

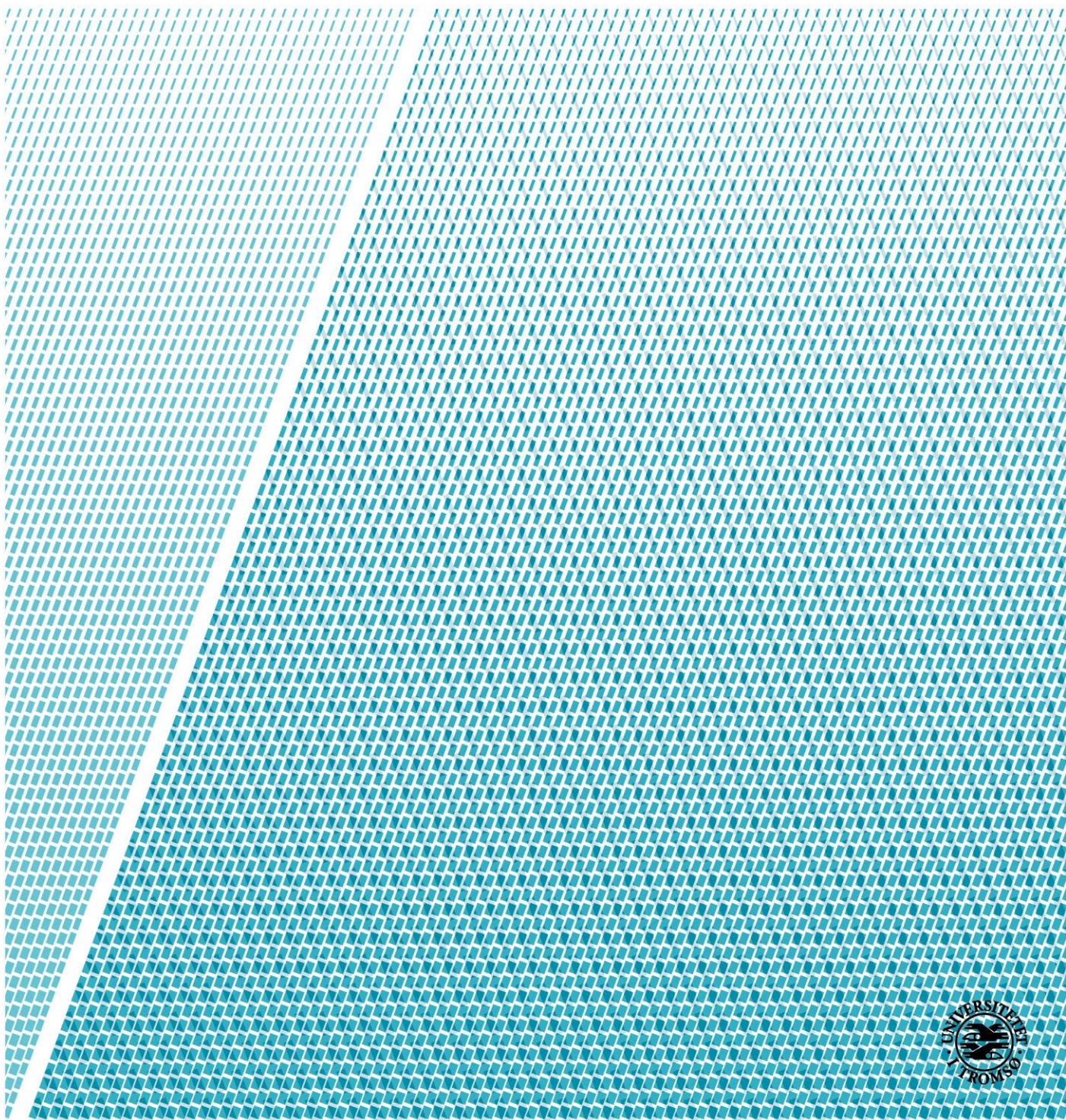
# Kaibygging med betongelementer

*Quay construction with concrete elements*

—

**Fredrik Steinlien**

*Masteroppgave i teknologi ... Mai 2017*



<i>Tittel:</i>  Kaibyggning med betongelementer  Quay construction with concrete elements		<i>Dato:</i>  15.05.2017
<i>Forfatter:</i>  Fredrik Steinlien		<i>Gradering:</i>  Åpen
<i>Fakultet:</i>  Ingeniørvitenskap og teknologi		<i>Antall sider:</i>  73
<i>Institutt:</i>  Bygg, energi og materialteknologi  - Master Integrert bygningsteknologi		<i>Vedlegg:</i>  0
<i>Veileder:</i>  Universitetslektor Eigil Roaldset  Overingeniør Boy-Arne Buyle		
<i>Oppdragsgiver:</i>  Multiconsult ASA	<i>Oppdragsgiver kontaktperson:</i>  Johan Tesdal	
<i>Sammendrag:</i>  Denne oppgaven omhandler bruk av betongelementer i kaikonstruksjoner. Målet med oppgaven er å sammenligne bruk av betongelementer mot plassbygging av åpne kaikonstruksjoner. Kai typen omtalt i oppgaven er åpen kai på utstøpte stålrørspeler med bæring av betongbjelker og betongdekke, samt innfesting med forankring- og friksjonsplate.  Det er opp til den enkelte byggherre, prosjekterende eller entreprenør å velge løsning som skal brukes på hver enkelt kai prosjekt. I denne oppgaven vil det komme frem positive og negative sider ved bruk av prefabrikkerte elementer målt opp mot bruk av tradisjonelt plasstøpt kai konstruksjon.		

Opggaven vil også se på problematikken rundt bygging av kaier i harde miljøer, siden kaikonstruksjoner som oftest dimensjoneres med en levetid på 100 år er det med tanke på økonomi og bestandighet mye å tenke på. Konstruksjonen har påkjenninger både store mekaniske tilførte påkjenninger og påkjenninger fra miljø, derfor er det svært lite som skal gjøres feil for at det får følger på levetiden. I oppgaven vises det til at med kai utført i elementer er det mulighet å luke ut flere feil som kommer under produksjon under vanskelige forhold der kaier plass bygges over hav.

Det kommer og frem mulige løsninger som kan minske tidlig kloridepåvirkning under montering av elementer. Samt noen tiltak for motvirkning av tidlige skader på konstruksjonen og dens komponenter.

I oppgaven er det også fokus på to typer sementer brukt i konstruksjonen, Portlandsement kontra bruk av Slaggsement der det kommer frem at begge typer sement har like egenskaper. Men slaggsement har lavere herdevarme og bruker lengere tid på å lukke overflaten, derfor er den ikke like egnet til støping i bølgesoner, der den kan bli utsatt for tidlig kloride påkjenning og utvasking. Men slaggsement vil være ett godt alternativ til elementer der den får herde under optimale forhold, og den vil være gunstige prismessig kontra Portlandsement.

For å synliggjøre forskjellene ved byggemåtene er det laget en samstilling som viser positive og negative punkter ved begge byggemåter. Der det kommer frem punkter som prising, tidsbesparelse og holdbarhet.

*Abstract:*

This assignment deals with the use of concrete elements in quay constructions. The purpose of the assignment is to compare the use of concrete elements to on site construction of open quay constructions. The quay type featured in the assignment is open quay on cast steel pipes with concrete beams and concrete deck, as well as bracing with anchoring and friction plate

There are also possible solutions that can reduce premature chloride effect during assembly of elements. As well as any measures to counteract early damage to the structure and its components.

The task will also look at the problem of construction of quays in harsh environments, since quay constructions most often have dimensioned with a life span of 100 years, considering economics and durability, there is a lot to think about. The construction has stresses both major mechanical stresses and stresses from the environment, therefore it is very little wrong that need to be done to make it reduce its lifespan. In the assignment, it appears that with quays made in concrete elements

there is the possibility of reducing errors that come under production in difficult conditions where the quay is built over the sea.

There are also possible solutions that can reduce premature chloride effect during assembly of elements. As well as any measures to counteract early damage to the structure and its components.

In the assignment, there is also focus on two types of cements used in the construction, Portland cement versus the use of slag cement, where it appears that both types of cement have similar properties. But slag elements have lower curing heat and spend longer time closing the surface, so it is not as suitable for casting in wave zones as it may be exposed to early chlorides. But slag cement will be a good alternative to use in concrete elements where it gets cured under optimal conditions, and it will be favourable price versus Portland cement.

In order to visualize the differences in the construction methods, a pairing has been made showing positive and negative points in both construction types. There are points such as pricing, time saving and durability.

## Innholdsfortegnelse

1	Definisjoner .....	12
2	Kaier .....	14
3	Undersøkelser av byggeplass.....	17
3.1	Miljøprøvetaking.....	17
3.2	Prøvetaking av løsmasser .....	17
3.3	Bergkontrollboring .....	17
4	Dimensjonering .....	18
4.1	Ulykkeslast .....	21
5	Konstruksjonsbelastninger.....	22
5.1	Miljøbelastninger.....	22
5.1.1	Vind.....	22
5.1.2	Bølger .....	22
5.1.3	Is krefter .....	23
5.1.4	Strømmer .....	23
5.1.5	Seismisk.....	24
6	Åpen kais bygningsdeler.....	25
6.1	Forankrings konstruksjon .....	25
6.1.1	Friksjonsplate .....	25
6.1.2	Overgangsplate.....	25
6.2	Bærekonstruksjon.....	26
6.2.1	Stålrørspeler til berg .....	26
6.2.2	Hoved bærebjelker .....	26
6.2.3	Bakdrager .....	26
6.2.4	Frontdrager og skjørt.....	26
6.2.5	Dekke.....	26
6.2.6	Slitedekke .....	26
6.2.7	Fylling .....	27
6.2.8	Pelens kapasitet .....	27
7	Kai komponenter .....	28
7.1	Fendere .....	28
7.1.1	Dumperdekk som fendere.....	28
7.2	Kraner.....	29
7.3	Hjulstopper .....	29
7.4	Leider (stige) .....	29

7.5	Pullerter .....	30
8	Nedbryting av konstruksjon.....	31
8.1	Betong soner.....	31
8.1.1	Forventet nedbryting i de forskjellige sonene .....	33
8.2	Frysing og tining .....	35
8.3	Erosjon .....	36
8.4	Kjemikalie forverring .....	36
8.4.1	Sulfat reaksjoner.....	36
8.4.2	Alkalieaggregat reaksjoner.....	37
8.4.3	Syreangrep.....	37
8.4.4	Sulfat- og nitratsprengning .....	37
8.5	Anbefalt eksponeringsklasse for kaiens deler .....	39
9	Prefabrikkert betongelementer.....	40
	Elementkai .....	40
9.1	Fordeler ved bruk av elementer:.....	41
9.2	Negative deler ved bruk av elementer .....	42
10	Plassbygd kai .....	45
10.1	Fordeler ved plassbygd kaier.....	46
10.2	Negative deler ved plassbygd kaier .....	46
11	Korrodering av innstøpt stål .....	47
11.1	Kloridinntrenging .....	48
11.2	Armerings overdekning.....	52
11.3	Alternativ armering .....	56
11.3.1	Rustfritt stål .....	56
	Det er fire hovedtyper rustfritt stål .....	58
12	Sement .....	60
12.1	CEM-sement.....	60
12.1.1	Portlandsement CEM I .....	63
12.1.2	Slaggsement CEM III/B .....	63
12.1.3	Slaggsement eller Portlandsement.....	64
13	Tiltak for god utføring .....	66
13.1	Tegninger .....	66
13.2	Utforming av bjelker .....	66
13.3	Plassering av dekkelementer.....	67
13.4	Sammenstøping av bjelke elementer .....	68

14	Prissammenligning .....	69
14.1	Prosjektering.....	69
14.2	Grunnarbeid og peling.....	69
14.3	Betongarbeid og utførelse .....	69
14.4	Kai komponenter .....	69
15	Sammenstilling av byggemåter.....	70
16	Referanseliste.....	72

## Tabelliste

Tabell 1 Definisjoner.....	12
Tabell 2 Grunneheter.....	13
Tabell 3 Avledede grunneheter .....	13
Tabell 4 Materialfaktorer for bruddgrensetilstand [6].....	20
Tabell 5 Nedbrytningssoner på kai [1] .....	33
Tabell 6 Anbefalt eksponeringsklasse til kaiens betongdeler.....	39
Tabell 7 Veiledende grenser for kloridinnhold [1].....	51
Tabell 8 Anbefalt overdekning til kaiens betongdeler .....	55
Tabell 9 Klassifisering av korrosjonsresistans i rustfri stål armering [10].....	57
Tabell 10 Oversiktstabell som viser et utdrag av sementtypene i NS-EN 197-1. [29].....	62
Tabell 11 Byggemål for kamstål .....	66
Tabell 12 Sammenstilling av byggemåter .....	70

## Figurliste

Figur 1 Åpen kai.....	14
Figur 2 Massiv kai.....	14
Figur 3 Veiledende dimensjonerende brukstid [6] .....	20
Figur 4 Oppbygging av kaikonstruksjon .....	25
Figur 5 Festing av dekk som fender (fenconor.no) [19].....	29
Figur 6 Pullert gamle kaia på Vannavalen ca. 25 år siden montering .....	30
Figur 7 Betong soner på kai .....	31
Figur 8 Salt på kaikant gamle kaia på Vannavalen .....	38
Figur 9 Pågående støping av sammenføyinger av hovedbjelke og bakbjelke (Vannavalen) .....	43
Figur 10 Dekkeelementer (Vannavalen) .....	44
Figur 11 Bakbjelker og hovedbjelke under pågående forskaling (Vannavalen) .....	44
Figur 12 Bjelkeforskaling (hentet fra Port Designers Handbook) [1] .....	45
Figur 13 Synlig armering etter avskalling på bjelke (NATO kaia Olderdalen) .....	47
Figur 14 Korrosjon av armering [14] .....	48
Figur 15 Utvikling av rustspreng på betong.....	49
Figur 16 Korrosjon på armering [21] .....	50
Figur 17 Nedbrytningsfaser av betong [21].....	50
Figur 18 Forklaring av overdekning [20].....	53
Figur 19 Minste $C_{min,dur}$ etter Statens Vegvesens krav [8] .....	54
Figur 20 Krav til minste overdekning $C_{min,dur}$ av hensyn til bestandighet for armeringsstål [6] .....	55
Figur 21 Rustfritt stål armering .....	56
Figur 22 Mellomlegg bjelke- og dekkeelementer .....	67
Figur 23 Bakbjelker og hovedbjelke, forskaling (Vannavalen) .....	68
Figur 24 Skisse over mulig montering av bjelker .....	68



## Oppgavetekst



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

### MASTEROPPGAVE

for

**Fredrik Steinlien**

(Studentnummer 500726)

Vår 2017

## Kaibygging med betongelementer

(quay construction with concrete elements)

### Bakgrunn

Det er stadig fokus på å effektivisere og industrialisere byggeprosessene. I konvensjonelle bygg har man i en årrekke sett en økning i overgang fra stedstøpte konstruksjoner til betongelementer som produseres i fabrikk (prefabrikkerte elementer). Innenfor samferdselssektoren har man hatt noe prefabrikasjon, men ennå ikke hatt det samme trykket på effektivisering og industrialisering som andre sektorer i næringen har opplevd. Dette er imidlertid en situasjon som nå er i endring, noe man ser ved blant annet etableringen av «nye vegger». Konsekvensen av dette kan være mer prefabrikasjon på konstruksjoner der man tidligere stedstøpte, også der man har grove konstruksjoner i et ugjestmildt miljø med store laster og høy kloridpåkjenning.

Oppgaven går ut på å sammenstille en konvensjonell plassbygd betongkai på utstøpte stålrørspeler mot den samme kaien med utstrakt bruk av prefabrikkerte betongelementer.

### Begrensning av oppgaven

Det skal ikke utføres detaljerte prosjektering av systemløsninger men systemskisser etc bør være en del av besvarelsen.

### Arbeidet skal omfatte (men nødvendigvis ikke begrenses til):

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Studie av eldre eksisterende kaier, både stedstøpte og prefabrikkerte med hensyn på identifisering av problemområder/skader på de ulike konstruksjonstypene.
3. Studie av nye kaier, både stedstøpte og prefabrikkerte med fokus på potensielle problemområder identifisert i resultater fra pkt 2 og i litteraturstudiet fra state-of-the-art forskning på området.
4. Beregninger av kaikonstruksjonen med fokus på reduksjon av skadepotensial.
5. Vurderinger rundt sårbarhet, bestandighet, gjennomførbarhet, økonomi, mm med begge alternativene.
6. Tiltak som kan gjøres for å bedre de svake sidene ved hvert alternativ.
7. Utarbeide en sammenstilling av alternativene.

### **Samarbeidspartner**

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Multiconsult ASA, Tromsø.

### **Generelt**

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensinger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i MUNIN.

Utleveringsdato:	09.01.2017
Innleveringsdato:	15.05.2017

<b>Kontaktperson bedrift:</b>	<b>Multiconsult ASA</b> Johan Tesdal Telefon: 971 93 389 E-post: johan.tesdal@multiconsult.no
<b>Veileder UiT - IVT:</b>	<b>Universitetslektor Eigil Roaldset</b> Telefon: 76 96 61 01 E-post: eigil.roaldset@uit.no
<b>Bi-veileder UiT</b>	<b>Overingeniør Boy-Arne Buyle</b> Telefon: 76 96 62 03 E-post: boy-arne.buyle@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet  
Institutt for bygg, energi og materialteknologi



Eigil Roaldset  
Faglig ansvarlig/veileder

## Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Universitetet i Tromsø avd. Narvik våren 2017, denne oppgave avslutter et toårig masterstudium innen integrert bygningsteknologi. Oppgaven er definert i samarbeid med Johan Tesdal ved Multiconsult avd. Kystkonstruksjoner og havneanlegg. Formålet med oppgaven for meg personlig er å benytte kunnskap jeg har opparbeidet gjennom mine studier, samt opparbeide meg ny kunnskap innen konstruksjoner.

Denne oppgaven krever at jeg setter meg inn i problemene rundt konstruksjon av betongkaier i harde miljøer, og utforske muligheter for å forbedre konstruksjoner for å unngå tidlige skader. Gjennom oppgaven har tilegnet meg ny kunnskap om kloride påkjenninger på konstruksjoner som står i og ved havet, og tiltak som kan gjøres for å forminske skader på konstruksjonen.

Det er generelt opp til den enkelte byggherre, prosjekterende eller entreprenør å velge løsning som skal brukes på hver enkelt kai prosjekt. I denne oppgaven vil det komme frem positive og negative sider ved bruk av prefabrikkerte elementer mot bruk at tradisjonelt plasstøpt kai konstruksjon. Samt noen tiltak som kan gjøres for kanskje å forlenge levetiden til kaien.

Jeg ønsker å gi en stor takk til Johan Tesdal ved Multiconsult ASA som ga meg muligheten å utføre denne oppgaven sammen med dem.

Jeg ønsker også å takke Universitetslektor Eigil Roaldset ved UiT, Narvik for rettleiding ved oppgaveskrivingen.

Narvik 15.5.2017

Fredrik Steinlien

# 1 Definisjoner

*Tabell 1 Definisjoner*

Begrep	Forklaring
Dekke	Toppflate på kaia
Deplasement	Mål for massen av det væskevolumet som et skip fortrenger
Maksimalt deplasement	Summen på egenvekt av skip og maksimalt tillatt nyttelast, angitt i tonn
Fender	Energiabsorberende konstruksjon mellom kai og skip
Forankringsplate	Ligger på land og belaster ikke peler, tar opp laster horisontalt.
Friksjonsplate	Konstruksjon i grunnen som gir kaia kapasitet til å ta opp horisontale krefter der man ikke har mulighet til å fundamentere direkte mot berg
HAT	(Highest Astronomical Tide) høyest målte vannstand
Hovedbjelke	Bjelker som bærer dekke over peler
Landkar	Overgangskonstruksjon mellom kai og land
LAT	(Lowest Astronomical Tide) lavest målte vannstand
Maksimal dypgang	Den maksimale avstanden fra vannlinje til underkant kjøplplate på midtspantet, skipets dypeste punkt, tatt hensyn til den mest ugunstigste lastkondisjonen.
Overgangsplate	Betongplate leddet til landkar/endetverrbærer som har til hensikt å redusere ulempene ved mulig setning.
Peler	Bæring/søyler rammet ned i løsmasser til fjell
Puller	Festeanordning for fortøyning
SLS - Serviceability Limit State	Dimensjonerende bruksgrense

ULS - Ultimate Limit State	Dimensjonerende bruddgrense
Kai komponenter	Pullere, kantlist, rekkverk, lysmaster, mm.
V/C	Vann/semment, blandingsforholdene på mengde vann og semment (bindemiddel)
Thrustere	også kalt sidepropell på båter og mindre skip, er en del av et fremdrifts- og styresystem for skip

Tabell 2 Grunnenheter

Grunnstørrelse	Grunnenhet	Symbol
Lengde	Meter	m
Masse	Kilogram	kg
Tid	Sekunder	s

Tabell 3 Avledede grunnenheter

Størrelse	Enhet	Symbol
Kraft	Newton	N
Frekvens	Hertz	Hz
Trykk, spenning	Pascal	Pa

## 2 Kaier

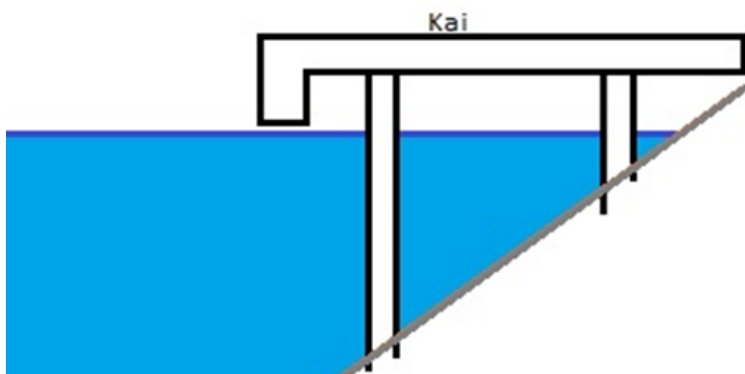
Det finnes to hovedtyper kaier: [3]

### 1. Åpne kaier

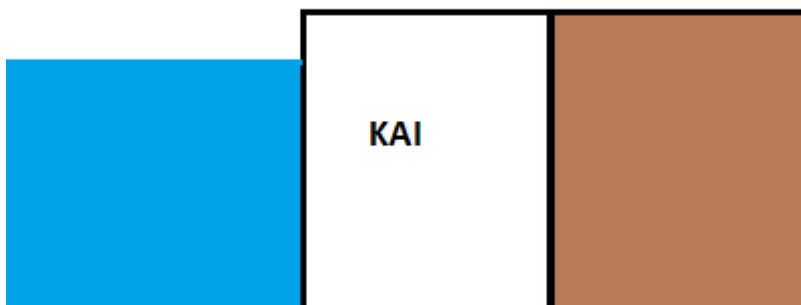
- Denne typen kai karakteriseres ved åpen front, slik at sjøen kan gå fritt under overbygningen. Se figur 1

### 2. Massive kaier

- Denne typen kai karakteriseres ved en massive tett front mot sjøen langs fenderkonstruksjonen. Se figur 2



*Figur 1 Åpen kai*



*Figur 2 Massiv kai*

De første armerte betongkaiene bygget i Norge ble konstruert med høye smale bjelke konstruksjoner som støttet kaidekke. Men etter bare 10-15 år med bruk ble det observert nedbryting og avskalling av betongen i de nedre delene av bjelkene. Dette førte til at armeringen ble eksponert og begynte å korrodere. Kai dekket var vanligvis like helt, det er flere grunner til dette men de viktigste er at bjelkene kom for nært hav overflaten og var tungt armert, de hadde for lav overdekning og de var vanskelig å støpe tilfredsstillende bra.

For å unngå disse problemene ble det utprøvd bjelkeløse konstruksjoner, disse konstruksjonene viste seg å være meget holdbare men kostbare å bygge. De høye kostnadene kom hovedsakelig av de store underbyggingene og formene til støping. I dag er det igjen tilbake til bjelker og dekke, der bjelkene hovedsakelig er formet som lave brede trapeser. Disse bjelketypene unngår de tidligere svakhetene.

Jeg tar hovedsakelig for meg betongkai, element eller konvensjonelt plassbygd. Kaiene skal stå på utstøpte stålrørspeler, og være en åpen kai konstruksjon. Denne kai typen er med stor margin den mest brukte i Norge de siste 15 årene.

Denne kaikonstruksjonen er bedre enn massive kaier under disse kriteriene: [1]

- Grunnforholdene er for svak til å bære massive kaier
- Grunnforholdene tilsier at peler kan brukes
- Det er dype vannforhold
- Det er nødvendig å redusere hydraulisk påkjenninger
- Vanskelig å få tak i bakfyllingsmasser til vegg kai

Den typiske norske åpen kai designen består av ett hoveddekke som festes i land med en forankrings plate, som igjen er festet til en friksjonsplate. figur (1) denne kai typen er mest økonomisk lønnsom dersom den totale lengden av hoveddekket og forankringen er kortest mulig i forhold til den totale høyden på kaia.

Kaiens dekke må konstrueres så all vertikal last fordeles fra plate til bjelker som igjen støttes av pelene. All horisontal last skal føres til forankrings konstruksjon på land. Siden denne kai typens bærekonstruksjon ikke kan oppta betydelig horisontal last.

Kaien bør ha en høyde på dekket som er rundt 50 cm over høyeste observerte vannstand, men det er også viktig å tenke på der bjelkene skal støpes holdes tørt for å unngå utvasking under betongens herdeperiode.



Det er alltid ønskelig å konstruere hele kaien i like deler for å unngå endringer på støpeformer og utførelse.

De fleste kaikonstruksjoner som oppføres i Norge i dag blir utført i betong, enten plasstøpt eller som kombinasjon av prefabrikkerte elementer og plasstøpt. Det bygges også kaier i tre og stål, men på grunn av redusert levetid fra store mekaniske påkjenninger er dette mindre utbredt.

Grunnen til bruk av betong er at den er lettformelig og i samarbeid med andre typer materialer kan den ta opp svært store påkjenninger. Alene er betong et sprøtt materiale som lett vil risse opp under strekkrefter. Betongen i seg selv kan ta opp svært høye trykkrefter, men for å unngå oppsprekking av betongen er det vanlig praksis å støpe inn armering i betongen. Denne armeringens funksjon er å hjelpe betongen i samarbeid å ta opp strekkrefter og trykkrefter.

Det vanligste i betongkonstruksjoner er å benytte armering i strekksoner som vil ta opp disse strekkreftene, men der betongkonstruksjoner får svært høye trykkpåkjenninger er det også normal praksis å benytte armering dersom trykkspenninga blir høyere en betongens kapasitet.

Betong enkelt sagt er en blanding av sement, sand, aggregat og vann. Ved endring i blandingsforholdene, tilsetningsstoffer og sementtyper kan det fremstilles betonger med ønskede egenskaper og kvaliteter. I tilfellet for kaier som skal stå i et meget aggressivt miljø er det da mulig å blande en betong som er svært tett eller lav permeabilitet, dette vil redusere faren for korrosjon på konstruksjonen.

Under prosjekteringsfasen av kaikonstruksjoner er det flere faktorer som må vurderes og tas hensyn til, for å oppnå den mest ideelle løsningen for den gitte konstruksjonen og dens plassering.

- Bruksområde
- Belastning
- Klimatiske forhold
- Lasteutstyr

Kaier og havneanlegg er utsatt for laster og påkjenninger som ikke er vanlig for noen andre typer konstruksjoner. Byggherre kan innføre sine egne krav til nyttelast, punktlaster og dynamiske laster fra kjøretøy og godshåndtering. Lastene på kaelementer kan oppstå fra utstyr som trucker og kraner, punktlast og nyttelast oppstår som regel ikke samtidig på kaelementer.

### **3 Undersøkelser av byggeplass**

Det er en stor fordel med en god og sikker undersøkelse av byggeplassen i en tidlig fase. En sikker undersøkelse av grunn og omgivelser gir en større mulighet å unngå overraskelser i byggefasen som kan gi store økonomiske konsekvenser.

#### **3.1 Miljøprøvetaking**

På byggeplasser det skal mudres skal det tas prøveserier av bunnsedimenter, prøvene sendes deretter inn til analyse og resultatene legges ved i søknaden om mudringstillatelse. [1] [8]

#### **3.2 Prøvetaking av løsmasser**

Prøvetaking utføres i tilstrekkelig omfang for å bedømme om løsmasser under fylling/plastring kan få stabilitetsproblemer eller setningsproblemer. Dette er en viktig prosess for å unngå større komplikasjoner, etterarbeid, farlige setningsskader eller utglidninger. En ting som kan lønnes er å gjøre dykkerundersøkelser, som utføres for å få oversikt over løsmassetype og fasthet av topp løsmasser som grunnlag for nærmere vurdering av behov for filterlag og eventuell plastringsløsning. [1] [8]

#### **3.3 Bergkontrollboring**

Bergkontrollboring utføres som en del av grunnundersøkelsen, det bores hovedsakelig i pelepunkter. Denne boreundersøkelsen vil gi en oversikt over løsmassedybden til fast fjell i området, undersøkelsen vil også angi fastheten på løsmasselaget. Dersom det er behov for supplerende boring i området rundt pelepunkter vurderes dette i hvert enkelt tilfelle. [8] [9]

Der det er bart fjell er det vanlig å benytte dykkeundersøkelser, lodding eller bunnkartlegging. Der det er løsmasser på havbunn vil det være behov for grunnundersøkelser, dybde på masser og motstand i massene. Her er bergkontrollboring gjennom løsmasser og minst 3 m inn i fast fjell mest aktuelt. [9]

## **4 Dimensjonering**

Dimensjonering av konstruksjoner etter EC2 [6] skal gjennomføres i ulike grensetilstander. Grensetilstand sier noe om situasjonen det skal dimensjoneres for, dvs i aktuell grensetilstand skal opprettholde tilfredsstillende tiltenkt funksjon. I de forskjellige grensetilstandene skal hver karakteristiske last multipliseres med ulike lastfaktorer og lastkombinasjoner. Disse dimensjonerende lastene skal igjen sjekkes mot konstruksjonens dimensjonerende motstand.

De mest vanlige grensetilstandene det blir dimensjonert for er:

### **Bruddgrensetilstand (ULS - Ultimate Limit State)**

Benyttet ved sikkerhetsberegning med hensyn på konstruksjonens kapasitet mot brudd. EC 0 [4] gir krav og påviser der det er aktuelt: Tap av likevekt for konstruksjoner eller deler av konstruksjonen (betraktet som et stivt legeme), brudd definert ved store deformasjoner, sammenbrudd og tap av stabilitet.

### **Bruksgrensetilstand (SLS - Serviceability Limit State)**

Benyttet ved funksjonsbetydning med hensyn til konstruksjonens funksjonsdyktighet ved normal bruk. EC 0 [4] gir krav for påvisning av blant annet menneskes komfort og konstruksjonens utseende. For bruksgrensetilstand blir det også satt krav til riss, nedbøyning, spenningsavgrensning og å sikre konstruksjonens bestandighet.

Når det er snakk om betongkonstruksjoner som skal opprettholde kravene standarder sette, som blant annet styrke og utseende gjennom brukstiden. Det er også ønskelig at omfattende vedlikeholdsarbeid skal unngås, er det viktig under dimensjoneringen å gjøre grundige vurderinger for pålitelighet og bestandighet. Disse vurderingene er svært viktige i maritimt miljø der konstruksjonen blir utsatt for svært harde påkjenninger. Det er da viktig å tenke på overdekning, utforming og betongsammensetning for å sikre konstruksjonens pålitelighet ut hele dens levetid.

Alle delene i konstruksjonen skal kunne motstå effekten av de aktuelle lastkombinasjonene.

- Egenlast
- Nyttelast
- Miljølaster (Snø, vind, jordtrykk, grunnvannstrykk, mm)
- Tøyninglaster (Temperatur, Skjevlast, Nedbøyning)
- Ulykkeslast

Noen viktige parametere for prosjektering av betongkonstruksjoner i maritime miljø:

- Dimensjonerende brukstid
- Overdekning
- Miljøklasse
- Alternative armeringsmaterialer
- Overflatebehandling
- Betong bestandighet
- Lavt v/c tall
- Pozzolaner som tilsetning

Dimensjonerende brukstidskategori	Veiledende dimensjonerende brukstid (år)	Eksempler
1	10	Midlertidige konstruksjoner <sup>1</sup>
2	10 til 25	Utskiftbare konstruksjonsdeler, f.eks. kranbjelker, lagere osv.
3	15 til 30	Landbruksbygninger og lignende konstruksjoner
4	50	Bygningskonstruksjoner og andre vanlige konstruksjoner
5	100	Monumentale bygningskonstruksjoner, bruer og andre anleggskonstruksjoner

<sup>1</sup> Konstruksjoner eller konstruksjonsdeler som kan demonteres slik at de kan brukes på nytt, bør ikke anses som midlertidige.

*Figur 3 Veiledende dimensjonerende brukstid [6]*

De fleste kaier som dimensjoneres settes til 100 års brukstid, dette gir strenge krav til overdekning og armeringsbeskyttelse.

*Tabell 4 Materialfaktorer for bruddgrensetilstand [6]*

Dimensjonerende situasjoner	$\gamma_c$ for betong	$\gamma_s$ for armeringsstål	$\gamma_s$ for spennstål
Vedvarende og forbigående	1,5	1,15	1,15
Ulykkessituasjon	1,2	1,0	1,0

Materialfaktor for konstruksjoner i vann: [16]

For konstruksjoner utstøpt i vann skal det innføres en ekstra reduksjonsfaktor på 0,8 for betong og 0,9 for armering ved beregning av dimensjonerende fastheter i tråd med retningslinjer i Norsk Betongforening's publikasjon nr. 5: Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann.

## **4.1 Ulykkeslast**

Ulykkeslast er resultat av uriktig operasjon fra menneskets side eller unormale hendelser som for eksempel: [1] [8] [9]

- påseiling av skip
- skred og eventuell skredindusert bølge
- brann
- uhell med bruk av anker eller trål på neddykkede elementer:
- hekking av anker eller trål i undervannskonstruksjoner
- synkende skip på undervannskonstruksjoner
- bortfall av eventuelle forankringsstag eller ankerliner
- unormale naturlaster (med 10 000-års returperiode)

Disse lastene er vanskelige å forutse siden de kan forekomme ved uhell og menneskelig svikt.

Ulykkeslaster kan beregnes ut fra NS-EN 1991-1-7:2006+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-7: Allmenne laster – Ulykkeslaster

Ulykkeslast forårsaket av skipstrafikk bestemmes ut fra:

- type skip som brukes
- type farvann
- skips dypgang og støtkraft
- konstruksjonstype og absorpsjonsegenskaper

## **5 Konstruksjonsbelastninger**

Det er en del belastninger som må tas hensyn til under dimensjonering og prosjektering av kaianlegg, både krefter påført mekanisk og kjemisk.

### **5.1 Miljøbelastninger**

Alle miljøparametere i området kaikonstruksjonen skal oppføres som kan påvirke installasjonen skal kartlegges og tas hensyn til i dimensjoneringen. Miljøparametere kan innhentes av kompetente institusjoner eller beregnes ved hjelp av data gitt i Eurocoder og Norsk standard. [12] I underpunktene for miljøbelastninger kommer det frem hvilke miljøbelastninger og krefter det er nødvendig å kartlegge før dimensjoneringen starter. I tillegg til disse kreftene kommer det påkjenninger på betongen i form av utslipp og forurensninger, som kommer frem senere i oppgaven.

#### **5.1.1 Vind**

Vindkrefter er en viktig faktor ved beregninger og utforming av kai. Vindkreftene som virker på en fortøyd båt kan variere svært mye, alt etter type båt, størrelse, last og vindretning. Hovedsakelig har vindkrefter mye større innvirkning på en kai enn bølger og strømmer. [1]

Vindkrefter må bestandig kontrolleres på nye kaier, med hjelp av lokale vinddata. Lokal vinddata kan ofte innhentes fra værstasjoner som oppgir vindroser for retning og typiske vindstyrker.

Ved svært kraftig vind vil ofte skip forlate kaien eller ta inn ballast for å redusere vind areal.

Vindkrefter oppgis ofte i Beaufort skala.

#### **5.1.2 Bølger**

Det finnes flere forskjellige typer bølger som det må tenkes på under beregninger og planlegging av en ny kai. De mest vanlige bølgene er vinddrevet bølge, bølger fra passerende skip og brytende bølger. I tillegg kommer sjeldnere bølger som tsunami som kommer av jordskjelv, vulkaner eller jordskred.

Vinddrevet bølge kan være skapt lokalt av vind eller lengere ute i havet fra vinder som ikke trenger å kjennes på land. Disse bølgene er vanligvis lette å beregne når havdypet på utsiden av kaien er kjent.

[1]

Bølger fra passerende skip kan gi problemer i enkelte områder der det vanligvis ikke vil forekomme bølger fra vind. Disse bølgene kan være veldig komplekse å beregne.

Brytende bølger, bølger der toppen faller fremover siden den får en høyere fart enn bølgen selv. Disse bølgene har korte høy-trykks pulser som kan gi store påkjenninger til vertikale kai deler. Kreftene kan ligge fra 150-600 kN/m<sup>2</sup>. [1]

Bølger fra fortøyd skip for disse bølgene er det ingen standard utregnings formel, her kommer det an på skipets størrelse, utforming, tyngde, mm. Disse kreftene vil jobbe på fendere og fortøyning, som igjen vil føre kreftene inn i kaikonstruksjonen.

### **5.1.3 Is krefter**

I nord områder kan det forekomme is laster på kaier i vinterhalvåret, alt fra drivis, is fra land og is ansamling. Is lastene vil på åpne kaier forekomme på bærepilarer, og i noen tilfeller der kaien av spesielle grunder er veldig lav. Her er første steg å evaluere lokale forekomster, og utforming på kai konstruksjonen.

Det vil forekomme både vertikale og horisontale krefter fra is. Det er viktig å sjekke konstruksjonen for begge disse kreftene. [1] Forenklet antas laster fra drivende is i sjø å virke på ugunstigste nivå mellom HAT og LAT. [8]

### **5.1.4 Strømmer**

Størrelse på strømmer og retning må evalueres ut fra tidevann og vindretninger for å se hvordan innvirkning den har på kaien. Strømmer på kaier og havner kan oppstå fra vind, temperaturforskjeller, saltinnhold og strømmer fra eventuelle nært liggende elver. Ved planlegging av nye kaier er det viktig å kjøre en lengere observasjon og analyse på størrelsen av strømmene i området.

Det er viktig å vite strømmenes retning og styrker, spesielt ved peling. Det blir betraktelig vanskeligere å pele ved strømmer sterkere enn 1.5 m/s og hvis det skal brukes dykkere er det svært vanskelig og jobbe i strømmer raskere enn 0.5 m/s. [1] [3]



### **5.1.5 Seismisk**

Jordskjelv er en naturkraft som vi i Norge stort sett tidligere ikke har dimensjonert for, men i senere tid er dette noe som vi også må ta hensyn til. Seismisk påkjenning betraktes som en unormal naturlast, jordskjelvbevegelse beskrives som en bevegelse av berggrunnen i et enkelt punkt.

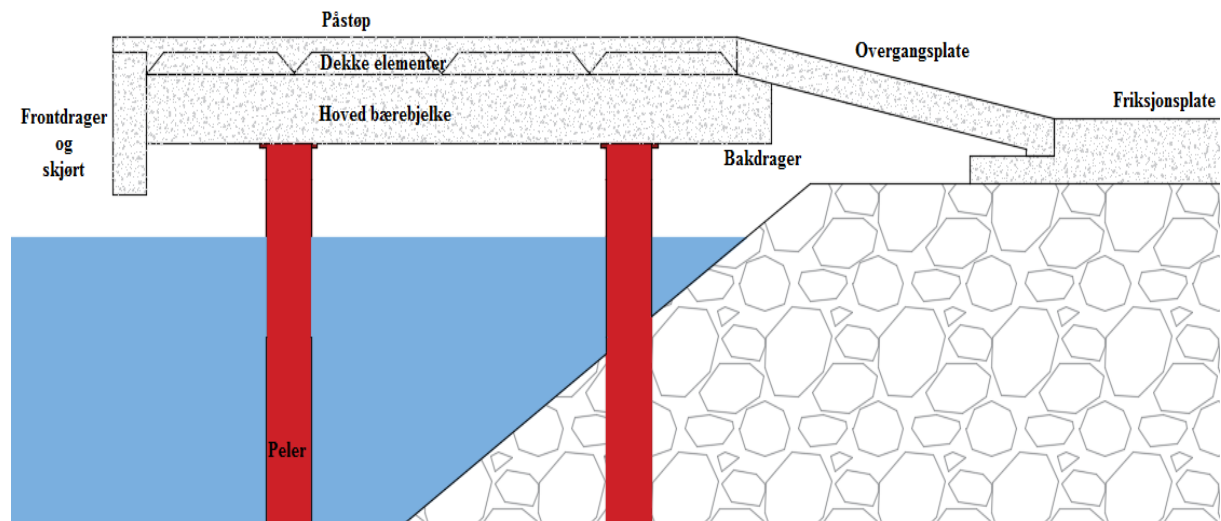
Den seismiske påvirkningen karakteriseres ved hjelp av seismiske sonekart for akselerasjon i berggrunn. Dette er noe som må dimensjoneres ut fra det bestemte stedet kaien skal stå, dette er svært individuelt fra plass til plass om det i det heletatt er sjanser for jordskjelv. Disse sonekartene oppgir eventuelt hvilken styrke disse kreftene vil ha. Disse kreftene dimensjoneres ut fra EC 8 og NS-EN 1998-1, der seismiske sonekart som skal brukes i Norge er listet i NS-EN 1998-1. [8]

For konstruksjoner som ikke står direkte på berggrunnen, skal det kompenseres for den endring av jordskjelvakselesasjonen som skjer mellom berggrunnen og konstruksjonen. [8]

.

.

## 6 Åpen kais bygningsdeler



*Figur 4 Oppbygging av kai-konstruksjon*

### 6.1 Forankrings konstruksjon

#### 6.1.1 Friksjonsplate

For kai-er på peler benyttes friksjonsplate til å ta opp alle horisontale krefter i kaiens lengderetning og sideretning. Her er det støt- og fortøyningskrefter som gir de største dimensjonerende lastvirkningene på friksjonsplaten. Friksjonsplaten skal legges på ett lag med betongavretting.

For å oppnå større friksjon anbefales det å gi oversiden av betongavrettingen og friksjonsplata en ru overflate med tversgående kosting.

#### 6.1.2 Overgangsplate

Overgangsplaten fungerer hovedsakelig som setningsutjevner, den har til hensikt å forhindre sprang i overgang mellom friksjonsplatefylling og bakkjelke hvis fyllinga setter seg. Overgangsplata er også bindeleddet mellom kaiens bakkjelke og friksjonsplaten, og overfører dimensjonerende strekk- og trykkrefter fra bakkjelke til landliggende friksjonsplate.

## **6.2 Bærekonstruksjon**

### **6.2.1 Stålrørspeler til berg**

Stålrørspeler til berg er stålrør med spiss som slås ned til bærende fjell. Mye brukte rørdiameter for kaier er 600 – 800 mm og rørtykkelse ligger typisk rundt 10 – 16 mm, avhengig av grunnforhold. Når pelene er slått ned til den dybden den skal stå, blir den lenset før den armeres og støpes. Den fremste pelen bør aldri stå nærmere front enn 2 m. [8] [9]

### **6.2.2 Hoved bærebjelker**

Hovedbjelkene ligger ut og inn på søylepunktene, utenom pelene de tar opp mest last i hele konstruksjonen. Bjelkene får last fra dekket som spredes ut på disse bjelkene, de tar opp kreftene som påføres kaien vertikalt.

### **6.2.3 Bakdrager**

Bakbjelken tar opp og viderefører krefter påført horisontalt på kaien, bakbjelken fungerer også som opplagring for overgangsplatene. Bakbjelken blir støpt monolittisk fast i bakkant av hoved bærebjelkene, dette vil også hjelpe på å stive av hele konstruksjonen.

### **6.2.4 Frontdrager og skjørt**

Frontdrager og skjørt ligger i fremkant av kaien, her festes fendere, pullere, hjulstopper og leider. Drageren og skjørtet tar opp krefter og støt fra båter som ligger mot fendere og som er ankret opp i pullere og viderefører disse kreftene til resten av konstruksjonen.

### **6.2.5 Dekke**

Dekket er den bærende konstruksjonen som ligger i lengderetning med kaien og opptar last mellom hovedbjelkene. Her er det ønskelig med fall mot havet for avrenning.

### **6.2.6 Slitedekke**

Slitedekket støpes eller asfalteres i de fleste tilfeller oppå hele kaien for å unngå slitasje på selve bærekonstruksjonen, og forlenget levetid på dekket.

### **6.2.7 Fylling**

Delen av fyllingen som ligger under overgangsplaten er et veldig utsatt område og må beskyttes for å unngå utglidninger, skulder lengden frem til friksjonsplaten skal aldri være kortere enn 3.0 m. Normalt vil også fall på fyllingen under kaien variere fra  $\frac{1}{1.25}$  til  $\frac{1}{1.75}$  [1]

### **6.2.8 Pelens kapasitet**

Pelens kapasitet som armert betongsøyle skal beregnes etter EC 2 og NS-EN 1992. Vanligvis vil ikke pelens bærekapasitet være et problem siden det ikke vil oppstå krefter som nærmer deg den totale bærekapasiteten til pelene. Det vil derfor være dimensjonene på bjelker og dekke som avgjør plasseringen av pelene.

For rammede peler må det utarbeides rammekriterier, det er mye ekstra påkjenninger på pelen og pelespissen under ramming. Dette skal sammenlignes med statisk belastning, og kan inngå som dimensjonerende last. [8]

Noen krefter som også må tas hensyn til på peler er is krefter, og krymp fra betongherdingen som kan gi momenter i peler. I tillegg bør den ytterste kai pelen aldri stå lengere ut en 2 meter fra kai front, dette for å forhindre skader og støt fra skip. [1]

## **7 Kai komponenter**

Når det kommer til kai komponenter er det viktig å tenke på riktig montering og dimensjonering for å sikre kaien mot uriktige påkjenninger, og for å sikre personer som oppholder seg på den. Det meste av utstyr som er nødvendig på kai for å få den godkjent for bruk bør dimensjoneres for minimum 25 års levetid.

### **7.1 Fendere**

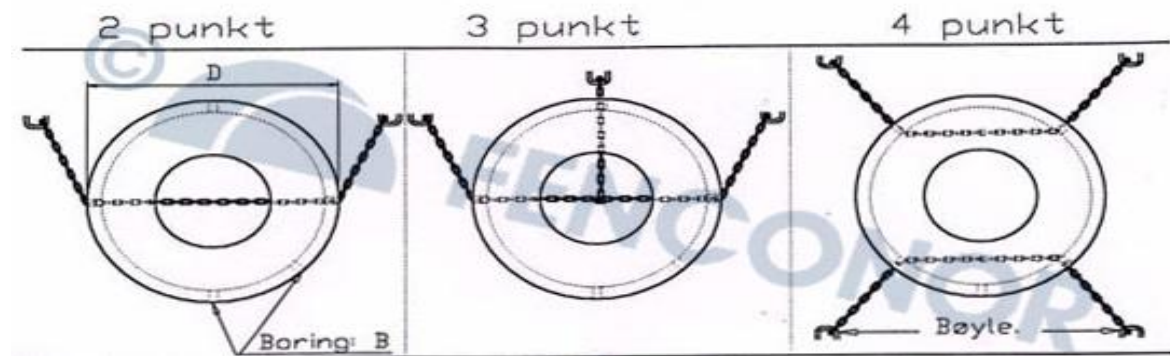
Fendere er den delen av kaikonstruksjonen som skal ta opp støtenergi fra skip når den legger til kaia, og når den ligger til kai. Fenderen er plassert på fremsiden av kaiens frontskjørt for å ta opp reaksjonskrefter mellom skip og kai. Skip i bevegelse har ofte en stor masse, med høy anslagskraft, det er derfor viktig å bremse ned denne massen på en kontrollert måte.

Utforming av fendere bør være slik at reaksjonskrefter mellom skip og kai alltid blir minst mulig. Noen av faktorene som spiller inn på utforming av fendere er: vind, strømmer, båtform, utforming på tilkom, kjørestil og fart. Fendere bør også være av robust utforming for langsiktig bruk, og holdbarhet.

Fendere har gradvis utviklet seg i takt med størrelse og utforming på skip. De har utviklet seg fra enkle systemer av trepeler med lastebildekk, til dagens fenderpanel med elementfendere. Tidligere ble de fleste kaier i Norge bygget i trevirke som ga til dels god støtabsorbering, her ble dekk vanligvis brukt. [1] Ettersom det ble høyere krav og større skip ble betong mer og mer tatt i bruk til kai, dette ga høyere krav til fendere for å unngå skader på kaianlegg og skip. Det ble senere også utviklet forskjellige gummi fendere, som koniske sylindere fendere som har vist seg å være bra å ta opp reaksjonskrefter.

#### **7.1.1 Dumperdekk som fendere**

Dumperdekk som sekundærfenderverk på ei kai med brytning og skjørt kan fungere helt greit. Dumperdekk er forholdsvis en god og rimelig løsning som fendere, de er også lett å skifte ut og gummi holder lenge i det harde miljøet.



*Figur 5 Festing av dekk som fender (fenconor.no) [19]*

## 7.2 Kraner

Der det skal stå kraner og annet utstyr må det dimensjoneres ekstra for løftekapasitet og ekstra påkjenninger, dette er meget forskjellig fra komponent til komponent og dens plassering.

## 7.3 Hjulstopper

Hjulstopper dimensjoneres etter bruksområdet på kaia, de skal være solide og plassert rett innenfor kaikant. På de kaier der det benyttes større kjøretøy bør hjulstopper høyde være minst 30 cm, det vil også være nødvendig med utsparing i disse for vannavløp og snørydding. [22]

## 7.4 Leider (stige)

Leider skal være sikkert festet så den kan benyttes uten fare, den skal i tillegg merkes så den er lett synlig. For å unngå skade på leder bør den felles inn i kaien eller fenderverk. Leiden bør være solid og rekke minst 1.0 m ned i havet ved laveste lavvann, den bør også ha ryggbøyle på toppen. Leidere som ikke går ned i havet skal ha sidevanger og ved nødvendighet ryggbøyle. Ryggbøyle skal starte ved 2.5 m over havet, i noen tilfeller kan det benyttes ståltau eller føringsskinne med fallsikring og sikkerhetsbelte. [22]

## **7.5 Pullerter**

Pullerten anbefales å ha innfelte rom til mutterne for feste til innstøpte gjengestag, og plasseres slik at gjengestaget nærmest kanten på kaidekke ligger minimum 200 mm fra kanten. [9] Innfestingen prosjekteres i henhold til leverandørens spesifikasjoner.

Etter prat med skippere er det en ting de som hovedsakelig kommer frem, de ønsker tettere plassering av pullerter. Dette er noe å ta med seg i videre arbeide med kaier.



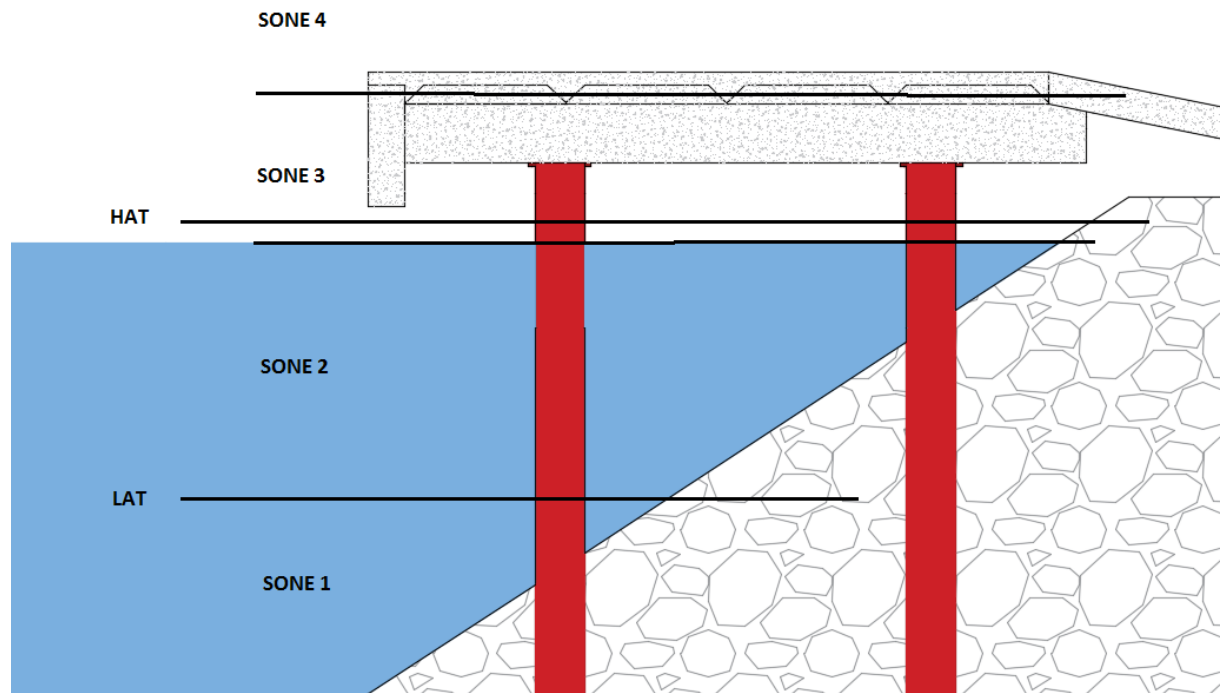
*Figur 6 Pullert gamle kaia på Vannavalen ca. 25 år siden montering*

## 8 Nedbryting av konstruksjon

### 8.1 Betong soner

- Sone 1: totalt nedsenket betong, alltid under den laveste tidevann.
- Sone 2: tidevanns sone, mellom laveste tidevann og bølge sone.
- Sone 3: bølge sone, der betongen periodevis er eksponert for vann.
- Sone 4: atmosfærisk sone, bare eksponert for vann sporadisk, ved høye bølgesprut og lignende.

Disse fire sonene har forskjellige krav til betongen, overdekning og plassering av armering, last koeffisienter, material koeffisienter, mm. [1]



*Figur 7 Betong soner på kai*

Ved svakheter og feil på havnekonstruksjoner vil det raskt ses tegn på nedbrytning av konstruksjonen, dette på grunn av de ugjestmilde marine miljøet. Det er derfor viktig å vite om de destruktive kreftene som angriper konstruksjonene, og hvordan de kan repareres.



Grunner til skader og nedbryting av betongkonstruksjonen kan komme av at ingeniøren som har prosjektert konstruksjonen har brukt ett design som ikke er optimalt. Disse feilene kan være for høye og smale bære bjelker, feil overdekning til armering, dårlig plassering av støpeskjøter, utførende entreprenør har gjort feil under støping. Det er viktig under støping at formene er rene og ikke armering blir flyttet på eller trådd ned. Hvis armeringen ikke ligger riktig kan det føre til for liten overdekning som igjen kan føre til nedbryting av konstruksjonen.

Mulige grunner til skader og nedbryting på konstruksjoner i marine miljø: [2]

- Dårlig betongkvalitet
- Feil utførelse under støping
- For liten overdekning til armering
- Overflate drenerings system har ikke fungert
- Ingen vedlikehold eller service inspeksjoner

Ved disse tilfellene kan korrodering av armering starte i en veldig tidlig fase, og få fortsette uhindret. Dette kan føre til sprekkdannelse i betongen, avskalling, videre korrodering og nedbryting. Når korroderingen og nedbrytingen er startet vil den bli verre og verre med tiden, som vil slippe til mere oksygen og sjøvann.

**8.1.1 Forventet nedbryting i de forskjellige sonene***Tabell 5 Nedbrytningssoner på kai [1]*

Sone	Grunn til nedbryting	Nedbryting starter momentant	Nedbryting forekommer etter noen år
Sone 1	Feil ved forskaling	√	√
	Feil under støping	√	√
	Korrodering		√
	Kjemisk reaksjoner		√
	Erosjon		
Sone 2	Feil ved forskaling	√	√
	Frysing og tining	√	√
	Feil under støping		√
	Korrodering		√
	Kjemisk reaksjoner		√
	Erosjon		√
Sone 3	Frysing og tining		√
	Korrodering		√
	Kjemisk reaksjoner		√
Sone 4	Korrodering		√
	Kjemisk reaksjoner		√

Det har vist seg at nedbrytings skader på kaier kan deles inn i fire kategorier og hvor stor andel av skadene som kommer av disse kategoriene. [1] [2]

- Miljø påkjenninger: 45%
- Overlasting og støt skader: 20%
- Feil design på konstruksjonen: 20%
- Forskjellige andre feil: 15%

For å komme frem til best mulig resultat på konstruksjonen er det viktig å utføre konstruksjonen best mulig fra start til slutt. Med hjelp av gode kontroll rutiner under hele planleggingen og oppførings periode, vil det bli et best mulig resultat. Det har også vist seg at det er viktig å gjøre tidlige kontroller på betong overflatene, og gi betongen best mulige herdeforhold.

Det har vært utført mye forskning på holdbarhet og langsiktig bruk av kai konstruksjoner langs den Norske kystlinjen. Denne forskningen har ført frem at det er store problemer med ukontrollert klorid inntrengning og korrodering på norske kaier, noe som fører med seg store farer for sikkerhet og økonomiske konsekvenser. [2]

Det er også en mulighet at dagens standard på minimum overdekning ikke er tilstrekkelig for langsiktig holdbarhet på kaikonstruksjoner i marint miljø. Det er mulig at de høye klorid inntrengningene skjer i en tidlig fase før betongen allerede er herdet, dette kan være en stor svakhet ved plass støpte kaikonstruksjoner og deler. [2]

Klorid inntrengning på plass støpte konstruksjonsdeler er et spesielt problem under støping i hardt og kaldt vær, der herdeforhold er dårlige og betongen blir eksponert tidlig for klorider. Denne tidlige påkjenningen vil føre til tidligere start på nedbrytingen og skader på konstruksjonen, en om betongen fikk herde under mildere forhold. [2]

## **8.2 Frysing og tining**

Frysing og tining skjer der vann trekker inn i betongen og fryser for så å ekspandere og skade betongen, hvis det ikke er små luftporer i betongen som frysende vann kan ekspandere til. Vannets ekspanderende kraft kan lett overstige 10 MPa, noe som vil gi store indre påkjenninger i betongstrukturen. Det er mengden av de minste luftporene som er mindre en 300  $\mu\text{m}$  som angir betongens resistens mot frysing og tining. Et lavt V/C tall forbedrer også motstands styrke til betongen. [2] [17]

Der betongen er utsatt for repeterende frysing og tining, som i tidevanns sone er det viktig å tilsette luft i betongen for å gi plass til frostspreng.

Betongen kan brytes ned på grunn av frostskafer og is spreng. Hvis det kommer vann inn i betongen og dette vannet fryser, vil det sprekke og danne riss fordi vannets utvidende kraft blir for høyt inne i betongen. Betong som er utsatt for saltvann er meget utsatt for denne type nedbrytning. Siden betongen hovedsakelig er et porøst materiale med ru og til dels åpen overflate, vil betongen trekke til seg vann. Betongen kan etter gjentagende frysing og tining sprekke opp så mye at det kan bli avskalling der betongbiter faller vekk fra konstruksjonen, og etterlater armering mere utsatt for klorider. Ett høyt V/C- innhold gir større porer, og letter vanninntrenging. [2]

Reduserende tiltak er korrekt V/C- forhold, god utstøping og en utforming som minimaliserer fukteksponeringen.

Luftporer i betongen kan gi ekspansjonsrom til det frysende vannet som eventuelt kan trekke inn i betongen, og dermed redusere virkningen av frostsprengningen. De naturlige luftrommene som dannes i betongen under støping og herding er vanligvis lite egnet siden de ligger langt fra hverandre. De fleste av de naturlige luftrommene fungerer tvert imot som kapillarrør som suger opp fuktighet inn i betongen. Med bruk av luftinnførende tilsetningsstoffer under støping vil det gi luftlommer som vannet kan utvide seg i, noe som kan forbedre frostbestandigheten til betongen. [2] [17] [21]

## **8.3 Erosjon**

Erosjon er den vanligste skademekanismen i tidevanns sone, og under havnivået på fylling. Dette består av mekanisk påkjenning fra bølger, strømmer, is og lignende. Ubeskyttet betong i tidevanns sone er har ofte fått skader på armeringens overdekning og armeringen har begynt å korrodere. Derfor anbefales det opp til 300 mm overdekning på søyler og vegger for å gi en lang nok levetid. [1] [2]

På grunn av de mekaniske kreftene fra bølger, strømmer, is og lignende, anbefales det en minimum betong styrke på 55 MPa. Disse påkjenningene vil da ikke være et stort problem på støpte stålrørs peler, siden betongen er beskyttet av stålrøret. [1]

Kaier grenser som regel til en fylling utsatt for erosjon. Denne er det nødvendig å beskytte på en god måte. Det er veldig viktig å gjøre en god sikring når kaia bygges, da det er vanskelig og kostbart å etablere eller reparere en erosjonssikring i etterkant. [9]

Det kan være flere årsaker til erosjon, men de viktigste ytre faktorene er propellstrøm fra båter, bølger og strøm i havet og isgang. Andre faktorer som har innvirkning på erosjon kan være geometri på fylling, drag i sjøen, steinstørrelse og sjøbunntopografi.

En viktig faktor i dimensjoneringen av erosjonssikringen er at båter blir større og større, det vil si at det blir kraftigere maskineri og mere propell strømmer enn tidligere. I tillegg er nye båter ofte utrustet med thrustere som gir en mer konsentrert stråle enn vanlige frie propeller, og thrustere vil oftest ha en dypere plassering enn tradisjonelle akselpropellere. Det er erfart at slike thrustere har skadet tidligere fungerende plastring. [9] Med å vite maksimal dypgang på båter som skal brukes på kaien, er det mulig å gjøre tiltak mot propellstrømmer og thrustere.

## **8.4 Kjemikalie forverring**

### **8.4.1 Sulfat reaksjoner**

Dersom sement typen som benyttes har en lav resistens mot kjemisk saltvanns angrep, er det desto mere viktig med lav permeabilitet i betongen. Betong av Standard Portland sement kan vise til tilfredsstillende resistens mot saltvanns angrep hvis den er laget med lav nok permeabilitet.

Kjemiske angrep på kalsiumhydroksid eller trikalsiumaluminat av sulfater i saltvannet, disse to kjemiske stoffene i den herdede betongen kan bli myket opp og skadet av sulfater. Dette er normalt ett større problem i sulfat holdig grunnvann. [2] [17]

### **8.4.2 Alkalieaggregat reaksjoner**

Alkalieaggregat reaksjoner er en sakte virkende skade som tar flere tiår å oppstå, dette oppstår på grunn av høyt alkalisk innhold i sementen. Denne reaksjonen forekommer på konstruksjoner med høy luftfuktighet.

Sement er meget alkalisk med pH 12-13. [2] Dette beskytter armeringen mot korrosjon, men enkelte typer tilslag reagerer i et alkalisk miljø, og danner en seig væske med større volum enn delstoffene. Denne alkalireaksjonen medfører at betongen sprekker. Man kan redusere alkalivået i sementen for å redusere problemet.

Det er tre krav til denne typen reaksjon:

- Reaktive aggregater
- Alkalier i sementen
- Relativ fuktighet > 80%

Forutsetter tilstedeværelse av alkalier i porevannet, og reaktivt tilslag. Det som dannes er restprodukt (gel) som har større volum enn reaktantene, og betongen sprenges ut i et karakterisk nettmønster. Muliggjør armeringskorrosjon, oppstår vanligvis etter 15-20 år. [17]

Kan unngås ved å bruke lavalkalisement men disse har i senere tid blitt faset ut av produksjonen i Norge.

### **8.4.3 Syreangrep**

Betong er generelt svak mot angrep fra syre, som i aggressive miljøer der pH < 4,5 må betongen beskyttes. Der man klarer å skape brudd i kapilærporene med lavt V/C-tall og ved lufttilførende tilsetningsstoffer vil det gi et hjelpende vern. [21]

### **8.4.4 Sulfat- og nitratsprengning**

Sulfat og nitrater reagerer med bestanddeler i betongen, og danner voluminøse produkter, som sprenger betongen, og gjør den porøs. [17]



*Figur 8 Salt på kaikant gamle kaia på Vannavalen*

På figur (8) fra den gamle kaia på Vannavalen kan man tydelig se hvor hardt utsatt kaier er, her med salt som ligger på dekket og hjulstopper. Det var også flere plasser på dekket der det var sølt salt i mindre mengder, noe som vil gi ekstra miljøpåkjenning på kaien.

## 8.5 Anbefalt eksponeringsklasse for kaiens deler

Ut fra dette har jeg kommet frem til anbefalte eksponeringsklasser til kaiens betongdeler som vist i tabell (6) som gir krav til betongbestandighetsklasse **MF40** på hele konstruksjonen.

*Tabell 6 Anbefalt eksponeringsklasse til kaiens betongdeler*

Kaidetalj	Betong sone	Underside	Overside	Sider
Friksjonsplate	4	XS3 / XF2	XS3 / XF4	-
Overgangsplate	3	XS3 / XF2	XS3 / XF4	-
Hoved bærebjelke	2/3	XS3 / XF4	XS3 / XF2	-
Frontdrager og skjørt	2/3	XS3 / XF4	XS3 / XF4	-
Bakdrager	2/3	XS3 / XF4	XS3 / XF2	-
Dekke	3	XS3 / XF2	XS3 / XF4	-
Pele/søyler	1	-	-	XS3 / XF2



## **9 Prefabrikkert betongelementer**

Definisjon av et prefabrikkert betongelement:

Med et prefabrikkert betongelement menes enhver del av den ferdige konstruksjonen som på forhånd lages enten i fabrikk eller på byggeplass og deretter monteres og eventuelt støpes inn i konstruksjonen. [3]

### **Elementkai**

Det er ikke noe noen nyhet i bygge bransjen at det ønskes en reduksjon i byggetid på alle konstruksjoner og bygg, dette på grund av økonomiske og bruksmessige hensyn. Her kan bruk av prefabrikkerte betongelementer spille en rolle i denne sammenheng. Siden elementproduksjonen kan starte tidligere i byggefasen enn tradisjonell plasstøpt [1].

Under prosjekteringen av kaiens detaljer er det viktig å ta hensyn til en del punkter:

- Elementene bør være mest mulig massiv, uten utstikk og hulrom
- Lett utstøpelige elementer
- Lett å ta ut av støpeform, med minst mulig demontering
- Vekt og størrelse må tas hensyn til ved flytting av elementene

Elementkaier består hovedsakelig av disse typene elementer:

- Forankringsplate/Friksjonsplate
- Overgangsplate
- Hovedbjelke element
- Dekke element
- Bakbjelke element
- Frambjelke element
- Frontskjørt element

Andre aktuelle bruksområde for betongelement er:

- Betongpeler og senkekasser
- Betongspunt
- Bjelkeelement
- Kaifrontelement

Elementene kan enten være med forspent armering eller slakk armert, men en kai med forspent armering kan det bygges en slankere og lettere konstruksjon. Men en kai med forspente elementer vil ikke ha den samme monolittiske styrken mot støt som en kai som er slakkarmert. En annen negativ ting med forspent armering er at det ikke er lett å utbedre skader, eller etter nedbryting av betongen og korrodering av armering.

Slakkarmerte kai elementer blir i dag brukt rundt i verden, denne måten å bygge på kan redusere byggetid og bygge kostnader.

### **9.1 Fordeler ved bruk av elementer:**

- Redusert konstruksjons tid (i de fleste tilfeller)
- Minimalisering av kostbar forskalingsjobb og plass støping
- Arbeid like over vann blir redusert i omfang
- Generelt mindre avhengig av været (utenom under løfting av elementer)
- God kvalitet på betong produktet
- Reduksjon i nødvendig personell på byggeplass
- Kan være kostnadsreduserende ved lang vei til betongblandeverk

Disse punktene er noen av de gode grunnene til å benytte prefabrikkert elementer. Redusert konstruksjons tid, som er en vesentlig fordel for anlegg på steder med kort sommersesong. Bruk av elementer er ofte fordelaktig siden elementer kan støpes tidligere i byggeprosessen, som at bjelker og dekke plater kan klargjøres når peling og fundamentering pågår. Betongen som blir produsert i fabrikk eller på land på byggeplass vil få mindre påkjenning under herding, enn hvis de ble støpt rett over havnivå eller i skvalpesonen.

Ved bruk av prefabrikkerte kaiement er det mulighet for støping under kontrollerte forhold, dette gir bedre kontroll der det er muligheter å unngå risiko for kloridepåvirkning og uønskede belastninger på konstruksjonsdeler for tidlig i herdeperioden. Prefabrikkerte elementer vil også ha mye høyere nøyaktighet og kan utføres med et høyere og sikrere nivå en plasstøpt konstruksjon. Dette kan gi muligheter for økt spennvidde, mindre materialforbruk og bedre bestandighet.

Allerede fra produksjon kan detaljløsninger plasseres, da kan mye av den konvensjonelle forskalingen unngås, dette vil effektivisere monteringsarbeidet.

Økt sikring i forhold til kvalitet og mulighet for kostnadseffektivisering gjør at bruken av prefabrikkerte elementer blir mere og mere brukt i dagens konstruksjoner.

## **9.2 Negative deler ved bruk av elementer**

Noen negative punktere ved bruk av elementer:

- Behov for stort løfteutstyr
- Vindavhengig under løfting og montering
- Stabilitets problemer under montering
- Ekstra beregninger ved peler ute av posisjon
- Ekstra støpeskjøter
- Liten toleranse under installasjon

Stabiliteten til konstruksjonen i byggetiden er en faktor som må ivaretas, bruken av elementer kan medføre høyere krav til provisoriske avstivinger en for tradisjonelt plasstøpt kai.

Bruken av elementer i kaier vil gi et betydelig antall skjøter i betongkonstruksjonen. Dette kan gi problemer for inntrenging av klorider som fører til skader på konstruksjonen. Noen av disse skjøtene vil også oppstå i plassbygde kaier men det vil være i betydelig mindre antall.

Prefabrikkerte kaiement er avhengig av kraner og løfteutstyr til transport fra produksjonsområde til byggeplass, og for montering på byggeplass. For større elementer benyttes ofte kranlekter, her spiller størrelse og vekt på hvert element en viktig rolle. Sånn det ser ut i dag blir det større og større krav til nyttelaster på kaikonstruksjoner, det vil si at elementene også blir større og tyngre for å kompensere

styrkekravene. Disse vektøkningene er noe som spiller en viktig rolle på løftekapasiteten til kraner som skal montere disse elementene.

Under peling forekommer det ofte avvik på posisjoneringen av bærepunktet til hovedbjelkene, dette kan føre til en del ekstra arbeide med beregninger av elementbjelkene. Og i verste tilfelle kan bjelkene være ferdige og underdimensjonert.



*Figur 9 Pågående støping av sammenføyinger av hovedbjelke og bakbjelke (Vannavalen)*



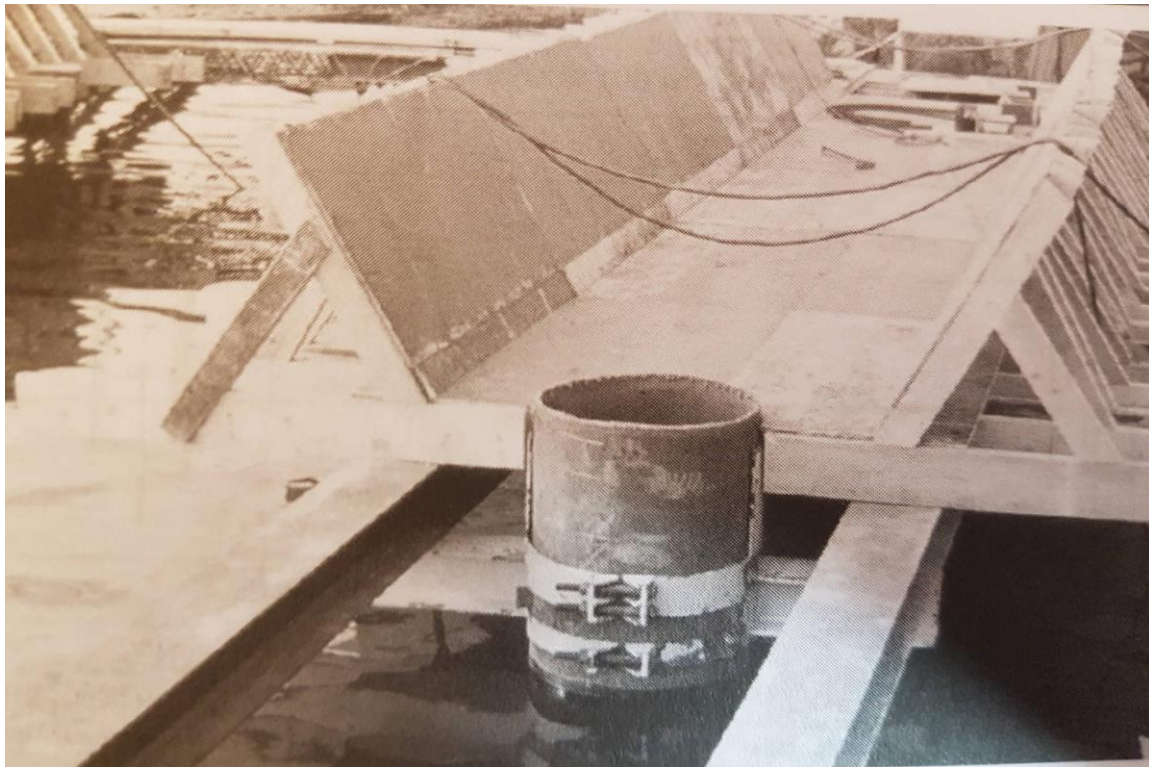
*Figur 10 Dekkeelementer (Vannavalen)*



*Figur 11 Bakkjelker og hovedbjelke under pågående forskaling (Vannavalen)*

## 10 Plassbygd kai

Plassbygd kai har tradisjonelt vært den eneste måten å bygge kaier, der alle deler ble forskalet og støpt på plassen der delene ble stående. Dette er da ikke tilfellet lengre, etter mulighetene for bruk av større og større kraner i byggeprosessen. Det finnes flere forskjellige måter og plass bygge kaier, men jeg kommer ikke til å gå spesifikt inn på byggemåter. Jeg vil konsentrere meg om de positive/negative aspektene, opp mot bruk av elementer.



*Figur 12 Bjelkeforskaling (hentet fra Port Designers Handbook) [1]*

Å forskale plassbygde kaier er en omfattende jobb, spesielt siden arbeidet konstant utføres over havet. Jobb over havet fører til en del ekstra jobb med tanke på HMS (helse miljø og sikkerhet), der jobb over vann krever bruk av ekstra sikkerhetsutstyr. Der det i tillegg er værhardt og kaldt som i Norge i vinter halvåret, er det en ekstra påkjenning for arbeiderne som skal utføre denne jobben.

## **10.1 Fordeler ved plassbygd kaier**

Det er noen fordeler som kommer frem ved tanke på plassbygd kai:

- Der det er kort fraktvei fra betongblandeverk, er det ikke sikkert det er en økonomisk fordel med elementer.
- Mulighet for endring av bjelker og bæring underveis, som i tilfeller der peler kommer ut av posisjon
- Mindre antall støpeskjøter på undersiden av kaien
- Mere stabilt i byggefasen
- Lettere å beregne armering og styrke

## **10.2 Negative deler ved plassbygd kaier**

Det er flere negative aspekter som kommer frem når kaier skal plass bygges, de fleste punktene går på det økonomiske aspektet:

- Mye mannskap på byggeplass
- Store forskalingskonstruksjoner som må bygges ``on site``
- Ofte lengere konstruksjonstid, der ting må støpes i rekkefølge
- Frakt av betong på biler eller flyttbart blandeverk
- Store deler av betongstøp kan bli liggende i bølgesoner under herdingen, noe som kan virke skadende
- Større sjanser for feil på utførelse av detaljer når ting bygges under dårlige forhold
- Større sjanser for nedtrækking av armering under arbeide

## **11 Korrodering av innstøpt stål**

Normalt er innstøpt stål godt beskyttet mot korrodering, dette er hovedsakelig på grunn av den elektrokjemiske passiviseringen av stålet i den høyt alkaliske pore løsningen i betong. Men hvis denne passiviteten av stålet delvis eller helt brytes ned av enten betong karbonisering eller klorider vil korrodering starte. Dette vil føre til at det elektrokjemiske potensialet til stålet lokalt blir mere negativ og former anodiske områder, mens i områder av stålet hvor det passive potensialet intakt vil oppføre seg som anslagsområde for oksygen og vil forme katodiske områder. [2]

Hvis den elektriske motstandsverdien i betongen også er tilstrekkelig lav, vil dette danne ett komplekst system av galvanisk celle aktivitet langs stålet. I alle disse galvaniske cellene vil det gå en elektrisk krets, denne kretsens størrelse vil avgjøre størrelsesgraden av korroderingen på stålet. Størrelsen og geometrien på de anodiske og katodiske områdene på de galvaniske cellene er også avgjørende faktorer på hastigheten til korroderingen. Denne korroderingen styres hovedsakelig av den elektriske resistensen i betongen og tilgjengeligheten på oksygen. [2]

For tett, høy-kvalitets betong med riktig tykkelse, karboniserings korrodering av innstøpt stål er ikke sett på som noe praktisk problem, og for fuktige omgivelser karbonisering til og med ses på som ett mindre problem. For betong konstruksjoner i høyt klorid holdige omgivelser virker det som det bare er et spørsmål om tid før skadelige mengder klorider trekker langt nok inn i betongen. Til og med gjennom tykke lag av høy-kvalitets betong vil kloridene til slutt nå stålet. I tillegg har høy-kvalitets betong vist seg å ha høy inhomogenitet etter at den er plassert i konstruksjoner. [2]



*Figur 13 Synlig armering etter avskalling på bjelke (NATO kaia Olderdalen)*



## **11.1 Kloridinntrenging**

For betongkonstruksjoner i kloridholdige omgivelser kan klorid inntrenging skje ved forskjellige måter. Gjennom usprukket betong vil inntrenging hovedsakelig forekomme ved kapillær absorpsjon, og diffusjon.

Hvis relativt tørr betong blir eksponert til saltvann vil betongen absorbere saltvannet relativt fort, og periodisk fukting og tørking kan akkumulere høye konsentrasjoner av salt i betongen. [2] For betongkonstruksjoner i fuktige marine omgivelser der det er periodisk eksponering via bølgeskylling fra sjøvann hovedsakelig gir varierende fuktighets innhold begrenset til et ytre lag av betongen.

For forhold langs kysten av Norge har det tidligere vært typisk målt og observert konstant høy fuktighets innhold i det ytre laget av betongkonstruksjoner, ikke bare på konstruksjoner som står på dypere vann, men også konstruksjoner som står i bølgeskylling.



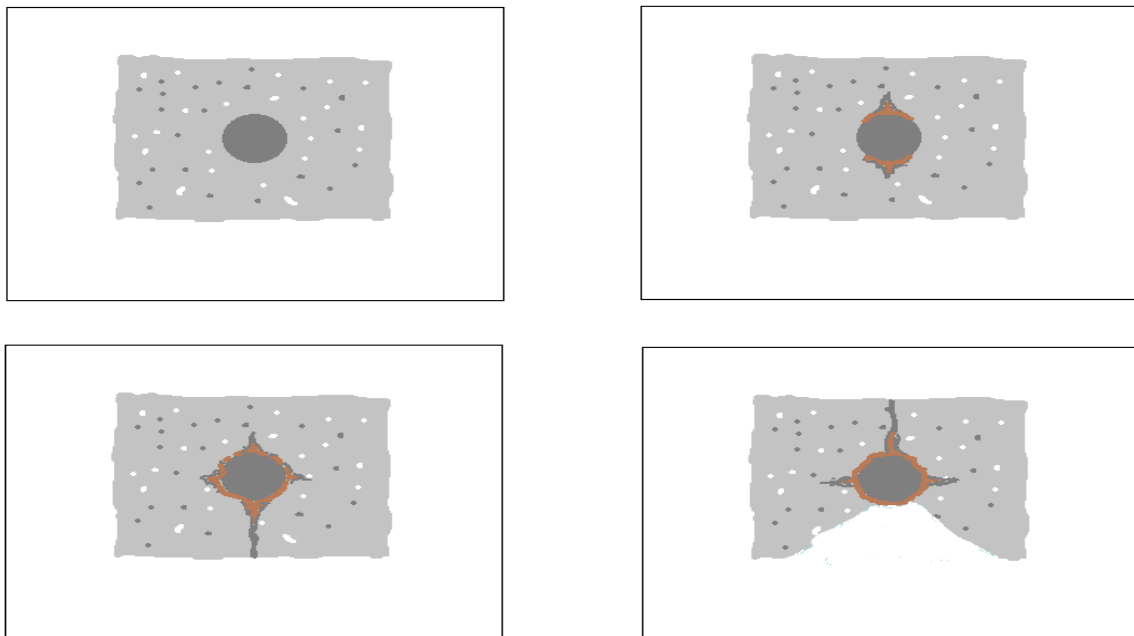
*Figur 14 Korrosjon av armering [14]*

For betongen i kystkonstruksjoner i Norge er det målt kapillær metning på 80-90% i de ytre 40 til 50 mm av betongen. Derfor er tykkelsen på betong overdekning i høye klorid holdige omgivelser meget høye. [2]

Fuktighets innhold i betongen kan være svært høyt, derfor er det antakelig at diffusjon er den dominerende faktoren for fukttransport i inntrengingen av klorider.

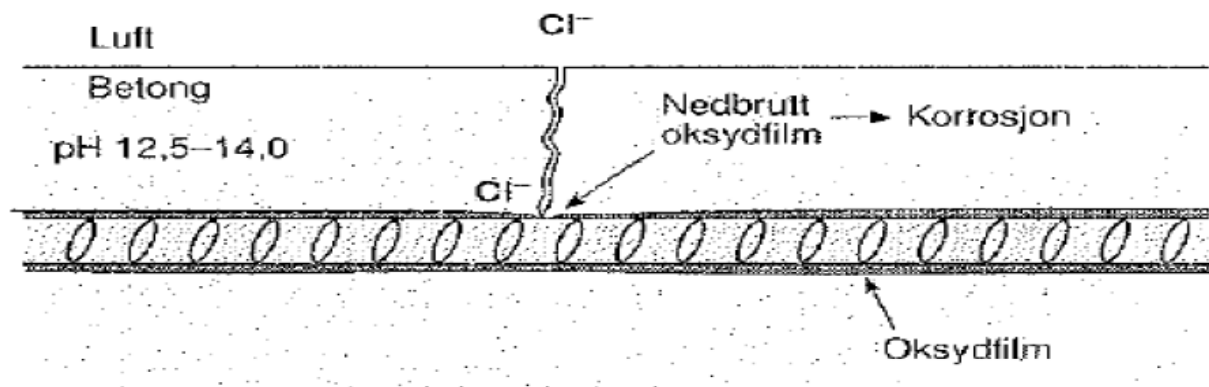
Betongkonstruksjoner i maritime miljøer er utsatt for harde miljøpåkjenninger i form av klorider som trenger inn i betongen. Kloridinntrengings problematikk er noe som er svært viktig å ivareta i prosjekteringsfasen av en ny konstruksjon. Alle kaikonstruksjoner inneholder slakk- og/eller spennarmering, derfor er det viktig å forhindre eller redusere faren for kloridinntrenging.

For forspente konstruksjonsdeler er det svært viktig å unngå kloridpåkjenninger, siden stålet er påført strekkspenninger. Korrosjon på det forspente stålet kan være kritisk for konstruksjonens bæreevne. Ved forspenning av stålet vil stålets porer utvide seg og gi tilgang på større mengder luft, så dersom stålet starter korroderingsprosessen vil den gå mye raskere enn for vanlig stålarmering.



*Figur 15 Utvikling av rustspreng på betong*

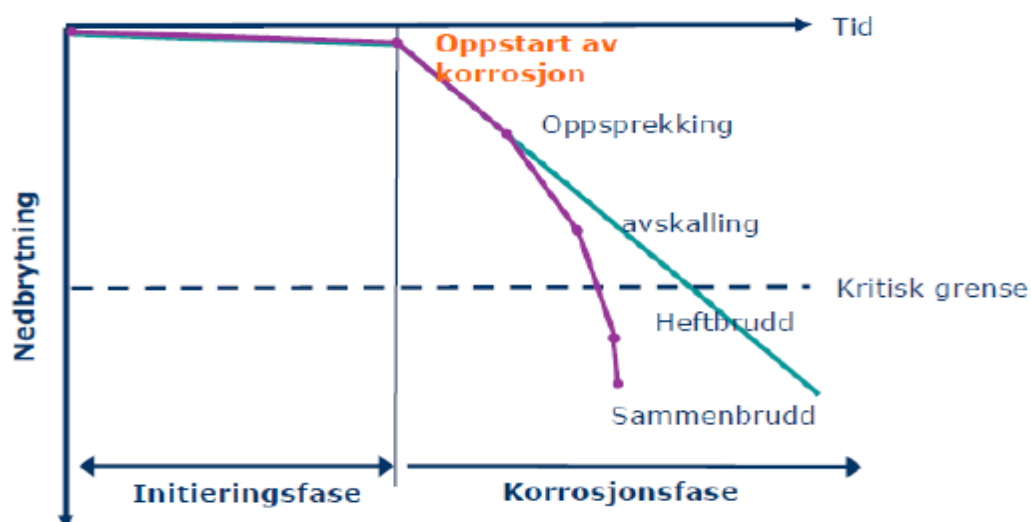
Kloridinntrenging er når salt ioner trenger inn i betongen, når kloridfronten når armeringen begynner klorider å bryte ned oksidfilmen på jernet (passive sjiktet). For at korrosjon skal begynne må det være en høy nokk mengde klorider i konstruksjonen at kritisk kloridnivå er oppnådd, tilgang på oksygen og vann er også nødvendig. Kritisk kloridnivå varierer fra konstruksjon til konstruksjon, det kan også være ulike nivåer i deler av samme konstruksjon.



*Figur 16 Korrosjon på armering [21]*

Når korrosjon starter dannes det ett rustprodukt som har volum 5-7 ganger større enn stål. Dette rustproduktet vil virke sprengende på betongen og det vil oppstå rissdanning, avskalling, tap av bæring og mulig konstruksjonskollaps.

Kloridinntrenging skjer i to faser, initieringsfasen er tiden det tar for kloridene å nå inn til armeringa og korrosjonsfasen der nedbrytningen starter og konsekvensene av korrosjon kan ses.



*Figur 17 Nedbrytningsfaser av betong [21]*

Salt ioner som fører til korrosjon i konstruksjonen kan komme på to mulige måter, de kan komme i produksjonstiden eller i brukstiden. Under produksjonstiden kan betongen forurenses av klorider via kloridholdig sement, akselerator, tilslag eller kloridholdig vann.

Tabell 7 Veiledende grenser for kloridinnhold [1]

Kloridinnhold (% av sementvekt)	Korrosjonsrisiko
< 0,4	Minimal
0,4 – 1,0	Mulig
1,0 – 2,0	Sannsynlig
> 2,0	Sikker

Klorid i betongens porevann er hovedårsaken til nedbryting av oksidlaget som beskytter armeringen. Kaiens deler som ligger i skvalpesonen er mest utsatt for angrep, i denne sonen er det kontinuerlig tilgang på saltvann og oksygen. Saltvann og oksygen er hovedingrediensene for at korrosjon skal forekomme. Kaiens front, bakside og undersiden er mest utsatt for slike angrep.

I skvalpesonen der det forekommer konstant tørking og fukting vil klorid transporteres inn i betongen. Porestrukturen i betongen vil også medvirke til kloriddiffusjon av kloridholdig vann gjennom kapillærsug.

Hvordan begrense/stoppe nedbryting: [17]

- Fjerne klorid eller kloridinfisert betong
- Fjerne karbonisert betong eller realkalisere betongen
- Stoppe inntrengning av klorid og CO<sub>2</sub>
- Gjøre stålet motstandsdyktig mot lav pH and klorid
- Begrense transporten av oksygen (luft) gjennom betongoverdekningen
- Gjøre betongen knusk tørr
- Øke den elektriske motstanden i betongen
- Erstatte stålet med armering som ikke korroderer

## 11.2 Armerings overdekning

Med overdekning menes avstanden fra betongoverflaten og inn til nærmeste armeringsjern. Det er tre forhold som har innvirkning på størrelsen av overdekningen: [20]

- Bestandighet. Miljøpåvirkningen er med å bestemme hvor god beskyttelse armeringen må ha mot inntrengning av stoffer som kan forårsake korrosjon.
- Heft. Krefter skal overføres mellom armering og betong. Dette krever en viss sone med betong rundt armeringen.
- Brann. Man kan øke overdekningen for å beskytte armeringen mot temperaturstigning ved brann.

Den overdekning vi angir på tegninger og som brukes i beregninger kalles nominell overdekning,

$C_{nom}$ :

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

Der:  $C_{min}$  er minimum overdekning

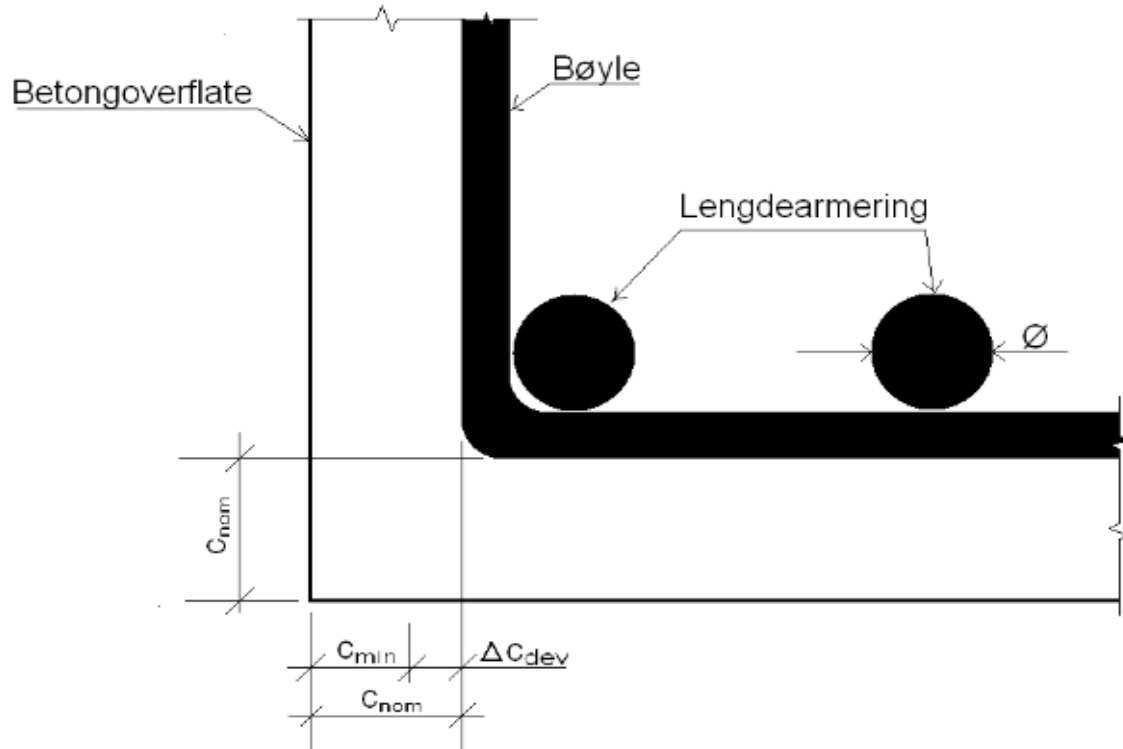
$C_{min}$  = størst av

- $C_{min,b}$  (med hensyn på heft)
- $C_{min,dur}$  (med hensyn på bestandighet)

Der:  $\Delta C_{dev}$  er tillatt avvik

Bestemmelsen av  $C_{min,dur}$  gjøres etter det norske tillegget (NA), som er svært forskjellig fra det som står i selve standarden.

Bestemmelse av eksponerings klasser gjøres etter EC2:4.2 tab.4.1 og NA 4.1 tab.NA4.1



*Figur 18 Forklaring av overdekning [20]*

Den mest kritiske sonen av konstruksjonen er sone 2 (tidevanns sone) der det er nødvendig med mest armeringsbeskyttelse. Der det i sone 2 og 3 brukes betong i eksponeringsklasse XS3, disse sonene er tidevann og skvulpe soner. Med en dimensjonerende brukstid på kaien som er 100 år er det da viktig med riktig overdekning på konstruksjonen. I disse sonene settes ofte  $C_{nom} = 90 \pm 15$  mm

De anbefalte overdekningsmengdene i de forskjellige sonene er: [1]

- Sone 1: totalt nedsenket betong = 100 mm
- Sone 2: tidevanns sone = 120 mm
- Sone 3: bølge sone = 100 mm
- Sone 4: atmosfærisk sone = 50 mm

Statens vegvesen har også noen krav når det kommer til overdekning som kan være noe å ta hensyn til under støping av konstruksjoner i krevende miljø.

For rustfri armering, unntatt i overside dekke, kan  $C_{min,dur}$  reduseres med 15 mm

Skjerpede krav til minste overdekning ved spesielle forhold: [8]

- Lettbetong:  $C_{min}$  økes med 5 mm
- Bruk av glideforskaling:  $C_{min}$  økes med 10 mm
- Bruk av overforskaling uten drenerende duk:  $C_{min}$  økes med 10 mm
- Ved risiko for isabrasjon eller erosjon i rennende vann:  $C_{min}$  økes med 10 mm

Minste overdekning,  $C_{min} = C_{min,b}$ , men ikke mindre enn 20 mm, for overflater i utsparinger som senere skal støpes igjen og for overflater. I prefabrikkerte elementer som det senere skal støpes inn til, skal  $C_{min}$  settes lik stangdiameteren, men ikke mindre enn 20 mm. [8]

Eksponeeringsforhold og funksjonskrav	$C_{min,dur}$
- Oversiden av brudekker med fuktisolering - Konstruksjonsdeler der tilgjengeligheten for inspeksjon og vedlikehold er vanskelig, for eksempel i og ved fuger - Utstøpte peler, utført som tørrstøp eller undervannsstøp - Konstruksjonsdeler som kan bli eksponert for avismiddell («salt»): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pylarer, støttemurer etc nær saltet vegbane utsatt for saltsprut/-føyke (inklusive konstruksjonsdeler under terreng)</li> <li>• Konstruksjonsdeler utsatt for saltsprut og fuktighet hvor avvasking fra regnvær normalt ikke finner sted (for eksempel nedre del av vegger i kulverter, tunnelportaler, miljøtunneler osv. fra 2 m over vegbanen til underkant fundament)</li> <li>• Innerkant kantdragere og betongrekkverk</li> <li>• Sidekant brudekke og ytterste 2 m av underkant bruplate for bruer uten kantdrager/betongrekkverk</li> <li>• Innside av vinger og bakside frontvegger på landkar</li> <li>• Endebjelker og innside vinger på fugefrie bruer</li> <li>• Arealer under fugekonstruksjon som vil bli utsatt for saltholdig lekkasjevann</li> </ul>	60
- Mot tørre og tilgjengelige hulrom, for eksempel i kassetvernsnitt og søyler	35
- Underkant fundamenter: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mot betongavretting</li> <li>• Mot berg</li> </ul>	60 100
- Undervannsstøp - Konstruksjonsdeler i marint miljø: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Til en høyde på minst 12 m over høyeste astronomiske tidevann (HAT) i værharde kyststrøk</li> <li>• Til en høyde på minst 6 m over HAT i lite værharde kyststrøk</li> </ul>	100
- Alle øvrige flater	50

*Figur 19 Minste  $C_{min,dur}$  etter Statens Vegvesens krav [8]*

Ut fra dette har jeg kommet frem til anbefalt overdekning i kaikonstruksjons bygningsdeler som vist i tabell (8).

*Tabell 8 Anbefalt overdekning til kaiens betongdeler*

Kaidetalj	Betong sone	Armeringsjern (mm)	Monteringsjern (mm)
Friksjonsplate	4	70±10	60
Overgangsplate	3	90±10	80
Hoved bærebjelke	2/3	100±10	90
Frontdrager og skjørt	2/3	100±10	90
Bakdrager	2/3	100±10	90
Dekke	3	95±10	85
Pele/søyler	1	60±10	50

**Tabell NA.4.4N – Krav til minste overdekning  $c_{min,dur}$  av hensyn til bestandighet for armeringsstål i overensstemmelse med NS-EN 10080**

Eksponeringsklasse <sup>1)</sup>	Bestandighetsklasse (minstekrav)	Minste overdekning $c_{min,dur}$ (i millimeter)	
		50 års dimensjonerende brukstid	100 års dimensjonerende brukstid
X0	M90	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$
XC1	M60	15	25
XC2, XC3, XC4	M60	25	35
XD1, XS1	M45	40	50
XD2, XD3, XS2	M40	40	50
XS3	M40	50	60

<sup>1)</sup> Valg av bestandighetsklasse for eksponeringsklassene XF, XA og XSA skal være i henhold til NS-EN 206-1 NA:2007, Nasjonalt tillegg tabell NA.11. For klasse XA3 og XA4 bør normalt overdekningen ikke være mindre enn 40 mm hhv. 50 mm, for klasse XSA må de samlede tiltakene vurderes særskilt.

*Figur 20 Krav til minste overdekning  $C_{min,dur}$  av hensyn til bestandighet for armeringsstål [6]*



## 11.3 Alternativ armering

For å øke levetiden til maritime konstruksjoner i harde miljøer er det store utfordringer både teknisk og økonomisk. Utbedring og reparasjoner av skadet og korroderte betongkonstruksjoner er et betydelig problem på kaier og som gir store økonomiske kostnader. På grunn av disse problemene er det begynt å ses nærmere på alternative armeringer i deler av konstruksjonene som er mest utsatt for skader. Det mest brukte materialet i disse tilfellene er rustfritt stål.

En rekke korrosjons forebyggende tiltak, bortsett fra betongens kvalitet, overdekning og rustfritt stål, kan vurderes ved å sikre lang levetid av betongkonstruksjoner, for eksempel:

- Overflatebehandling av betong
- Korrosjonsinhibitorer
- Katodisk forebygging
- Ikke-metallforsterkning
- Korrosjonsbestandig stål, for eksempel utvendig epoxy forsterkning

### 11.3.1 Rustfritt stål

Det vanligste rustfrie stålet er kromlegert stål med et krominnhold  $> 10,5\%$  ellers blir det ikke karakterisert som rustfritt. Kromlegeringen er det som gir stålet økt motstandsdyktighet mot korrosjon. Krommet danner et tynt lag kromoksidfilm på stålets overflate som virker som et passivt sjikt. I kombinasjon med betongens høye pH vil dette danne ekstra beskyttelse mot korrosjon. Nikkel legering blir også benyttet til en viss grad, den danner også en beskyttende film og øker stålets duktilitet. Ulike legeringer gir stålet ulike egenskaper og krystallstruktur.



*Figur 21 Rustfritt stål armering*

Ved tanke på bruk av rustfritt stål armering for å eliminere korroderings problemer på konstruksjoner med lang levetid i harde miljøer, er den ekstra kostnaden et nøkkel problem. Alternative korroderings forebyggende tiltak er ofte fremmet. På grunn av de kostnadmessige konsekvenser og driftssikkerheten for de alternative løsningene, disse problemene bør tas opp på et meget tidlig trinn i konstruksjonsprosessen for at eieren og klientene får velge den endelige Løsningen, slik at den blir optimal for deres bruk. Men bare en dyp kjennskap til den styrende forringelses mekanisme kan bistå i slike evalueringer, sammen med langvarig dokumentasjon og erfaring. [2] [10]

Livssyklus kostnadene analyser har vist at bruk av rustfri stålarmering i soner som utsettes for høye konsentrasjoner av klorider er en økonomisk fordelaktig løsning. Følges "Unngåelse av forverring tilnærming" denne tilnærmingen kan sikre en svært lang problemfri levetid i konstruksjonen, forutsatt at betongen selv er gjort tilstrekkelig motstandsdyktig for å unngå andre typer av forringelse (sulfat angrep, salt skalering og liknende). [11] [13]

*Tabell 9 Klassifisering av korrosjonsresistans i rustfri stål armering [10]*

Corrosion resistance class	Steel Type	Steel grade		PREN-value
		EN 10088-1	Designation	
Class 0	Carbon steel	(-)	(-)	(-)
Classe 1	Austenitic (without Mo)	1.4301	X5CrNi 18-10	19
		1.4541	X6CrNiTi 18-10	17
Classe 2	Austenitic (with Mo)	1.4401	X5CrNiMo 17-12-2	25
		1.4429	X2CrNiMoN 17-13-3	26
		1.4436	X5CrNiMo 17-12-2	26
		1.4571	X6CrNiMoTi 17-12-2	25
Classe 3	Ferritic-austenitic (Duplex)	1.4462	X2CrNiMoN 22-5-3	36

Ved å velge rustfritt stålarmering fra tabell (9) kan det enkelt og greit byttes ut vanlig karbon stål armering, med rustfritt stål i en ratio 1:1 siden konstruksjons egenskaper med tanke på styrke og duktilitet er like. Noen av de rustfrie armeringene har til og med bedre konstruksjons egenskaper. [13]

## Det er fire hovedtyper rustfritt stål

- **Martensittisk rustfritt stål**
- **Ferrittisk rustfritt stål**
- **Austenittisk rustfritt stål**
- **Ferritt-austenittisk (Duplex) rustfritt stål**

**Martensittisk** rustfritt stål er ikke interessant som konstruksjonsstål.

**Ferrittisk rustfritt stål** har samme egenskapene som mildt stål og er heller ikke interessant som konstruksjonsstål.

**Austenittisk rustfritt stål** er den mest brukte typen rustfritt stål den har nikkel innhold på minst 7% noe som gir stålstrukturen fult austenittisk og gir den duktilitet. [11] Denne typen stål er rangert i høyere grad av korroderings resistente armeringsstål.

**Ferritt-austenittisk (Duplex)** rustfritt stål har kombinert ferrittisk og austenittisk gitter struktur, dermed navnet duplex rustfritt stål. Duplex strukturen gir både styrke og duktilitet. Den høye prisen på denne typen stål gjør at den ikke er så attraktiv som konstruksjonsstål, men noen ganger kan stålprisene svinge og den blir mere attraktiv i betongkonstruksjoner i forhold til austenittisk stål. Denne typen stål er også attraktiv i høye kloridholdig og korroderings miljøer. Duplex stål er rangert meget høyt korroderings resistente armeringsstål. [11]

Duplex stål vil etter min mening være det stålet som burde brukes i kai konstruksjonsdeler som er svært utsatt for skader og harde påkjenninger, men også til innfesting av kai komponenter der stålet stikker ut av konstruksjonsdelene.

Med tanke på det økonomiske er det en fordel å analysere eldre kaier og omgivelsene den nye kaien skal bygges på, hvor den får hardest påkjenninger med tanke på selektiv bruk av rustfri armering, og bare bruke rustfritt i de delene av konstruksjonen det er nødvendig. Andre typiske bruksområder kan være der vanlige overdekningskrav er vanskelig å tilfredsstillere, betongledd, ledd ved bruk av elementer og områder der tilkomst til inspeksjon og/eller vedlikehold er vanskelig. [8]

Det kan være hensiktsmessig å benytte rustfritt stål armering i kritiske deler av konstruksjonen, men det må da sikres at ikke vanlig armering kommer i kontakt med den rustfrie armeringen. De to armerings typene har forskjellige elektriske potensialer, dersom korrosjon oppstår vil den hovedsakelig angripe den vanlige armeringen først på grunn av lavere elektrisk potensiale. [2]

Noen viktige ting å tenke på hvor det skal brukes rustfritt stål: [13]

- Rustfritt stål korrosjonsresistans i forhold til omgivelsene der stålet skal brukes
- Betongens design
  - Betongens overdekning
  - Betongens egenskaper i forhold til resistans og styrke
  - Betongens rissvidde
- Utførelses forhold og etter behandling
  - Plastisk kryp riss
  - Termisk riss

## **12 Sement**

Jeg har valgt og se på to forskjellige typer CEM-sementer i min oppgave, Portlandsement og slaggsement. Disse to typene har vært brukt i kai og havnekonstruksjoner tidligere i Norge, og jeg har valgt å se videre på hvilken type sement som er mest aktuell å bruke i element og plassbygde kaikonstruksjoner.

### **12.1 CEM-sement**

Definisjonen på CEM-sement er følgende:

”Sement er et hydraulisk bindemiddel, dvs. et finmalt uorganisk materiale som blandet med vann danner en pasta som størkner og herdner gjennom hydratisering og etter herdning beholder sin fasthet og stabilitet også under vann”. [24]

Hoved bindemiddel for betong er sement. Sement kan defineres som et finmalt uorganisk materiale som reagerer med vann og danner sementpasta. I Norge har vi produsert sement til betong i en årrekke. Hoved ingrediensen til sementproduksjon er kalkstein av god kvalitet for god sement. Kalkstein med høy andel kalsium karbonat er godt egnet til sement, andre bestanddeler til sement er kvart, gips og bauxitt i mindre mengde.

CEM-sementtypene kan i tillegg til Portlandsementklinker bestå av en rekke ulike materialer [24] [29]

1. Portlandsementklinker (K)
2. Granulert råjernslag (S)
3. Pozzolane materialer
  - a. Naturlig pozzolan (P)
  - b. Naturlig kalsinert pozzolan (Q)
4. Flygeaske
  - a. Silikatholdig flygeaske (V)
  - b. Kalkholdig flygeaske (W)
5. Brent skifer (T)
6. Kalkstein (L og LL, avhengig av mengde organisk karbon)
7. Silikastøv (D)
8. Sekundære bestanddeler
9. Kalsiumsulfat (gips, anhydritt eller hemihydrat)
10. Tilsetninger

Sementstandarden skiller 5 hovedklasser sement:

- CEM I Portlandsement (Portland cement)
- CEM II Portland- blandingssement, totalt 7 undergrupper (Portland-composite cement)
- CEM III Slaggsement (Blastfurnace cement)
- CEM IV Pozzolansement (Pozzolanic cement)
- CEM V Blandingssement (Composite cement)

Tabell 10 Oversiktstabell som viser et utdrag av sementtypene i NS-EN 197-1. [29]

Hovedtype	Betegnelse		Sammensetning (masseprosent)						
			Hovedbestanddeler					Sekundær bestanddeler	
			Klinker K	Råjernslag S	Silikastøv D	Flygeaske V	Kalkstein L og LL		
CEM I	Portlandsement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portland slagsement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	0-5
	Portland silikastøvsement	CEM II/A-D	90-94		6-10	-	-	-	0-5
	Portland flygeaske sement	CEM II/A-V	80-94	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	21-35	-	-	0-5
	Portland kalkfiller sement	CEM II/A-L	80-94					6-20	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	6-20	0-5
	Portland blandings sement	CEM II/A-M	80-88	12-20					0-5
		CEM II/B-M	65-79	21-35					0-5
	CEM III	Slagsement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-
CEM III/B			20-34	66-80	-	-	-	-	0-5

- Verdier i tabellen er gitt som prosent av summen av hovedbestanddeler og sekundære bestanddeler
- Andelen av silikasøv er begrenset til 10%
- I CEM II/A-M og CEM II/B-M skal hovedbestanddelene unntatt klinker angis ved betegnelse av sementen

### **12.1.1 Portlandsement CEM I**

Den mest brukte sementen går under navnet Portlandsement, som ble fremstilt i England i 1824 av Portland-stein. Men navnet er i dag brukt om all sement med hovedinnhold av klinker (95-100%).

Portlandsement lages ved at kalk-, silisiumdioksid-, aluminiumoksid- og jernoksidholdige råmaterialer males til pulver og blandes, deretter brennes det i 1400–1500 °C til begynnende smelting. Etter brenningen males det igjen til et fint pulver, under tilsetning av 3–5 % gips og evt. mindre mengder jernsulfat og hydraulisk aktivt materiale, f.eks. flygeaske. Kravene til sementen oppgis i Norsk Standard [30]

Ved blanding av sementen med tilsetningsstoffer kan sementens egenskaper endres radikalt. Tilsetningsstoffer kan endre herding, styrke, permeabilitet, resistens mot kjemiske angrep, varmeutvikling under herding, mm. Det forskes konstant på nye tilsetningsstoffer for bruk i sement til bruk i krevende miljøer og konstruksjoner.

### **12.1.2 Slaggsement CEM III/B**

Den kjemiske sammensetningen i slagget fra råjernsproduksjon er svært ulik fra produksjon til produksjon. Den varierer svært mye i sammenheng med sammensetningen av råmaterialene som brukes fra hver smelting. Det vil også være stor forskjell på hvilket smelteverk slagget kommer fra. Slaggsement er også ett billigere alternativ enn Portlandsement. [29]

- Biprodukt fra produksjon av råjern – 1 tonn jern gir ca. 250-300 kg slagg [27]
- Potensielt hydraulisk – trenger aktivering ved hjelp av høy pH
- Blandes tradisjonelt med Portlandsement i mengde 30-75 % (av totalt bindemiddel)
- I kommersiell bruk i Tyskland fra 1865 (først blandet med kalk, deretter med Portlandsement)

Rene Portlandsementer er i senere år mindre og mindre brukt, både i Norge og store deler av Europeiske land. Slagg som biprodukt fra råjernsproduksjon, brukes for å erstatte deler av Portlandsementen. [27]

Nederlenderne har lang erfaring med bruk av sement med høyt slagg innhold i større infrastruktur. De har brukt en sement lignende med CEM III/B som har slagg innhold på 66-80 %. De har også brukt denne sementtypen i marine konstruksjoner.



### 12.1.3 Slaggsement eller Portlandsement

Etter bruk av CEM III/B i Nederland har de kommet frem til en del konklusjoner angående slagg betong mot bruk av CEM I, i konstruksjoner. Etter utprøving i praksis og laboratorium forsøk, har de kommet frem til at CEM III/B betong har bedre ytelse på klorid utsatte konstruksjoner. Den har også bedre ytelse på alkalisk-silikat reaksjon enn ren Portlandsement.

Ved bruk av CEM III/A eller CEM III/B vil det ha betydelig effekter på betong ytelse, både ved mekaniske egenskaper, fysiske egenskaper og holdbarhet. Den vil ha en lavere tidlig styrke, men også en lavere hydreringsvarme, noe som vil virke positivt med tanke på riss. Men etter 28 dager herding har de oppnådd lik kompresjonsstyrke som CEM I, og deres mekaniske egenskaper er tilsvarende.

Den generelle erfaringen i Nederland er at CEM III/B betong har en lavere kapillaritet enn CEM I med liknende V/C og alder. CEM III/B viser også god motstand mot sulfat angrep. [27]

Kloride inntrengningen er også kortere og tregere for CEM III/B, dette sett i sammenheng med dens lavere diffusjonskoeffisient. Det ser ut for at med alder er også CEM III/B kloriddiffusjonskoeffisienten sterkere enn i CEM I, med høyere elektrisk resistivitet og lavere korrosjon hastighet. [27]

CEM III/B har en langsommere hydrering enn CEM I-hydratisering så den er avhengig av en lengere våtherding, noe som jeg antar vil være ugunstig ved støping i havet der det er sjanser for tidlig kloride inntrenging. CEM III/B betongen har også en raskere karbonatisering noe som gir overflaten en mere åpen mikrostruktur. Fryse-tine + bruk av avisings salt egenskapene til CEM III/B er lavere enn CEM I betongens egenskaper, denne svakheten kan komme av den raske karbonatiseringen. I tilfeller der det er dårlig herdeforhold for CEM III/B kan det bli meget dårlig overflate, noe som fører til store muligheter for fryse-tine angrep og tidlig avskalling. [27]

### 12.1.3.1 Konklusjon sement

Ut fra dette vil jeg våge å konkludere med at bruk av slaggsement CEM III/B, er det beste av disse to alternativene til bruk på elementer. Slaggsementen som får herde under optimale forhold viser meget gode resultater, og det er ett billigere alternativ. Siden CEM III/B viser en tendens til å bruke lengere tid i starten av herdefasen til å ``lukke`` seg, vil den ikke være optimal å bruke i bølgesoner der havet kan skylle på den i tidlig fase. Så ved støping nært havoverflaten og i bølgesoner anbefales CEM I av disse to. I tillegg vil det være en miljøgevinst på senket bruk av Portlandsement [29]

Ved bruk av overflatebehandling av betongen vil det tenkes at bruk av slaggsement har en positiv effekt. Der det vises seg at slaggsement vil ha en mer ru overflate kan gi en mulighet for bedre heft, ved bruk av overflatebehandling som smøres på som ett beskyttelses dekke.

## 13 Tiltak for god utføring

### 13.1 Tegninger

Gode riktige tegninger og beskrivelser er viktig for alle typer konstruksjoner. Men dette er enda viktigere ved konstruksjoner som skal stå i harde tøffe miljøer. Her er det utrolig viktig at ingen misforståelser oppstår, da dette kan gi redusert levetid eller tidlige skader.

Områder der armeringsmengden er svært stor og tett skal det tegnes forstørrede detaljer for høyere nøyaktighet, som viser riktig armeringsdiameter dette gjøres for å unngå feil armering. Det er en forskjell på kamstål diameter og reelle byggemål til kamstål se tabell (11) som viser noen mål til mye brukte kamstål. Tegninger skal også vise innstøpingsgods, kabelkanaler, trekkerør og lignende som vanskeliggjør utstøpingen. Nødvendige vibratoråpninger i armeringen skal planlegges. Fri åpning mellom horisontalarmering i vertikale konstruksjonsdeler bør ikke være mindre enn 80 mm. [8]

*Tabell 11 Byggemål for kamstål*

Diameter	ø12	ø16	ø20	ø25	ø32
Byggemål	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	40 mm

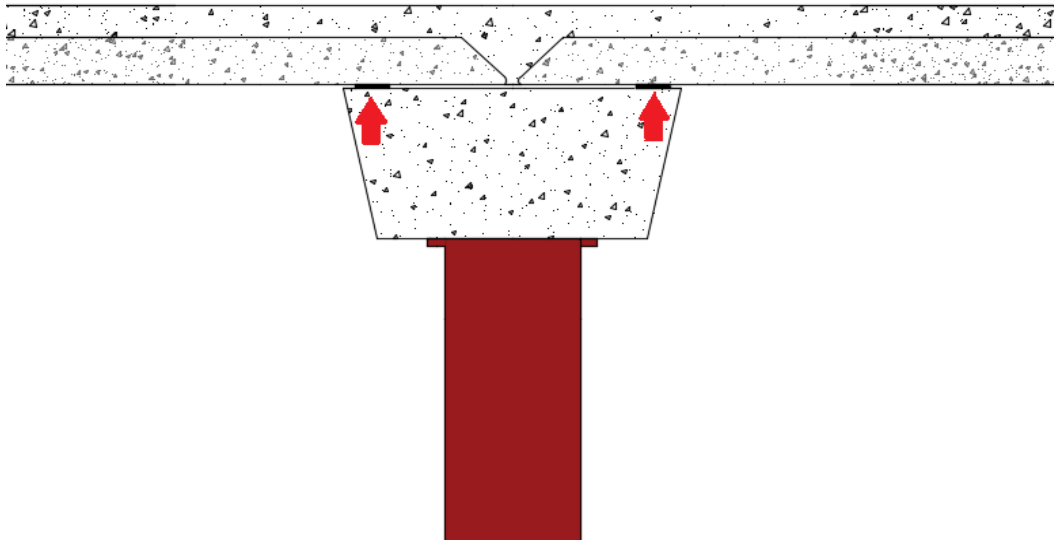
Den prosjekterte overdekningen og tillatt avvik for konstruktiv- og monteringsarmering skal vises på armeringstegninger. Det er og en god ide å oppgi overdekninger i tabeller på armeringstegninger for å presisere overdekning.

### 13.2 Utforming av bjelker

Det ser ut for at trapesformede bjelker på åpne kaikonstruksjoner er den beste utformingen, den gir best mulighet for god overdekning, avrenning og materialbesparelse opp mot styrke. Høye smale bjelker gir god styrke men de er ikke like gode for overdekning, det samme går for T-bjelker.

### 13.3 Plassering av dekkeelementer

For å unngå inntrenging av klorider mellom bjelke- og dekkeelementer da det kan være litt ujevnheter på betongen, anbefales det å bruke en gummilist, mørtel eller annen tilsvarende tetting. Dette punktet er vel egentlig ikke det mest utsatte for skader, men det er bedre å være sikker.



*Figur 22 Mellomlegg bjelke- og dekkeelementer*

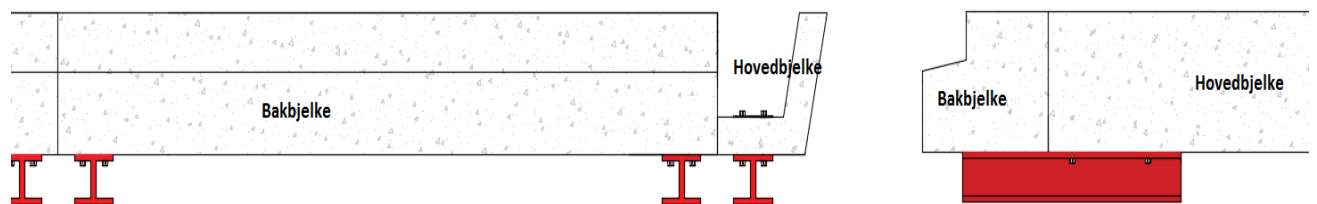
## 13.4 Sammenstøping av bjelke elementer



*Figur 23 Bakbjelker og hovedbjelke, forskaling (Vannavalen)*

For å unngå å måtte støpe mot åpent hav som figur (22), vil det kanskje være en mulighet å strekke undersiden av bakkant elementene nesten helt mot hverandre da vil det ikke være nødvendig å lage like omfattende ledd forskalinger slik som dette. Hvis de midlertidige I-bjerkene settes fast under vil dette være en mulighet. Se figur (23) hva jeg tenker. Dette er også en mulighet for frontbjelken.

Dette vil gi mindre sjans for tidlig skader på betongen fra utvasking og klorider.



*Figur 24 Skisse over mulig montering av bjelker*

## **14 Prissammenligning**

Prissammenligning av de to forskjellige byggemåtene er en prosess som er svært avhengig av lokasjonen kaien skal bygges. Størrelsen på den nye kaien, og de muligheter til arbeiderne vil og være viktige parametere.

### **14.1 Prosjektering**

Prosjekteringen for begge kaikonstruksjonen er stort sett like, men jeg ser for meg det er en del ekstra jobb under dimensjoneringen av elementene. Det blir en del ekstra ledd og sammenføyninger som skal armerses riktig og kontrolleres for krefter. Men uten om noen ekstra dimensjoneringer, tegninger og detaljer ser jeg ikke for meg noen store forskjeller på prosjekteringen.

### **14.2 Grunnarbeid og peling**

Både grunnarbeid og peling er stort sett den samme jobben med like kostnader for begge tilfellene av kai oppføring.

### **14.3 Betongarbeid og utførelse**

Plassbygd kai vil i de fleste tilfeller medfører en større ``on site`` kostnad sammenlignet med elementer. Det vil være behov for en større mengde arbeidere til utførelse av forskalingsarbeidet som medføres av plass-støping. I sammenheng med flere arbeidere vil det også påløpe kostnader på rigg, boplass, mm.

Et stort usikkerhetsmoment er så klart plasseringen av den nye kaien, her er det flere ting som kan spille in positivt på kostnadene for plassbygd kontra bruk av elementer. Der det for eksempel er kort avstand til blandeverk, og det er mulighet å unngå store fraktkostnader på betong. Størrelsen på konstruksjonen vil og påvirke valget av konstruksjons måte.

Men der det er langt fra blandeverk er jo mobile blandeverk en mulighet, men her vil nok elementer være klart den beste byggemåten, der elementene kan fraktes helt frem til byggeplass med for eksempel båt. Det vil klart være bruk for en større kran til løfting av elementene, men dette er noe som jeg tror vil lønne seg kontra lang betong frakt på biler og stopp i støping pga. mangel på betong.

### **14.4 Kai komponenter**

Kai komponentene vil stort sett være like for begge kai typer.

## 15 Sammenstilling av byggemåter

Det er klart en god del av sammenstillingen er svært avhengig av en del parametere som har stor betydning for både prising og byggetid. Men ut fra mine funn vil begge byggemåtene ha lik holdbarhet og levetid, men dette kommer så klart an på riktig utføring og unngåelse av menneskelig svikt.

*Tabell 12 Sammenstilling av byggemåter*

Sammenligning	Elementkai	Plassbygd kai
Byggetid	Flere ting kan gjøres samtidig, ofte redusert byggetid	Avhengig av rekkefølge på utførelse, og venting på herding
Dimensjonering	Mere tidkrevende, kan møte på problemer ved pele eksentrisitet	Muligheter å gjøre endringer underveis, enklere beregninger
Grunnarbeid	Likt for begge	Likt for begge
Peling	Likt for begge	Likt for begge
Forskalingsjobb	Betraktelig mindre forskalingsjobb på byggeplass	Alt må forskales on site
Betongpåkjenning i byggefase	Mindre påkjenninger under herding, herder under gode forhold. Gir bedre mulighet for bruk av slaggsement, som vil gjøre konstruksjonen billigere.	Kan risikere tidlig påkjenning av klorider og utvasking i bølgesoner
Fraktkostnader	Frakt av elementer fra fabrikk. Ved on site elementer er det samme pris på betongfrakt som ved plassbygd.  Meget avhengig av størrelse på kai	Kostnader svært avhengig av avstand til blandeverk, hvis ikke det blir rigget mobilt blandeverk.  Meget avhengig av størrelse på kai
Krankostnader	Kostnader ved løfting av elementer, kan komme opp i store summer avhengig av størrelse og antall.	Ikke avhengig av kran i samme størrelse som ved løft av elementer
Problemer under installasjon	Stabilitetsproblemer	Stabilt i byggefasen

Støpeskjøter	Flere støpeskjøter spesielt i overganger og under kai	Mere sammenhengende støper
Værvhengig	Vindavhengig under løft	Stort sett ikke avhengig av vær
Arbeidsmannskap	Mindre avhengig av mannskap on site	Avhengig av flere arbeidere on site
Holdbarhet	Ut fra tidligere konstruksjoner lik for begge, så lenge arbeidet er utført riktig	Ut fra tidligere konstruksjoner lik for begge, så lenge arbeidet er utført riktig
Feil på konstruksjonen	Mindre muligheter for feil hvis jobben blir utført under tørre og gode forhold i en fabrikk	Større sjanser for at feil blir utført på byggeplass, da store deler av jobben blir utført under dårligere arbeidsforhold en i fabrikk.



## 16 Referanseliste

- [1] Carl A. Thoresen (2014). Port Designers Handbook (Third edition)  
London: ICE Publishing
- [2] Odd E. Gjørsv (2009). Durability design of concrete structures in severe environments  
London: Taylor & Francis
- [3] Norsk Betongforening's Komité. (1988). Retningslinjer for bruk av prefabrikkerte betongelementer i kai og havnebygging, Publikasjon nr.17. Norsk Betongforening
- [4] NS-EN 1990:2002+NA:2008. Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. Norge: Standard Norge
- [5] NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger.  
Norge: Standard Norge
- [6] NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008. Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner; Del 1-1 Allmenne regler og regler for bygninger.  
Norge: Standard Norge
- [7] NS-EN 1991-1-7:2006+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-7: Allmenne laster – Ulykkeslaster. Norge: Standard Norge
- [8] SSV Bruprosjektering Håndbok N400 (2009)  
Tilgjengelig fra:  
[http://www.vegvesen.no/attachment/865860/binary/1030718?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+N400+Bruprosjektering.pdf](http://www.vegvesen.no/attachment/865860/binary/1030718?fast_title=H%C3%A5ndbok+N400+Bruprosjektering.pdf)
- [9] SSV Ferjekai prosjektering Håndbok V431 (2017)  
Tilgjengelig fra:  
[http://www.vegvesen.no/attachment/1707185/binary/1161334?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+V431+Ferjekai+-+Prosjektering.pdf](http://www.vegvesen.no/attachment/1707185/binary/1161334?fast_title=H%C3%A5ndbok+V431+Ferjekai+-+Prosjektering.pdf)
- [10] Markset, G. Tostam, S. Klinghoffer, O. (2006) Guide of the use of stainless steel reinforcement in concrete structures. Project report 405. Oslo: SINTEF Byggforsk.  
Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prrapp%20405.pdf>
- [11] "Stainless Steel in Concrete". (1996) European Federation of Corrosion Publications, Number 18, The Institute of Materials
- [12] Lasthåndbok for kystverkets faste installasjoner. KV-2006-01-REV4-03.03.08  
Tilgjengelig fra:  
[https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiZ\\_uIjgPDTAhWEICwKHZGKCQcQFggjMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.mercell.com%2Fda-dk%2Fm%2Ffile%2Fgetfile.ashx%3Fid%3D39118594&usq=AFQjCNEmRsX4LWcIyHqBCIladtlpd\\_epiQ&sig2=vUAnzD1d3YP13RLjfvJS2Q&cad=rja](https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiZ_uIjgPDTAhWEICwKHZGKCQcQFggjMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.mercell.com%2Fda-dk%2Fm%2Ffile%2Fgetfile.ashx%3Fid%3D39118594&usq=AFQjCNEmRsX4LWcIyHqBCIladtlpd_epiQ&sig2=vUAnzD1d3YP13RLjfvJS2Q&cad=rja)
- [13] ISSF. International Stainless Steel Forum.  
Tilgjengelig fra:  
[http://www.worldstainless.org/ISSF/Files/ISSF Why Use Stainless Steel Reinforcing Bar English.pdf](http://www.worldstainless.org/ISSF/Files/ISSF%20Why%20Use%20Stainless%20Steel%20Reinforcing%20Bar%20English.pdf)
- [14] Roar Myrdal, Korrosjon av stålarmering i betong. SSV Teknologidagene (2012)  
Tilgjengelig fra:  
[http://www.vegvesen.no/attachment/390434/binary/669564?fast\\_title=Crash-kurs+i+korrosjon.pdf](http://www.vegvesen.no/attachment/390434/binary/669564?fast_title=Crash-kurs+i+korrosjon.pdf)

- [15] Sørensen, S. I. (2010). Betongkonstruksjoner; Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2. Trondheim: Tapir Akademiske Forlag
- [16] Norsk Betongforening's Komité. (2011). Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann, Publikasjon nr.5. Norsk Betongforening
- [17] BetongApp NTNU, Ekspert i team (2012)  
tilgjengelig fra: <http://foogile.com/betong/betong/nedbryting.html>
- [18] Vinje, L. Wilberg, J. Alexander, S. (2010). Bygging med betongelementer (Bind A). Oslo: Betongelementforeningen
- [19] Figurer fra: <http://www.fenconor.no/>
- [20] Forelesning. (2013), ITE1855 - Byggstatikk, dynamikk og konstruksjonslære. Høgskolen i Narvik
- [21] Forelesning. (2015), STE6227 – Bygningsmateriallære  
Universitetet i Tromsø, Narvik
- [22] <http://www.norskprisbok.no/>
- [23] Haugan, J.(2007). Formler og tabeller. Bekkestua: NKI Forlaget
- [24] Den felleseuropeiske sementstandarden NS-EN 197-1, sammen med den felleseuropeiske betongstandarden EN-206
- [25] Gjerp, P. Opsahl, M. Smeplass, S. (2004). *Grunnleggende betongteknologi* (2.utg). Lillestrøm: Byggenæringens Forlag
- [26] Tidevanns forklaringer: [http://geomatix.net/tides/tidal\\_levels.htm](http://geomatix.net/tides/tidal_levels.htm)
- [27] SSV (2014) Slag cement concrete the Dutch experience Nr. 270  
Tilgjengelig fra:  
<http://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner>
- [28] SSV (2016) Chloride resistance of slag cement mortars Nr. 500  
Tilgjengelig fra:  
<http://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner>
- [29] SSV (2016) Sementer med flygeaske og slagg: Lab- og feltefaringer Nr. 517  
Tilgjengelig fra:  
<http://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner>
- [30] Store norske leksikon <https://snl.no/semment> 20.04.2017