



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Prosjektering av flytebrygge for Stamsneset
dokkanlegg

Designing a floating pier for Stamsneset dock
facility

Rolf Bjordal

Marius Midtun Egeland

Henrik Rekdal Eidheim

BYG150 Bacheloroppgave - Bygg

Institutt for byggfag

Trond Einar Martinsen

25. mai 2020

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, § 12-1.

Forord

Denne rapporten er en del av det avsluttende arbeidet på bachelorgraden byggingeniør ved institutt for byggfag på Høgskulen på Vestlandet (HVL) avdeling Bergen. Rapporten utgjør 20 studiepoeng og utføres i samarbeid med firmaet Endúr Sjøsterk våren 2020.

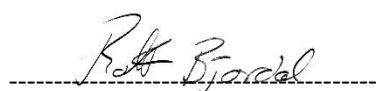
Rapporten omhandler dimensjonering av en flytebrygge i betong med tilhørende landgang til Endúr Sjøsterks anlegg på Stamsneset. Flytebryggen skal hovedsakelig nyttes i et ledd i produksjonen av fôrflåter til oppdrettsnæringen.

For å utforme rapporten har det vært nødvendig å studere nye emner. Det er nyttet kunnskap om dimensjonering av betong- og stålkonstruksjoner som er tilegnet i løpet av studiet. Nye emner for denne rapporten har blant annet vært toveisdekker, armeringsdetaljer og marine løsninger og laster. Denne kunnskapen er hentet fra standarder, litteratur, rapporter fra ulike prosjekter innen maritime konstruksjoner og ved samtaler med fagpersoner.

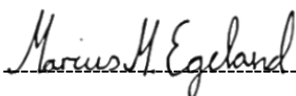
Det har til tider vært utfordrende å tilegne seg kunnskap rundt de maritime løsningene ved flytebrygger av denne størrelsen. Det er lite spesifikk informasjon tilgjengelig rundt emnet. Dermed har det vært behov for å undersøke og sammenligne informasjon om blant annet små marinaer, store kaier, fôrflåter og landgangssystemer. Evaluering av dette har til slutt ført frem til fremgangsmetoder nyttet i denne rapporten.

Vi vil gjerne takke vår veileder Trond Einar Martinsen ved HVL for konstruktiv kritikk og god hjelp. Vi må også takke Endúr Sjøsterk som har gitt oss oppgaven, opplysninger om anlegget og produksjonen av fôrflåter. Avslutningsvis ønsker vi å takke Høgskulen på Vestlandet for tre flotte og lærerike år.

Bergen, 25.05.2020



Rolf Bjordal



Marius Midtun Egeland



Henrik Rekdal Eidheim

Sammendrag

Denne rapporten omhandler prosjektering av en flytebrygge i betong med tilhørende landgang. Dekker, vegger og skottstørrelser er dimensjonert spesifikt for Endúr Sjøsterks nytteformål og anleggets plassering. Det er tatt hensyn til alle relevante krefter i henhold til gjeldende standarder og praksis. I rapporten har det blitt lagt vekt på å dimensjonere bryggen brukervennlig, sikker og robust innenfor fornuftige økonomiske rammer.

I innledende fase ble plassering og grovutforming drøftet etter et møte med Endúr Sjøsterk. Det ble også diskutert optimalt fribord, og hvilken utrustning bryggen burde ha i form av pullerter, fendring, kaikantskinner, strøm og vann. Flytebryggens tiltenkte plassering ble befart, og forankringsplan ble utformet av Endúr Sjøsterk.

Alle opptredende laster er drøftet og beregnet etter Norsk Standard og faglig litteratur. Utrekninger av laster og dimensjonering er hovedsakelig gjort med håndberegninger. Det ble utformet modeller og tegninger i modelleringsprogrammer. Til sist ble både stabilitet og stabilitet etter ulykke beregnet.

I tillegg til prosjekteringen av selve flytebryggen ble også landgang prosjektert i stål. Her har praktiske løsninger på utfordringer rundt ledd og bevegelser blitt drøftet og undersøkt. Deretter ble ulike profiler med forskjellige kvaliteter undersøkt før landgangen ble dimensjonert. Det ble også her lagt vekt på å dimensjonere landgangen brukervennlig, sikker og robust innenfor fornuftige økonomiske rammer.

Abstract

The report contains the design of a concrete floating pier with an access bridge. Slabs, walls, and bulkhead sizes are designed specifically for Endúr Sjøsterk's utility purposes and dock location. All relevant loads are considered per current standards and practices. The report has an emphasis on designing the pier in a user-friendly, safe, and robust manner within reasonable financial limits.

The placement and initial design were discussed in a meeting with Endúr Sjøsterk. Furthermore, an ideal freeboard was decided, and which equipment the pier should have regarding bollards, fencing, rails, electricity, and water. The floating platform's intended location and the anchorage plan was navigated and designed by Endúr Sjøsterk.

All appearing loads were discussed and calculated according to Norwegian Standard and professional literature. Calculations of loads and dimensioning are mainly done by hand. Models and drawings were designed in modelling programs. Finally, calculations for stability and stability when damaged was completed.

In addition to the design of the floating pier, an access bridge was designed in steel. Here, practical solutions to challenges regarding joints and movements have been discussed and investigated. Then different profiles with different qualities were examined before the access bridge was designed. Here too, the emphasis was placed on dimensioning the access bridge in a user friendly, safe, and robust manner within reasonable financial limits.

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	3
Abstract	4
Innholdsfortegnelse	5
Figurliste	9
Tabelliste	10
1 Innledning	11
1.1 Problemformulering.....	11
1.2 Generelt.....	11
1.3 Avgrensning.....	11
1.4 Metode.....	12
1.4.1 PTC MathCAD Prime 6.0.....	12
1.4.2 Autodesk Revit.....	12
1.4.3 Autodesk Robot Structural Analysis.....	12
1.4.4 OS-Prog Flatedekke.....	13
1.4.5 Standarder.....	13
1.4.6 Faglitteratur.....	13
1.4.7 Adobe Photoshop.....	14
1.5 Teori om flytebrygge.....	14
2 Beskrivelse av eksisterende dokkanlegg	15
3 Beskrivelse av ny flytebrygge	17
3.1 Krav fra bruker.....	17
3.2 Dimensjonerende brukstid.....	18
3.3 Pålitelighetsklasse.....	18
3.4 Flytebrygge.....	18

3.4.1	Fordeler og ulemper med flytebrygge sammenlignet med kai.....	19
3.5	Landgang	20
4	Lastgrunnlag.....	21
4.1	Egenlast	21
4.2	Nyttelast	21
4.3	Snølast	22
4.4	Vindlast.....	22
4.5	Vanntrykk	23
4.6	Skipslast	23
4.7	Forankring.....	24
4.8	Vannstrøm	25
4.9	Bølgelast	25
4.10	Islast.....	26
4.11	Seismisklast	26
4.12	Termisklast	26
4.13	Ulykkeslast.....	26
5	Dimensjonering flytebrygge	27
5.1	Bruddgrense	27
5.2	Bruksgrense	27
5.3	Materialer	28
5.4	Høyde	29
5.5	Topplate.....	30
5.5.1	Spesifikasjoner.....	30
5.5.2	Bruddgrense	31
5.5.3	Armering.....	32
5.5.4	Skjærstrekkapasitet.....	33
5.5.5	Bruksgrense	33

5.6	Bunnplate	35
5.6.1	Spesifikasjoner.....	35
5.6.2	Bruddgrense	35
5.6.3	Armering.....	35
5.6.4	Skjærstrekkapasitet.....	36
5.6.5	Bruksgrense	36
5.7	Langvegg mot sjø.....	37
5.7.1	Spesifikasjoner.....	37
5.7.2	Bruddgrense	38
5.7.3	Armering.....	39
5.7.4	Skjærstrekkapasitet.....	39
5.7.5	Bruksgrense	40
5.8	Kortvegg mot sjø	41
5.8.1	Spesifikasjoner.....	41
5.8.2	Bruddgrense	41
5.8.3	Armering.....	42
5.8.4	Skjærstrekkapasitet.....	42
5.8.5	Bruksgrense	43
5.9	Innervegger	44
5.9.1	Langvegg.....	44
5.9.2	Kortvegg.....	44
5.10	Innfestninger	45
5.10.1	Innfestning pullert	45
5.10.2	Innfestning forankring.....	47
5.11	Generell stabilitet	48
5.12	Oppdrift og stabilitet etter ulykke.....	50
5.12.1	Oppdrift etter ulykke.....	50

5.12.2	Stabilitet etter ulykke	51
5.13	Globalt brudd	52
5.13.1	Momentkapasitet	52
5.13.2	Skjærstrekkapasitet	55
5.13.3	Riss	56
6	Dimensjonering landgang	57
6.1	Bruddgrense	58
6.2	Bruksgrense	61
6.2.1	Vertikal forskyvning	61
6.2.2	Utmatting	62
6.3	Ulykkestilstand	62
7	Komponenter på bryggen	63
7.1	Fendere	63
7.2	Pullerter	64
7.3	Kaikantskinne	64
7.4	Forankring	64
7.5	Strøm, vann og belysning	64
8	Sikkerhet og risiko	65
8.1	Sikkerhetsutstyr og tiltak	65
8.2	Risikoanalyse	66
9	Nedbryting av konstruksjon	67
9.1	Vedlikehold og kontrollering	67
10	Konklusjon	68
11	Forslag til videre arbeid	69
12	Litteraturliste	70
13	Vedleggsliste	73

Figurliste

Figur 1.1 Fôrflåte produsert ved Endúr Sjøsterks anlegg	11
Figur 2.1 Oversiktskart over Grimstadfjorden og Stamsneset	15
Figur 2.2 Oversiktsbilde over Endúr Sjøsterks anlegg	16
Figur 2.3 Oversiktsbilde over Endúr Sjøsterks anlegg	16
Figur 3.1 Forankringsplan laget av Endúr Sjøsterk	17
Figur 3.2 Revitmodell av flytebrygge med dimensjoner. Horisontalt tverrsnitt.	18
Figur 3.3 Revitmodell av flytebrygge med dimensjoner. Vertikalt tverrsnitt.	18
Figur 5.1 Skisse av pullertarmering 15t pullert	46
Figur 5.2 Skisse av pullertarmering 5t pullert.	46
Figur 5.3 Skisse av forankringsarmering	47
Figur 5.4 Flytebryggens akser sett ovenfra.	48
Figur 5.5 Maksimal krenkning om y-y-akse.	49
Figur 5.6 Krenkning om y-y-akse i en ulykkessituasjon.	52
Figur 5.7 Teoretisk global bjelke i flytebryggens vertikale tverrsnitt.	53
Figur 5.8 Lastbildet med bølger i endene.	54
Figur 5.9 Lastbildet med bølge på midten.....	55
Figur 6.1 Dimensjoner av landgangens rammeverk.	58
Figur 6.2 Revitmodell av landgang.....	60
Figur 6.3 Illustrasjon av landgang med ledd, sliteplate og kantlister	60
Figur 6.4 Nedbøyning IPE. Rød rute er nedbøyning i mm	61
Figur 6.5 Nedbøyning HEA. Grønn rute er nedbøyning i mm.....	61
Figur 7.1 Mulig komponent plassering.....	63
Figur 7.2 «Cleat pullert».....	64

Tabelliste

Tabell 5.1 Lastkombinasjoner for topplate.	27
Tabell 5.2 Krefter topplate.	32
Tabell 5.3 Armering topplate.	33
Tabell 5.4 Rissvidder topplate.	34
Tabell 5.5 Krefter bunnplate.	35
Tabell 5.6 Armering bunnplate.	36
Tabell 5.7 Rissvidder bunnplate.	37
Tabell 5.8 Krefter langvegg.	38
Tabell 5.9 Armering langvegg.	39
Tabell 5.10 Rissvidder langvegg.	40
Tabell 5.11 Krefter kortvegg.	41
Tabell 5.12 Armering kortvegg.	42
Tabell 5.13 Rissvidder kortvegg.	43
Tabell 5.14 Armering indre langvegg.	44
Tabell 5.15 Armering indre kortvegger.	44
Tabell 6.1 Utmattingsoversikt.	62
Tabell 8.1 Risikoanalyse sikkerhet.	66

1 Innledning

1.1 Problemformulering

Hvilken flytebrygge og landgang egner seg best for Stamsneset dokkanlegg med hensyn til brukervennlighet, sikkerhet og robusthet innenfor fornuftige økonomiske rammer.

Endúr Sjøsterk har satt rammer for deler av utformingen. Videre løsninger blir valgt basert på bruksområdet og lokale forhold.

1.2 Generelt

Endúr Sjøsterk trenger en ny flytebrygge og landgang til drift av anlegget. De skal i utgangspunktet bruke denne til å arbeide på fôrflåter. Dette innebærer fortøyning av flåter opp mot 1500 tonn, og trafikklast fra trucken som brukes til på- og avlasting. Flytebryggen vil ha fortøyningsmuligheter for fartøy, manøvreringsareal for truckbruk og stabilitet under vanlig drift og etter ulykke.



Figur 1.1 Fôrflåte produsert ved Endúr Sjøsterks anlegg. Modell: Endúr Sjøsterk.

Landgangen dimensjoneres etter samme laster, foruten om fortøyning.

Konstruksjonen skal støpes som én kontinuerlig del av Endúr Sjøsterk på anlegget deres. Alternativer som to brygger leddet sammen eller et kontinuerlig dekke med forskjellige flytelementer er en dyrere løsning. Valgt løsning gir også størst stabilitet. (2, s.475)

1.3 Avgrensning

Utforming av denne konstruksjonen innebærer beregninger fra marine fag, blant annet forankring, fortøyning og skipslaster. Løsningene for dette har både forenklede og komplekse utregninger. Det er valgt å regne dette forenklet for å kunne dimensjonere selve flytebryggen, ettersom det er fokuset for denne rapporten. Det marine i denne rapporten er et eget fagfelt, derfor er denne avgrensningen valgt. Lastene for forankring, fortøyning og skipslaster bør beregnes nærmere av ingeniører med marinfaglig kompetanse, som kan føre til en endring i armering sammenlignet med forenklet beregning.

I denne rapporten fokuseres det ikke på prising. Likevel er det valgt løsninger innen fornuftige økonomiske rammer. Det er ikke regnet konkret på hvor mye de forskjellige løsningene for bryggen og landgangen vil koste.

Landgangen er prosjektert etter momentkapasitet. Det er avgrenset til å ikke utføre bruddgrenseberegninger utenom dette.

Denne rapporten inneholder noen, men få utgreinger rundt bryggens levetid. Dette innebærer blant annet nedbrytning av konstruksjonen og tiltak mot dette.

1.4 Metode

Beregninger er gjort for hånd etter å ha undersøkt en rekke standarder og faglitteratur. Metoden er valgt fordi det vil være lettere å forstå problemer som oppstår og korrigere disse fortløpende, sammenlignet med et beregningsprogram som viser ferdig resultat og eventuelle feilmeldinger. En annen grunn til å velge håndberegninger er at beregningsprogrammer krever mye tid for å få en forståelse av resultatet.

1.4.1 PTC MathCAD Prime 6.0

MathCAD er et hjelpemiddel for å føre beregninger på en oversiktlig måte. Det er også enkelt å bytte verdier og sette inn nye beregninger på en måte hvor resultatet oppdaterer seg kontinuerlig.

Beregningene inneholder mange variabler som påvirker hverandre ved endring. Det er derfor nyttet *MathCAD* for å utføre kalkulasjoner. I *MathCAD* er det mulig å endre verdiene løpende og føre utregningen på en oversiktlig måte.

1.4.2 Autodesk Revit

Revit er en BIM-programvare som brukes av flere fag til å lage en helhetlig modell av en konstruksjon. Det er en oversiktlig måte å vise tegninger og illustrasjoner av konstruksjoner.

Flytebryggen og landgangen er blitt modellert i *Revit* for å framstille utforming.

1.4.3 Autodesk Robot Structural Analysis

Robot er en programvare som brukes til å analysere og beregne konstruksjoner. Det gir nøyaktige svar og kan brukes til alt fra små modeller til store konstruksjoner.

I rapporten er det gjort beregninger med *Robot* hvor dette er hensiktsmessig.

1.4.4 OS-Prog Flatedekke

OS-Prog Flatedekke er en programvare utviklet av sivilingeniør Ove Sletten. Programmet gir en rekke resultater til en plate med forutsetninger bestemt av bruker, for eksempel nødvendig armeringsmengde og riss. I rapporten er programmet brukt til å sammenligne resultater for deformasjon med håndberegninger der det har vært mulig.

1.4.5 Standarder

Det er benyttet flere standarder som grunnlag for prosjektering. Det er brukt norsk standard for materialer, stål, betong, ulykke og for de respektive lastene.

1.4.6 Faglitteratur

Faglitteraturen er i stor grad sammenlignet med løsninger funnet på nett og løsninger som er utført i praksis. Dette har vært spesielt viktig ettersom temaene i bøkene tidvis har omfattet større konstruksjoner og kaier. Sammenligninger har også vært nødvendig slik at valgt løsning samsvarer med flere kilder og faglig praksis.

Det er lagt stor vekt på innholdet i to bøker. Den første boken er *Port Designer's Handbook* skrevet av Carl A. Thoresen, tidligere ansatt i Norconsult AS, som har bred erfaring innen havneanlegg. Han har også holdt forelesninger på NTNU om brygge- og havneanlegg. Den andre boken er *Port Engineering* skrevet av Gregory P. Tsinker, som med hjelp fra tretten andre ingeniører har satt sammen en bok om de fleste temaer som er aktuelle for havneanlegg. Gregory P. Tsinker har gitt ut flere verk og har lang erfaring innen havneanlegg.

For beregningen av toveisdekker er det benyttet to bøker: *Beton-Kalender* av Gotthard Franz og *Tables for the analysis of plates, slabs and diaphragms based on the elastic theory* av Richard Bareš. Bøkene inneholder tabellverdier for dekker med ulik utforming og ulik innspenningsgrad. For elementene i flytebryggen er tabellene for rektangulære dekker med fast innspente render på alle fire sider benyttet. Hver av tabellene inneholder fremgangsmåte for hvilke tabellverdier som skal benyttes og hvordan de skal benyttes, for et gitt tilfelle. Forholdet mellom lengde og bredde på dekke er et eksempel på en verdi som bestemmer hvilken tabellverdi som skal brukes. *Beton-Kalender* blir brukt for beregningen av dekker med jevnt fordelte laster og trekantlast, mens *Tables for the analysis of plates, slabs and diaphragms based on the elastic theory* blir brukt for punktlaster.

1.4.7 Adobe Photoshop

Adobe Photoshop er et bilderedigeringsprogram fra Adobe lagd for rastergrafisk bildebehandling. Photoshop ble brukt til å lage oversiktsbilder, fra små detaljer til bryggen som helhet.

1.5 Teori om flytebrygge

For å ha en operativ flytebrygge trengs det fem forskjellige elementer.

- En eller flere flytende pongtonger, altså flyteelementer.
- Landgang, for å kunne enkelt ha en forbindelse mellom land og bryggen.
- Et forankringssystem, som hindrer bryggen fra å bevege seg ut av ønsket posisjon.
- Et fendersystem, som hindrer at skip eller bryggen blir skadet ved sammenstøt.
- Et fortøyningsystem, som gjør at fartøy trygt kan ligge fortøyd til bryggen.

(2, s.474-475)

For at bryggen skal være trygg å operere må den tilfredsstillende følgende krav.

- Sikkerheten til personell. Alle forhåndsregler må bli tatt hensyn til når det gjelder å operere med last på en flytebrygge.
- Stabilitet av flytebryggen. For at arbeid på en flytebrygge skal være forsvarlig er det viktig med en stabil flytebrygge.
- Stabilitet etter skade på bryggen. Om det skulle oppstå en skade på en flytebrygge er det viktig at sikkerheten til personell fortsatt er ivaretatt. Selv om stabiliteten vil bli redusert skal det fortsatt ikke være en fare å oppholde seg på bryggen, men normalt arbeid er ikke forventet å fortsette.
- Brannsikkerhet. Det må være tiltak for å kunne slukke eventuelle brannsituasjoner.

(2, s.503)

2 Beskrivelse av eksisterende dokkanlegg

Det er i dag en mindre flytebrygge som er forankret til kaien. Her legges forflåtene til når arbeidet i dokken er utført for å frigi plass i dokken. Bryggen har små dimensjoner, et lavt fribord og er preget av alderen. Den mangler også løsninger for vann, strøm og lys. Det er derfor utformet en søknad til kommunen om en ny og større flytebrygge med tilnærmet samme plassering.



Figur 2.1 Oversiktskart over Grimstadfjorden og Stamsneset. (©KARTVERKET/NORGESKART.NO (3))



Figur 2.2 Oversiktsbilde over Endúr Sjøsterks anlegg. (Google Earth (1)).



Figur 2.3 Oversiktsbilde over Endúr Sjøsterks anlegg. (Google Earth (1)).

3 Beskrivelse av ny flytebrygge

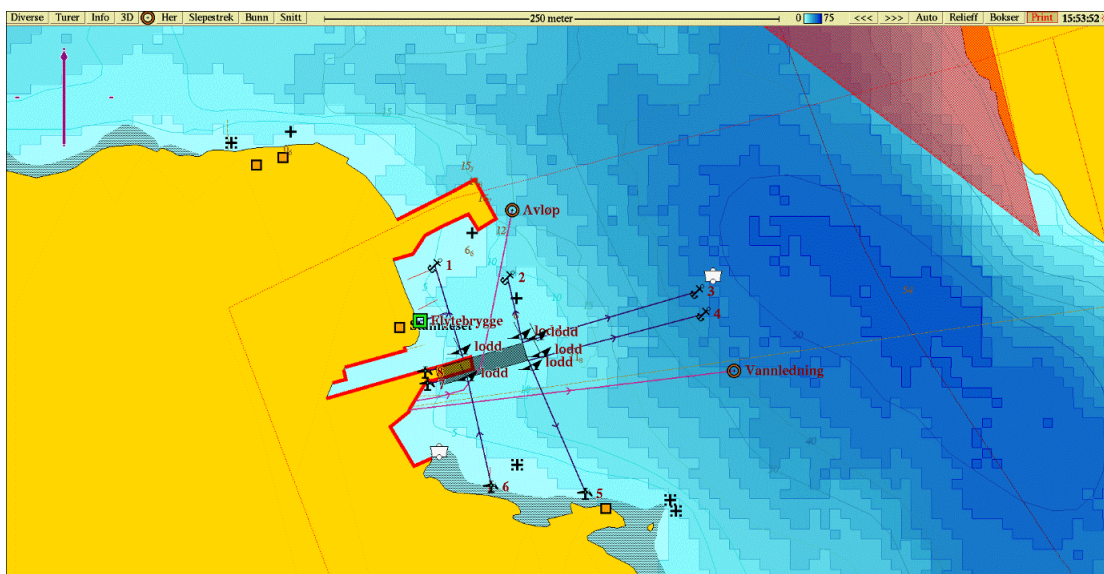
Flytebryggen skal være utformet på en måte som innfrir krav bedriften har satt. Den skal tåle nødvendige laster, både for dagens og fremtidens sannsynlige produksjon på anlegget. Flytebryggen dimensjoneres for en levetid på 50 år.

3.1 Krav fra bruker

I den innledende fasen ble det holdt et møte med Endúr Sjøsterk, der deres tanker og behov som bruker av flytebryggen ble kartlagt. Senere ble kravene fastsatt av Endúr Sjøsterk.

Følgende krav ble stilt:

- Flytebryggen skal bli produsert i betong.
- Dimensjoner på 10x50 meter med et fribord på minst 1,2 meter.
- Tåle nyttelast fra truck med 4 tonn lastekapasitet.
- Tåle last fra fôrflåter produsert av Sjøsterk.
- Utstyrt med tre pullerter på langsiden med 15t kapasitet, med to mindre pullerter mellom de tre med 5t kapasitet. Det skal også være to pullerter med 5t kapasitet på kortsiden mot fjorden.
- Opplegg for vann og strøm.
- Kaikantskinne rundt hele flåten.
- Plassering og forankring i henhold til tegninger.



Figur 3.1 Forankringsplan laget av Endúr Sjøsterk. (Bilde fra Endúr Sjøsterk).

3.2 Dimensjonerende brukstid

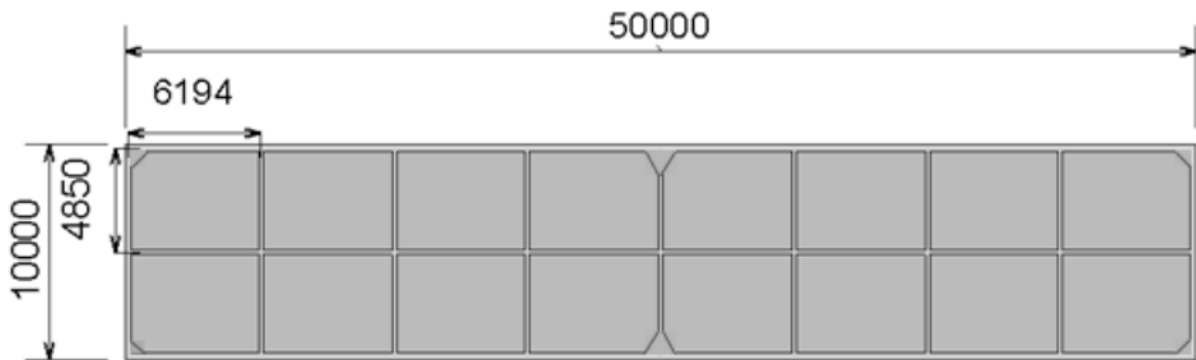
Dimensjonerende brukstidkategori 4, 50 år er valgt for konstruksjonen (4, s.23).

3.3 Pålitelighetsklasse

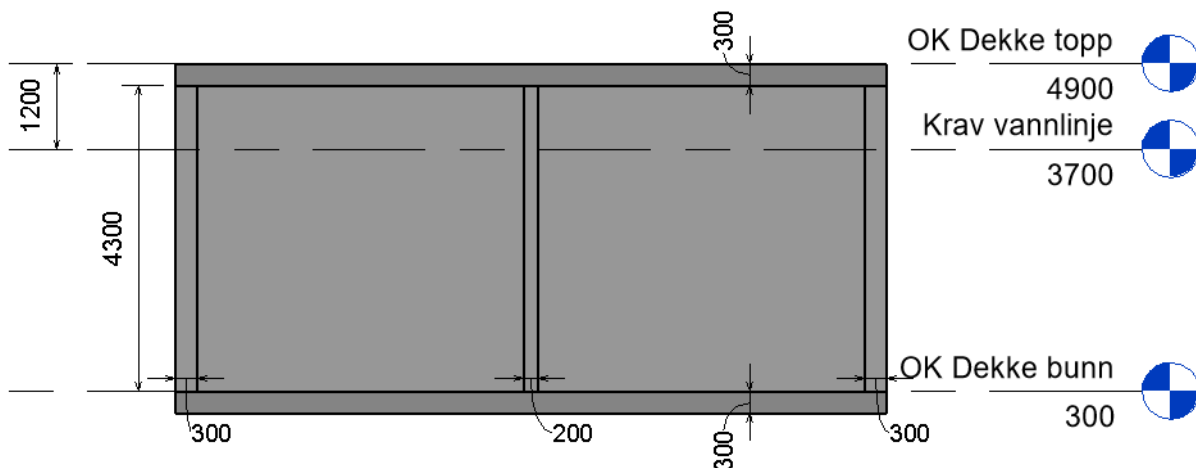
Kai og havneanlegg pålitelighetsklasse 2. Dette innebærer middels stor konsekvens. (4, s.72-73)

3.4 Flytebrygge

Bryggen består av 16 vanntette skott for å sikre tilstrekkelig oppdrift og sikkerhet. Dekkekanten sikres med kaikantskinner og det er fendre rundt bryggen. Det monteres spor for feste til landgang. Det er lagt vann og strøm gjennom bryggen med uttak på midten og ved ytterste ende. Det vil være muligheter for installasjon av lys.



Figur 3.2 Revitmodell av flytebrygge med dimensjoner. Horisontalt tverrsnitt.



Figur 3.3 Revitmodell av flytebrygge med dimensjoner. Vertikalt tverrsnitt.

3.4.1 Fordeler og ulemper med flytebrygge sammenlignet med kai

Flytebrygger har egenskaper som skiller seg fra tradisjonelle kaier. Det finnes følgende positive egenskaper som forsvaret valget om å velge en betongflytebrygge kontra utvidelse av kai.

- Det kan være økonomisk gunstig å velge en flytebrygge. Produksjon, spesielt ved dyp sjø, kan kreve mindre mengder betong.
- Flytebrygger endrer seg etter vannstand som gir et konstant fribord. Dette gir forutsigbare arbeidsforhold.
- Flytebrygger krever mindre av grunnforholdene (5, s.1). Det trengs derfor ikke undersøkelser av grunnforhold i like stor grad. Grunnforholdene kan likevel ha innvirkning på valg av forankringsmetoder.
- En flytebrygge er mobil. Dette innebærer at den kan gjenbrukes, selges og eventuelt byttes ut ved endrede behov.
- Flytebrygger kan også bli mindre påvirket av seismisk kraft. (5, s.1)

Det finnes også ulemper ved flytebrygger som det er viktig å være klar over. Det må vurderes om disse egenskapene er akseptable, og om det eventuelt må gjennomføres tiltak. Alle disse egenskapene er nærmere kalkulert og vurdert under prosjekteringen av flytebryggen.

- En flytebrygge er ofte mer utsatt for sjø og bevegelse som kan påvirke stabiliteten mer enn på kaier. Dette kan gi utfordringer for arbeidet på bryggen. Det kan også føre til at gjenstander beveger seg på dekket. Det må derfor undersøkes om flytebryggen har tilstrekkelig stabilitet i forhold til bruket den er tiltenkt.
- Etersom flytebrygger ofte er en lettere bevegelig konstruksjon enn en kai kan de kreve mer vedlikehold og tilsyn. Det er viktig å velge robuste materialer og løsninger for å motvirke dette.
- Flytebrygger har ofte mindre muligheter for laster med tanke på endring av fribord og stabilitet. Det er derfor viktig å dimensjonere flytebryggen for de lastene den er tiltenkt.

3.5 Landgang

For å dimensjonere landgang er det forskjellige hensyn som må tas i betraktning. Den skal nyttes til transport av materialer og utstyr ved hjelp av truck. Den må også tåle flytebryggens bevegelser, både vertikalt og horisontalt.

For at landgangen skal tåle kreftene den er utsatt for vil den være festet i en vertikal bolt på fastland, et horisontalt ledd festet mellom fastland og landgangen for å følge flo og fjære, samt et opplegg for bevegelse horisontalt på flytebryggen. For å holde landgangen i ønsket posisjon på bryggen er det tenkt at landgangen skal ligge på en plate festet i bryggen, med tilhørende stoppere på sidene. Landgangen er dimensjonert i stål. Stål brukes ettersom dette er et sterkt og lett material.

4 Lastgrunnlag

I dette kapitlet beskrives de permanente og variable lastene som virker på flytebryggen. Det vil virke permanente laster i form av egenvekt og vanntrykk, og variable laster i form av funksjonslaster, miljølaster og ulykkeslaster. Lastverdier, lastfaktorer og sikkerhetsfaktorer er beregnet i henhold til norsk standard. Etter nødvendighet er støttelitteratur benyttet.

4.1 Egenlast

Egenlasten omfatter de permanente lastene som egenvekt av flytebrygge med landgang og innfestning i tillegg til permanent utstyr på flytebryggen.

Karakteristisk egenlast betong:

$$g_k := 25 \frac{kN}{m^3} \quad (6)$$

4.2 Nyttelast

Nyttelasten omfatter variable laster som flytebryggen skal dimensjoneres for. Dette innbefatter last fra truck og med en lastkategori tilhørende truck, det vil si lastkategori G. Trucken som bryggen skal dimensjoneres for er satt til å ha en lastekapasitet på fire tonn.

Karakteristisk nyttelast på dekker:

$$p_k := 5 \frac{kN}{m^2} \quad (7, s.20)$$

Karakteristisk punktlast truck på dekker:

$$Q_k := 180 \text{ kN} \quad (7, s.18)$$

4.3 Snølast

Snølasten er en naturlast som vil virke på flytebrygge og landgang. Snølast virker over hele overflater og ikke feltvis.

Karakteristisk snølast:

$$s_k := 1.6 \frac{kN}{m^2} \quad (8)$$

4.4 Vindlast

Vindlast er en naturlast som vil virke på flytebrygge, landgang og fartøy. Etter å ha studert historiske data og vindroser for den lokale værstasjonen på Flesland, ikke langt fra anlegget, observeres det at de dominerende vindretningene er nord-vestlig vind på dagen i sommerhalvåret, og ellers sør-østlig vind resten av året (9). Vindkrefter er beregnet etter gjeldende standard (10).

Karakteristisk vindlast trykk på dekke:

$$v_t := 0.18 \frac{kN}{m^2} \quad (\text{Trykk})$$

Karakteristisk vindlast trykk på vegger:

$$V_t := 0.63 \frac{kN}{m^2} \quad (\text{Trykk})$$

4.5 Vanntrykk

Vanntrykket vil virke på alle deler av konstruksjonen som er nedsenket i sjøen. Vanntrykket på sidevegger er beregnet med vann til topp sidevegg. Dette er gjort for å dimensjonere yttervegger for vanntrykk ved bølger som slår over hele veggen. Det er forenklet ikke tatt med dynamisk tillegg fra bølge, og det er ikke tatt hensyn for bølger som slår over bryggekannten.

Beregningene tar også hensyn til at veggene vil tåle trykket dersom bryggens fribord senkes ved overlast eller ulykkestilfeller hvor bryggen mister oppdrift. Dette er vesentlig for å sikre intakte skott og oppdrift.

Vanntrykket til et punkt regnes ut med å bruke massetettheten til saltvann, gravitasjonen og høyden til vannet over punktet:

$$\rho \cdot g \cdot h$$

4.6 Skipslast

Endúr Sjøsterk produserer fôrflåter opp mot 1500t. Det ble likevel regnet med skipslast for fartøy med opptil 2000t deplasement for å ta hensyn til større prosjekter. Deplasement er vekten til vannet som fartøyet fortrenger. Dette vil være godt innenfor tåleevnen til 15t pullertene med bestemte avstander som Endúr Sjøsterk har satt som krav, i henholdt til tabell 4.9 i *Port designers handbook* (11, s.132).

Energien som overføres ved sammenstøt med et fartøy er beregnet ut fra tre ulike metoder. Den første metoden er kalt teoretisk metode, og beregnes ut fra anslåtte verdier for havneforhold og fart på fartøy med gitt deplasement i tillegg til korreksjonsfaktorer. Dimensjonerende fart er valgt ut fra tabeller, der havneområdet er ansett som skjermet. Dette kan forsvares med tanke på plasseringen av bryggen. Det er forholdsvis god plass for navigasjon. Ettersom forflytning av flåter hovedsakelig er fra nærliggende dokk ansees dette som tilfredsstillende. Tabellverdiene for assistert forflytning av taubåt og fortøyning av fartøy uten assistanse, er relativt like dersom forholdene er tilfredsstillende. Ulike korreksjonsfaktorer er valgt til sikker side. (11, s.146-153)

Empirisk metode tar derimot kun hensyn til fartøyets deplasement. Dette vil gi en maksimal verdi som er ansett konservativ med tanke på bryggens bruksområde. Verdien blir likevel tatt med i vurdering siden det er vanskelig å gjøre nøyaktige anslag på farten til fartøy. (11, s.153)

Den tredje metoden er beregnet ut fra teoretiske verdier for krefter på pullerter med et deplasement på 2000t. Verdier er hentet fra tabell 4.9. (11, s.132)

For å finne kreftene på bryggen er det benyttet en rekke faktorer. Det er antatt en tilfredsstillende fender med fenderfaktor 2,5kN/kNm eller bedre. Det er også sikkerhetsfaktorer for unormale støt. Dette er sikkerhetsfaktorer hvor ytre vegg skal tåle kreftene, mens fendrene kan påføres skader. Slike sammenstøt kan for eksempel forekomme ved motorstopp, feilvurderinger av fart eller feil inngangsvinkel. For empirisk metode er det også nyttet en reduksjonsfaktor som tar høyde for rotasjon av fartøy som kommer inn med vinkel, eventuelt at fartøy treffer mer enn én fender med fartøyssiden. (11, s.153-157)

Ved å sammenligne verdiene er det funnet en last for dimensjonering av flytebryggens vegger. Denne er valgt til 300kN vinkelrett på ytre vegg på ugunstig punkt. Denne verdien er konservativt valgt i forhold til metode 1 og 3, men noe lavere enn verdien funnet ved bruk av empirisk metode. Dette er vurdert konservativt nok med tanke på at empirisk metode ikke tar høyde for hverken de lokale forhold eller tiltenkt bruk.

Anslått karakteristisk horisontal skipslast:

$$S_p := 300 \text{ kN}$$

4.7 Forankring

For å regne ut kraften fra forankringen er det gjort en overslagsberegning. Det er antatt en fart på bryggen på 1m/s og at bryggen skal stoppes på to meter. Etter den tidløse formel gir dette en retardasjon på massen. Beregnet kraft vil virke på et av forankringspunktene av gangen. Den horisontale kraften er ganget med en bruddgrensefaktor 1,5:

$$F := m \cdot a \cdot 1.5 = 688.125 \text{ kN}$$

4.8 Vannstrøm

Vannstrøm er en naturlast som virker på flytebrygge og fartøy. Det er antatt å være relativt lite vannstrøm i området basert på geografiske utforminger. Vannstrøm på flytebryggen er derfor forenklet og beregnet konservativt under bølgelast.

Vannstrøm kan sammen med bølger og vind være en utfordring under fortøyning. Området rundt er imidlertid vurdert til å ha tilstrekkelig rom for å kunne navigere under vanskelige forhold. Det vil også være mulig å legge til på den siden av bryggen hvor forholdene er best med tanke på retning av naturkreftene.

4.9 Bølgelast

Bølgelast er en naturlast som virker på flytebrygge og fartøy. Flytebryggen ligger i en relativt skjermet fjordarm. Den er også skjermet av en kai nord for bryggen. Det er likevel antatt noe bølger, både fra skipstrafikk, vind og vannstrøm.

Vanntrykket fra bølger er regnet under vanntrykksberegning ved å sette vanntrykk til toppen av bryggen. Eventuell sjøsprøyt på dekket ved bølger vil renne av, på grunn av flytebryggens bevegelse i stor sjø.

Det er også beregnet at flytebryggen tåler belastningen av ulike bølgesituasjoner som vil virke som ulike opplagere for flytebryggen i sin helhet. Det er nyttet ulike globale lastsituasjoner med ulike bølger.

Flytebryggen vil i seg selv virke som en bølgebryter. Det kan dermed være gunstig å fortøye fartøy på le siden om det forventes stor sjø. Dekk som nyttes som fendere på bryggen vil også ha en bølgebrytende effekt, og bidra til mindre sjøsprøyt over bryggen. Dette vil bidra til trygg ferdsel på bryggen i dårlig vær. (12)

Karakteristisk vanntrykk på vegger ved vann til topp vegg (fungerer som en trekantlast):

$$O_k := \rho_{SV} \cdot g \cdot h = 49.41 \frac{kN}{m^2}$$

4.10 Islast

Islast er en naturlast som kan virke på flytebryggen ved kalde vintre. Drivende is vil kunne treffe flytebryggen i vanngrensen. Is kan også fryse rundt flytebryggen. Ettersom bryggen flyter vil det bli lite vertikale iskrefter av is som henger på konstruksjonen. Det er generelt lite is i området ut fra erfaring. Ved mye is bør bryggen kontrolleres for skader på betongen og eventuelle skader bør utbedres.

4.11 Seismisklast

Flytebryggen er ikke dimensjonert spesifikt for seismiske laster. Konstruksjonen flyter og er robust. Samtidig er det lav sannsynlighet for jordskjelv av betydning i Norge (13). Bryggen er ikke samfunnskritisk og kan relativt lett erstattes. Det er dermed vurdert som unødvendig å dimensjonere flytebryggen for seismiske laster med bakgrunn i svært lav risiko.

4.12 Termisklast

Termiske laster kan oppstå som følge av temperaturforskjeller i konstruksjonens deler, der deler av konstruksjonen blir avkjølt av sjøen, mens toppdekket eksponeres for varme fra solen. Betong og armering som nyttes er vurdert til å ha gode varmegjennomgangsegenskaper, og det er dermed vurdert at dette vil være tilfredsstillende for eventuelle termiske laster.

4.13 Ulykkeslast

For å kartlegge scenarioer for ulykker brukes NS-EN 1991-1-7. For flytebryggen er det vurdert at dimensjonerende ulykkesituasjon blir mangel på oppdrift. Ved en ulykke kan flere skott brytes og fylles med vann. Det mest tenkelige scenarioet er et hardt sammenstøt mellom et objekt og flytebryggen. Det er vurdert at flytebryggen skal beregnes for en ulykke hvor opptil to skott bryter sammen. Ulykkens omfang er vurdert ut fra lokale trafikkforhold og bryggens plassering. I en ulykkesituasjon vil det også oppstå vanntrykk på innervegger. Ulykkeslasten er vanntrykk med dybde lik høyden til flytebryggen.

Port Engineering sier også at to skott er antatt å ryke ved en ulykke (2, s.557). Det er ikke forventet at flere ulykker oppstår samtidig og at flere enn to skott ryker.

5 Dimensjonering flytebrygge

5.1 Bruddgrense

Grensetilstander som er av betydning for menneskers sikkerhet og/eller konstruksjonens sikkerhet skal klassifiseres som bruddgrensetilstander (14, s.24). Eksempler på bruddgrensekombinasjoner for topplate følger i tabell 5.1, last oppgitt i kN/m². Kombinasjon 6.10b blir dimensjonerende for topplaten.

Tabell 5.1 Lastkombinasjoner for topplate.

Kombinasjon	Bruddgrensefaktor	Last	Karakteristisk verdi	Bruddgrenselast
6.10a	1,35	Egenvekt	7,5	10,1
	1,05	Nyttelast	5,0	5,3
	1,05	Snølast	1,6	1,7
	1,05	Vindlast	0,2	0,2
	Totalt, LK1			17,2
6.10b	1,2	Egenvekt	7,5	9,0
	1,5	Nyttelast	5,0	7,5
	1,05	Snølast	1,6	1,7
	1,05	Vindlast	0,2	0,2
	Totalt, LK2			18,4

5.2 Bruksgrense

Grensetilstander som har betydning for konstruksjonens eller konstruksjonsdelenes funksjonsdyktighet ved normal bruk, menneskers komfort og konstruksjonens utseende (14, s.25). I kapittelet om flytebryggen er det to områder i bruksgrense som kontrolleres: deformasjon og riss.

På grunn av de krefter en konstruksjonsdel påføres vil det oppstå en deformasjon. Det må kontrolleres at deformasjonen ikke er til skade for konstruksjonsdelen selv, eller for tilstøtende elementer. Det er flere faktorer som spiller inn i beregningen av deformasjon. Konstruksjonen vil oppleve en umiddelbar deformasjon i det last påføres. I tillegg kommer deformasjon på grunn av last over lengre tid (kryp) og deformasjon på grunn av uttørking av betong (svinn). For flytebryggen kan svinn sees bort i fra ettersom alle deler i konstruksjonen er armert i over- og underkant.

De sentrale faktorene for størrelsen på krypdeformasjonen til elementene er når i herdefasen til betongen last blir påført og hvor store lastene er. Disse faktorene tas med i utregningen av deformasjon i form av kryptall for hver enkelt last. Lastene som skal medregnes i bruksgrense defineres enten som *tilnærmet permanent* eller *ofte forekommende*. Eksponeringsklassen avgjør hvilket lastbilde som er dimensjonerende for bruksgrense etter tabell NA.7.1N i NS-EN 1990 (14, s.238). Sammen med verdiene fra tabell A1.1 i NS-EN 1990 blir størrelsen på bruksgrenselasten bestemt (4, s.42). Vanligvis vil kravene til deformasjon i NS-EN 1992-1-1 være tilfredsstillende for de fleste konstruksjoner, men det påpekes samtidig at det bør vurderes om det foreligger spesielle behov for den aktuelle konstruksjonen (14, s.126). Flytebryggens deformasjon er beregnet med lastbilde *ofte forekommende* ettersom konstruksjonen ligger i eksponeringsklasse XS3. Det er antatt at standardens krav til deformasjon er tilstrekkelige for bryggen.

Riss er små sprekkdannelser, mindre enn 0,4mm, som oppstår i betongen på grunn av lastene som er påført. Dette oppstår når strekkspenningene i betongen blir større enn strekkfastheten til betongen (15, s.122). Ettersom strekkfastheten til betong er liten, vil de fleste konstruksjoner ha opprissede tverrsnitt. Krav for riss blir bestemt av eksponeringsklasse og hvor stor overdekningen er i forhold til minste overdekningskrav, etter punkt NA.7.3.1 i NS-EN 1992-1-1. Ettersom bryggen ligger i vann, kan det være aktuelt å gjøre kravene strengere og følge standard NS-EN 1992-3 for siloer og beholdere. Det er likevel antatt at kravene i NS-EN 1992-1-1 holder siden bryggen ikke skal holde væske inne, slik som siloer skal.

5.3 Materialer

Valgt armering for denne konstruksjonen er slakkarmering med B500NC. Slakkarmering er valgt fordi Endúr Sjøsterk skal støpe bryggen selv på sitt anlegg, og nytter slakkarmering i sin egen produksjon av fôrflåter. B500NC er standardarmering for slakkarmerte konstruksjoner.

For alle delene i bryggen er det valgt betong B45. Dette er valgt ut fra anbefalt kombinasjon sammen med bestandighetsklasse. Anbefalt kombinasjon kommer fra produktinformasjonen til Norcem (16). B45 er en tett betong som gjør at den er gunstig å bruke i konstruksjoner utsatt for saltvann. Konstruksjonen skal ligge i saltvann, og det kreves derfor en tetthet i betongen for å unngå at saltvann når inn til armeringen (12).

Ut fra tabell 4.1 må eksponeringsklasse XS3 velges siden bryggen er en marin konstruksjon med tidevannssoner, skvalpesoner og sprutsoner. Etter tabell E.1N i NS-EN 1992-1-1 er minste forventede fasthetsklasse for konstruksjoner i eksponeringsklasse XS3 fasthetsklasse B35 (14, s.209). Dette er

overholdt med valgt betong B45. Når XS3 er valgt blir kravet til bestandighet satt. Tabell NA.15 i NS-EN 206 angir største bestandighetsklasse for konstruksjoner i XS3 til M40 eller MF40 (17, s.110). Det vil si at betongen må ha et v/c-tall på mindre eller lik 0,4 (16). V/c-tallet angir forholdet mellom vann og sement i betongresepten. Desto lavere v/c-tallet er, desto høyere andel sement er det i resepten. Et lavt v/c-tall gir tettere betong som gjør at initieringsperioden til armeringen blir lenger, altså at tiden før korrodering av armeringen starter blir lenger.

I tillegg til forholdet mellom vann og sement i resepten, må det tas stilling til om betongen skal oppfylle et krav om frostbestandighet. Og siden konstruksjonen vil ligge utendørs vil det være fare for frost i betongen. Det betyr at bestandighetsklasse MF40 må velges. Det medfølger et krav til betongresepten om at den må inneholde minst 4% luft i fersk tilstand. For å få 4% luft brukes det luftinnførende stoffer. Det er ikke ønskelig å ha mer enn 6% fordi dette ikke gir større frostmotstand bare mindre fasthet (18, s.32). Det er viktig å få frem at det er størrelsen og fordelingen på luftporene, ikke mengden luft, som gir betong frostbestandighet. (18, s.32).

5.4 Høyde

Høyden må avgjøres tidlig. Denne beregningen gav grunnlaget for alle de andre konstruksjonsdelene bortsett fra topplaten. Høyden ble beregnet ved å ta hensyn til alle lastene på bryggen som virker nedover på grunn av tyngdekraften, kontra oppdriften bryggen har oppover. Enkelt sagt: høyden måtte være stor nok til å fortrenge nok vann for å få en oppdrift like stor som kreftene på bryggen som virker nedover.

Vindlasten er neglisjert i utregningen, men de resterende lastene på topplaten er tatt med i beregningen, til og med full nyttelast over hele dekket inkludert installert utstyr som pullert og kaikantskinne. Dette er konservativt ettersom det er lite sannsynlig at bryggen vil bli lastet opp med 500kg/m² på hele overflaten. Grunnen til at det er tatt med er for å sikre at kravet til Endúr, et fribord på minst 1,2m, er overholdt til enhver tid. Lasten fra forankring er anslått etter vekt på kjetting og lengden på denne, og vekten på daumann. Dette er et punkt det ville vært naturlig å søke kompetanse fra mariningeniører, men anslaget er antatt konservativt ved at den vertikale kraften fra den lengste kjettingen er brukt for alle forankringspunkter.

Det ble utledet en formel for høyden ved å sette Arkimedes' lov om volum fortrent mot Newtons andre lov. Formelen for høyde ble seende slik ut, og gav følgende resultat:

$$h := \frac{\rho_V \cdot b \cdot l \cdot f_{ri} + 2 \cdot b \cdot l \cdot t_{dekke} \cdot \rho_B + q_k \cdot b \cdot l + Q_k + F_k + B_k}{b \cdot l \cdot \rho_V - ((2 \cdot l + 2 \cdot b_B) \cdot t_{vegg.ute} \cdot \rho_B + (1 + 7 \cdot b_B) \cdot t_{vegg.inne} \cdot \rho_B)} = 4.868 \text{ m}$$

Valgt høyde ble rundet opp til 4,9m. Til slutt ble det beregnet fribord med valgt høyde lik 4,9m, som gav følgende resultat:

$$f_{ri} := \frac{\text{ledd}_1 - \text{ledd}_2}{\rho_V \cdot b \cdot l} = 1.223 \text{ m}$$

Med den valgte høyden ligger fribordet på 1,22m med full last. Siden beregningen er gjort med full last på bryggen vil ikke fribordet komme under 1,2m med mindre bryggen blir overlastet eller om den krenger.

5.5 Topplate

5.5.1 Spesifikasjoner

Topplaten til bryggen er 10x50m og er kontinuerlig over hele bryggen. Dekket er 300mm tykt og har kontinuerlig armeringsjern i overkant og underkant, i både bredde- og lengderetning. Dekketykkelsen er valgt med hensyn til krav til overdekning, mengden med lengdearmering (fire lag) og for å unngå krav om skjærarmering. For at spenn på dekker ikke skal bli for store, er dekket holdt oppe av tre langsgående vegger og ni tverrgående vegger. Dette gir topplaten en inndeling i felt, to i bredden og åtte i lengden. Hvert felt er like stort: 5m i bredden (x-retning) og 6,25m i lengden (y-retning), med teoretisk opplager satt i endene. Selv om spennet egentlig er litt kortere på grunn av tykkelsen til veggene, er det konservativt å regne med teoretisk opplager plassert helt i endene av feltet.

Hvert felt har langsgående opplager rundt hele randen av feltet i form av vegger. Dette kjennetegner et toveisdekke. Et toveisdekke er et dekke som bærer vekten i begge retninger og dermed får moment om to forskjellige akser. Dette gjør det mer komplisert å beregne, men kapasiteten til dekket blir større ettersom kreftene kan fordeles i to retninger. Forholdet mellom lengden av dekket i x-retning og y-retning bestemmer om dekket kan regnes som toveisdekke. Dersom forholdet er under 2,0 kan platen anses å være toveisdekke, etter punkt 5.3.1(5) i NS-EN 1992-1-1 (14, s.56). En annen kilde viser til et forhold under 3,0 for å bruke toveisdekkeberegninger (15, s.332). I dette tilfellet blir forholdet 1,25, og oppfyller kriteriet på et forhold under 2,0. Dermed kan topplaten beregnes som toveisdekke.

En annen faktor som spiller inn på beregningen er innspenningsgrad. Dekket er kontinuerlig over støtte og fast innspent langs randen. At det er fast innspent, blir en teoretisk tilnærming og vil i realiteten mest sannsynlig ligge mellom en innspenningsgrad av fritt opplagt og fast innspent. Det tas hensyn til dette i beregningene der det er mulig.

5.5.2 Bruddgrense

Beregning for bruddgrense ble utført med lastkombinasjon 6.10b. Dette førte til en jevnt fordelt last på $18,4\text{kN/m}^2$, plassert over hele feltet for mest ugunstige tilfelle. I tillegg kom den dynamiske lasten fra en truck med lastekapasitet på 4t, i form av en punktlast på 189kN. Denne ble plassert midt i feltet for enkelhets skyld slik at momentene fra jevnt fordelt last og punktlast fikk sine maksimale verdier på samme punkt, og dermed ble lettere å summere.

For å kompensere for at en annen plassering av punktlasten kunne ført til større støttemoment på et punkt langs randen, for eksempel ved en plassering nærmere randen i hvilken som helst retning, ble det gjort en parameterstudie av en fast innspent bjelke. Dette ble gjort ved å sammenligne støttemomentet ved plassering av last midt i felt med plassering av last en tredjedel inn på felt. Resultatet viste at støttemomentet blir 1,18 ganger større med en plassering av last ved en tredjedel ut i feltet sammenlignet med midt i feltet. Dette resultatet ble rundet opp til en faktor 1,2 som ble brukt i beregningene av nødvendig armeringsareal. At grunnlaget for parameterstudien er en bjelke med moment i én retning er konservativt siden et toveisdekke vil ha mulighet til å fordele kreftene i to retninger.

Også i felt ble det lagt inn en sikkerhetsfaktor på 1,2. Dette ble gjort for å ta hensyn til momentomlagring. Momentomlagring oppstår når armeringsjern nær støtte ikke kan nå sin fulle utnyttelse og feltmomentet «faller» tilsvarende ned, og blir dermed større. Etter punkt 5.5 i NS-EN 1992-1-1 kan omfordeling av bøyemomenter brukes så lenge elementet hovedsakelig utsettes for bøyning og der forholdet mellom lengden av nabofelt er innenfor et område mellom 0,5 og 2,0 (14, s.60). Etter omfordeling må elementet ha likevekt, altså at summen av momenter er like stor etter omfordeling som før omfordeling.

Bøyemomenter og skjærkrefter som ble dimensjonerende for dekke overkant finnes i tabell 5.2. I alle tilfeller ble M_{Ed} mindre enn $M_{Rd,Cr}$ så det var ikke nødvendig med trykkarmering.

Tabell 5.2 Krefter topplate.

Feltmomenter		
$M_{Ed,x}$	x-retning	69,1 kNm/m
$M_{Ed,y}$	y-retning	51,8 kNm/m
Støttmomenter		
$M_{Ed,x,støtte}$	x-retning	56,3 kNm/m
$M_{Ed,y,støtte}$	y-retning	40,1 kNm/m
Skjærkrefter		
$V_{Ed,x}$	x-retning	71,9 kN
$V_{Ed,y}$	y-retning	57,7 kN

5.5.3 Armering

Armeringen som er valgt er basert på håndberegninger gjort i Mathcad etter NS-EN 1992-1-1, den tyske håndboken *Beton-Kalender og Tables for the analysis of plates, slabs and diaphragms based on the elastic theory*. Håndbøkene består av en rekke tabeller for utregning av momenter, skjærkrefter og deformasjon på toveisdekker. Tabellene er delt opp etter innspenningen til dekket. I dette tilfellet er alle fire render fast innspent.

Verdier fremstilt i tabell 5.3 viser nødvendig armeringsareal per meter, diameter på kamstål, senteravstand mellom hvert jern og valgt armeringsareal per meter dekkestripe.

Tabell 5.3 Armering topplate.

Armeringsbeskrivelse	Nødvendig armeringsareal pr. meter	Diameter og senteravstand	Armeringsareal pr. meter
Langsgående armering OK	916,9 mm ²	Ø16c200	1005,3 mm ²
Tverrgående armering OK	853,6 mm ²	Ø16c200	1005,3mm ²
Langsgående armering UK	916,9 mm ²	Ø16c200	1005,3 mm ²
Tverrgående armering UK	853,6 mm ²	Ø16c200	1005,3 mm ²

5.5.4 Skjærstrekkapasitet

I tillegg til å bidra til dekkets momentkapasitet, spiller de to lagene i overkant av dekket en rolle i dekkets skjærstrekkapasitet. Derfor er det viktig å ta hensyn til dette for å prøve å unngå krav til skjærarmering. Det er ønskelig å unngå skjærarmering, grunnen er at det blir mindre beregninger å utføre og det blir mindre armering å holde oversikt over.

Beregningsgangen er gitt i punkt 6.2.2 i NS-EN 1992-1-1, som gir følgende resultat:

$$V_{Rd,c1} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{N}{mm^2} \cdot b \cdot d_x = 154.8 \text{ kN}$$

Resultatet er positivt ettersom det er større enn opptredende maksimal skjærkraft på 71,9kN, fra tabell 5.2. Dermed er det ikke nødvendig med skjærarmering.

5.5.5 Bruksgrense

5.5.5.1 Deformasjon

Beregning av deformasjon av dekket er gjort etter formel fra tabell i *Beton-Kalender*. Kombinert med dette ble prinsippene for å finne deformasjon ved hjelp av midlere E-modul brukt. Lasten ble delt opp i egenlast, nyttelast langtidsandel, nyttelast korttidsandel og til slutt punktlasten for seg selv. For å finne midlere E-modul måtte kryptallene til hver respektiv last beregnes. Under beregningen av

kryptallene ble det antatt at betongens alder ved belastning av egenlast var syv døgn, og for de resterende lastene 90 døgn. Siden bryggen skal ligge utendørs blir relativ luftfuktighet satt til 80% (14, s.28).

Den endelige beregningen gav en vertikal deformasjon på 1,4mm. For å kunne sammenligne resultatet fra beregningen ble det også benyttet *OS-prog Flatedekke*. Utfordringen med *OS-prog* er at det ikke er enkelt å få alle laster plassert nøyaktig, spesielt punktlaster. Det gav fortsatt en god pekepinn på hvor stor deformasjonen av dekket ville bli. *OS-prog* beregnet en vertikal deformasjon på 3mm midt på platen. Begge beregningene ligger innenfor kravet etter 7.4.1(4) i NS 1992-1-1 på 20mm.

5.5.5.2 Rissvidde

Rissviddeberegning ble utført etter 7.3.4(1) i NS 1992-1-1. Dekket ble beregnet for laster i *ofte forekommende* siden eksponeringsklassen er XS3. Ettersom dekket er et toveisdekke og har lengdearmering i to retninger, ble rissviddeberegning utført for begge retningene. Det måtte også beregnes i felt og over støtte der maksimalt moment oppstår. Som en forenkling for M_{SLS} , ble en gjennomsnittlig lastfaktor beregnet til 1,22 ved å dele bruddgrenselast på karakteristisk last. Deretter ble denne brukt for å finne M_{SLS} ved å dele M_{ULS} på lastfaktoren. Elastisitetsmodulen for betong ble satt til 15000N/mm² fra midlere E-modul i deformasjonsberegningen. Rissviddeberegningene gav ingen rissvidder over kravet $w_{max}= 0,36$ mm, se tabell 5.4.

Tabell 5.4 Rissvidder topplate.

	Retning	Lovlig rissvidde, w_{max}	Beregnet rissvidde, w_k
Felt, underkant	x-retning	0,36 mm	0,30 mm
	y-retning	0,36 mm	0,19 mm
Støtte, overkant	x-retning	0,36 mm	0,30 mm
	y-retning	0,36 mm	0,19 mm

5.6 Bunnplate

5.6.1 Spesifikasjoner

Bunnplaten har identiske dimensjoner, innspenninger og plassering av vegger som topplaten, og har dermed like betingelser for beregning.

5.6.2 Bruddgrense

At det kun var én last i tillegg til egenvekt på bunnplaten gjorde det til den simpleste å beregne. I tillegg var begge laster jevnt fordelt og dermed enkelt å regne på samlet. Beregning for bruddgrense på bunnplaten ble gjort med lastkombinasjon 6.10b, med en liten modifikasjon. Siden egenvekten i dette tilfellet blir gunstig for konstruksjonsdelen, ble lastfaktor til egenvekt satt til 0,9 i stedet for 1,0 for en konservativ tilnærming. Høyden på vanntrykket ble satt lik hele høyden på flytebryggen i stedet for kun opp til vannlinjen. Dette ble gjort for at bunnplaten skal tåle et vanntrykk tilsvarende en bølge som slår opp til overkant av flytebryggen. Netto last kom på $67,4\text{kN/m}^2$ inkludert lastfaktorer. Dimensjonerende krefter presentert i tabell 5.5.

Tabell 5.5 Krefter bunnplate.

Feltmomenter			
$M_{Ed,x}$	x-retning	45,5	kNm/m
$M_{Ed,y}$	y-retning	24,3	kNm/m
Støttmomenter			
$M_{Ed,x,støtte}$	x-retning	113	kNm/m
$M_{Ed,y,støtte}$	y-retning	95,2	kNm/m
Skjærkrefter			
$V_{Ed,x}$	x-retning	170,1	kN
$V_{Ed,y}$	y-retning	159,7	kN

5.6.3 Armering

Armeringsareal er beregnet etter samme metode som topplaten. Siden de største momentene oppstår i det korteste spennet, i x-retning, ble det valgt å legge denne lengdearmeringen ytterst i både overkant og underkant. Grunnen er at strekkarmering i x-retning skal få størst mulig momentarm og dermed en større momentkapasitet. Valgt armeringsmengde vises i tabell 5.6.

Tabell 5.6 Armering bunnplate.

Armeringsbeskrivelse	Nødvendig armeringsareal	Diameter og senteravstand	Armeringsareal pr. meter
Langsgående armering OK	916,9 mm ²	Ø16c200	1005,3 mm ²
Tverrgående armering OK	853,6 mm ²	Ø16c200	1005,3mm ²
Langsgående armering UK	1414,9 mm ²	Ø16c100	2010,6 mm ²
Tverrgående armering UK	1279,3 mm ²	Ø16c150	1340,4 mm ²

5.6.4 Skjærstrekkkapasitet

For skjærstrekkkapasitet brukes samme beregningsgang som for topplaten. I dette tilfellet blir det armeringen i underkant som blir dimensjonerende for skjærstrekkkapasiteten siden momentet gir strekk i underkant. Beregningen gir følgende verdi:

$$V_{Rd.c1} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{N}{mm^2} \cdot b \cdot d_x = 182.8 \text{ kN}$$

Skjærstrekkkapasiteten er nesten nådd av maksimal opptredende skjærkraft på 170,1kN, fra tabell 5.5. I dette tilfellet er det brukt en utregning med $k_2=0,15$. Skulle det være nødvendig med økt kapasitet kunne k_2 blitt økt til 0,18, under visse kriterier gitt i NA.6.2.2(1) (14, s.235).

5.6.5 Bruksgrense

5.6.5.1 Deformasjon

I bunnplaten vil summen av kreftene peke oppover mot vannoverflaten og dekket vil bli bøyd oppover. For å bruke formelen i *Beton-Kalender* er kreftene summert, med positiv retning oppover. Ellers brukes samme fremgangsmåte som for topplate. Estimert vertikal deformasjon ved håndberegning ble 4,3mm. Til sammenligning gav *OS-prog* 10mm vertikal deformasjon midt

på platen. Igjen er det en vesentlig forskjell mellom resultatet fra de to metodene, men begge resultatene er innenfor kravet på 20mm.

5.6.5.2 Rissvidde

I likhet med toppplaten er bunnplaten også i eksponeringsklasse XS3. Det vil si at bunnplaten rissvidder er beregnet for laster i *ofte forekommende*. Det ble beregnet en gjennomsnittlig lastfaktor på lik måte som for lastene på toppplaten for å beregne M_{SLS} . For lastene på bunnplaten ble denne 1,42. E-modulen for betong ble satt ned til 15000N/mm² fra en E-middel på 17100 N/mm² fra deformasjonsberegningen. Det ene svaret ble satt til 0mm fordi beregning gav en negativ verdi på grunn av lav spenning i armeringen.

Tabell 5.7 Rissvidder bunnplate.

	Retning	Lovlig rissvidde, w_{max}	Beregnet rissvidde, w_k
Felt, underkant	x-retning	0,36 mm	0,05 mm
	y-retning	0,36 mm	0,0 mm
Støtte, overkant	x-retning	0,36 mm	0,20 mm
	y-retning	0,36 mm	0,26 mm

5.7 Langvegg mot sjø

5.7.1 Spesifikasjoner

Langveggene mot sjø ble regnet ut med samme fremgangsmåte som topp- og bunnplate, men nå med andre dimensjoner. På grunn av tverrveggene på innsiden av bryggen vil også langveggene bli delt opp i felt, på lik linje med topp- og bunnplaten. Feltet er 4,9m høyt og 6,25m bredt. Til sammen har bryggen 16 felt av denne størrelsen. I beregningene har korteste spennvidde blitt satt til $l_x = 4,9m$ (x-retning) og lengste spennvidde til $l_y = 6,25m$ (y-retning). Langveggene er 300mm tykke.

Langveggene må være like tykke som dekkene for å kunne regne med fullt innspente dekker.

5.7.2 Bruddgrense

Beregningen av lastbildet til langveggene mot sjø ble gjort forenklet. Det ble bestemt å utelate beregninger av dynamiske laster som bølger og strøm. Dette ble kompensert med at vanntrykket på veggen ble satt helt opp til bryggens overkant i stedet for til vannlinjen. Beregningene av opptredende krefter ble også enklere siden trekantlasten gikk langs hele høyden til veggen, og ikke bare på deler av den. Denne lasten hadde en maksimal verdi ved 4,9m dybde på $74,1\text{kN/m}^2$ inkludert lastfaktor. Punktlasten, som skal representere et skip som treffer bryggen med en viss kraft, ble plassert ved vannlinjen og ble satt til 315kN i bruddgrense.

Siden maksimalt feltmoment for trekantlasten og punktlasten oppstår forskjellige steder, ble de summert grafisk ved hjelp av enkle momentdiagrammer. Dette har vist seg å gi relativt nøyaktige verdier så lenge forholdet mellom tallene og størrelsen på skissen er presise. Som en liten sikkerhet ble det rundet opp til nærmeste hele tier for feltmomentene. Dimensjonerende krefter er presentert i tabell 5.8.

Tabell 5.8 Krefter langvegg.

Feltmomenter		
$M_{Ed,x}$	x-retning	80 kNm/m
$M_{Ed,y}$	y-retning	90 kNm/m
Støttemomenter		
$M_{Ed,x=0m}$	x-retning	118,8 kNm/m
$M_{Ed,x=4,9m}$	x-retning	88,4 kNm/m
$M_{Ed,y,støtte}$	y-retning	62,5 kNm/m
Skjærkrefter		
$V_{Ed,x=0m}$	x-retning	126,6 kN
$V_{Ed,x=4,9m}$	x-retning	139 kN
$V_{Ed,y}$	y-retning	100,3 kN

5.7.2.1 Knekking

Veggen ble sjekket for knekking ved å se på én meter veggstripe, både i bredde- og lengderetning. Målet med beregningen var å sjekke om en veggstripe ville være slank og dermed kreve utregning av

2.ordens momenter. Som forventet var veggen under kravet siden knekk lengden var så liten på grunn av innspenningsgraden. Tillegget i 1.ordens moment for bruddgrense ble også neglisjert.

5.7.3 Armering

Armeringen i langveggen består i likhet med topp- og bunnplaten av lengdearmering i to retninger, både ved innerkant og ytterkant. Lengdearmeringen i x-retning blir lagt ytterst både ved innerkant og ytterkant selv om feltmomentet i y-retning er litt større enn i x-retning. Dette er valgt for at det skal bli enklest mulig å legge armeringen ved at det er lik rekkefølge i alle elementene. Valgt armering i tabell 5.9.

Tabell 5.9 Armering langvegg.

Armeringsbeskrivelse	Nødvendig armeringsareal	Diameter og senteravstand	Armeringsareal pr. meter
Langsgående armering IK	1001,3 mm ²	Ø16c150	1340,4 mm ²
Tverrgående armering IK	1209,9 mm ²	Ø16c150	1340,4 mm ²
Langsgående armering YK	1493,8 mm ²	Ø16c100	2010,6 mm ²
Tverrgående armering YK	853,6 mm ²	Ø16c200	1005,3 mm ²

5.7.4 Skjærstrekkkapasitet

Brukte samme bergningsgang som topp- og bunnplate. Siden momentet gir strekk i ytterkant er det denne armeringen som ligger til grunn for skjærstrekkkapasiteten. Kapasiteten blir:

$$V_{Rd,c1} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \frac{N}{mm^2} \cdot b \cdot d_x = 176 \text{ kN}$$

Sammenlignet med maksimalt opptredende skjærkraft på 139kN, tabell 5.8, er det innenfor kravet for nødvendig skjærarmering.

5.7.5 Bruksgrense

5.7.5.1 Deformasjon

Kreftene fra vanntrykket og skipslasten vil føre til en bøyning av veggen innover. Ved beregning av deformasjonen blir egenvekten sett bort fra i veggens tilfelle, siden den ikke vil bidra til horisontal deformasjon. Estimert horisontal deformasjon av langvegg ble 2,6mm. Det er innenfor kravet på 19,6mm.

5.7.5.2 Rissvidde

Langveggene mot sjø er i eksponeringsklasse XS3, altså må rissvidder beregnes for laster i *ofte forekommende*. For langveggene ble det beregnet en gjennomsnittlig lastfaktor på 1,426 for å finne en verdi for M_{SL5} . E-modulen for betong ble også her satt ned til 15000N/mm² fra en midlere E-modul på 17800N/mm² fra deformasjonsberegningen. Beregnede rissvidder presentert i tabell 5.10.

Tabell 5.10 Rissvidder langvegg.

	Retning	Lovlig rissvidde, w_{max}	Beregnet rissvidde, w_k
Felt, innerkant	x-retning	0,36 mm	0,19 mm
	y-retning	0,36 mm	0,27 mm
Støtte, ytterkant	x-retning	0,36 mm	0,21 mm
	y-retning	0,36 mm	0,20 mm

5.8 Kortvegg mot sjø

5.8.1 Spesifikasjoner

Kortveggene mot sjø ligger langs bryggens kortside og beregnes med samme fremgangsmetode som langvegger. Disse blir også delt opp i felt på grunn av langveggen langs midten av konstruksjonen. Feltet som blir beregnet er 4,9m høyt og 5m bredt. Til sammen har bryggen fire felt av denne størrelsen. I beregningene har korteste spennvidde blitt satt til $l_x = 4,9\text{m}$ (x-retning) og lengste spennvidde til $l_y = 5\text{m}$ (y-retning). Kortveggene er 300mm tykke, likt som langveggene mot sjø.

5.8.2 Bruddgrense

Beregningen av kortveggen er gjort med samme lastbilde som langveggen; en trekantlast satt helt opp til bryggens overkant på grunn av vanntrykk og dynamiske laster, og en punktlast som skal representere et skip som støter mot veggen ved vannlinjen.

Kortveggene har samme problem som langveggene mot sjø, det er ulik plassering av maksimalt feltmoment. Det ble brukt samme løsning ved å summere feltmomentene grafisk. Feltmomentene ble rundet opp til nærmeste hele tier. Dimensjonerende krefter presentert i tabell 5.11.

Tabell 5.11 Krefter kortvegg.

Feltmomenter		
$M_{Ed,x}$	x-retning	100 kNm/m
$M_{Ed,y}$	y-retning	90 kNm/m
Støttemomenter		
$M_{Ed,x=0m}$	x-retning	85,2 kNm/m
$M_{Ed,x=4,9m}$	x-retning	68,1 kNm/m
$M_{Ed,y,støtte}$	y-retning	63,3 kNm/m
Skjærkrefter		
$V_{Ed,x=0m}$	x-retning	97,6 kN
$V_{Ed,x=4,9m}$	x-retning	127,1 kN
$V_{Ed,y}$	y-retning	102,8 kN

5.8.2.1 Knekking

Kortveggen ble også sjekket for knekking med samme metode som langveggen. Siden kortveggen har lik høyde som langveggen og en bredde som er kortere enn langveggen ble det heller ikke her krav om 2.ordens momenter. Tillegget i 1.ordens moment for bruddgrense var neglisjerbart.

5.8.3 Armering

Kortveggen består av lengdearmering i lengderetning og høyderetning, både ved innerkant og ytterkant. Lengdearmering i den korteste spennvidden, høyderetning, blir lagt lengst ut både ved innerkant og ytterkant siden de største momentene oppstår i x-retning. Valgt armering i tabell 5.12.

Tabell 5.12 Armering kortvegg.

Armeringsbeskrivelse	Nødvendig armeringsareal	Diameter og senteravstand	Armeringsareal pr. meter
Langsgående armering IK	1251,6 mm ²	Ø16c150	1340,4 mm ²
Tverrgående armering IK	1209,9 mm ²	Ø16c150	1340,4 mm ²
Langsgående armering YK	1066,6 mm ²	Ø16c150	1340,4 mm ²
Tverrgående armering YK	853,6 mm ²	Ø16c200	1005,3 mm ²

5.8.4 Skjærstrekkkapasitet

Kortveggene er, i likhet med langveggene og topp- og bunnplatene, beregnet etter punkt 6.2.2 i NS-EN 1992-1-1. Kortveggene mot sjø har godt med armering i ytterkant som spiller positivt inn på kapasiteten. Skjærstrekkkapasiteten til kortveggene mot sjø er:

$$V_{Rd,c1} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot b \cdot d_x = 162.5 \text{ kN}$$

Sammenlignet med maksimalt opptredende skjærkraft på 127,1kN, fra tabell 5.11, er det innenfor kravet om å armere uten skjærarmering.

5.8.5 Bruksgrense

5.8.5.1 Deformasjon

På grunn av vanntrykket og skipslasten vil kortveggene mot sjø få en bøyning innover. Egenvekt blir ikke tatt med siden den lasten peker nedover langs veggen, og dermed ikke bidrar til horisontal deformasjon. Estimert horisontal deformasjon av kortveggene ble 2,0mm. Kravet på 19,6mm er overholdt.

5.8.5.2 Rissvidde

Eksponeeringsklasse XS3 gir krav til rissviddekontroll med laster i *ofte forekommende* etter tabell NA7.1N (14, s.238). Gjennomsnittlig lastfaktor for lastene på kortveggene mot sjø ble beregnet til 1,41. Denne ble brukt for å finne M_{SL} . Elastisitetsmodulen for betong ble satt ned til 15000N/mm² fra en midlere E-modul på 17800N/mm² fra deformasjonsberegningen. Beregnede rissvidder i tabell 5.13.

Tabell 5.13 Rissvidder kortvegg.

	Retning	Lovlig rissvidde, w_{max}	Beregnet rissvidde, w_k
Felt, innerkant	x-retning	0,36 mm	0,29 mm
	y-retning	0,36 mm	0,27 mm
Støtte, ytterkant	x-retning	0,36 mm	0,22 mm
	y-retning	0,36 mm	0,21 mm

5.9 Innervegger

Innerveggene i flytebryggen har tykkelse på 200mm. De er gjort tynnere enn ytterveggene fordi de utsettes for mindre laster enn de ytre veggene. Innerveggene dimensjoneres etter ulykkeslast og globalt brudd, dette holder for å sikre kapasitet til sitt bruk. Ulykkeslast er vanntrykk helt opp til toppen av veggen. Når det beregnes for ulykkeslast brukes lastfaktor og materialfaktor for ulykke. Siden det kan komme ulykkeslast fra begge sidene legges den største armeringen av felt og støtte på begge sider av tverrsnittene. I dette tilfellet regnes veggene fullt innspent i alle render siden alle veggene rundt er enten samme tykkelse eller tykkere.

5.9.1 Langvegg

Tabell 5.14 Armering indre langvegg

Armeringsbeskrivelse	Nødvendig armeringsareal	Diameter og senteravstand	Armeringsareal pr. meter
Langsgående armering	822,9 mm ²	Ø16c200	1005,3 mm ²
Tverrgående armering	1082,7 mm ²	Ø16c150	1340,4mm ²

5.9.2 Kortvegg

Tabell 5.15 Armering indre kortvegger

Armeringsbeskrivelse	Nødvendig armeringsareal	Diameter og senteravstand	Armeringsareal pr. meter
Langsgående armering	771,6 mm ²	Ø16c250	804,2 mm ²
Tverrgående armering	838,3 mm ²	Ø16c200	1005,3mm ²

5.10 Innfestninger

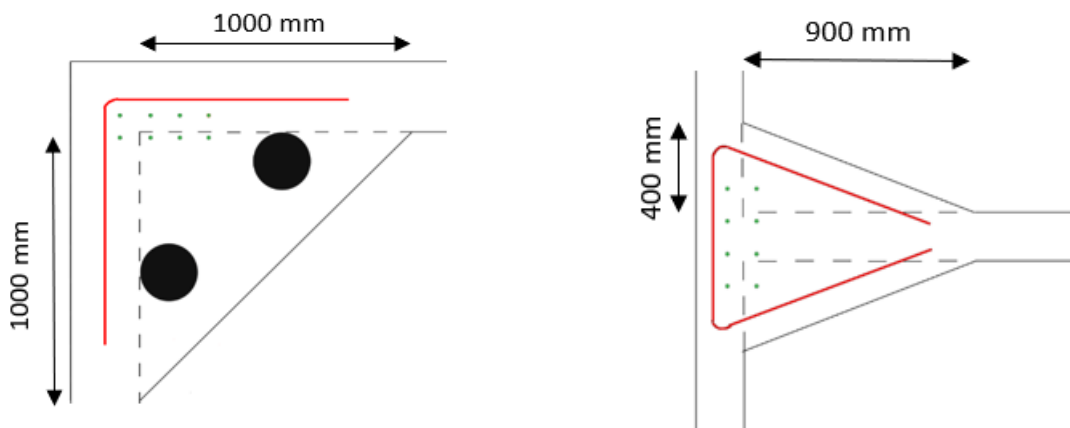
Det er nødvendig med ekstra armering ved innfestninger som gir store lokale krefter. Dette gjelder for pullerter og forankringsfester.

5.10.1 Innfestning pullert

Pullertene fører krefter fra fortøyde fartøy videre ned i betongen. Det er ønskelig at selve pullerten blir dimensjonerende. Altså skal bolter og betong tåle større laster enn selve pullerten. Det nyttes to ulike pullerter på flytebyggen. Seks stykk med 15t kapasitet og seks stykk med 5t kapasitet.

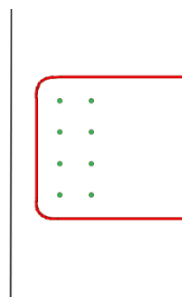
Pullerter med 15t kapasitet festes etter anbefaling fra pullert data hentet fra Trelleborg Marine Systems katalog *Bollards Product Brochure 2018 (19)*. Det er valgt å nytte en «cleat pullert». Disse er anbefalt å feste med M20 bolter av grad 8.8, med en lengde på 350mm. 30mm av disse vil være over betongen. Boltene vil gå gjennom betongdekket og ned i hjørner. I ytterhjørnene vil både pullerter og forankring festes. Her vil det støpes inn trekant som vist i figur 5.1. Ved midtre pullerter støpes det to mindre avlange trekant på hver side av indre midtvegg, som vist i figur 5.1.

Pullertene skal tåle en last 180 grader utover langs byggen, og 60 grader oppover fra topplaten. Ut fra beregninger er det valgt en armering på 6 Ø20 jern. Ved å bruke innfestningsmetoden som beskrevet i Trellebogs katalog vil vertikale krefter bli tatt opp i betongen. Horisontalt vil krefter ved ulike retninger tas opp i armeringen. Armeringen har en senteravstand på 60mm, og er buet med en dordiameter på 80mm. Overdekningen er 60mm og jernene er lagt med forankringslengder ulikt for annethvert jern på henholdsvis 1m og 2m i retningene som skal ta opp kreftene fra pullerten. For å ha plass til 2m forankringslengde til armering for pullert i midten av byggen kan jernene bøyes langs innerveggen.



Figur 5.1 Skisse av pullertarmering 15t pullert. Venstre skisse viser tverrsnitt av ytre hjørne, øvre del. Høyre skisse viser tverrsnitt av yttervegg ved midten av bryggen, øvre del. Skisser er ikke i målestokk. Laget i Photoshop.

Pullerter på 5t vil festes med bolter med kortere lengde, og vil dermed ikke være gjennomgående, men festet kun i dekket. Det vil armeres med bøyer rundt boltene. Det er valgt en armeringsmengde på 3 Ø20. Jernene vil ha en senteravstand på 52mm, og er buet med en dordiameter på 80mm. Overdekning er 60mm og jernene er lagt med forankringslengde ulikt for annethvert jern på henholdsvis 1m og 2m.



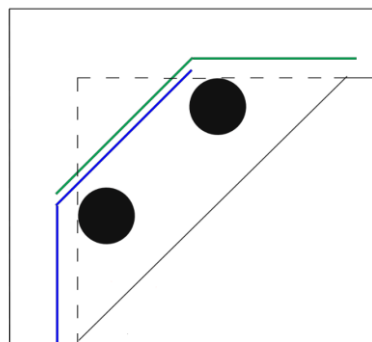
Figur 5.2 Skisse av pullertarmering 5t pullert. Viser tverrsnitt av topplaten ved yttervegg. Skisse er ikke i målestokk. Laget i Photoshop.

Det er valgt flere jern enn hva nødvendig armering tilsier basert på bruksgrense. Dette er vurdert hensiktsmessig for å sikre at pullerten vil ryke først ved overlast. Det anses som en rimelig forsikring å øke armeringen til den mengden som er valgt. Ved en slik armering vil bryggens skade bli begrenset ved overlast.

5.10.2 Innfestning forankring

Det støpes inn ståltrakter med diameter 250mm i hjørner av bryggen. Forankringskjetting festes med bolter nær overkant toppplate. Det skal være en inspeksjonsluke gjennom toppplaten for å nå punktet hvor kjettingen er innfestet. Ståltraktene er plassert i betongtrekanter i hjørnene av bryggen hvor forankringen skal festes i henhold til forankringsplan. Det armeres for lasten der hver av forankringene blir ført inn i betongen.

Kreftene fra forankringer er beregnet forenklet basert på antatte verdier for bevegelse og fart på bryggen. Det regnes med at hver av forankringene skal holde tilbake hele denne kraften. Slike dimensjonerende bevegelser kan for eksempel komme ved at et fartøy har et unormalt hardt treff mot bryggen. Disse kreftene bør sees nærmere på av marinfaglige ingeniører med kompetanse på området. Ut fra overslagene er det vurdert en armering på 15 Ø20 armeringsjern for hver av innfestningstraktene. Jernene legges med 60mm overdekning fra bunn, og deretter en senteravstand på 52mm. Jernene legges med ulik forankringslengde for annethvert jern på henholdsvis 1m og 2m



Figur 5.3 Skisse av forankringsarmering. Tverrsnitt av ytre hjørne, nedre del. Skisse er ikke i målestokk. Laget i Photoshop.

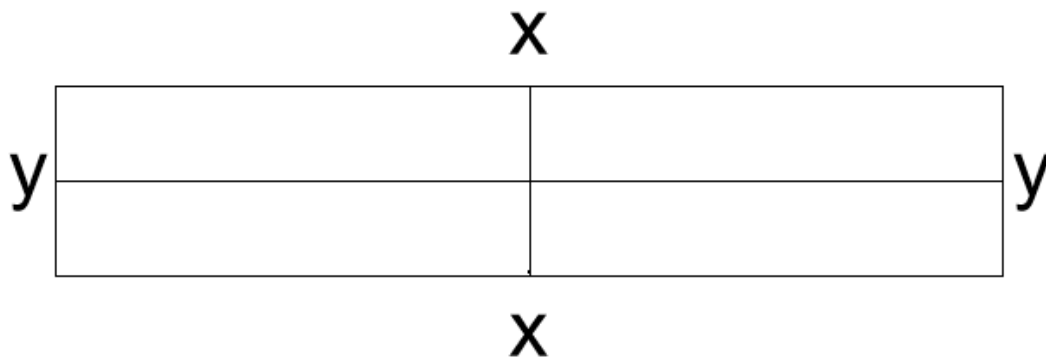
Inspeksjonsluken og utsparingen i dekket over hvert trekrør vil være på 250mm i diameter. Armeringen som etter dimensjonering av dekket skulle ligget der utsparingen er, vil bli lagt med 60mm avstand fra utsparingen. Senteravstanden mellom jernene er satt til 48mm i området rundt utsparingen.

På den siden av betongtrekanten i hjørnene som vender inn mot bryggens innside legges det armering lik innervegger.

5.11 Generell stabilitet

Det er ingen standard som tar for seg stabilitetsutregninger for flytebrygger. For å regne ut stabilitet blir det brukt faglig litteratur fra forskjellige kilder. Hovedsakelig er det kapittelet om *Pier stability* i *Port Engineering* som blir brukt, mens litteratur som kapittelet *Oppdrift og stabilitet* fra *Havromsteknologi* og diverse nettsider om stabilitet er også nyttet, for å få en generell forståelse rundt stabilitet og hvordan formlene virker.

Stabilitet blir regnet om to akser, akse om lengderetning er y-y og akse om kortretning er x-x. Det ble avgrenset til statisk stabilitet, og sett på hver akse individuelt. I realiteten vil dette være en mer dynamisk prosess enn statisk, dette bør sees på av mariningeniør før bryggen blir produsert. Statisk stabilitet kan være en god indikasjon på hva som kan forventes av konstruksjonens stabilitet.



Figur 5.4 Flytebryggens akser sett ovenfra.

Det anbefales at en flytebrygge ikke overskrider 3-8 grader krenkning etter *Port Engineering* (2, s.552). *Port Engineering* har også formler for beregning av stabilitet.

For å regne stabilitet må det kalkuleres et gravitasjonssenter og et oppdriftssenter.

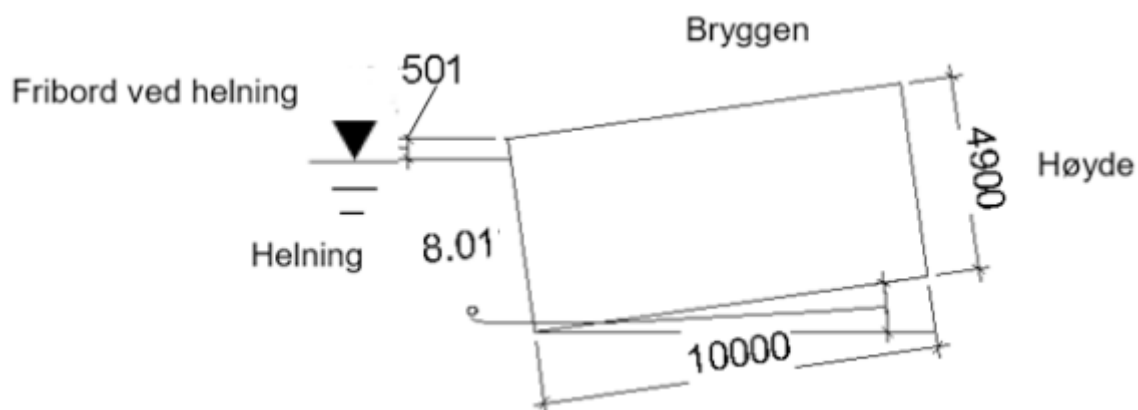
Gravitasjonssenter er tyngdepunktet til massen og lastene. Oppdriftssenter er tyngdepunktet til oppdriftskraften. Avstanden mellom gravitasjonssenteret og oppdriftssenteret er avgjørende for stabilitet, kort avstand gir god stabilitet (20, s.12). For å finne plasseringen av gravitasjonssenteret for egenvekt og nyttelast er det gjort en forenkling ved å ikke ta med vindlast. Vindlasten virker ikke over hele overflaten når den lager krenkning. For å forenkle beregningen til gravitasjonssenteret er vindlasten derfor ikke tatt med. Vindlasten er med i beregningene for krenkning, bare ikke for gravitasjonssenteret.

Det er gjort forenklinger for hvilke laster som blir opptredende under stabilitetsberegningen. For lastene som vil bidra til krenkning er det sett bort fra snølast. Det er ikke tatt med snølast fordi den enten virker over hele overflaten eller ikke i det hele tatt. Trucken blir plassert som en enkel punktlast helt i kanten av bryggen for å få størst opptredende moment. Nyttelasten har et lastareal på en tredjedel av overflaten. Halve overflaten ville gitt mest krenkning, men dette anses som et lite sannsynlig scenario. Det er urealistisk at personell bare vil nytte én halvdel til nyttelasten og kun bruke denne halvdel. Når bryggen krenker merkbart vil det også være klart for personell at lasten må bli bedre fordelt. Vindlasten er mer uforutsigbar. Denne settes til å opptre over hele halvdel bryggen krenger mot. Dette er konservativt ettersom det er lite tenkelig at vindlasten kun virker på én halvdel, og at det samtidig er nyttelast fordelt på denne halvdel inkludert en truck.

Bryggen er utformet med dimensjoner 10m i kortretning x-x og 50m i lengderetning y-y. Bryggen er mest sårbar for krenkning om y-y-aksen. Opptredende krenkning er 8,01 grader om y-y og 0,86 grader om x-x. 8,01 grader er tilsvarende likt 8,0 grader, og denne forskjellen ses på som neglisjerbar.

$$\phi_x := \frac{M_x}{\gamma \cdot (I_x - V \cdot a)} = 8.01^\circ \quad \phi_y := \frac{M_y}{\gamma \cdot (I_y - V \cdot a)} = 0.86^\circ$$

Ved krenkning om x-x har bryggen et fribord på 0,501m, og 0,825m ved krenkning om y-y på siden som krenger mot vannoverflaten.



Figur 5.5 Maksimal krenkning om y-y-akse.

Det vil være en markant endring i fribord og en merkbar krenkning, men bryggen er fortsatt stabil. Kravet i *Port Engineering* for maksimal krenkning er overholdt (2, s.553). Det er også regnet ut en verdi for initialmetasenterhøyde, som er et mål for stabilitet. Kravet for skip er satt i forskriften om

bygging av skip i kapittel 3 om stabilitet. § 19-4 sier at initialmetasenterhøyden for båter og skip ikke skal være mindre enn 0,15m (21). *Port Engineering* bruker også denne verdien, men her er kravet for flytebrygger at den ikke skal være mindre enn 0,2m (2, s.555). Utreget verdi er 1,187m om y-y-aksen og 55,241m om x-x-aksen. Ut fra disse forenklete beregningene er ikke stabilitet et problem for bryggen.

$$IMH_x := p_x - a = 1.187 \text{ m}$$

$$IMH_y := p_y - a = 55.241 \text{ m}$$

5.12 Oppdrift og stabilitet etter ulykke

5.12.1 Oppdrift etter ulykke

For sikkerhet av personell og økonomiske årsaker er det ønsket at flytebryggen flyter etter ulykke. Flyter bryggen kan personell komme seg til sikkerhet og bryggen kan repareres om dette lar seg gjøre. Det skal sikres at konstruksjonens stabilitet ikke er i fare og konstruksjonen må opprettholde nok oppdrift til at nødvendige krisetiltak kan gjennomføres (22, s.14).

For å regne ut flyteevnen etter en ulykke, hvor det er to skott mindre som sikrer oppdrift, regnes last nedover mot bryggens oppdrift uten volumet til de to ødelagte skottene. Det er beregnet som om bryggen vil ligge vannrett, men den vil i realiteten krenge mot manglende oppdrift.

For å regne det som vil tilsvare et teoretisk fribord om bryggen hadde vært vannrett ved ulykke må det gjøres to beregninger. Den første er å regne ut hvor dypt bryggen ligger etter ulykke, og hvor stor avstanden er fra vannoverflaten til overkant brygge. For å regne ut hvor dypt bryggen ligger etter ulykke brukes Arkimedes' lov:

$$dybde := \frac{last1 + last2}{Oppdrift} = 4.008 \text{ m}$$

For å finne teoretisk fribord blir vanndybden subtrahert fra den totale høyden av bryggen:

$$fribord := h - dybde = 0.892 \text{ m}$$

Bryggens oppdrift ved ulykke gir et teoretisk vannrett fribord på 0,892m ved forenklet beregning, med oppdrift fra 14 av totalt 16 skott.

5.12.2 Stabilitet etter ulykke

Stabilitet regnes på samme fremgangsmåte som tidligere etter *Port Engineering*. Boken forklarer fremgangsmåte for å regne stabilitet på en skadet flytebrygge. Det blir bare regnet stabilitet for ulykke som er usymmetrisk. Det vil si hvor mye krenkning om en akse som oppstår dersom to skott på samme side av en akse ryker. Dette er det verst tenkelige scenarioet dersom to skott ryker. Videre er beregningen utført med samme fremgangsmetode som stabilitet under vanlige forhold, med noen endringer. For stabilitet etter ulykke brukes fribordet regnet ut i kapittel 5.12.1 *Oppdrift ved ulykke*.

Gravitasjonssenteret er beregnet forenklet ved at vekten til vannet er lagt symmetrisk om gravitasjonssenter under normale forhold. Vekten av vannet blir ganget med en faktor 1,2 fordi bryggen vil helle mot skaden slik at denne delen ligger lavere i vannet enn resten. (2, s.557-558)

Resten av beregningene er gjort likt som tidligere stabilitetsregning. Om y-y-aksen blir helningen 5,39 grader og om x-x-aksen blir helningen 0,85 grader.

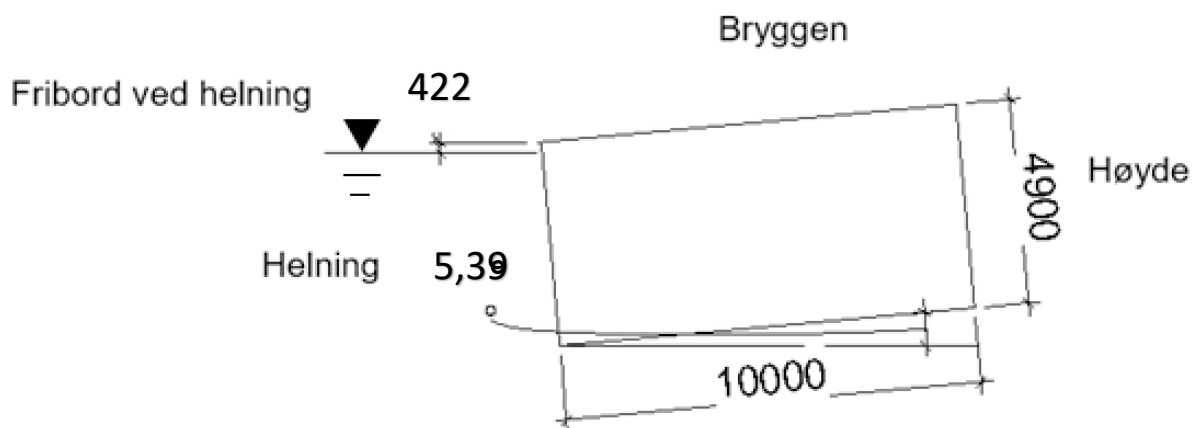
$$\phi_x := \frac{M_x}{\gamma \cdot (I_x - V \cdot a)} = 5.39^\circ \quad \phi_y := \frac{M_y}{\gamma \cdot (I_y - V \cdot a)} = 0.85^\circ$$

Resultatene viser at bryggen krenger mindre ved ulykke. Dette er fordi gravitasjonssenteret ligger dypere og dermed nærmere oppdriftssenteret. Initialmetasenterhøyde regnes også ut.

Initialmetasenterhøyden om y-y-aksen er 1,56m og om x-x-aksen er den 51,46m. Dette overholder både kravet fra *Forskrift om bygging av skip* og *Port Engineering*.

$$IMH_x := p_x - a = 1.56 \text{ m} \quad IMH_y := p_y - a = 51.46 \text{ m}$$

Om en slik ulykke ville inntruffet er det viktig å fjerne laster som fører til krenkning. I et slikt scenario vil beregnet fribord være høyere enn faktisk fribord, fordi bryggen har manglende oppdrift etter ulykke. Det teoretiske vannrette fribordet under krenkning er 0,422m om y-y-aksen eller 0,520m om x-x-aksen. Faktisk fribord vil være noe mindre enn dette på grunn av krenkning mot manglende oppdrift.



Figur 5.6 Krenning om y-y-akse i en ulykkesituasjon.

Ved et så lavt fribord vil det være ugunstig med stor sjø samtidig med stor krenning, ettersom bølger kan slå over bryggen og forårsake enda større krenning. En mulighet til å redusere krenningen er å fjerne eller omplassere nyttelast og trucklast, dersom det er sikkert etter forholdene.

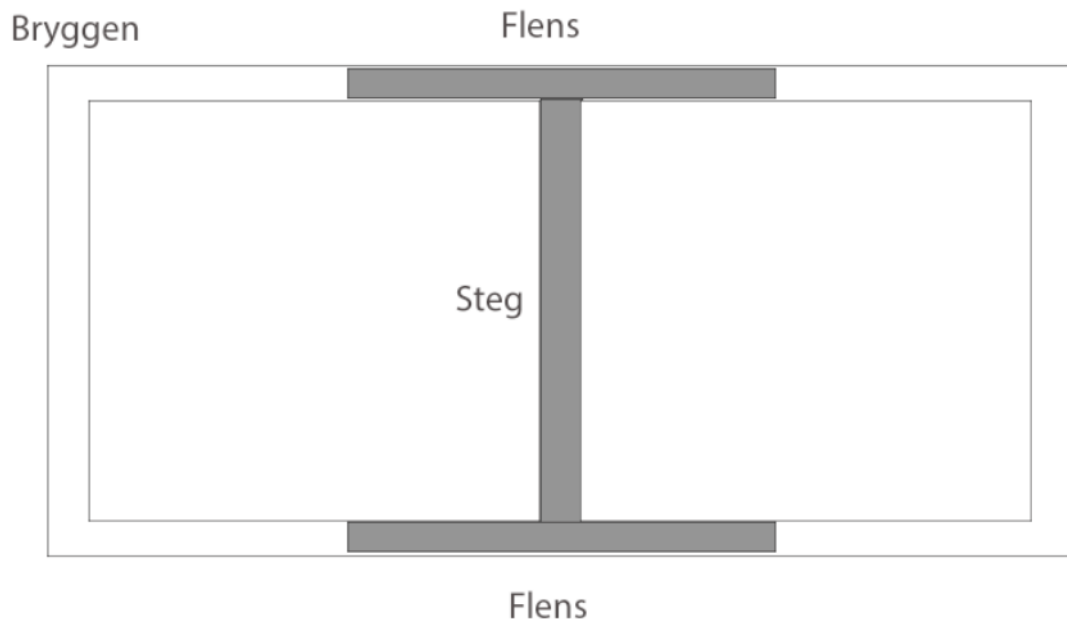
5.13 Globalt brudd

Siden dette er en stor konstruksjon, må det også beregnes for globalt brudd. Med globalt brudd menes det at det globale lastbildet fører til brudd. To tilfeller er beregnet. De to tilfellene er at bølger vil løfte konstruksjonen i endene eller på midten. Dette vil påføre store krefter i konstruksjonen som må sjekkes. Det er sjekket kapasitet på midterste langvegg ettersom denne får størst lastbredde og dermed er utsatt for størst krefter. Det er tatt utgangspunkt i 5m lastbredde, og lagt på en faktor på 1,25 til sikker side. Lastbredden for midterste dekket blir dermed 6,25m. Armeringsdataen som er brukt er hentet fra beregningene av dekker i kapittel om armering for topplate i 5.5.3 og bunnplate i 5.6.3. Det er gjort beregninger på trykkapasiteten til betongen i steget, og strekkapasiteten til armeringen i dekkene.

5.13.1 Momentkapasitet

I utregningen av global kapasitet er det ønskelig å utnytte konstruksjonen i størst mulig grad. Dette gjøres ved å se på bryggen som en stor H-bjelke med dekker som flens og midterste vegg som steg. Det er kalkulert hvor mye av dekke som brukes som flens etter NS-EN 1992-1-1. Etter punkt 5.3.2.1 blir flensbredden 2,792m for bølger i endene og 2,257m for bølge i midten.

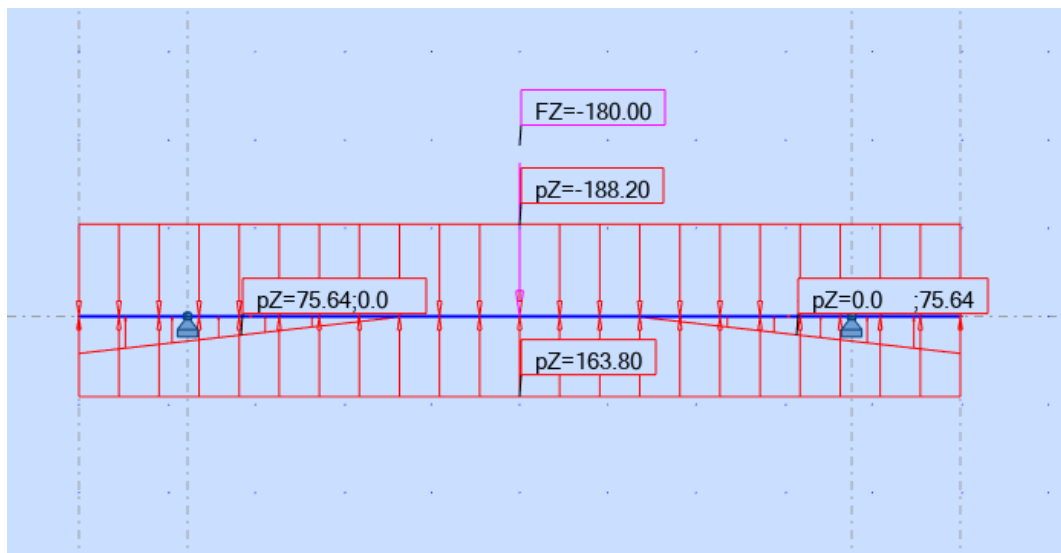
Med armeringen som er funnet innenfor lovlig flensbredde, beregnes det en momentkapasitet for strekksone. Det er også beregnet momentkapasitet i trykksone for teoretisk bjelke. Siden flensen er tynn, blir tykkelsen på bjelken lik tykkelsen av steget.



Figur 5.7 Teoretisk global bjelke i flytebryggens vertikale tverrsnitt. Figur er ikke i målestokk.

Bølgene er gjort om til trekantlaster. Dette er en forenkling for å kunne utføre beregningene. Bryggen skal tåle en bølgehøyde på 1,2m, en høyde tilsvarende krav til fribordet. For å beregne verst tenkelige bølgelengde itereres beregningene med forskjellige verdier. Denne metoden viser hvilken verdi som gir størst opptredende moment. Momentkapasiteten i trykksonen og strekksonen må være større enn opptredende moment for å unngå brudd. Hvor dypt bryggen ligger i vannet er regnet ut fra likevekt mellom laster ned og laster opp, og avhenger av bølgelengden.

Når bølgene er på enden er det jevnt fordelt last over hele «bjelken» som er rettet nedover og en jevnt fordelt last fra oppdriften «under» trekantlastene. Det er også plassert trucklast på midten av bjelken. Opptredende moment er størst på midten. Momentkapasiteten er beregnet som at bryggen har opplagere på trekantlastens tyngdepunkt. Det er iterert frem til hvor lang trekantlast som lager størst opptredende moment. For dette tilfellet blir det 18,5m trekantlastlengde.



Figur 5.8 Lastbildet med bølger i endene.

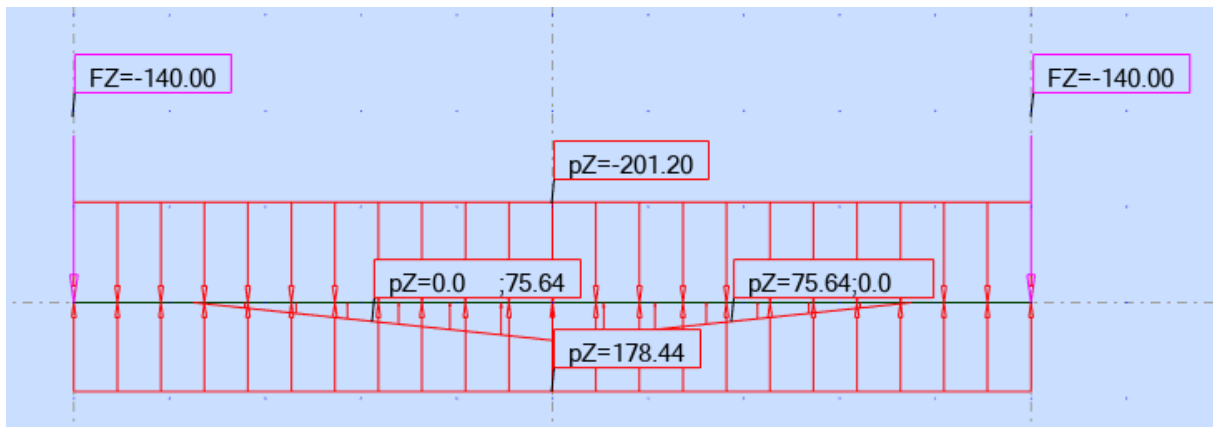
Utnyttelse på flensen ved størst bølgelast:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd.s.f}} = 0.187$$

Utnyttelse på steget ved størst bølgelast:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd.c}} = 0.213$$

Det er de samme lastene for bølge på midten som for bølge på endene, med unntak av det blir lagt til last fra landgang hentet fra kapittel 6.1 *Dimensjonering av landgang*. En forenkling er å legge sammen vekt av landgang og truck for å ta gjennomsnitt og sette på endene av bryggen. Hadde dette ikke blitt gjort ville det vært en dypere brygge i én ende som ville gjort beregningen av oppdrift under trekantlastene mer komplisert.



Figur 5.9 Lastbildet med bølge på midten.

Utnyttelse på flensen ved størst bølgelast:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd.s.f}} = 0.369$$

Utnyttelse på steget ved størst bølgelast:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd.c}} = 0.239$$

Det er brukt samme armering for globalt brudd som lengdearmeringen i dekkene. Om utnyttelsen hadde vært veldig stor i både dekkene og i globalt brudd er dette et problem. Dette ses ikke på som et problem fordi utnyttelsen for globalt brudd ikke er veldig stor, og at det er mer kapasitet å hente om armering i trykkflens brukes.

5.13.2 Skjærstrekkapasitet

Det er også gjort beregninger for skjærstrekk i globalt brudd. For begge tilfellene er det beregnet med skjærstrekkapasitet fra både steget og én flens addert sammen. Beregningen er gjort etter NS-EN 1992-1-1 (6.2.2) og skjærkraft er hentet fra beregninger i *Robot*.

For bølger i endene er utnyttelse for skjærkraft:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd.c}} = 0.527$$

For bølge på midten er utnyttelse for skjærkraft:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd.c}} = 0.664$$

Utnyttelsen av skjærstrekkapasitet i globalt brudd må sees i sammenheng med utnyttelsen av skjærstrekkapasitet i topp- og bunnplate fordi det er samme armering i lengderetning som nyttes. Utnyttelsen i platene er beregnet med full last, og vil i realiteten ikke ha dette på hver av feltene, spesielt trucklast vil bare være på ett felt om gangen. Derfor ansees kapasiteten tilstrekkelig, i tillegg kan innvendige tverrvegger og armering i trykkflens brukes til å øke kapasitet for skjær i globalt brudd.

5.13.3 Riss

For å vurdere sikkerhet i konstruksjonen er det også beregnet riss for konstruksjonen som en helhet. Riss regnes for begge scenarioene tidligere nevnt. Riss er gjort etter NS-EN 1992-1-1 og det er brukt forenklet metode. K_c regnes ut først. Den brukes til å finne tillatt spenning i armeringsjernene i tabell 7.2N og 7.3N. Deretter sjekkes spenningen i armeringsjernene og sørger for at dette ikke overgår kravet. Riss sjekkes med laster som er *ofte forekommende* etter eksponeringsklasse XS3 i NA.7.1N, dette er skrevet mer om i kapittel 5.5.5 og 5.6.5. Det er regnet ut en gjennomsnittlig lastfaktor på 1,237 for bølger i endene og 1,235 for bølge på midten. Armeringsareal er hentet fra beregningene for topplate og bunnplate.

Spenning for bølger i endene:

$$\sigma_s := f_{yd} \cdot \left(\frac{1}{Lf} \right) \cdot \frac{A_{s1.n\emptyset d} + A_{s2.n\emptyset d}}{A_{s1.brukt} + A_{s2.brukt}} = 210.7 \frac{N}{mm^2}$$

Spenning for bølge på midten:

$$\sigma_s := f_{yd} \cdot \left(\frac{1}{Lf} \right) \cdot \frac{A_{s1.n\emptyset d} + A_{s2.n\emptyset d}}{A_{s1.brukt} + A_{s2.brukt}} = 216.5 \frac{N}{mm^2}$$

Kravet i 7.2N er 240N/mm² og for 7.3N er 200N/mm². Konstruksjonen er ikke utsatt riss fordi kravet i tabell 7.2N er overholdt.

6 Dimensjonering landgang

Endúr Sjøsterk har gitt løse tøylar når det gjelder landgangen. Kravet de har satt er at det skal brukes truck med 4t lastekapasitet på bryggen og dermed også på landgangen. Lengden settes til å være åtte meter. Vannstanden i Bergen er målt til å være -42cm på det laveste (1980) til 240cm på det høyeste (1990) sammenlignet med referansenivå fra Kartverket. I gjennomsnitt er vannstanden omtrent 100cm over referansenivå fra 1915 til 2020 (23). Ved høyeste vannstand er landgangen vannrett i forhold til bryggens overflate. Dette tilsvarer en høyde på kaien på 1,2m. Med lavest vannstand vil vinkel på landgangen være:

$$\text{atan}\left(\frac{2.4 + 0.42}{8}\right) = 19.418^\circ$$

Og med gjennomsnittlig vannstand vil den være:

$$\text{atan}\left(\frac{1.40}{8.000}\right) = 9.926^\circ$$

For en landgang skal helningen maksimalt være 35 grader etter *Forskrift om sikkerhetstiltak m.m. på passasjer-, lasteskip og lektere* (24). Landgangen må også ha et rekkverk. Rekkverket til landgangen må være 1,00m høyt etter §12-15 i TEK17(25).

Slik landgangen er dimensjonert er det brukt vanlig konstruksjonsstål med kvalitet s355. Rustfritt stål blir sett på som for dyrt og har ugunstige egenskaper, derfor blir dette ikke anvendt (26, s.161).

Treghetsmomentet til HEA-bjolkene og platedekke er like tabellverdiene fra *Stålkonstruksjoner – Profiler og former*, men for IPE-bjolkene er det ikke tatt hensyn til at toppflensen er tykkere enn et vanlig IPE-tverrsnitt.

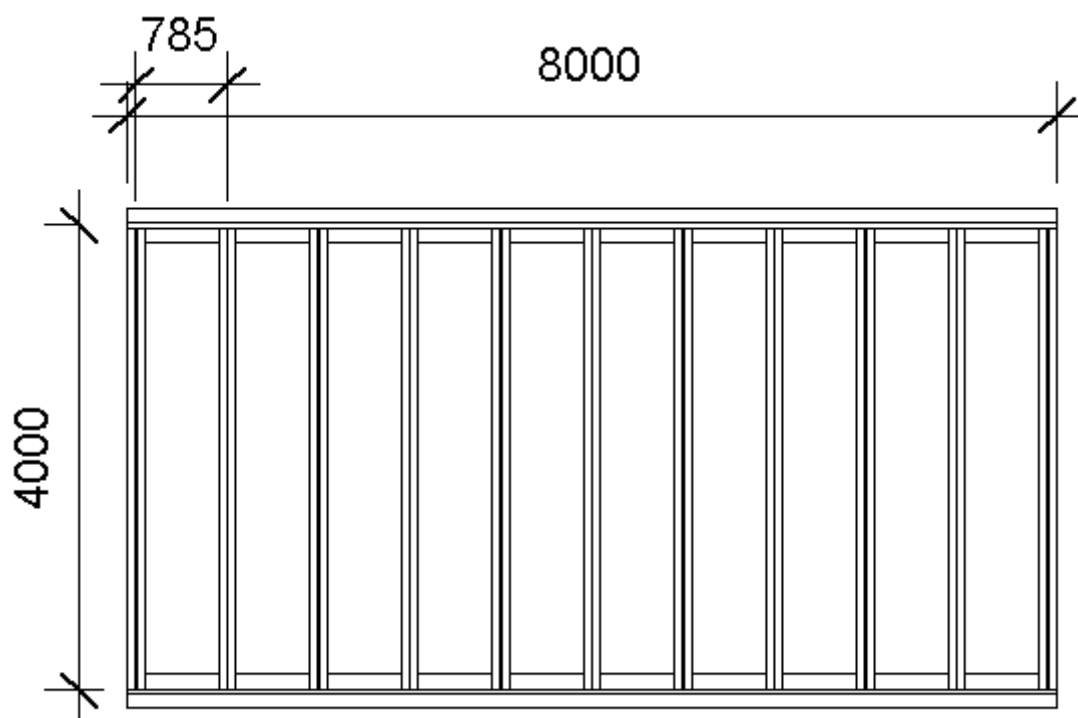
For innfestning er det tenkt at det skal være festet én vertikal bolt til kaien slik at landgangen vil rotere horisontalt rundt denne. Landgangen vil så være leddet slik at den kan rotere vertikalt med endring i vannstanden. Mellom landgang og bryggen er det tiltenkt at landgangen ligger på en stålplate som er festet i bryggen og har stoppere slik at landgangen ikke beveger seg utenfor bryggen.

Det er ikke regnet på sveis, bolt eller platen som skal ligge på kaien. Et viktig punkt for disse beregningene er at sveis og ledd må være sterkere enn konstruksjonsdelene etter 4.2(2) i NS-EN 1993-1-8 (27, s.39). Landgangen er leddet til kaien og ligger fritt opplagt på bryggen, derfor er det vurdert at aksialkrefter ikke blir dimensjonerende. Grunnen til at det ikke er gjort fullstendige

beregninger er at Endúr Sjøsterk kan bestemme seg for hvilken løsning de og leverandøren deres ser på som gunstigst før landgangen prosjekteres ferdig.

6.1 Bruddgrense

Bredden er satt til 4m. Akselbredde på truck er etter NS-EN 1991-1-1 tabell 6.5 på 1,2m (7, s.17), slik at med en bredde på 4m inkludert gjerde vil det være god plass til å operere på landgangen. Platen ble satt til en tykkelse på 19mm, for å være like tykk som flensen til et HEA400 tverrsnitt. Kapasiteten ble beregnet med 0,8m spenn på platen. Deretter ble kapasiteten til IPE360 på tvers av landgangen, med et lastareal 0,8m bredt og 4m langt, beregnet. Til slutt ble det sjekket om HEA400 holder spennet på 8m og lastbredden på 2m.



Figur 6.1 Dimensjoner av landgangens rammeverk.

HEA og IPE er profiler uten toppflens som blir sveiset til platen, slik at platen fungerer som bjelkenes toppflens. Kapasiteten til sveisen må være større enn kapasiteten til bjelker og platen (27, s.39). Kapasiteten til de forskjellige konstruksjonsdelene er regnet i bruddgrense og blir dimensjonert etter momentkapasitet. Lasten fra trucken er regnet som punktlaster. For plate og HEA er trucken beregnet som en punktlast på verste plassering. For IPE ble det sett på to situasjoner for punktlasten til trucken. Den mest konservative er at trucken regnes som én punktlast på midten og den andre er at det er to punktlaster med avstand tilsvarende akselbredden. Bjelkene tåler begge tilfellene, men

to punktlaster fordelt med akselbredde blir sett på som den mest korrekte beregningen. Konstruksjonsdelene er beregnet fritt opplagt fordi dette gir det mest konservative momentet i felt. Med sveist forbindelse blir det torsjon fra platen til IPE-bjolkene, og fra IPE-bjolkene til HEA-bjolkene. Torsjonsberegninger blir en del av videre arbeid for landgangen.

Vekt av landgang med valgt løsning er:

$$Vekt := 2 \cdot g_{k.HEA} \cdot l_{HE} + 11 \cdot g_{k.IPE} \cdot b + l_{HE} \cdot b \cdot h \cdot \rho_s = 91.1 \text{ kN}$$

Utnyttelse for platedekke:

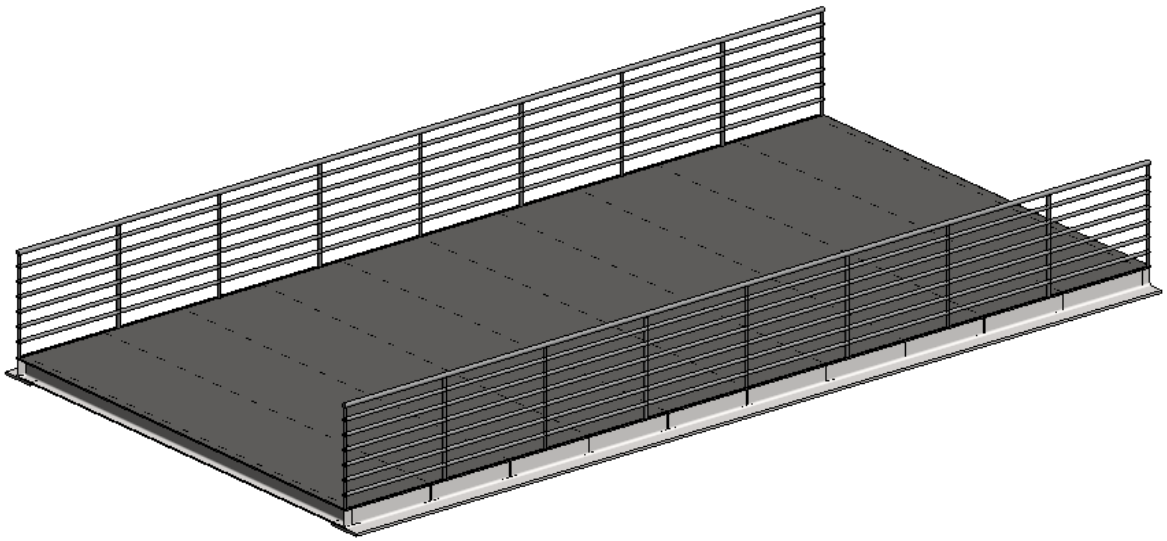
$$\frac{M_{Ed.pd}}{M_{Rd.pd}} = 0.699$$

Utnyttelse for IPE-bjelker:

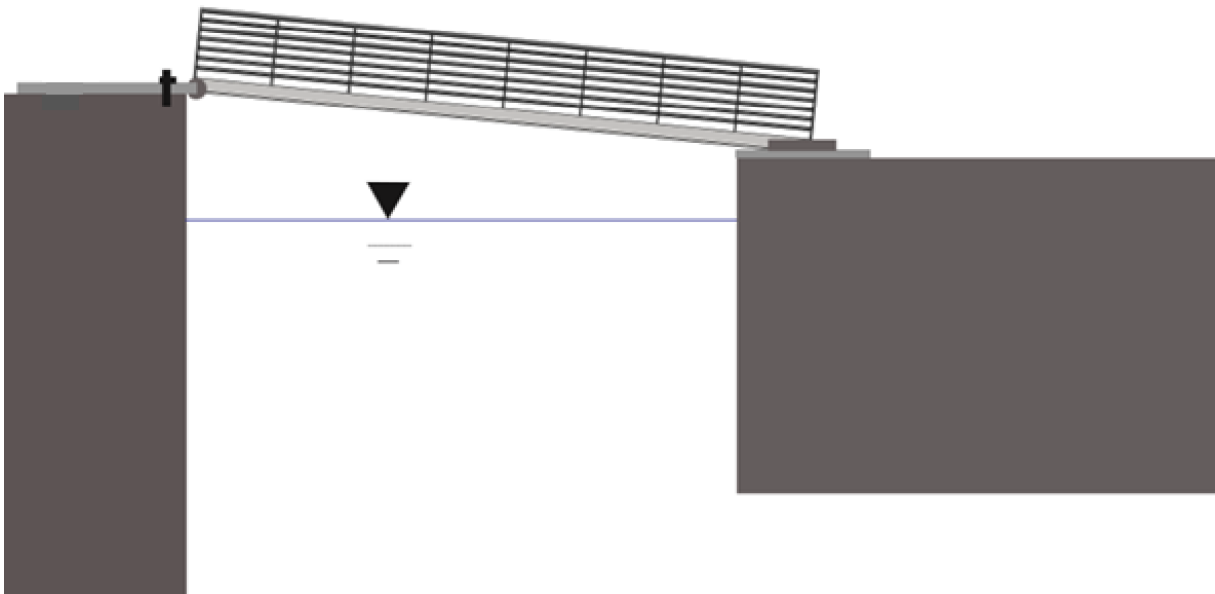
$$\frac{M_{Ed.IPE}}{M_{Rd.IPE}} = 0.669$$

Utnyttelse for HEA-bjelker:

$$\frac{M_{Ed.HEA}}{M_{Rd.HEA}} = 0.603$$



Figur 6.2 Revitmodell av landgang.



Figur 6.3 Illustrasjon av landgang med ledd, glideplate og kantlister. Figur er ikke i målestokk.

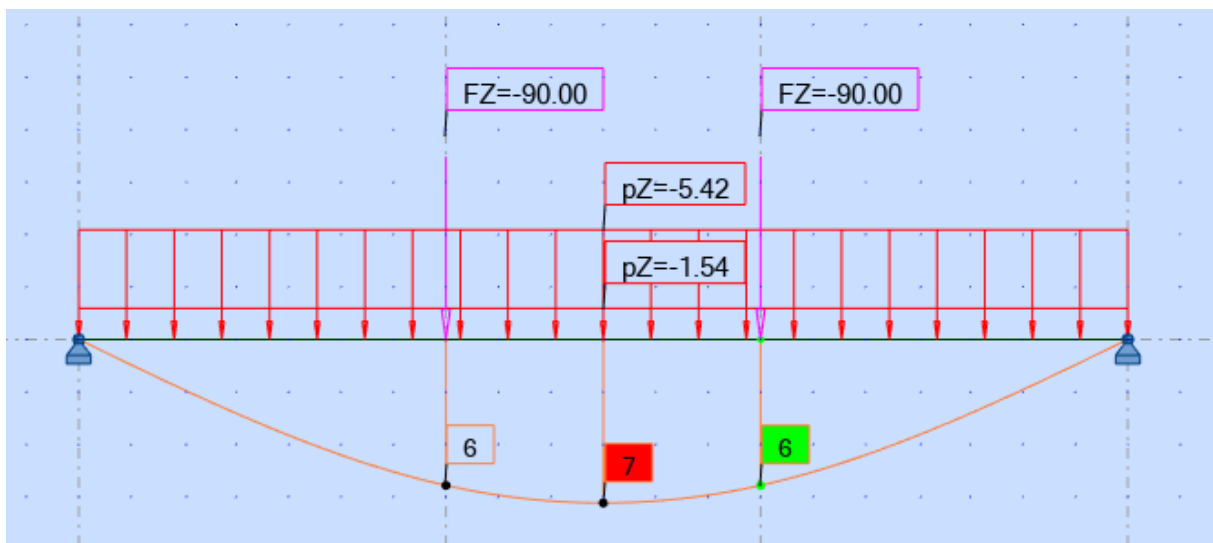
Dette er et av flere alternativ som kan brukes. Om platen endres til 25mm tykkelse kan det være et spenn på 1,6m mellom IPE-bjerkene, og om det er et ønske at platen er tynnere kan det velges 12mm tykkelse og et spenn på 0,4m mellom IPE-bjerkene. På grunn av den store kraften fra trucken må det minst brukes IPE360 og HEA400 uavhengig av hvilken løsning som velges. Vekten av landgangen endres ikke mer enn +/- 10% med de forskjellige løsningene

6.2 Bruksgrense

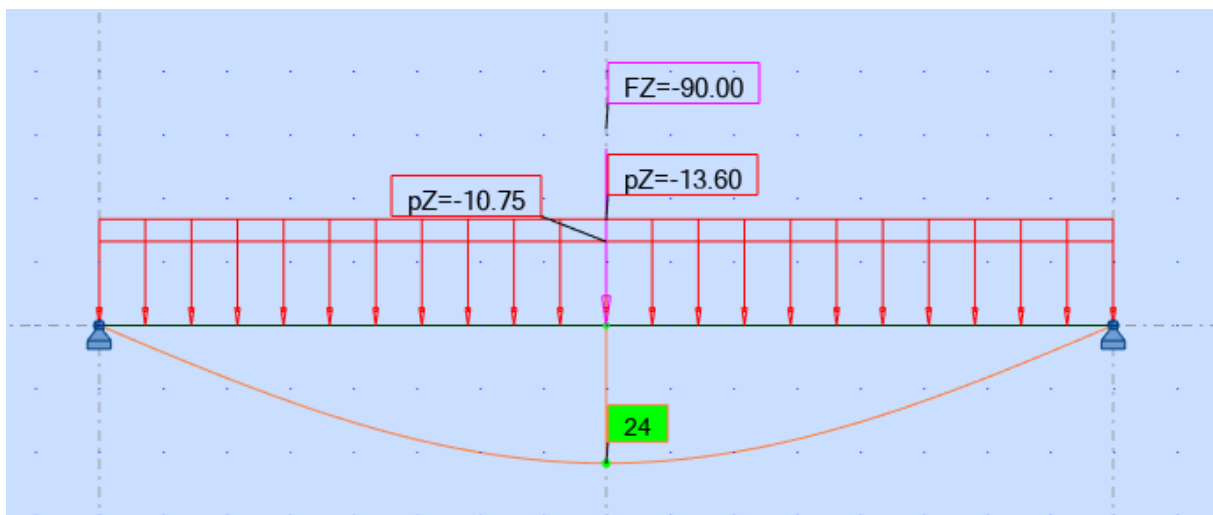
For bruksgrense på landgangen blir det beregnet vertikal forskyvning og utmatting.

6.2.1 Vertikal forskyvning

I følge NS-EN 1993-1-1 må vertikal forskyvning avklares med oppdragsgiver (27, s.77). Beregninger av nedbøyning er gjort med *Robot* og lastene er hentet fra beregningene i kapittel 6.1 *Dimensjonering landgang*. Beregningene gjort i *Robot* gir nedbøyning i IPE-bjelkene på 7mm og i HEA-bjelkene på 33mm.



Figur 6.4 Nedbøyning IPE. Rød rute er nedbøyning i mm. Utklipp fra Robot.



Figur 6.5 Nedbøyning HEA. Grønn rute er nedbøyning i mm. Utklipp fra Robot.

6.2.2 Utmatting

Utmatting er beregnet etter NS-EN 1993-1-9. Det blir tatt utgangspunkt i treghetsmomentene fra *Stålkonstruksjoner – Profiler og formler*. For å finne detaljkategori blir det antatt at sammensettingen av de forskjellige konstruksjonsdelene er gjort med manuelle kontinuerlige langsgående sveiser. Det er brukt skadetolererende metode og stor skadekonsekvens for å finne partialfaktoren. Det forutsettes dermed at landgangen skal ha inspeksjonsmuligheter og et inspeksjonsprogram som sikrer at eventuelle skader kan oppdages og utbedres etter NA.3(7) (28, s.2). De forskjellige konstruksjonsdelene er beregnet individuelt.

Det er regnet med at landgangen skal vare i 50 år og at den brukes 250 dager i året, noe som er litt mer enn et vanlig arbeidsår.

Tabell 6.1 Utmattingsoversikt

Antall ganger trucken kan gå over landgangen per døgn	
Platedekke	Ikke utsatt for utmatting
IPE-bjelker	38,9
HEA-bjelker	222,4

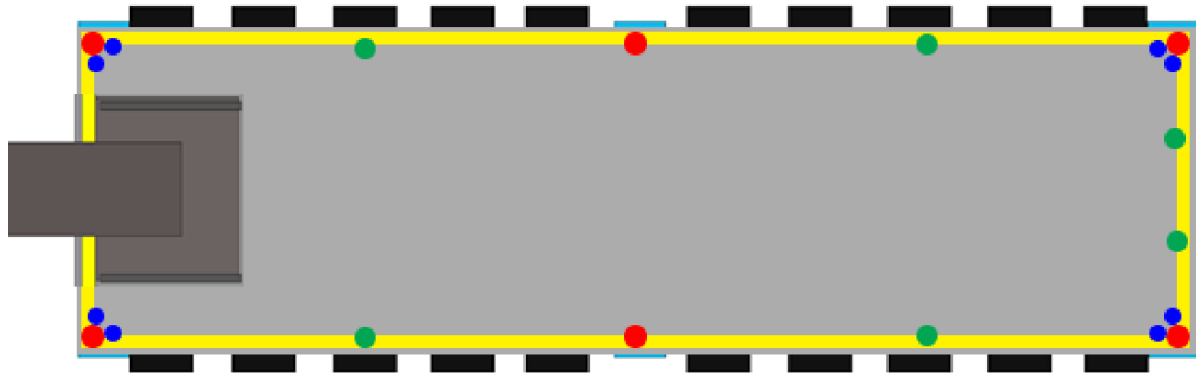
IPE-bjolkene er mest utsatt for utmatting. Om trucken kjører 19 ganger tur-retur på bryggen 250 dager i 50 år holder landgangen for utmatting.

6.3 Ulykkestilstand

Der hvor bryggen har et klart scenario som må dimensjoneres for i ulykkestilstand, er det ingen slike scenarioer for landgangen. Det er lite sannsynlig at et fartøy kolliderer med landgangen. Det er dermed ikke gjort noen beregninger for ulykkestilstand.

7 Komponenter på bryggen

Det vil være en rekke ulike komponenter og utstyr på flytebyggen.



Figur 7.1 Mulig komponent plassering: Rød sirkel – pullert 15t, grønn sirkel – pullert 5t, blå sirkel – forankringsluker, Turkis rektangel – Leider, Gul linje – Kaikantskinne

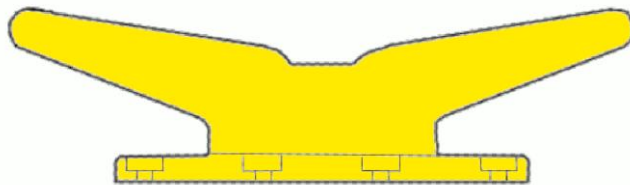
7.1 Fendere

Fenderens oppgave er å absorbere støtenergi fra fartøy. Dette gjelder både når fartøyet legges til, og når det er fortøyd. Det er flere faktorer som spiller inn ved valg av fender. Den viktigste er at valgt fender må ha tilfredsstillende absorpsjonskapasitet. I dimensjoneringen av bryggens yttervegger er det valgt fendre med fenderfaktor $2,5\text{kN/kNm}$ for dimensjonerende skipslast. Fenderfaktoren er en faktor på forholdet på hvor stor kraft som overføres til bryggeside ved en gitt støtenergi fra fartøy. Det må derfor velges fender som tilfredsstillt dette kravet. Det må også sikres at fender absorberer nok kraft, slik at motkraften fra fender til fartøyet ikke overstiger tilstøtende fartøys kapasitet. Fendre må forankres tilstrekkelig til bryggen. (11, s334-336)

Det er store variasjoner i kostnader på ulike fenderløsninger. Dumperdekk som fender er en rimelig løsning. Disse er ofte lett tilgjengelige og finnes i ulike dimensjoner. Gamle dekk er i dag fortsatt den mest brukte fenderløsningen (11, s.343). Det er også en fordel at de er lett utskiftbare (11, s.343). Det må vurderes om egenskapene til valgt dekktype er tilstrekkelig for fartøyene som skal nyttas.

7.2 Pullerter

Det er satt krav til kapasitet og antall pullerter av Endúr Sjøsterk. Det vil være seks pullerter med 15t kapasitet i tillegg til seks mindre pullerter med 5t kapasitet. Disse forankres i betongen som vist under kapittelet 5.11.1 *Innfestning pullert*. Det er valgt å nytte typen «cleat pullert». Pullertene er det svakeste punktet som avgjør størrelse på fartøyene som kan fortøyves.



Figur 7.2 «Cleat pullert». Illustrasjon laget i Photoshop.

7.3 Kaikantskinne

Kaikantskinnen skal virke som en hjulstopper for truck. Den hindrer også utstyr fra å skli av ved stor sjø. Kaikantskinnene skal farges gul for god synlighet. Skinnene legges kontinuerlig rundt alle render. Det blir benyttet gamle jernbaneskinner som kaikantskinne. Kaikantskinnen veier 54kN/m. Disse skal festes og dimensjoneres for en horisontal linjelast på minst 10kN/m (11, s.284). Selve skinnene uten innfestning vil ha en høyde på 160mm (29).

7.4 Forankring

Etter samtaler med en mariningeniør er det vurdert til mest hensiktsmessig å bruke gravitasjonsanker til forankring. Det nyttes daumann på ankerkjettingen for å unngå å hindre for fartøy. Daumann og kjetting må være tung nok til at kreftene på ankeret blir tilnærmet horisontale (2, s.487). For at bryggen ikke skal bevege seg for mye vil det også være minst mulig kjetting som ligger på havbunnen. Dette blir gjort for å unngå at det tar tid før kjettingen begynner å holde igjen bevegelsene i bryggen. Forankringssystemet vil virke som en fjær og dempe bevegelsen før bryggen holdes fast. (30)

7.5 Strøm, vann og belysning

Vann og strøm blir ført gjennom et trekkør innstøpt i bryggen. Det vil være to uttak for strøm og vann. Disse er plassert på midten og ved enden av bryggen. Utsparingene er så små at det ikke krever endring i armering. Strøm gir muligheter for å nytte elektriske verktøy som trengs ved arbeid på fôrflåter.

8 Sikkerhet og risiko

8.1 Sikkerhetsutstyr og tiltak

Bryggen utformes og utstyres etter arbeidsplassforskriften og arbeidstilsynets anbefalinger. I henhold til arbeidsplassforskriftens § 2-20 skal opplysninger om maksimal belastning være synlig og lett forståelig. Bryggens komponenter skal ikke være til hinder for fri ferdsel. Dermed er for eksempel forankringsfester nedsenket. Topplaten og landgangen skal også ha tilstrekkelig ruhet for å unngå fall. (30, s.13)

For en sikker brygge må det være plassert ut sikkerhetsutstyr. I henhold til arbeidsplassforskriftens kapittel 4 om sikkerhetsutrustning skal bryggen utrustes med ledere, redningsutstyr og vanntilgang for brannslukning. Dette skal plasseres med avstand på under 50m (11, s.282-284). Redningsutstyr inkluderer livbøyer, båtmannshake og førstehjelpsutstyr (11, s.282-284). Lederne skal tåle en vertikal linjelast på 1kN/m og ellers følge retningslinjer for utforming i arbeidsplassforskriften § 2-23 (31, s.15).

Lys kan være nødvendig for å kunne operere på bryggen. Bryggen skal ha montert lys dersom arbeid skal utføres når det ikke er dagslys jmfør arbeidsplassforskriftens § 2-11 (31, s.10). Farger på kaikantskinne og pullerter skal være i signalgul farge. Tiltakene har som formål å øke sikkerheten i mørket eller ved dårlig sikt.

8.2 Risikoanalyse

Etter NS 5814 skal det være utarbeidet en risikoanalyse for sikkerhet (32, s.10).

Tabell 8.1 Risikoanalyse sikkerhet.

Hendelse	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak
Mann over bord	Middels	Lav	Leidere, livbøyer, båtshaker og lys
Kjøretøy over bord	Lav	Høy	Kaikantskinner og rekkverk
Påkjørsel havgående fartøy	Lav	Høy	Fendere, lys, signalfargete kaikantskinner og redningsutstyr
Personskader	Middels	Middels	Førstehjelpsutstyr, åpen adgang for kjøretøy til flytebrygge
Gjenstander i bevegelse ved bølger	Lav	Middels	Kaikantskinner, rutiner for bruk og sikring av gjenstander ved uvær
Brann	Lav	Middels	Vannuttak, førstehjelpsutstyr og åpen adgang for kjøretøy til flytebrygge
Hendelser ved ekstremvær	Lav	Høy	Rutiner og grenser for bruk av brygge og sikring av gjenstander ved uvær, og rutiner for kontroll etter uvær.

9 Nedbryting av konstruksjon

Laster kan erodere på konstruksjonen. Dette kan skje både mekanisk og kjemisk, og kan over tid bryte ned konstruksjonen. Det må derfor brukes godkjente materialer. Det er for eksempel nyttet riktig betongkvalitet og stor nok overdekning. Dersom betongen blir skadet vil armeringen lettere kunne korrodere som vil bidra til en svekket konstruksjon.

Stål i sjøvann og sjøomgivelser er utsatt for korrosjon. Alle ståloverflater bør beskyttes mot korrosjon med passende overflatebehandling eller annen beskyttelse. Maling kan være en god beskyttelse mot korrosjon (26, s.160). Et alternativ som også blir brukt i for eksempel offshorekonstruksjoner er offeranoder av sink- og aluminiumslegeringer (26, s.161).

9.1 Vedlikehold og kontrollering

Jevnlig kontroll av innfestninger, bolter og ledd bør gjennomføres. Fendre vil også måtte tåle store laster over tid, og bør sjekkes for sammentrykking og sprekker. Stål- og betongoverflater bør også sjekkes for skader, riss, sprekker og korrosjon.

Ved ekstreme situasjoner som vil gi ekstraordinære laster på konstruksjonen bør den kontrolleres og eventuelt utbedres. Dette kan for eksempel være etter uvær, mye is, harde sammenstøt og overlast. De rammede områdene bør sjekkes for skader i konstruksjonen. Det bør skrives loggbok på utført arbeid for å ha kontroll på hvilke endringer som er gjort.

10 Konklusjon

Resultatet av denne rapporten er en flytebrygge og tilhørende landgang, som er dimensjonert med hensyn til de lokale kreftene de vil utsettes for, og den tiltenkte bruken de skal nyttes til. Rapporten har tatt for seg en grunndimensjonering basert på brukervennlighet, sikkerhet og robusthet innenfor fornuftige økonomiske rammer.

Bryggen er brukervennlig ettersom den har tilfredsstillende dimensjoner og fribord for produksjonen som skal foregå. Den har innfelte forankringer som sikrer fri ferdsel. Det kreves lite vedlikehold på konstruksjonen ettersom materialer og komponenter som er valgt er bestandige. Bryggen er stabil i forventede værforhold og lastsituasjoner. Den innehar også løsninger som vann og strøm, som vil være med å øke effektiviteten av produksjonen på anlegget.

Sikkerheten er vurdert under hele prosessen og tilfredsstillende løsninger er valgt. Bryggen innehar det nødvendige utstyret for å drive arbeid sikkert på bryggen under ulike lys- og værforhold. Det er nyttet forskriftsmessig sikkerhetsutstyr for å kunne forebygge ulykker, og for å kunne agere ved en ulykke. Bryggen er også dimensjonert for ikke å synke etter ulykke. Opptil to av de vanntette skottene kan skades i den grad at de ikke lengre er vanntette, og bryggen vil fremdeles flyte og sikkert evakueres.

Bryggen er robust. Alle betong og stålelementer har tilfredsstillende sikkerhetsmarginer. Bryggen tåler alle lastsituasjoner som er nødvendig for produksjon av fôrflåter. Robustheten er også viktig for å opprettholde brukervennlighet, sikre arbeidsforhold og bestandighet i ulike værforhold.

11 Forslag til videre arbeid

Rapporten tar hovedsakelig for seg dimensjonering, strukturelle beregninger og sikkerhet. Det er noen temaer som burde undersøkes nærmere før produksjon av flytebryggen. De marinfaglige områdene som forankringsløsning og fendring bør kontrolleres og eventuelt dimensjoneres av fagfolk.

Optimalisering av konstruksjonen er et naturlig neste steg av prosjekteringen. Det kan utarbeides alternative løsninger som kan prises og vurderes opp mot løsningen i rapporten. Dette kan innebære endring i tykkelser på vegger og dekker, endring i antall skott og tiltak for å senke vekten.

Nedbrytning og vedlikehold av konstruksjonen kan utredes ytterligere for å velge optimale løsninger.

For å ferdigstille landgangen må det velges en løsning og ferdigstille denne. Dette gjelder dimensjonering av ledd, bolter og forbindelse til bryggen.

Før byggeprosessen kan starte må det også utarbeides arbeidstegninger for flytebryggen.

12 Litteraturliste

1. Earth G. Oversiktsbilde [Internett]. [hentet 2020 01.05]. Tilgjengelig fra: <https://earth.google.com/web/@60.31976005,5.24929082,10.41584036a,1586.99971007d,35y,-0h,0t,0r>.
2. Tsinker GP. Port engineering : planning, construction, maintenance, and security. Hoboken, N.J: Wiley; 2004.
3. Kartverket/norgeskart.no. Norgeskart [Internett]. [Tilgjengelig fra: <https://norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=11&lat=6727155.73&lon=-37356.98&markerLat=6727155.73257706&markerLon=-37356.97544881364&panel=searchOptionsPanel&sok=Stamsneset>].
4. NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2010 Eurokode : Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. Lysaker: Standard Norge; 2016.
5. M S, K B, I S. Floating Pier Modulation. 2nd International Congress on Tructure, Architecture and Urban Developement. Tabriz, Iran2014. s. 6.
6. SINTEF. 471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler [Internett]. SINTEF; 2013 [oppdatert August 2020; hentet 2020 06.05]. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler].
7. NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 Eurokode 1 : Laster på konstruksjoner. Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger. Oslo: Standard Norge; 2008.
8. NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-3. Allmenne laster Snølaster. Oslo: Standard Norge; 2008.
9. Kartlegging av vind [Internett]. Austevoll kommune; 2018 [oppdatert 24.06.2019; hentet 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.austevoll.kommune.no/tenester/planar/kartleggingar-og-rapportar/kartlegging-av-vind.2720.aspx>].
10. NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner: Del 1-4 : Allmenne laster Vindlaster. Lysaker: Standard Norge; 2009.
11. Thoresen CA. Port designer's handbook. 2nd ed. London: Thomas Telford; 2010.
12. R F. Håndbok i flytende bryggeanlegg, Betongflytebrygger [Internett]. 1993 [hentet 2020 03.05]. Tilgjengelig fra: <http://flytebrygger.no/manual-tekst.html>].
13. N. Om jordskjelv [Internett]. [hentet 2020 06.05]. Tilgjengelig fra: <https://www.jordskjelv.no/om-jordskjelv/>].

14. NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2018 Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner: Del 1-1 : Allmenne regler og regler for bygninger. Lysaker: Standard Norge; 2018.
15. Sørensen SI. Betongkonstruksjoner : beregning og dimensjonering etter Eurocode 2. 2. utg. ed. Trondheim: Fagbokforlaget; 2013. 470 p.
16. Norcem. Standardsement [Produksjonsinformasjon]. [hentet 2020 14.05]. Tilgjengelig fra: <https://www.betomur.no/file/filer-fra-uni-okonomi/1023500-standardsement-fa-datatablad.pdf>.
17. NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017 Betong. Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar: Standard Norge; 2013. 111 p.
18. Alvær RM. Betongteknologi: HiB; 2012.
19. TMS. Bollards Product Brochure 2018 [hentet 2020 15.05].
20. Maritimstart. Stabilitet [Internet]. 2018 [hentet 2020 05.05]. Tilgjengelig fra: <https://maritimstart.no/maritimstart-spesial/stabilitet/>.
21. Forskrift of bygging av skip Kapittel 3. Stabilitet [Internett]. Lovdata; 2014 [Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-07-01-1072/KAPITTEL_3#KAPITTEL_3].
22. NS-EN 1991-1-7:2006+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-7: Allmenne laster. Ulykkeslaster. Lysaker: Standard Norge; 2008.
23. Kartverket. Se Havnivå [Internett]. [hentet 2020 03.05]. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/sehavniva/sehavniva-lokasjonside/?cityid=9000002&city=Bergen#tab5>].
24. Forskrift om sikkerhetstiltak m.m. på passasjer-, lasteskip og lektre [Internet]. 1987 [oppdatert 01.01.2020; hentet 2020 06.05]. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1987-06-15-507#KAPITTEL_10].
25. byggkvalitet Df. Byggteknisk forskrift (TEK17) [Internett]. Direktorat for byggkvalitet; 2017 [hentet 2020 06.05]. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>].
26. Berge S. Materialteknologi. Fra: Lundby L, Redaktør. Havromsteknologi. Trondheim: NTNU Institutt for Marin teknikk & Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS; 2014. s. 145-70.
27. NS-EN 1993-1-8:2005+NA:2009 Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner : Del 1-8 : Knutepunkter og forbindelser. Lysaker: Standard Norge; 2009.
28. NS-EN 1993-1-9:2005+NA:2010 Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner: Del 1-9 : Utmattingspåkjennte konstruksjoner. Lysaker: Standard Norge; 2010.
29. B. Teknisk regelverk [Internett]. 2014 [hentet 2020 01.05]. Tilgjengelig fra: <https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Skinneprofiler>].
30. Inegiyemiema M NS, Dick I.F,Erekosima A. Design of a Mooring System for an Offshore Structure: A case study of 5000 Tonnes Offshore Work Barge (WB) [Internet]. Port Harcourt, Rivers

State, Nigeria: International Journal of Engineering & Technology; 2014 [hentet 2020 20.04].

Tilgjengelig fra:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.670.1595&rep=rep1&type=pdf&fbclid=IwAR0c98M5XTiSzsV8OEHuSazOLu4vH3SxpCbVuYwvBPkai0kT1mwAVCbDuA>].

31. A. Forskrift om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidslokaler (arbeidsplassforskriften) [Internett]. 2016 [hentet 2020 01.05]. Tilgjengelig fra:

<https://www.arbeidstilsynet.no/globalassets/regelverkspdf/arbeidsplassforskriften>].

32. NS 5814:2008 Krav til risikovurderinger Oslo: Standard Norge; 2008.

13 Vedleggsliste

Vedlegg A – Lastgrunnlag (kapittel 4).....	3
Vedlegg B – Materialer (kapittel 5.3).....	10
Vedlegg C – Høyde (kapittel 5.4).....	11
Vedlegg D – Kryptall (kapittel 5.5-5.8).....	13
Vedlegg E – Topplate (kapittel 5.5).....	14
Vedlegg F - Parameterstudie av forflytning av punktlast (kapittel 5.5).....	37
Vedlegg G – Bunnplate (kapittel 5.6).....	38
Vedlegg H - Langvegg mot sjø (kapittel 5.7).....	57
Vedlegg I - Kortvegg mot sjø (kapittel 5.8).....	80
Vedlegg J – Innervegg - Ulykkeslast på indre langvegg (kapittel 5.9.1).....	103
Vedlegg K – Innervegg - Ulykkeslast på indre kortvegg (kapittel 5.9.2).....	112
Vedlegg L - Innfestning pullert (kapittel 5.10.1).....	121
Vedlegg M - Innfestning forankring (kapittel 5.10.2).....	126
Vedlegg N - Generell stabilitet (kapittel 5.11).....	129
Vedlegg O - Oppdrift etter ulykke (kapittel 5.12.1).....	132
Vedlegg P - Stabilitet etter ulykke (kapittel 5.12.2).....	134
Vedlegg Q - Globalt brudd – bølger i ender (kapittel 5.13.1-5.13.3).....	137
Vedlegg R - Globalt brudd – bølge på midten. (kapittel 5.13).....	144
Vedlegg S - Globalt brudd – skjærkraft (kapittel 5.13.2).....	151
Vedlegg T - Dimensjonering landgang (kapittel 6.1-6.2).....	152
Vedlegg U - Utmatting landgang (kapittel 6.2.2).....	156