelken. Hvor stor den kan være er bestemt av hvor stor avstanden er fra nederste ribbe til bunn. Man beregner avstanden b_1 slik;

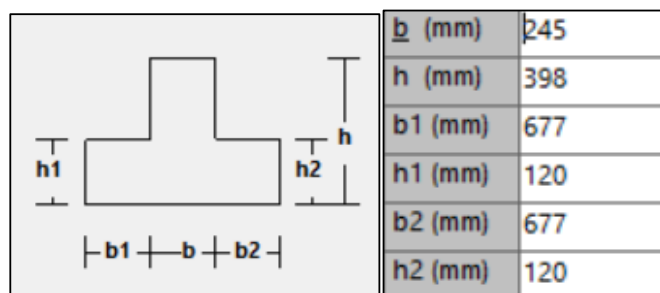
$$b_1 = a - \frac{b}{2} \quad [\text{mm}]$$



Figur 33 - Bestemme flens bredde (b_1) - Tegnforklaring

Tabell 11 - Størrelse på flens

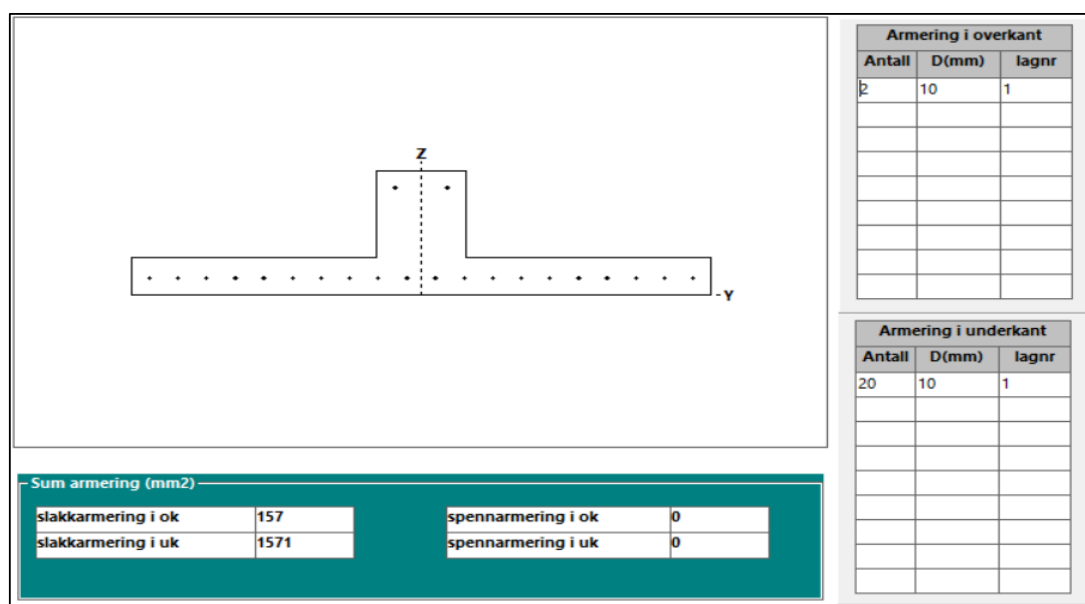
Elementtype	b (mm)	b_1 (mm)
6 m - 2 ribber	245	678
8 m - 4 ribber	245	678
10 m - 5 ribber	300	850



Figur 34 - Tverrsnittmål i BT snitt for 6 og 8 meter veggelementer

Når tverrsnitts areal er definert går man videre og legger inn materialdata, overdekning og krefter. I Norsk standard punkt 3.1.4(5) a) står det at relativ fuktighet innendørs er lik 40%, og 3.1.4(5) b) at relativ fuktighet utendørs er lik 80%. I håndbok N400 punkt 7.2.3 står det at brukonstruksjoner skal bruke 70% som relativ fuktighet. Siden vår konstruksjon er i et fuktig klima, men ikke utendørs velges relativ fuktighet lik 70%. Velger B35 betong, og stor korrosjonsømfintlig armering med minimum nominell overdekning lik 35 mm, og avstand til kant så liten som mulig. Pålitelighetsklasse velges ut fra tabell NA-A1 (901). Grunnet stort økonomisk tap ved konstruksjonssvikt brukes pålitelighetsklasse 3.

Det står i BT snitt at positivt moment gir strekk i overkant. En fritt opplagt bjelke med en jevnt fordelt last vil ha strekk i underkant og endrer derfor fortegn på M^* . Videre legges V^* inn, og programmet utfører moment-, skjær- og risskontroll. Figur 35 viser horisontalarmering for seks og åtte meter veggelement.



Figur 35 - Horisontal armering i 6 meter og 8 meter veggelement

Momentkontroll. Lasttilfelle nr 1		Skjærkontroll. Lasttilfelle nr 1		Risskontroll. Lasttilfelle nr 1	
N+Nsp+tap	0,0	Vgamma (kN)	178,8	N (kN)	0,0
M+Msp+tap	-167,6	Vredusert (kN)	178,8	M (kNm)	-111,7
M/Md	0,88	Vccd Trykkbr.	379,0	Min. overdekning	35
toyning i ok	-,00197	Vcd (uarmert).	71,8	Overdekning (mm)	35
toyning i uk	,00252	Stat.nødv(mm2/m)	1075	Største rissavstand (mm)	316
SigmaC i ok	-19,70	Min.arm. (mm2/m)	290	Beregnet rissvidde(mm)	0,225
SigmaC i uk	0,00	Maks bøyleavstand	174	tillatt rissvidde	0,390
SigmaS i ok					

Figur 36 - Kontroll horisontal armering 6 og 8 meter veggelement

Figur 36 viser tallene fra gjennomført kontrollberegninger i BT snitt. Momentkontrollen beregner M/M_d . Det er forholdet mellom moment og momentkapasitet. Forholdstall over 1,00 vil si at konstruksjonen ikke klarer å ta opp momentet og det kommer en feilmelding fra programmet. Kan da øke stålarealet i strekksonen (Ast) for at momentkapasiteten skal øke, og da reduseres forholdstallet. Forholdstall ned mot 0 viser dårlig utnyttelse. Det gjøres kontrollberegninger for å se at momentkapasiteten i BT snitt er reell. Vedlegg 31 viser kontrollberegning for hånd og man ser at kapasiteten som kommer fra BT snitt er tilnærmet lik.

Skjærkontrollen gir ut minimum skjærarmering (min.arm), nødvendig statisk skjærarmering (stat.nødv) og maks bøyleavstand. Man må bruke det største kravet fra disse. Bruker verdiene for skjærarmering videre i detaljtegninger.

Risskontrollen viser minimum overdekning, valgt overdekning, største rissavstand, beregnet rissvidde og tillatt rissvidde. Riss i denne konstruksjonen har så store konsekvenser at det ønskes liten rissvidde.

Tallene i kontrollene analyseres for over- eller underdimensjonering. Overdimensjonering er normalt hvor kreftene er så små at minimumsarmering ikke klarer å bli utnyttet. Hvis konstruksjonen er overdimensjonert bør det begrunnes. En optimal konstruksjon utnytter potensialet, men det er ikke alltid dette lar seg gjøre.

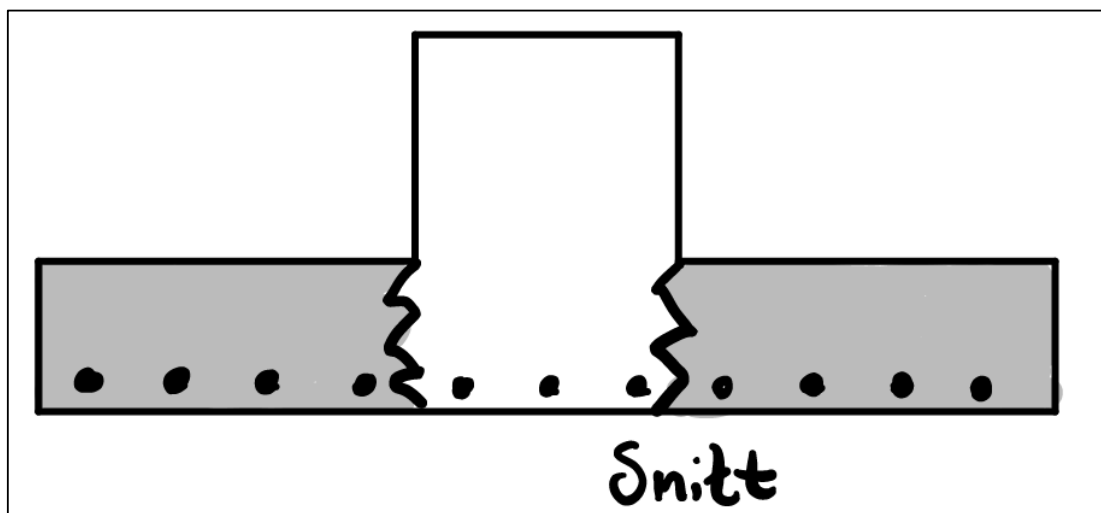
Vi bruker kontrollert senteravstand på hele elementet.

7.6. Lasttilfelle 2 – Kar med vann - Vertikalarmering

I prosjekteringen mangler vertikalarmering. Dette er dimensjonering av armering som tar opp tøyninger i vertikal retning. Man sjekker og behov for skjærarmering.

Dimensjonerende skjærkrefter

Vertikal armering behøves for at kreftene fra ribbene skal føres ut av bøyingsplan og blir tatt opp av armering utenfor hoved tverrsnittet. Kraften bestemmes av andel trykk eller strekk som er utenfor hoved tverrsnittet. Farget området i Figur 37 er areal utenfor hoved tverrsnittet.



Figur 37 - Skjærkrefter ved ribber

Skjærkraften som oppstår i ribbene virker i en retning slik at den må betraktes i dimensjonering av vertikal armering. Hvis skjærkraften i snittet (V_{snitt}) er større enn V^* til dekket, blir V_{snitt} den dimensjonerende skjærkraften, altså;

$$V_{snitt} = \frac{b_1}{b_1 + b + b_2} \cdot Q$$

hvis $V_{snitt} > V^*$, er V_{snitt} dimensjonerende skjærkraft

V^* på hele elementer er kjent i starten av dimensjoneringen. Excel blir brukt for å beregne V_{snitt} . Endringer kan gjøres for å se hvor stor weben kan være før V_{snitt} er større enn V^* . Dekke ønskes å være minst og lettest mulig. Dermed ønskes det ikke skjærarmering. I beregningene ser vi at kraften fra kabelen er stor nok til at V_{snitt} blir dimensjonerende skjærkraft i elementet.

Tabell 12 - Dimensjonerende krefter til beregninger for vertikalarmering

Elementtype	b (mm)	b_l (mm)	V_{snitt} [KN/m]	V^* vertikal [KN/m]	M^* [KN·m]	M^* [KN·m]
6 m - 2 ribber	245	677,5	60,55	34,31	+6,47	-8,94
8 m - 4 ribber	245	677,5	60,98	33,87	+5,11	-8,61
10 m - 5 ribber	300	850	66,30	52,10	+6,12	-11,64

I norsk standard er det en begrensning til hvor stor senteravstand som anbefales. I kapittel 9.6.2.3(3) står det «senteravstanden mellom vertikalarmeringen skal ikke være større enn 3 ganger veggtykkelsen eller 400 mm, avhengig av hvilken verdi som er minst.»

Elementtykkelsen på seks og åtte meter er lik 120 mm og dermed kan ikke senteravstand være større enn 360 mm. Elementtykkelsen til elementet på ti meter er lik 150 mm og da blir maks senteravstand 400 mm.

I robot er statiske beregninger gjort per meter. Derfor bruker man en meter bredde på armeringskontroll i BT snitt.

Armeringsdata - Slakkarmering - Dekke

Benytte standard diameter

Hjelp Generelle armeringsdata Avbryt OK

Armering i overkant		
cc(mm)	D(mm)	lagnr
100	10	1

Armering i underkant		
cc(mm)	D(mm)	lagnr

Sum armering (mm2)			
slakkarmering i ok	785	spennarmering i ok	0
slakkarmering i uk	0	spennarmering i uk	0

Figur 38 - Vertikalarmering til 6, 8 og 10 meter veggelementer

I kontrollen BT snitt utfører, ser vi at V_{snitt} med størst mulig lengde på weben gir ikke behov for skjærarmering. Hvis snittet skal være godt unyttet kunne man redusert senteravstand, men da kreves skjærarmering.

Man har nå kontrollberegnet armeringen i vertikal retning for verste utfall. Verdiene for kontrollen vises i Figur 39. Det er nødvendig med vertikalarmering i underkant for bøyninger i andre retning. Momentet her er mindre, men velger også CC100 ø10 her. Da er det ikke behov for skjærarmering og det er likt i både overkant og underkant.

Momentkontroll. Lasttilfelle nr 1		Skjærkontroll. Lasttilfelle nr 1		Risskontroll. Lasttilfelle nr 1	
N+Nsp+tap	0,0	Vgamma (kN)	61,0	N (kN)	0,0
M+Msp+tap	13,4	Vredusert (kN)	61,0	M (kNm)	8,9
M/Md	0,56	Vccd Trykkbr.	355,3	Min. overdekning	35
toyning i ok	,00229	Vcd (uarmert).	61,9	Overdekning (mm)	35
toyning i uk	-,00076	Stat.nodv(mm ² /m)	0	Største rissavstand (mm)	239
SigmaC i ok	0,00	Min.arm. (mm ² /m)	0	Beregnet rissvidde(mm)	0,115
SigmaC i uk	-11,17	Maks bøyleavstand	23	tillatt rissvidde	0,260
SigmaS i ok					

Figur 39 – Kontrollberegning for vertikal armering 6 meter og 8 meter veggelementer

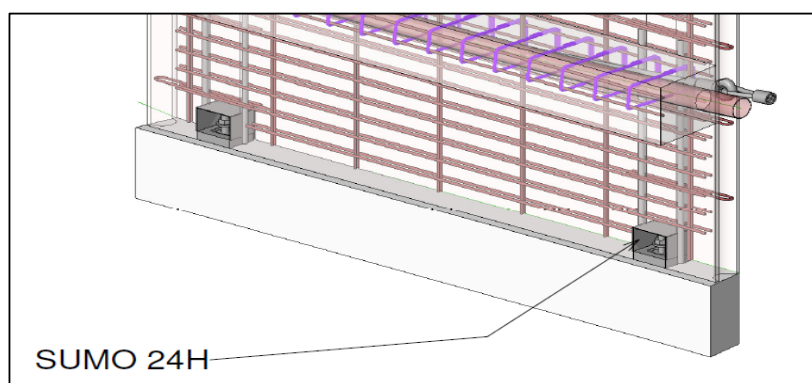
7.7. Kraftoverføring

Kraftoverføring i bunn skjer ved bruk av anker bolt som støpes i fundamentet. Veggelementene festes ved *SUMO® Wall Shoe* [17].

Det er en standardisert og skalerbar kobling som støpes inn i elementene og monteres på boltene som Figur 42 illustrerer. Det er valgt en antatt størrelse på wall shoe [17].



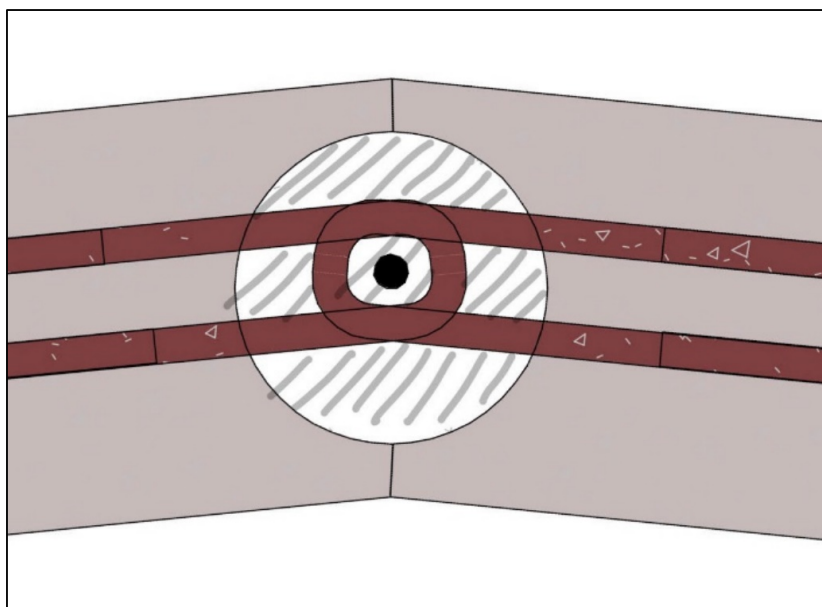
41- SUMO® Wall Shoe



Figur 42 - SUMO® Wall Shoe i tegning fra revit

Når elementene monteres sammen danner de skjøter. Skjøtene må være i stand til kraftoverføring. Når karet er uten vann (lasttilfelle 1) oppstår det skjærkrefter i skjøtene. Skjærkreftene er beregnet i Tabell 10. I oppgaven er det valgt et forslag til metode for sammenkoblingen og forslag til armering. Det er ikke utført vurdering av kapasitet til armeringen i skjøtene, men det presenteres et forslag i armerings tegninger.

Utføringen under montering er å sørge for at horisontale armeringsjern overlapper så mye at det er plass til et jern i sirkelen som dannes. Et vertikalt armeringsjern plasseres og det støpes med ekspanderende- eller vanlig mørtel. Ved ønske for ekstra vedheft til armeringsjern kan det benyttes lim. Limen påføres slik at den er våt når det støpes. Eksempel på dette er en epoxybasert lim. Figur 43 viser tegning fra Revit. Maskert felt rundt armering illustrerer fyllingsmasse i form av mørtel.

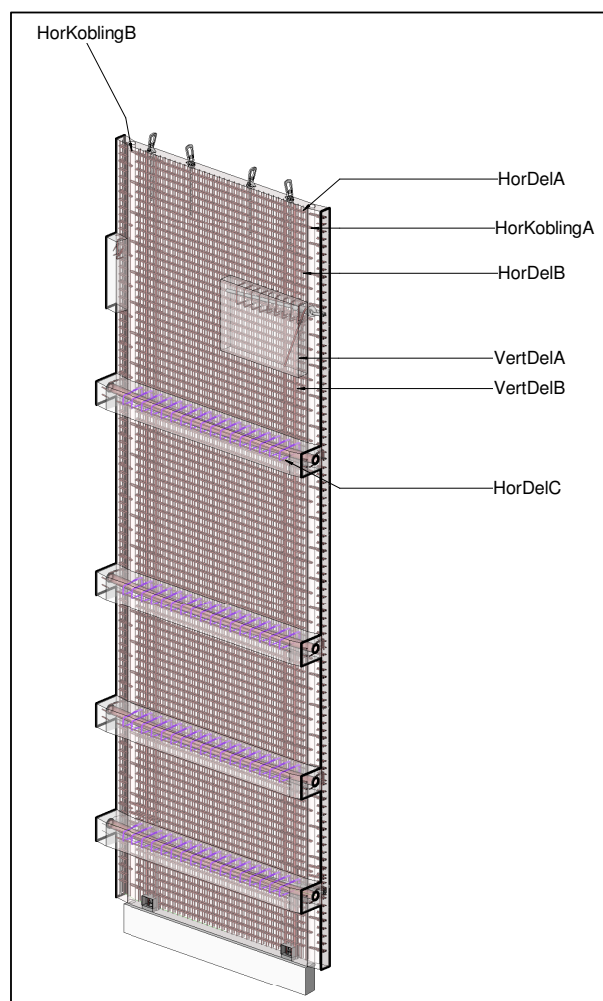


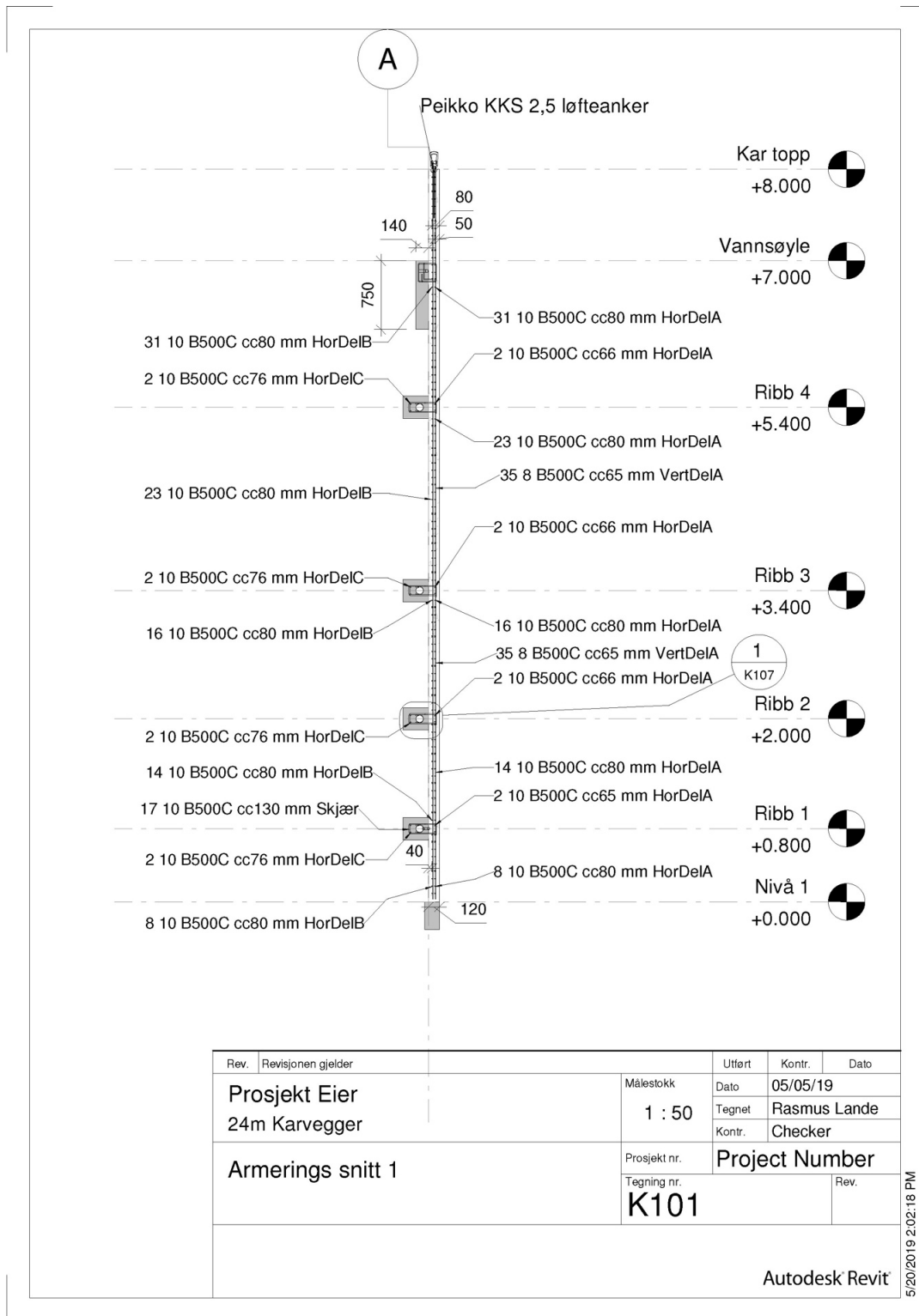
Figur 43 - Vertikal skjøt fra Revit

7.8. Armerings tegninger

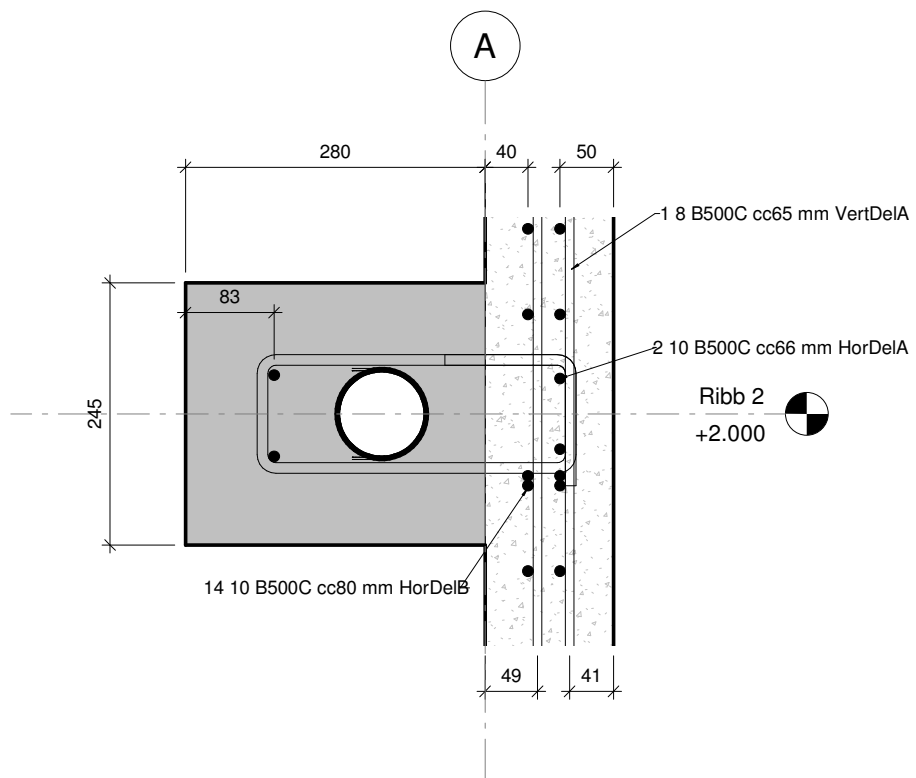
All dimensjonering er utført i henhold til norsk betongstandard. Revit brukes her til å lage armerings- og detaljtegninger som skal brukes til produksjon av elementene. Her presenteres armerings tegninger til det åtte meter høye fiskekaret. Figur 44 er et vertikalt snitt som viser oversikt over dimensjonene til elementet, armeringsjern, senteravstand og løfteanker. Figur 45 er et vertikalt snitt av ribben, som viser armeringsjern og spennkabel. Figur 46 er et horisontalt snitt av armeringsjern i elementet. Resterende armerings tegninger blir lagt ved rapporten.

- HorDelA → horisontal armering side mot vann
- HorDelB → Horizontal armering side mot ribber
- HorDelC → horisontal armering i ribber
- VertDelA → Vertikal armering side mot vann
- VertDelB → Vertikal armering side mot ribber
- Skjær → Skjær armerings bøyer i ribber





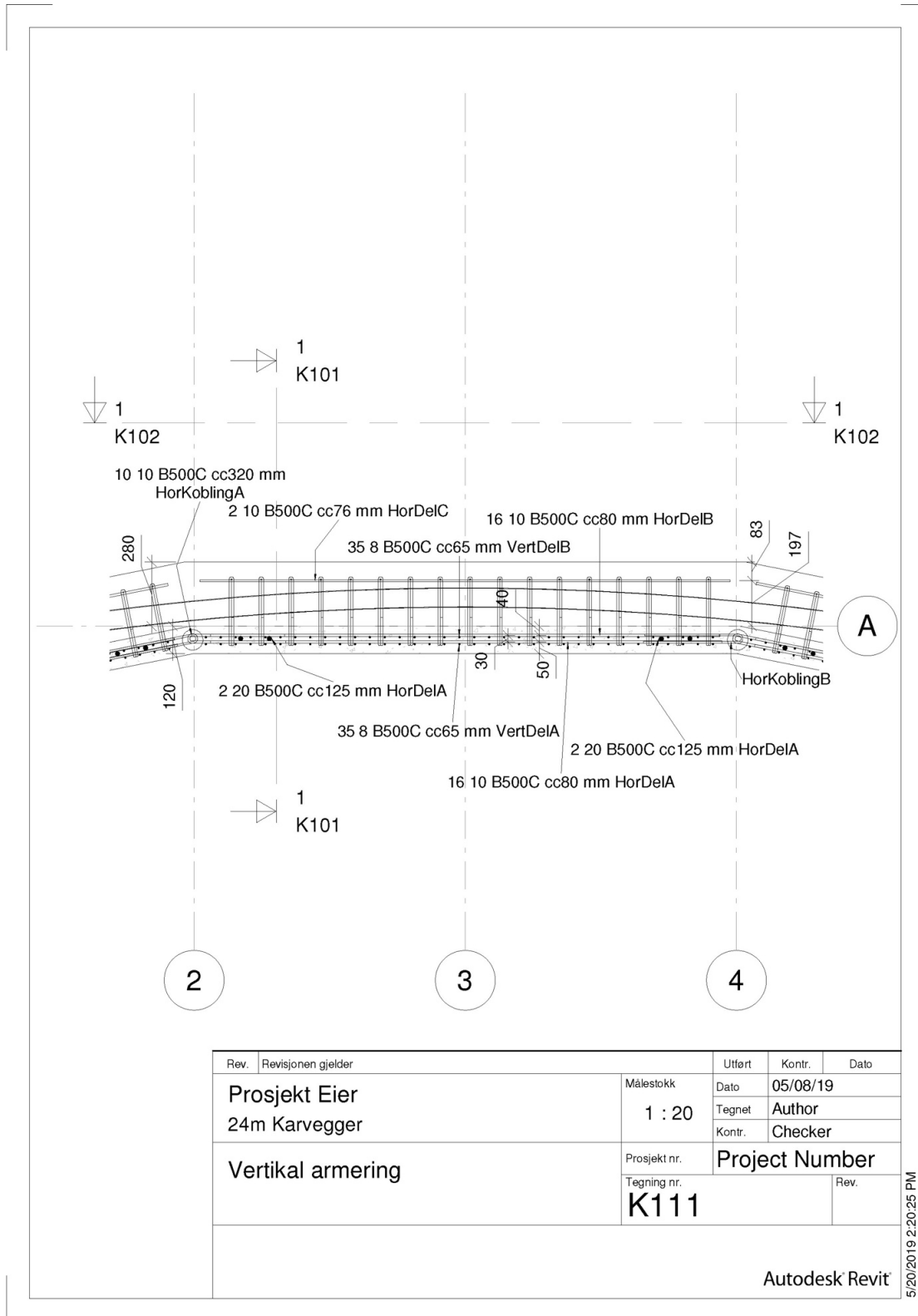
Figur 44 Vertikalt armerings snitt



Rev.	Revisjonen gjelder	Utført	Kontr.	Dato
Prosjekt Eier 24m Karvegger		Målestokk 1 : 5	Dato	05/07/19
Ribb 2 callout 1		Prosjekt nr.	Tegnet	Rasmus Lande
		Tegning nr.	Kontr.	Checker
		Project Number	Rev.	
		K107		
Autodesk Revit				

5/20/2019 2:02:19 PM

Figur 45 Armerings detalj 1 for Ribb 2



Figur 46 - Horisontalarmering snitt

8. Diskusjon

Utfordringer underveis har vært å ta avgjørelser som påvirker det statiske systemet. Dette har tatt tid på grunn av lite erfaring. Det har vært nødvendig å gjøre antagelser om hvordan det statiske systemet er og dette har betydning for kapasiteten til konstruksjonene. For utenom disse antagelsene er det brukt løsninger som gir gode forutsetninger for produksjonen.

Videre antagelser som er tatt for å få et gjennomførbart resultat er fremgangsmåte ved utregninger i beregningsprogram, tolkning av manualer, og ved sammenligning av utforming av betongkar.

Tre forskjellige karstørrelser har gått gjennom samme prosjekteringsmetode. Utformingen er lik og det er få variasjoner i dimensjoneringen. Variasjonen på elementveggene er antall ribber og størrelse på ribbene, horisontal-, vertikal- og skjærarmering, boltkoblinger, kraftoverføring og løftesystem.

Veggelementene på seks og åtte meter har lik tykkelse på veggen, like ribber, samme armering, boltkoblinger, kraftoverføringsystem og løftesystem. Ti meter har andre størrelser grunnet krav fra løftesystem. Løftesystemet til ti meter har større krav til tykkelse på vegg og armering. Større krav til spennkabel endret behov for overdekning i ribbene. Ulike dimensjoner har gjort at prosjekteringsmetoden er blitt testet, og endringer var raskt gjort på grunn av lik fremgangsmåte.

Karene som er prosjektert er standardisert og montasje kan utføres tilnærmet likt hver gang. Prefabrikkert betong bidrar til at overflatebehandling ikke behøver å være utsatt for krefter som oppstår under herdeprosessen sammenlignet med plasstøpt betong. En utfordring kan være å motvirke riss og sprekker i skjøtene. Dette er ikke vurdert i detalj, men tiltak som ekstra sikkerhetsfaktor på spennkablene kan bidra til å motvirke deformasjon i skjøtene.

Metoden kan bli optimalisert over tid ved å identifisere hvilke punkter som kan utbedres. Det kan være mulig å bruke andre løsninger for valg av komponenter. Eksempelvis kunne en erstatter for spennkabler vært en stålramme. For å kunne gå gjennom prosjekteringen til flere kar er det ikke utført sammenligning av slike muligheter.

Videre anbefales prosjektering av et kar som optimaliseres med vurdering av flere løsninger. Vist i oppgaven kan metoden skaleres og over tid kan metoden utbedres. Det anbefales å foreta kontrollberegninger av fagpersonell slik at konstruksjonen ikke blir feildimensjonert.

Vi har utført beregning ved å bruke to beregningsprogrammer og kontroll ved håndberegninger. Litteraturen vi har benyttet er faglitteratur i akva og generell litteratur om betong. Dette har gitt oss en trygghet på at prosjekteringen er gjennomførbar, og at vi kan konkludere med følgende.

9. Konklusjon

Tre forskjellige karstørrelser viser seg å være mulig å dimensjonere ved en lik prosjekteringsmetode som er utført i henhold til Norsk Standard. En metode kan bli optimalisert gjennom tid ved å identifisere hvilke punkter som kan utbedres. Selv med antagelser kan vi konkludere med at oppgaven har bevist at det er mulig å standardisere en skalerbar prosjekteringsmetode ved bruk av prefabrikkert betong.

Etterord

Gruppearbeidet har fungert bra ettersom vi tidlig ble enig om arbeidsmengde og retning på oppgaven. Vi har utfyllt hverandre og det har vært en fordel med både ulike bakgrunn og egenskaper.

Oppgaven har hatt en lærerik, utfordrende og spennende gjennomføring. Tidligere erfaring fra oppdrett og deltakelse i produksjon av landbasert akvakultur, samt en felles interesse for oppdrettsnæringen har vært drivkraften i utførelse av oppgaven. Å mestre å gjennomføre en slik utviklingsoppgave gjør oss selvsikre på at vi videre tar med oss kunnskap innhentet gjennom studietiden.

I løpet av noen år ville det vært interessant å se tall som representerer virkelig gevinst ved bruk av en standardisert metode. Videre kunne det vært interessant å kontrollere dimensjoneringen vår og gjort en fullstendig dimensjonering og sammenlignet den med vår metode.

Referanseliste

- [1] J. Time, «Lakseoppdrett i ørkenen er nå mulig med utstyr fra AKVA group,» 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://blog.akvagroup.com/nyheter/lakseoppdrett-i-orkenen-er-na-mulig-med-utstyr-fra-akva-group>
- [2] B. Bjerkestrand, T. Bolstad og S.-J. Hansen, «Akvakultur,», 2011. Hentet: 10.01.2019.
- [3] B. M. AS, «Bulandet Miljøfisk,». <https://www.bulandetmiljofisk.no/>: Bulandet Miljøfisk AS, 2019. Tilgjengelig: <https://www.bulandetmiljofisk.no/>, Hentet: 14.04.2019.
- [4] J. V. Thue, «betong – Store norske leksikon,» 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://snl.no/betong>, Hentet: 27.04.
- [5] «Uredd rasteplass,»: Byggutengrenser. Tilgjengelig: <https://www.byggutengrenser.no/portfolio-items/uredd-rasteplass/>, Hentet: 14.03.2019.
- [6] r. Marie, «Forskaling, armeringsjern og betong,», 2011. Tilgjengelig: <http://ragnhildmarie.com/husbygging-bygge-hus-terreng-graving-fundament/forskaling-armeringsjern-og-betong/>, Hentet: 5.03.2019.
- [7] D. B. Wiki, «Precast concrete cladding,», 2017. Tilgjengelig: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Precast_concrete_cladding, Hentet: 9.04.2019.
- [8] R. M. Alvær, *Betongteknologi*. 2012.
- [9] J. J. Jensen, «Spennarmert betong,» 2004. [Online]. Tilgjengelig: https://no.wikipedia.org/wiki/Spennarmert_betong, Hentet: 5.03.2019.
- [10] G. Nordbotten, «Spennarmering,» 2014. [Online]. Tilgjengelig: https://www.vegvesen.no/_attachment/703536/binary/988848?fast_title=Spennarmering.pdf, Hentet: 14.04.
- [11] i. Autodesk, «Autodesk Robot Structural Analysis Professional,», 2010. Tilgjengelig: <https://www.cadac.com/media/3133/autodesk-structural-analysis-professional.pdf>
- [12] Wikipedia, «Autodesk Revit --- {Wikipedia}, The Free Encyclopedia,» 2019. [Online]. Tilgjengelig: https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit
- [13] f. s. AS, «Ove Sletten,», 2019. Tilgjengelig: <https://www.focus.no/ove-sletten/>
- [14] BBRNETWORK, «European Technical Assessment ETA – 10/0065,» 2016. [Online]. Tilgjengelig: http://www.bbrnetwork.com/fileadmin/bbr_network/PDFs/Approvals/CMB/BBR_ETA-10-0065_CMB_EN_Rev3_0616.pdf, Hentet: 3.04.2019.
- [15] Peiko, «KK Løftesystem,»: Peiko, 2017. Tilgjengelig: <https://media.peikko.com/file/dl/i/Zq6V7A/3UbwU676w7uQPByZ3Bdedw/KKLftesystemTekniskManual001.pdf>

[16] Peikko, «JENKA lifting system,» 2016. [Online]. Tilgjengelig: https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/m0M16w/msWAH531Mkix-Noay6GQ_Q/JENKALiftingSystemPeikkoGroup002TMAWeb.pdf

[17] P. Group, «SUMO® Wall Shoe — For Bolted Wall Connections,» 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.peikko.com/products/product/sumo-wall-shoe/photos-and-videos/>, Hentet: 04.04.