

Reparasjonsmetoder for bærende konstruksjoner

Petroleumstilsynet

Rapportnr.: 2019-1164, Rev. 0

Dokumentnr.: 524873

Dato: 2019-12-17



Rapporttittel:	Reparasjonsmetoder for bærende konstruksjoner	DNV GL AS Oil & Gas
Oppdragsgiver:	Petroleumstilsynet, Professor Olav Hanssens vei 10, 4021, STAVANGER, Norway	Offshore Structures P.O. Box 300 1322 Høvik Norge
Kontaktperson:	Lars Geir Bjørheim	
Dato:	2019-12-17	
Prosjektnr.:	10155031	Tel: +47 67 57 99 00
Org. enhet:	Offshore structures	NO 945 748 931 MVA
Rapportnr.:	2019-1164, Rev. 0	
Dokumentnr.:	524873	

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant kontrakt:

Kontrakt 06675

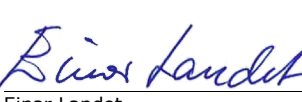
Oppdragsbeskrivelse:

Studie som vurderer modenhet, kvalitet og andre sikkerhetsmessige forhold knyttet til reparasjonsmetoder for bærende konstruksjoner i stål og betong.

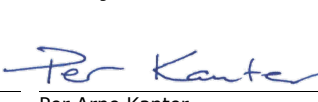
Utført av:


Arne Fjeldstad
Senioringeniør

Verifisert av:

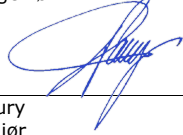

Einar Landet
Sjefsingeniør

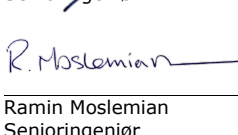
Godkjent av:


Per Arne Kanter
Avdelingsleder


Andreas Lervik
Avdelingsingeniør


John O'Malley
Senioringeniør


Philippe Noury
Senioringeniør


Ramin Moslemian
Senioringeniør

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (Åndsverkloven) © DNV GL 2019. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

- ☒ ÅPEN. Fri distribusjon, internt og eksternt.
☐ INTERN. Fri distribusjon internt i DNV GL.
☐ KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste. *
☐ HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

Nøkkelord:

Reparasjon, lastbærende konstruksjoner, stål, betong, utmatting, korrosjon, overlast, limte reparasjoner

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
A	2019-11-07	For kommentarer	ARFJE/ANLER	GSOL/OMAJ	PAKA
0	2019-12-17	Første utgave	ARFJE/ANLER/PIPO	LAND/ANLER/RAMMO	PAKA

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG.....	1
2	INNLEDNING.....	2
2.1	Bakgrunn og motivasjon	2
2.2	Mål og omfang av arbeidet	3
2.3	Oppbygging rapport	3
3	MYNDIGHETSKRAV PÅ NORSK SOKKEL	4
4	BESKRIVELSE AV REPARASJONSPROSJEKTER	5
4.1	Hva utløser behov for reparasjon	5
4.2	Analyseprosess	7
4.3	Valg av reparasjonsmetode	8
5	REPARASJON AV STÅLKONSTRUKSJONER.....	9
5.1	Utmattingssprekker	9
5.2	Overbelastning	25
5.3	Korrosjon	36
5.4	Limte reparasjoner	38
6	REPARASJON AV BETONGKONSTRUKSJONER	49
6.1	Innledning	49
6.2	Reparasjonsstrategi	50
6.3	Inspeksjons- og tilstandsovervåkning	55
6.4	Dokumentasjon og vurdering av defekter	57
6.5	Valg av reparasjonsløsning	61
6.6	Kvalitetskontroll og utførelse av reparasjonsarbeid	61
6.7	Reparasjonsmaterialer	62
6.8	Reparasjonsmetoder	64
7	REFERANSER	71

1 SAMMENDRAG

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra Petroleumstilsynet og beskriver relevante reparasjonsmetoder for bærende konstruksjoner på norsk sokkel. Hensikten med arbeidet er å etablere en bedre forståelse av omfang, kvalitet og utfordringer knyttet til ulike reparasjonsmetoder for konstruksjoner i stål og betong.

Kartleggingen av reparasjonsmetoder og deres egenskaper er basert på intern kompetanse og erfaring i DNV GL, en litteraturstudie og et arbeidsmøte med operatører og andre aktører på norsk sokkel. Arbeidsmøtet ble arrangert av Petroleumstilsynet for å kartlegge erfaringer knyttet til reparasjon av bærende konstruksjoner. Totalt åtte aktører presenterte sine erfaringer og eksempler på reparasjonsprosjekter de har vært involvert i. Noe av bildematerialet er gjengitt i denne rapporten.

En reparasjon er i denne rapporten definert som et tiltak for å tilbakeføre en skadet detalj eller område til sin opprinnelige tilstand eller forsterke den som følge av en modifikasjon. Begrepet favner også tiltak som iverksettes for intakte konstruksjoner som ikke har tilstrekkelig dokumentert styrke hvor årsaken kan være endring i driftsforutsetninger eller levetidsforlengelse.

Rapporten gir innledningsvis en kort innføring i myndighetskrav knyttet til petroleumsaktivitet på norsk sokkel som reguleres gjennom innretningsforskriften. Petroleumstilsynet refererer videre til NORSOK-standardene som gir prinsipper og retningslinjer for beregninger og dimensjonering av konstruksjoner.

Videre presenteres arbeidsprosessen knyttet opp til en potensiell reparasjon og integritetsstyringsprosessen presentert i NORSOK N-005. En viktig del av et reparasjonsprosjekt er å avdekke årsaken bak behovet for reparasjon siden dette påvirker hvordan videre arbeid planlegges og utføres. Dette innebærer gjerne analyse og kapasitetskontroll som reflekterer konstruksjonens nåværende tilstand. Resultatene vil danne grunnlaget for å vurdere omfanget av problemet og hvorvidt reparasjon er et nødvendig tiltak. I tilfeller hvor det konkluderes med at reparasjon er nødvendig må det basert på en rekke kriterier, fastslås hvilken reparasjonsmetode som er best egnet for det aktuelle tilfellet. Det kan også konkluderes at reparasjon ikke er nødvendig og at det er mer hensiktsmessig å overvåke tilstanden gjennom et inspeksjons- og monitoreringsprogram.

Reparasjonsmetoder for stål- og betongkonstruksjoner er beskrevet i to separate kapitler. For stålkonstruksjoner er de beskrevne metodene i hovedsak relatert til utmattingssprekker, korrosjon og varige deformasjoner grunnet overbelastning. De fleste metodene er godt kjent og har blitt anvendt gjennom flere tiår på norsk sokkel. Effekten og langtidsegenskapene kan derfor sies å være godt kjent. Kapittelet dekker også noen få metoder hvor bruken er relativt ny og hvor kunnskapen rundt effekt og langtidsegenskaper kan sies å være begrenset. I tillegg til disse gis en beskrivelse av reparasjonsmetoder ved bruk av limte forbindelser.

For betongkonstruksjoner har valg av reparasjonsstrategi blitt gitt stor oppmerksomhet, og de ulike aktivitetene og rollene som er essensielle i denne prosessen. Dette dekker alt fra selve inspeksjonsplanleggingen, dokumentasjon og vurdering av funn, valg av reparasjonsmetode med tilhørende material- og metodetesting, til kvalitetskontroll og dokumentasjon under utførelsen. Reparasjonsprosessene er gitt mye vekt i kapitlet om betongkonstruksjoner ettersom det blant annet er komplisert å etterprøve kvaliteten. Kapitlene 2-4 er derfor skrevet generelt og inneholder lite spesifikt om betong. Avslutningsvis i kapitlet som omhandler betongkonstruksjoner beskrives de mest relevante reparasjonsmetodene.

2 INNLEDNING

2.1 Bakgrunn og motivasjon

Drift av olje- og gassinstallasjoner på kontinentalsokkelen innebærer at det blir nødvendig med reparasjoner og utbedringer av de bærende konstruksjonene på grunn av skader, degradering eller behov for økt bæreevne.

Konstruksjoner på norsk sokkel ble fra olje- og gassproduksjonens begynnelse på 70-tallet typisk dimensjonert for en driftsperiode på 20 år. Dette var blant annet basert på anslag over hvor stor andel av reservoarene som kunne utvinnes. Gjennom stadige teknologiske fremskritt ble det etter hvert mulig å øke andelen utvinnbar olje og gass. Dermed ble det også et behov for å forlenge produksjonen utover det som var opprinnelig planlagt. Ettersom en stor andel av produserende felt på norsk sokkel måtte levetidsforlenges ble det utover 2000-tallet mer vanlig å dimensjonere konstruksjonene for drift utover 20 år som praktisert tidligere. Konstruksjonene på Johan Sverdrup feltet er for eksempel dimensjonert for drift i 50 år.

Innen olje- og gassvirksomheten på norsk sokkel har det blitt vanlig at konstruksjoner brukes utover sin opprinnelige planlagte driftstid. I sammenheng med en slik levetidsforlengelse må det dokumenteres at konstruksjonen har tilstrekkelig styrke til en utvidet driftsperiode. For å tilfredsstille dette kravet er det ofte nødvendig med modifikasjoner eller reparasjoner av ulik art. Utløsende årsaker til behovet for reparasjoner varierer mellom ulike type innretninger. For stålkonstruksjoner er reparasjoner primært relatert til korrosjon, sprekker og varige deformasjoner fra overlast.

Omfanget av reparasjoner av for eksempel korrosjonsskader og utmattingssprekker øker for aldrende stålkonstruksjoner. Slike reparasjoner er ofte kostbare og kompliserte fordi reparasjonen må utføres på feltet, helst uten å påvirke produksjonen. Det er derfor viktig at reparasjonsløsningene som anvendes er robuste slik at framtidige skader i den samme detaljen eller området rundt unngås.

Planlegging av reparasjoner er utfordrende fordi de enkelte tilfellene kan være svært ulike. Dette krever ofte løsninger som er skreddersydd hvert enkelt tilfelle. For å lykkes med planleggingen og gjennomføringen av en vellykket reparasjon er det viktig å etablere en god forståelse for hvordan skaden har oppstått.

Gjennom mange tiårs petroleumsvirksomhet på norsk sokkel er det opparbeidet en bred kompetanse innen reparasjoner av bærende konstruksjoner. Det er imidlertid viktig at denne kunnskapen gjøres tilgjengelig for anvendelse fremtiden. Et eksempel på dette er betongkonstruksjoner som over mange år ble ansett til å være vedlikeholdsfrie. Det viser seg imidlertid at det er et stort behov for vedlikehold og reparasjoner etter mange års etterslep.

Hensikten med rapporten er å bidra til at det etableres en bedre forståelse av omfang, kvalitet og utfordringer knyttet til reparasjonsmetoder for bærende konstruksjoner i stål og betong.

2.2 Mål og omfang av arbeidet

I denne studien har modenhet, kvalitet og andre sikkerhetsmessige forhold knyttet til reparasjonsmetoder for bærende konstruksjoner i stål og betong blitt vurdert. Arbeidet bestod av følgende aktiviteter:

- Etablere oversikt over tilgjengelige reparasjonsmetoder for stål- og betongkonstruksjoner
- Angi anvendelsesområder for identifiserte reparasjonsmetoder basert på skade
- Vurdere modenhet, kvalitet, pålitelighet og langtidsegenskaper for identifiserte reparasjonsmetoder

2.3 Oppbygging rapport

Kapittel 3 presenterer myndighetskrav på norsk sokkel og gir en kort beskrivelse av relevante forskrifter og standarder.

Arbeidsprosessen relatert til et reparasjonsprosjekt er presentert i Kapittel 4. Denne reflekterer til en stor grad filosofien bak integritetsstyring og oppfølging av konstruksjoner som er beskrevet i NORSOK N-005 /1/.

Kapittel 5 beskriver relevante reparasjonsmetoder for bærende stålkonstruksjoner. Kapitlet tar for seg utmattingssprekker, korrosjon og varige deformasjoner knyttet til overbelastning. I tillegg beskrives reparasjonsmetoder ved hjelp av limte forbindelser. Disse metodene er relevante for tilfeller knyttet til både korrosjon og utmatting. Bruken av klammer og fylling av mørtel i stag og knutepunkter i fagverkkonstruksjoner er beskrevet under avsnittet om overbelastning. Det er imidlertid viktig å påpeke at disse metodene også vil øke utmattingstyrken til konstruksjonen.

Kapittel 6 skisserer prosessen og essensielle elementer for typiske reparasjonsprosjekter for betongkonstruksjoner. Kapitlet er bygd opp rundt en foreslått reparasjonsstrategi som skisserer livsløpet og aktiviteter i et reparasjonsprosjekt og dekker etablering av funksjonskrav, inspeksjonsplanlegging, dokumentasjon og vurdering av funn, valg av reparasjonsmetode med tilhørende material- og metodetesting, kvalitetskontroll og dokumentasjon under utførelsen.

3 MYNDIGHETSKRAV PÅ NORSK SOKKEL

Petroleumsvirksomheten på norsk sokkel er regulert gjennom Forskrift om utforming og utrustning av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten (innretningsforskriften) /2/. I paragraf 11 er det spesifisert at anlegg, systemer og utstyr som inngår som elementer i realiseringen av hovedsikkerhetsfunksjoner skal som et minimum utformes slik at dimensjonerende laster med årlig sannsynlighet større enn eller lik 10^{-4} , ikke medfører tap av en hovedsikkerhetsfunksjon. For å oppfylle kravene til bærende konstruksjoner refereres det til NORSOK-standardene N-001 og N-003 /3/-/4/ i PTIL sin veiledning /5/. Alternativt refereres det til DNVGL-OS-A101 /6/ for flyttbare innretninger som ikke er produksjonsinnretninger og som er registrert i et nasjonalt skipsregister.

NORSOK N-001 /3/ spesifiserer generelle prinsipper og retningslinjer for dimensjonering og beregninger av konstruksjoner. Standarden er gyldig for alle typer konstruksjoner og dekker bruken av flere typer materialer, for eksempel stål, betong og aluminium. NORSOK N-003 /4/ spesifiserer prinsipper og retningslinjer for beregning av laster og lasteffekter. Dette er overordnede standarder som sammen gir en sannsynlighet for brudd i henhold til kravene i innretningsforskriften.

I NORSOK N-001 refereres det videre til andre standarder rettet mot spesifikke temaer. NORSOK N-004 /7/ presenterer metoder for kapasitetsberegninger av stålkonstruksjoner. NORSOK N-005 /1/ presenterer filosofi og krav til integritetsstyring og oppfølging av konstruksjoner i driftsfasen. NORSOK N-006 /8/ gir anbefalinger for vurdering av konstruksjoner i drift. For eksempel gis anbefalinger til plattformer som planlegges operert utover opprinnelig fastsatt driftstid. Det gis metoder for hvordan et tilstrekkelig sikkerhetsnivå kan dokumenteres gjennom både beregninger og driftsinspeksjon.

Betongkonstruksjoner skal i henhold til NORSOK N-001 /3/ dimensjoneres etter NS 3473E, men denne standarden er trukket tilbake. I forslaget til ny revisjon av denne standarden vises det til ISO 19903 /9/.

4 BESKRIVELSE AV REPARASJONSPROSJEKTER

4.1 Hva utløser behov for reparasjon

4.1.1 Innledning

Dette kapittelet beskriver mulige hendelser som kan utløse et potensielt behov for reparasjon. En viktig del av et reparasjonsprosjekt er å avdekke årsaken bak behovet for reparasjon siden dette påvirker hvordan videre arbeid planlegges og utføres.

Behovet for reparasjon kan utløses enten ved at en konstruksjon er blitt påført en skade eller endring av operasjonsforutsetninger. Endring av operasjonsforutsetninger kan være knyttet både til levetidsforlengelse og endring av operasjonelle antagelser eller forutsetninger, som for eksempel oppdaterte bølgedata, innsynking av sjøbunn eller flytting til et annet område. Beskrivelse av mulige hendelser for de to kategoriene er presentert i avsnittene under.

4.1.2 Årsaker knyttet til degradering og skade

4.1.2.1 Generelt

Hendelser som kan forårsake skade på en konstruksjon er beskrevet under. Det er ikke et mål å belyse omfang og hyppighet av disse, men å identifisere typiske skader med anbefalte reparasjonsmetoder.

4.1.2.2 Utmattingsprekker

Sprekker kan oppstå lokalt i stålkonstruksjoner, for eksempel i en sveisetå, på grunn av mange relativt store sykliske belastninger. I tillegg til størrelsen av dynamiske laster er utmattingsstyrken sterkt avhengig av lokal geometri og kvalitet av utførelse av konstruksjonen. Det er følgelig ikke uvanlig at utmattingsprekker blir observert i områder som kan være overraskende ut fra globalt spenningsnivå. Tilstedeværelse av utmattingsprekker kan potensielt være svært alvorlig og kan føre til tap av lokal bæreevne, og i ytterste konsekvens til et globalt sammenbrudd. Konsekvensen av utmattingsprekker kan også være alvorlig selv om de dannes i sekundærelementer siden disse kan vokse inn i lastbærende deler av konstruksjonen og føre til redusert global kapasitet.

4.1.2.3 Korrosjon

Korrosjon er vanligvis en følge av at beskyttelsessystemet, enten i form av katodisk beskyttelse eller belegg/maling, ikke lenger fungerer som tiltenkt. Dette kan enten være på grunn av at konstruksjonen har operert utover planlagt driftstid eller at dimensjonering av beskyttelsessystemet ikke har vært tilstrekkelig godt utført. For katodisk beskyttelse oppstår korrosjon når offeranoder er brukt opp som følge av den elektrokjemiske prosessen. For belegg/maling oppstår korrosjon ved at belegget sprekker opp, eventuelt blir permeabelt, og fører til at stålet blir eksponert for et korrosivt miljø.

4.1.2.4 Fabrikasjonsfeil

Denne kategorien dekker en rekke forskjellige feil relatert til fabrikasjon. Eksempel på dette kan være rent geometrisk ved for eksempel bruk av feil dimensjon på plater eller bjelker, eller feil plassering av konstruksjonselementer som fører til eksentrisiteter. Mest hyppig er imidlertid defekter som oppstår under sveising. Typiske eksempler kan være ufullstendig gjennombrenning, kantsår og defekter som



bindefeil, porer, inneslutninger og slagg. Et eksempel på andre typer fabrikkasjonsfeil kan være manglende drenasjehull i stag som er planlagt å være vannfylt. Dette kan føre til sammenbrudd fra ytre vanntrykk gjerne allerede under installasjon.

4.1.2.5 Overlast

Overlast kan skyldes underdimensjonering, det vil si at konstruksjonen ikke har tilstrekkelig styrke til å bære laster den forutsetningsvis skal bli utsatt for. Dette kan resultere i lokal eller global knekking, permanente deformasjoner eller utmatting. Generell korrosjon vil over tid føre til tap av godstykkelse som også kan resultere i ovennevnte mekanismer.

4.1.2.6 Skipskollisjon

Kollisjoner mellom forsyningsskip og installasjoner har skjedd flere ganger på norsk sokkel. Mulige konsekvenser er lokale bulker eller utbøying av staver i fagverkskonstruksjoner. For platekonstruksjoner vil ytterhud deformeres og kan potensielt føre til vanninntrengning dersom det oppstår sprekker.

4.1.2.7 Skader under installasjon

Mulige skader under installasjon kan skje ved ramming av peler og etterfølgende støping med mørtel mellom pel og fagverkkonstruksjon. Det finnes blant annet eksempel på at støping har blitt gjennomført under for høy bølgebelastning. Store relative forskyvninger har følgelig ført til at forbindelsen ikke oppnår planlagt styrke. Et annet eksempel er utstyr som mistes under installasjon og skader konstruksjonen. På fagverkkonstruksjoner har slike hendelser ført til skader på horisontalrammer i form av bulker og knekking av stag.

4.1.2.8 Skader fra andre ulykker

Skader på konstruksjonen kan også forårsakes av brann, eksplosjoner, og fallende objekter. Slike skader vil måtte repareres med metoder tilsvarende skader fra andre årsaker. I tilfelle av skader etter brann er det nødvendig å sjekke at stålmaterialelementene ikke har endret egenskaper. Dette kan gjøres ved å studere materialprøver som tas fra det skadde området.

4.1.3 Andre årsaker til reparasjonsbehov

4.1.3.1 Generelt

Andre årsaker som ikke er direkte relatert til en skade men som likeså kan utløse et behov for reparasjon er beskrevet under.

4.1.3.2 Endrede driftsforutsetninger

Forutsetningene for driften av en konstruksjon kan av ulike grunner avvike fra det som opprinnelig var forutsatt under dimensjoneringen. Over tid kan dette føre til økte laster utover det som var lagt til grunn i beregninger. Eksempler på dette er:

- Innsynkning av havbunn (relevant for bunnfaste konstruksjoner)
- Installasjon av nye utstyrspakker

- Installasjon av nye stigerør eller utstyr som følge av for eksempel tilknytning til andre produserende felt.
- Flytting til andre felt (relevant for flytende konstruksjoner og oppjekkbare rigger)

4.1.3.3 Ny informasjon

Erfaring og kunnskap vil utvikle seg gjennom levetiden til en konstruksjon. Ny informasjon gjennom for eksempel oppdatering av standarder og oppdaterte bølgedata kan senere indikere at konstruksjonen ikke har tilstrekkelig integritet. Utvikling av beregningsverktøy og generelt økt evne til å gjennomføre stadig mer avanserte og nøyaktige beregninger er også relevant i denne sammenhengen.

4.1.3.4 Levetidsforlengelse

Det er snarere regelen enn unntaket at konstruksjoner på norsk sokkel ønskes operert utover opprinnelig planlagt driftstid. Myndighetene stiller tydelige krav knyttet til levetidsforlengelse hvor det skal dokumenteres at konstruksjonen er tilstrekkelig dimensjonert for operasjon i en utvidet driftsperiode.

4.2 Analyseprosess

En hendelse som beskrevet i Avsnitt 4.1.2 vil utløse en vurderingsprosess som har til hensikt å bestemme hvilke tiltak som må iverksettes.

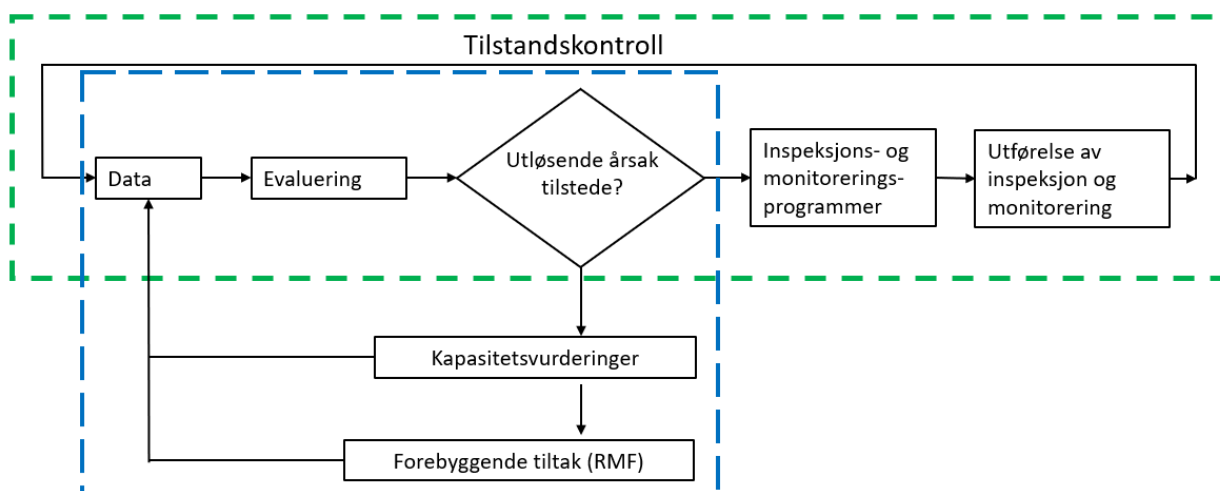
Det første steget i en slik prosess er å finne ut hva årsaken bak hendelsen er og hvilke konsekvenser den har med tanke på konstruksjonens integritet. Dette innebærer gjerne en styrkemessig analyse og kapasitetskontroll som reflekterer konstruksjonens nåværende tilstand. I motsetning til analyser gjort i prosjekteringsfasen av en konstruksjon, som ofte er basert på lineær-elastiske analyser og standard kapasitetskontroll, kan det være nødvendig å benytte seg av mer avanserte analysemetoder som for eksempel ikke-lineære metoder og bruddmekaniske beregninger. Det er avgjørende å ha tilgang til nødvendig informasjon og at denne er av tilstrekkelig kvalitet. Dette krever god tilgang til bakgrunnsinformasjon, som for eksempel inspeksjonsrapporter, analyserapporter, vektrapporter, tegninger av konstruksjonen slik den ble bygget, eventuelle modifikasjoner av konstruksjonen og mulig tilgang til reanalyse-modeller. En beskrivelse av dette er gitt i NORSOK N-006 Kapittel 4 /8/.

Basert på en slik tilnærming vil det kunne fastslås hva som har forårsaket hendelsen. En vil da også ha et grunnlag til å vurdere omfanget av skaden, for eksempel om det er lokalt eller et mer omfattende problem, og hvorvidt reparasjon er et nødvendig tiltak. Driftshistorikken og hvor i livsløpet konstruksjonen befinner seg er også viktig informasjon som må vurderes i denne sammenhengen.

I tilfeller det konkluderes med at reparasjon er det mest hensiktsmessige tiltaket må det bestemmes hvilken reparasjonsmetode som skal benyttes. Det kan for eksempel tenkes at en mindre omfattende tilnærming kan forsvares for en innretning med få gjenværende år i drift.

Det kan også konkluderes at konstruksjonen har tilstrekkelig styrke og at reparasjon ikke er nødvendig. Det kan allikevel være behov for oppfølging gjennom framtidige inspeksjoner. En slik framgangsmåte er illustrert i Figur 4-1 som er et utdrag av integritetsstyringsprosessen beskrevet i NORSOK N-005 /1/. Den blå boksen illustrerer prosessen knyttet til vurdering og eventuell planlegging av reparasjon. Den grønne boksen beskriver prosessen etter reparasjon og tilfeller hvor reparasjon vurderes til ikke å være

nødvendig. Det vil i slike tilfeller ofte være behov for videre oppfølging ved å inkludere den relevante detaljen i et inspeksjons- og monitoreringsprogram.



Figur 4-1: Prosess for integritetsstyring (N-005 /1/)

4.3 Valg av reparasjonsmetode

I tilfeller hvor det er konkludert at skaden må repareres må det velges en metode for å utføre arbeidet. Det er ofte flere metoder som kan være relevant for et spesifikt tilfelle. Selv om en spesifikk løsning oppfattes som et åpenbart valg, anses det som viktig at alternative metoder også blir vurdert for å forsikre seg om at det endelige valget er det beste ut fra relevante kriterier. Disse kan være:

- Hva er effekten av reparasjonen.
- Pålitelighet av metoden, det vil si hvor sikker en kan være på at foreskrevet resultat oppnås.
- Kostnad.
- Operasjonelle konsekvenser av valgt metode. Må for eksempel produksjonen stenges ned under arbeidet.
- Krav til kompetanse fra utførende part.
- Utførelse.
- Toleranser.
- Preferanser til operatør.

5 REPARASJON AV STÅLKONSTRUKSJONER

5.1 Utmattingssprekker

5.1.1 Sveisereparasjon

5.1.1.1 Generelt

Sammen med sliping er sveising den mest anvendte reparasjonsmetoden for fjerning av utmattingssprekker. Sveisemetoder kan sorteres i tre kategorier:

- Sveising under tørt atmosfærisk trykk. Typiske eksempler er sveising på dekksonråde og i ballast- eller lagringstanker i skipsformede eller halvt nedsenkbare konstruksjoner. Sveising kan også gjøres eksternt på konstruksjon under vann ved bruk av habitat.
- Sveising under tørt hyperbarisk trykk. Sveising under vann i habitat med åpen bunn hvor lufttrykket er tilnærmet likt med vanntrykket.
- Sveising i direkte kontakt med vann.

Sveisereparasjon egner seg best for eksisterende sveiser og støpt gods. For støpt gods må sveisen slipes i etterkant for å oppnå en jevn overflate. I slike tilfeller kan det normalt antas at utmattingsstyrken er den samme som opprinnelig beregnet.

Sveisereparasjon av valset og smidde komponenter er ikke ansett til å være optimalt fordi opprinnelig utmattingsstyrke vil ikke kunne oppnås. Generelt dekkes grunnmateriale av klasse B S-N kurver eller bedre, mens sveiste detaljer i beste tilfelle kategoriseres under klasse C /10/. For å oppnå den samme eller bedre utmattingsstyrke etter reparasjon kreves det derfor modifikasjoner i tillegg, hvor en for eksempel kan bytte ut et større område slik at sveisen kan plasseres i et område med lavere spenningsvekslinger.

5.1.1.2 Sveising under tørt atmosfærisk trykk

Sveising i tørt atmosfærisk trykk er som nevnt en svært mye brukt metode for reparasjon. Det er spesielt vanlig for skipsformede og halvt nedsenkbare konstruksjoner samt dekk-konstruksjoner med relativt enkel tilkomst, enten ved direkte tilgang eller ved bruk av stillas. I tilfeller hvor en sprekk er grunn nok til å fjernes med sliping er imidlertid dette den foretrukne metoden, spesielt i tilfeller med tilstøtende lagringstanker som må tømmes, vaskes og frigjøres for gasser for å unngå potensiell antenning av hydrokarboner ved varmt arbeid.

Sveisereparasjon er mer aktuelt i tilfeller hvor en utmattingssprekk er lang eller har vokst gjennom platetykkelsen. I slike tilfeller slipes først sprekkene vekk. Slipeoperasjonen gjennomføres slik at geometrien på gropen er hensiktsmessig for påfølgende sveising. Figur 5-1 viser et eksempel fra dekket på en FPSO hvor bildet til venstre er tatt etter sliping og bildet til høyre etter selve sveisereparasjonen og påfølgende sliping. Bildet viser også en åpning i dekkplaten etter et midlertidig stopphull for å tilrettelegge sveising av den langsgående stiveren på undersiden av dekkplaten. Man kan se fra bildet til høyre at sveisekappen er slipt ned i etterkant. Dette er gjort delvis for å forbedre utmattingsstyrken til sveisen og for å tilrettelegge påfølgende sveising av overgang mellom støttekonstruksjon og sparkelist ut mot skipssiden.

I tilfeller hvor det er behov for å sveise direkte på ytterhud under vannlinjen kan et habitat benyttes. Etter at habitatet er festet på utsiden av skroget gjennomføres sveisereparasjonen. Habitat benyttes også ved sveising på dekk for å sikre gassfri atmosfære.

Ved sveisereparasjon føres detaljen normalt tilbake til sin opprinnelige tilstand. Behovet for ytterligere forbedringer må vurderes ut fra flere faktorer. Blant de viktigste er beregnet levetid, alder på innretning eller detalj, gjenværende tid i operasjon og eventuelle funn som kan avdekke om sprekken oppstod på grunn av forhold knyttet til fabrikasjon.

Om driften går mot slutten kan det være forsvarlig å ikke gjøre ytterligere tiltak enn inspeksjon og overvåkning. Tiltak for å øke utmatningsstyrken etter reparasjon kan imidlertid være nødvendig om en sprekk oppdages i en tidlig fase av driften. Med mindre det avdekkes at det kan relateres til dårlig fabrikasjon risikerer man da at detaljen kan sprekke opp igjen ved et senere tidspunkt om det ikke gjøres noen ytterligere forbedring.

Utvikling av gode sveiseprosedyrer og oppfølging av disse er viktig når sveisereparasjoner gjøres på innretningen under drift. Det arbeides ofte under forhold som er vanskeligere å kontrollere enn på et verft. En risikerer derfor at kvaliteten på sveisingen blir dårligere.



Figur 5-1 Eksempel på sveisereparasjon av dekkplate på en FPSO

5.1.1.3 Sveising under tørt hyperbarisk trykk

Sveising under hyperbarisk trykk gjøres ved bruk av et habitat med åpen bunn slik at lufttrykket ved bunn er tilnærmet lik vanntrykket. Utfordringen med hyperbarisk sveising er at det økte trykket påvirker reaksjonen mellom gass, slagg og metall. Videre øker varmetapet fra sveiseprosessen på grunn av den økte gasstettheten. Egne sveiseprosedyrer må derfor utvikles for denne metoden.

Etter DNV GL sin kjennskap har det vært begrenset, om enn noen bruk av sveising under hyperbarisk trykk på norsk sokkel.

5.1.1.4 Sveising under vann

Sveisingen utføres i direkte kontakt med vann. Fordelen er at man ikke trenger å bygge et habitat rundt området som skal repareres. En betydelig ulempe er imidlertid at kvaliteten på sveisen blir dårligere sammenlignet med tilsvarende sveising under tørt atmosfærisk trykk. Etter DNV GL sin kjennskap brukes ikke denne metoden på lastbærende konstruksjoner på norsk sokkel.

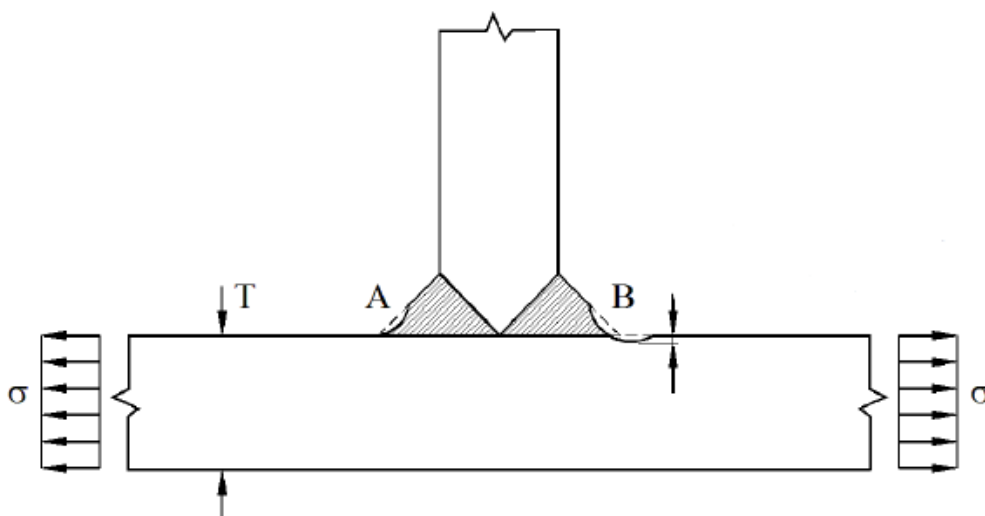
5.1.2 Reparasjon og forsterkning ved sliping

Sliping er en mye anvendt metode både for fjerning av utmattingssprekker og forbedring av utmattingsstyrken til sveiser. Det finnes hovedsakelig tre metoder for sliping av sveis:

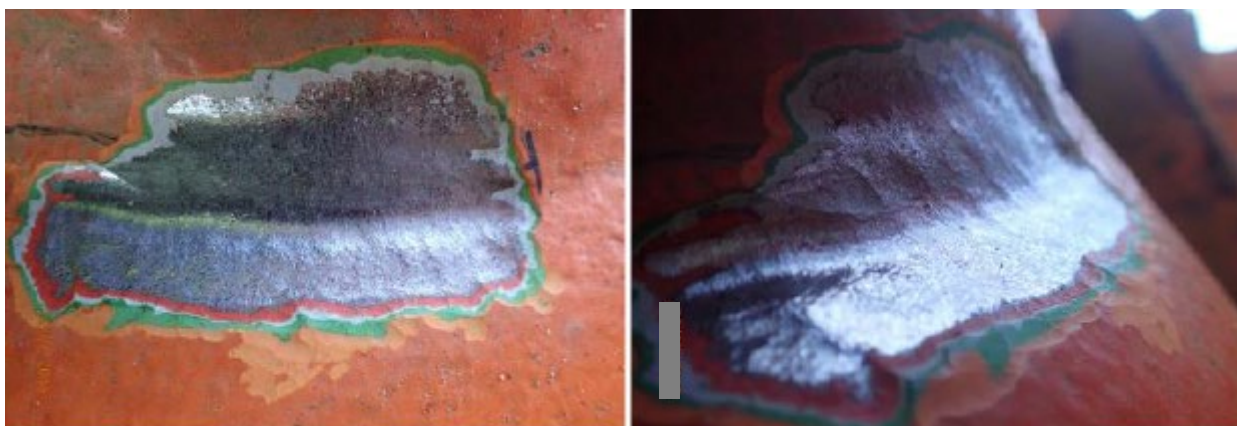
- Sliping av sveisetå
- Plansliping av buttsveis
- Profilering av sveis

Sliping av sveisetå er en effektiv metode for fjerning av grunne utmattingssprekker. I tillegg vil tåsliping resultere i en betydelig forbedring av utmattingsstyrken. Sliping utføres ved å lage et sirkulært spor, med typisk 12 mm diameter, i overgangen mellom sveis og plate, som vist i Figur 5-2. I henhold til DNVGL-RP-C203 /10/ må sporet være 0.5 mm under dypeste kantsår for å fjerne eventuelle defekter i området rundt sveisetåen. Riktig sliping er illustrert på sveisen til høyre (B) mens sveisen til venstre (A) et eksempel på utilstrekkelig dybde på slipesporet. Dybden skal ikke overstige den minste størrelsen av 2 mm eller 7% av platetykkelsen. I etterkant av sliping skal sporet testes, helst med magnetpulver. Ved å følge slipeprosedyren i DNVGL-RP-C203 /10/ er det relativt enkelt å dokumentere levetid da denne beregnes ved å multiplisere beregnet levetid for en ubehandlet sveis med en faktor. Figur 5-3 viser et eksempel på et rørknutepunkt på en fagverkkonstruksjon hvor en grunn utmattingssprekke har blitt slipt bort

Levetiden kan alternativt beregnes i henhold til Vedlegg F.15 /10/ hvor egne S-N kurve for slipte detaljer er presentert. En bør ikke glemme at overflaten gjerne sandblåses før maling og at dette må tas hensyn til ved levetidsberegning.



Figur 5-2 Tåsliping av sveis /10/

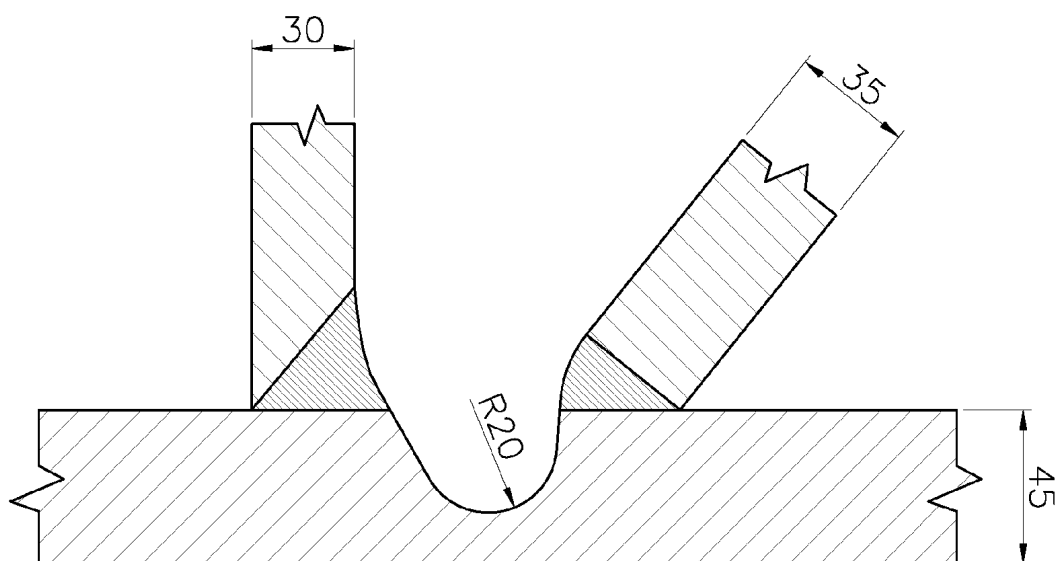


Figur 5-3 Bilde av et rørknutepunkt på en fagverkkonstruksjon hvor en grunn utmattingssprekk har blitt slipt bort

Det er ansett som god praksis i DNVGL-RP-C203 /10/ å ikke inkludere effekten av sliping på et tidlig dimensjoneringsstadium. Det er heller anbefalt å øke utmattingsstyrke ved andre tiltak slik at tåsliping kan brukes ved en eventuell senere anledning hvor det kan oppstå et behov for forbedret levetid.

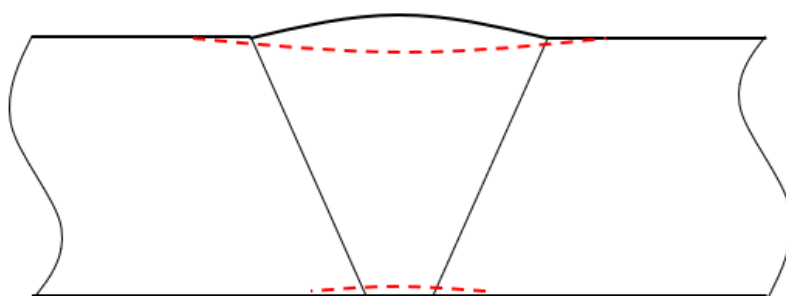
Det er viktig å påpeke at tåsliping i visse tilfeller ikke er en egnet metode. Et typisk eksempel er kilsveiser med et lite a-mål. Det er i slike tilfeller en risiko at for store deler av kilsveisen slipes bort, noe som kan resultere i tidlig oppsprekking. Tåsliping av kilsveiser øker også risikoen for at en eventuell utmattingssprekk vil starte fra sveiseroten og videre ned i hovedplaten eller gjennom kilsveisen /11/. Slike sprekker er mye vanskeligere å finne ved inspeksjon før den er gjennomgående. I tilfeller hvor brakettå er kilsveist og skal forsterkes eller repareres er det anbefalt praksis å sveise de siste 50 - 100 mm mot brakettåen på nytt med full penetrasjon før eventuell tåsliping.

Sliping av utmattingssprekker dypere enn 2 mm eller 7% av platetykkelse forekommer også. Et eksempel er rørknutepunkter under vannlinjen på fagverkkonstruksjoner hvor sveisereparasjon er omfattende og meget kostbart. Et eksempel på geometri etter utsliping av dype sprekker er gitt i Figur 5-4. Såfremt det kan dokumenteres at sliping vil resultere i tilstrekkelig utmattingsstyrke er dette ofte den foretrukne løsningen. Det stilles imidlertid strengere krav til planlegging siden en spesifikk geometri må etableres og dokumenteres for hvert tilfelle. Det er vanlig at spenningskonsentrasjonsfaktoren i bunnen av sporet beregnes med volumelementer i en elementmetodeberegning som sammen med en relevant S-N kurve for grunnmaterialet danner grunnlaget for en utmattingsberegning.



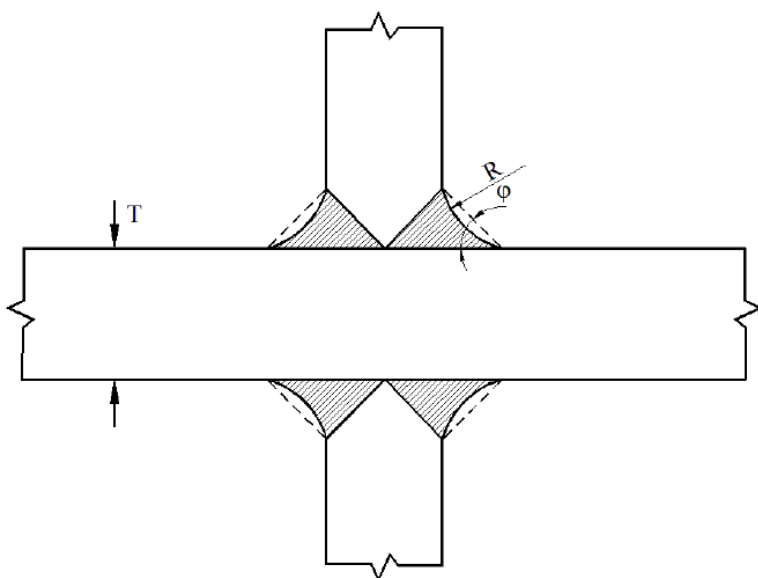
Figur 5-4 Eksempel på geometri av slipespor etter fjerning av dype sprekker

Plansliping av sveisekappe er en metode for å øke utmatningsstyrken til en buttskjøt. Slippingen bør utføres som angitt i Figur 5-5 ved at overgangen mellom plate og sveis slipes jevn. Slippingen må gjøres tilstrekkelig dyp for å fjerne mulige sveisedefekter, som for eksempel kantsår. Typisk dybde er 1 mm under platens overflate.



Figur 5-5 Illustrasjon av plansliping av sveisekappe og sveiserot

Profilering av sveis utføres ved å maskinere sveisen med en jevn radius som illustrert i Figur 5-6. Sveiseprofilering vil redusere lokale spenningskonsentrasjoner og dermed øke utmatningsstyrken. Metoden er ikke egnet til reparasjon av utmatningssprekker. Den kan imidlertid benyttes i kombinasjon med tåsliping og/eller sveisereparasjon. Typiske anvendelsesområder er knutepunkter på fagverkkonstruksjoner og krysskjøter generelt.



Figur 5-6 Profiling av sveis /7/

Alle de ovennevnte metodene har blitt mye brukt på norsk sokkel og kan betegnes å være en moden teknologi med godt dokumenterte resultater.

5.1.3 Andre forbedringsmetoder for sveiser

Andre aktuell forbedringsmetoder som først og fremst benyttes for intakte sveiser er:

- Kalddeformasjon av sveisetå (shot-, needle, hammer- og ultrasonic peening)
- TIG (Tungsten Inert Gas) sveising

Det finnes en rekke forskjellige kalddeformasjonsmetoder for sveis. Felles for alle er at det anvendte verktøyet påfører slag som deformerer sveisetåen plastisk. Dette resulterer i at sjiktet nær overflaten blir overlageret i trykk, mens det i dypere lag dannes restspenninger i strekk. Økt utmatningsstyrke skyldes primært at restspenningene i trykk forebygger initiering av utmattingssprekker i ståloverflaten ved sveisetåen. I tillegg kan geometrien etter kalddeformeringen gi lavere lokal spenningskonsentrasjon sammenlignet med en ubehandlet sveis, noe som også er positivt for utmatningsstyrken.

Effekten av behandlingen er avhengig av nivået på trykkspenningene. Det er derfor viktig at prosedyrer utvikles for den aktuelle bruken og at virkningen er dokumentert. En generell svakhet med forbedringsmetoder som baserer seg på etablering av trykkspenninger er at disse kan reduseres eller forsvinne i tilfeller hvor sveisen utsettes for en overlaster i trykk. Metoder som baserer seg på endring av geometri, for eksempel sliping eller profilering, blir derfor ansett til å være mere robuste forbedringsmetoder. Kvalitetskontroll av arbeidet er også ansett til å være mer krevende sammenlignet med for eksempel tåsliping.

DNV GL er kjent med at kalddeformasjon har blitt brukt på norsk sokkel. I dette tilfellet var beregnet levetidene for stivere sveist mot ytterhuden av en FPSO for lave og det ble besluttet å bruke kalddeformasjon (hammer peening) til å øke utmatningsstyrken. Det var et omfattende tiltak hvor flere kilometer med sveis ble behandlet. I tillegg ble det på forhånd gjennomført et testprogram for å

kvalifisere og dokumentere effekten til metoden. Det skal nevnes at de relevante sveisene er plassert i områder med liten risiko for overbelastning i trykk.

TIG (Tungsten inert gas) sveising er en metode hvor sveisematerialet blir varmet opp til det smelter. Ved riktig utførelse vil dette resultere i en jevnere overflate med lavere spenningskonsentrasjoner. I tillegg reduseres antall sveisedefekter og porer under omsmeltingen. Bruken av TIG-sveising som forbedringsmetode er ikke utstrakt på norsk sokkel.

5.1.4 Metoder for å forebygge videre vekst av påviste sprekker

5.1.4.1 Boring av hull

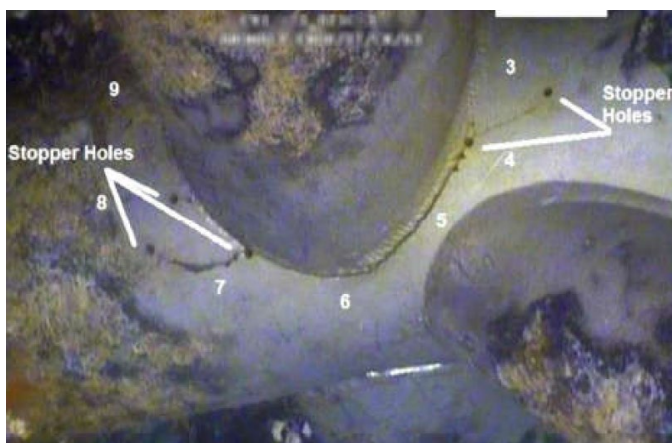
Boring av stopphull er en mye anvendt metode for å hindre videre utvikling av eksisterende sprekker. Metoden er primært brukt som et midlertidig tiltak. Den egner seg i visse tilfeller også som en permanent løsning. Tiltaket anvendes i svært mange forskjellige tilfeller som for eksempel i knutepunkter på fagverkkonstruksjoner og i plate- og skallkonstruksjoner generelt. Det finnes også eksempler på at det brukes på ytterhuden under vannlinjen på flytende konstruksjoner, hvor hullene tettes i etterkant for å unngå lekkasje.

Eksempler på boring av hull som forebyggende tiltak er presentert i Figur 5-7. Figur 5-7(a) viser bruk av stopphull i et oppsprukket knutepunkt på et rørfagverk. En kan se at det er boret hull i flere omganger hvor utmattingssprekker har initiert på nytt. Sprekken har etter hvert vokst ut fra knutepunktet og etter siste hullboring har ikke nye sprekker blitt dannet. Dette skyldes at sprekken har endret lastfordelingen og at den lokale spenningskonsentrasjonen i hullet minker med økt avstand fra knutepunktet. Mer permanente forebyggende tiltak eller reparasjoner som for eksempel bruk av klammer er krevende og kan være svært kostbare. Hullboring brukes derfor i noen tilfeller som permanent løsning i knutepunkter hvor nye sprekker ikke utvikles fra stopphullene.

Figur 5-7(b) viser boring av hull på skutesiden av en FPSO. Stopphullet var her brukt som et tiltak for å forhindre videre sprekkvekst før permanent sveisereparasjon ble gjennomført. Det ble boret et relativt stort hull for å redusere den lokale spenningskonsentrasjonen.

Figur 5-7(c) viser bruk av stopphull for å hindre videre vekst av en sprekk initiert i hjørne av en dør. Igjen kan man se at hullet ble laget stort for å redusere lokale spenninger.

Figur 5-7(d) viser bruk av stopphull for å forhindre videre sprekkvekst langs en buttskjøt i et stag på en Fagverkkonstruksjon. Ved hjelp av beregninger ble det dokumentert tilstrekkelig utmattingsstyrke og dette kunne anses som en permanent løsning.



(a)



(b)



(c)



(d)

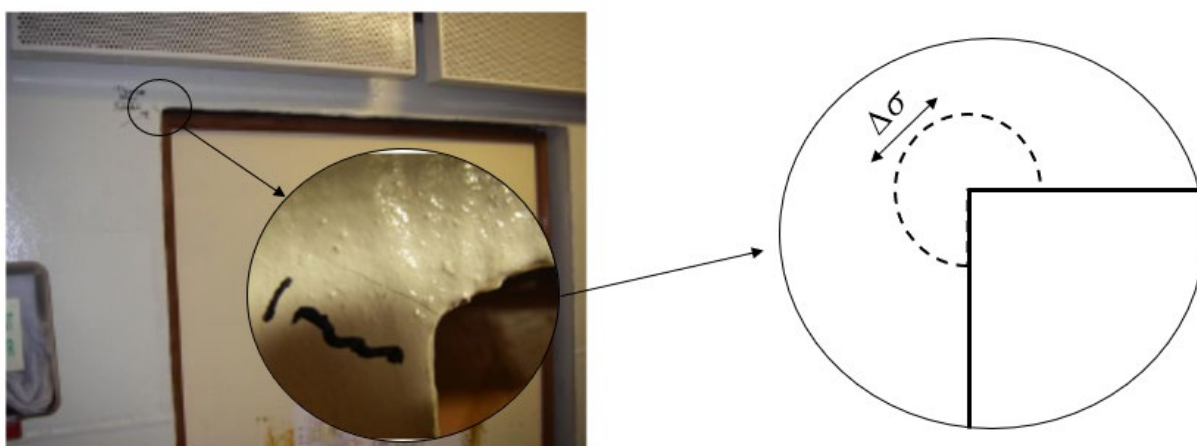
Figur 5-7 Eksempler på bruk av stopphull, (a) knutepunkt i en fagverkkonstruksjon med rørtverrsnitt, (b) skutesiden av en FPSO, (c) døråpning og (d) sveis i stav med rørtverrsnitt

Viktige vurderinger som bør gjøres ved planlegging av stopphull, enten som midlertidig eller permanent løsning er:

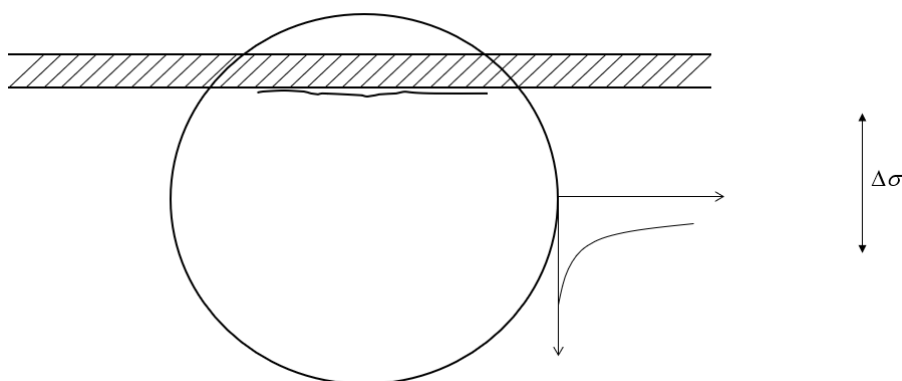
- Ved hullboring er det veldig viktig at hele sprekke-spissen fjernes. Operasjonen må derfor planlegges med gode toleranser mellom antatt plassering av sprekke-spiss og hull. At sprekken kan ha vokst lenger på motsatt side av platen må også tas høyde for. Et alternativ kan være å bore hele hullet foran sprekke-spissen.
- Den lokale spenningskonsentrasjonen i hullet er en funksjon av $\sqrt{a/d}$, hvor a er lengden på sprekken og d er diameteren på stopphullet. Effekten av hullboring er derfor størst for korte sprekker. Boring av små hull for å stoppe lange sprekker har derfor sjelden ønsket effekt. Det finnes imidlertid unntak, for eksempel tilfeller hvor lastgangen endres på grunn av sprekken og at den vokser ut av et lokalt spenningsfelt. I slike tilfeller kan hullboring være tilstrekkelig, som illustrert i Figur 5-7(a).
- Reparasjon av sprekker som initierer i grunnmateriale, for eksempel i hjørnet av en døråpning, er ofte omfattende. Det er som regel ikke tilstrekkelig med sveisereparasjon fordi den sveiste detaljen har lavere utmatningsstyrke enn den opprinnelige detaljen og en har en høy spenningskonsentrasjonsfaktor på grunn av et skarpt hjørne. Alternativet kan derfor være å

kutte ut et større område for så å sette inn en ny plate som enten er tykkere eller med en utforming som gir en lavere spenningskonsentrasjon. Et annet alternativ er å fjerne sprekkene ved å maskinere en geometri som gir lav spenningskonsentrasjon, som illustrert i Figur 5-8. En slik løsning kan i mange tilfeller fungere som en permanent løsning. Det er imidlertid viktig at hullet er så stort at tilstrekkelig utmatningsstyrke kan dokumenteres.

- Bruk av stopphull for å stanse sprekker som vokser langs en sveis er utfordrende på grunn av at den største spenningen i hullet kan sammenfalle med sveisen som har lavere utmatningsstyrke enn grunnmaterialet. Det finnes flere strategier for å unngå dette. Et alternativ er å bore et stopphull eksentrisk til sveisen som illustrert i Figur 5-9. Den største spenningen kommer her i grunnmaterialet.



Figur 5-8 Illustrasjon av mulig tiltak for detaljer i grunnmateriale



Figur 5-9 Illustrasjon av anbefalt hullboring av sprekker som vokser langs en sveis

5.1.4.2 Boring av hull og introdusering av trykkspenninger

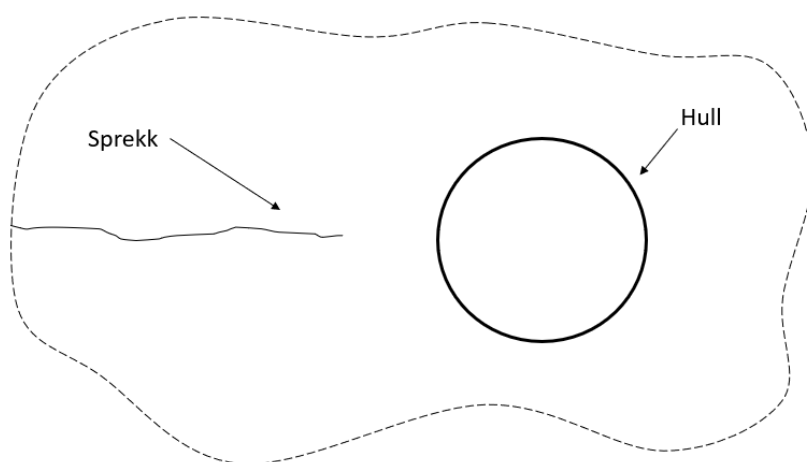
Effekten av stopphull kan forbedres ved å introdusere trykkspenninger rundt hullet. Det finnes ulike metoder for å oppnå dette.

En framgangsmåte er å ekspandere hullet ved hjelp av en svakt konisk bolt. Ved tilstrekkelig ekspansjon vil det oppstå plastisk flytning i strekk lokalt rundt hullet. Ved fjerning av den koniske bolten vil det

dannes restspenninger i trykk som følge av avlastingen /12/. Metoden er mye brukt blant annet innen samferdselssektoren, for eksempel på bruer, men bruken på norsk sokkel er begrenset.

En annen metode er først å plassere en hylse i hullet for så å trekke gjennom et sirkulært spesialverktøy med en diameter som overstiger den indre diameteren av hylsen /13/. Plastisk flyt rundt hullet skjer som en konsekvens av ekspansjonen. Hylsen har tilstrekkelig styrke slik at plastisk flytning ikke skjer i hylsen når den ekspanderer. Som for metoden med konisk bolt oppstår det trykkspenninger lokalt i hullet etter avlastingen. Denne metoden har ikke blitt anvendt i særlig grad på norsk sokkel. En operatør har imidlertid kjøpt utstyr for å danne seg erfaringer med bruken. Langtidsvirkningen er ennå ikke kjent.

For begge metodene er det viktig at stopphullet bores en distanse fra sprekkspissen slik at ekspansjonen lokalt rundt hullet påvirkes i så liten grad som mulig av sprekken, se Figur 5-10. Hvis hullet bores gjennom sprekkspissen vil ikke et homogent restspenningsfelt i trykk dannes rundt hullet og behandlingen vil ha mindre eller ingen effekt.



Figur 5-10 Plassering av hull relativt til sprekk

5.1.5 Modifikasjoner

5.1.5.1 Innledning

Som en del av en reparasjon inngår ofte også forbedring av den aktuelle detaljen for å bedre utmatningsstyrken. I noen tilfeller hvor utmatningssprekker oppdages vil det ikke være tilstrekkelig at detaljen repareres til sin opprinnelige tilstand fordi det anses som sannsynlig av den vil spreke opp igjen på grunn av et for høyt spenningsnivå. Derfor kan modifikasjoner være nødvendig for å oppnå tilstrekkelig utmatningsstyrke. Modifikasjoner er også vanlig for intakte konstruksjoner, for eksempel i sammenheng med levetidsforlengelse.

5.1.5.2 Brakett-, flens- og stiveravslutninger

Utmatningssprekker som initierer i brakett-, flens- og stiveravslutninger er et kjent problem. Grunnen er ofte at de lokale spenningskonsentrasjonene er høye på grunn av at nedtrappingen av tverrsnittet er for brå. I mange tilfeller er det også tilstøtende detaljer som ytterligere forsterker spenningskonsentrasjonen.

Figur 5-11 viser noen typiske eksempler av utmatningspåkjennte detaljer. Figur 5-11(a) viser koblingen av en stiver (horisontalt) til en tverramme (vertikalt). Som vist på bildet trappes flensen helt ned før koblingen mellom stiver og tverrammen. Dette er et klassisk eksempel på to detaljer, det vil si flensavslutning og sveis mot tverramme, som ved gjensidig påvirkning øker spenningskonsentrasjonen.



Et lignende eksempel er presentert i Figur 5-11(b) hvor nedtrappingen av en mellomstiver er lokalisert tett opptil en ramme. Figur 5-11(c) viser termineringen av to modulstoler på dekket av en FPSO som er plassert tett opp til hverandre. Figur 5-11(d) viser et eksempel på en brakettavslutning. Nedtrappingen av flensen lenger opp er ikke myk nok, noe som resulterer i sprekkinitiering på grunn av høy spenningskonsentrasjon.

For tilfeller beskrevet over vil sveisereparasjon, inklusive eventuell sliping av sveisetå, ofte ikke være tilstrekkelig for å unngå fremtidig oppsprekking. Reduksjon av lokale spenningskonsentrasjoner ved modifikasjon er da ofte brukt som tiltak i tillegg til sveisereparasjon. Utmattingssprekker skyldes ofte brå stivhetsoverganger. Den mest vanlige metoden for å forebygge dette er å myke opp detaljen ved å gjøre endringen mer gradvis. Dette er illustrert i Figur 5-12 hvor den røde heltrukne linjen angir geometrien etter modifikasjon. Den beste effekten oppnås ved å slippe brakettåen helt ned til platen slik at overgangen blir så jevn som mulig. Dette lar seg ikke gjøre om steget er sveist til platen med kilsveis. I slike tilfeller kan det slipes ned til overkant av sveis som indikert med rød stiplet linje. Alternativt kan en viss lengde mot enden av kilsveisen, ca. 50 - 100 mm, slipes vekk og erstattes med full penetrasjon sveis slik at det kan slipes helt ned. En annen strategi kan være å endre detaljen slik at de høyeste spenningene kommer i et område med grunnmateriale og at en samtidig reduserer spenningene i sveiseavslutningen.

Et alternativ for tilfeller illustrert i Figur 5-11(b) er å gjøre stiveren kontinuerlig som illustrert i Figur 5-13. Dette er en mye mer omfattende modifikasjon, men vil i visse tilfeller være nødvendig for å oppnå tilstrekkelig utmattingsstyrke.

En mye brukt metode for dekkdetaljer som vist i Figur 5-11(c) er å lage en kontinuerlig overgang ved å sveise inn en plate, illustrert i rødt i Figur 5-14. I slike tilfeller er det viktig at braketten til venstre i figuren kappes slik at sveisen til ny plate ikke sammenfaller med den høyeste spenningen. Detaljen forsterkes da ved at den høyeste lokale spenningen opptrer i grunnmaterialet som har høyere utmattingsstyrke enn sveis og sveisene vil kunne få vesentlig reduserte spenninger.

For eksempelet i Figur 5-11(d) er en mulig framgangsmåte å myke opp braketten ved sliping som illustrert i Figur 5-15. En slik modifikasjon vil endre lastgangen slik at spenningen i overgang mellom flens og steg reduseres. Modifikasjonene vil også redusere spenningen i overgangen mellom brakett og plate.

Samtlige beskrevne modifikasjoner er basert på prinsipper som er vel etablerte i sammenheng med reparasjonsprosjekter for bærende konstruksjoner på norsk sokkel. Såfremt løsningen er tilstrekkelig analysert, for eksempel ved bruk av detaljert elementanalyse for beregning av lokal spenningskonsentrasjon, er erfaringen at disse løsningene er robuste.



(a)



(b)

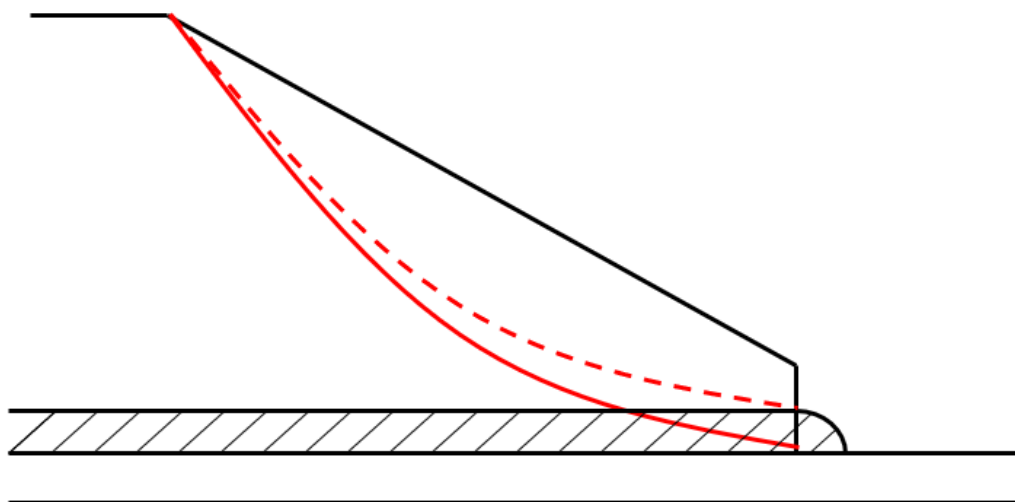


(c)

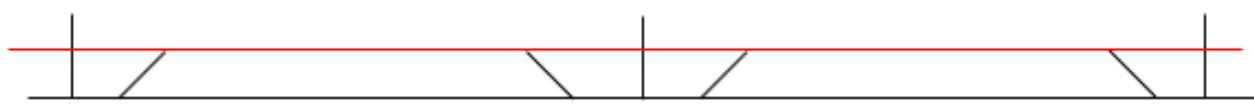


(d)

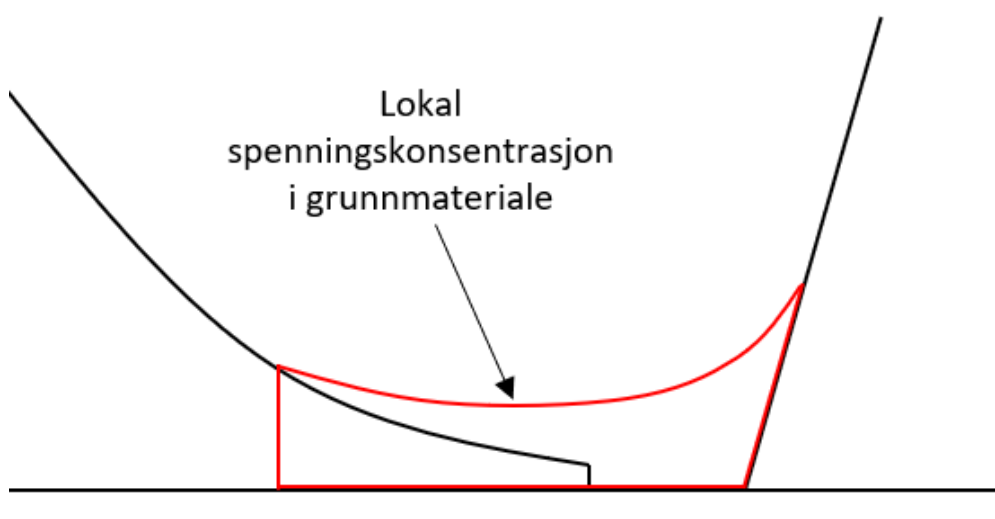
Figur 5-11 (a) kobling mellom stringerdekk og tverramme hvor flensen er trappet ned i forkant, (b) avslutning av mellomstiver tett opptil en tverrstiver, (c) terminering av to braketter tett opp mot hverandre, og (d) brakettavslutning med flensavslutning lenger opp



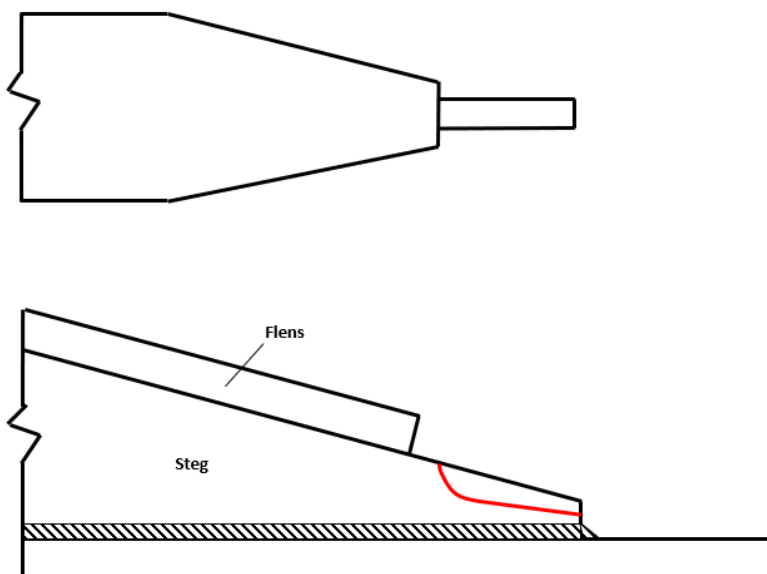
Figur 5-12 Tiltak for å redusere spenningskonsentrasjon. Heltrukken linje er relevant for full penetrasjon sveiser og stiplet for kilsveis



Figur 5-13 Modifikasjon hvor stiveren gjøres kontinuerlig



Figur 5-14 Modifikasjon av nærliggende detaljer på dekk



Figur 5-15 Modifikasjon av brakett med flens

5.1.5.3 Innleggsplater

Lav utmattingsstyrke kan i tillegg til høy spenningskonsentrasjon på grunn av ugunstig lokal utforming skyldes et høyt nominelt spenningsnivå. I slike tilfeller vil ikke en lokal modifikasjon nødvendigvis være tilstrekkelig for å oppnå ønsket resultat. En strategi for å redusere spenningsnivået kan være å skjære ut deler av en eksisterende plate og eventuelle stivere, og erstatte med en tykkere plate. I slike tilfeller kan det være nødvendig å sveise inn platen sentrisk med tilstøtende plater for å unngå bøyepenninger fra eksentrisitet. I vurderingen av en slik løsning er det viktig med elementanalyse for å dokumentere hvordan løsningen fungerer og for å kunne dokumentere løsningen.

5.1.5.4 Laskeplater (doblingsplater)

Å sveise på laskeplater er en mulig framgangsmåte for å redusere det nominelle spenningsnivået. Dette kan blant annet gjøres oppe på skipsdekk for å øke utmattingsstyrken til detaljer i ballast- eller lagringstanker under dekk. Dette er en vel etablert metode og retningslinjer for utførelse er gitt blant annet i IACS /14/. Metoden kan være like anvendelig for forsterkning av bjelker, avstivede platefelt og andre innretninger.

Det er imidlertid viktig at løsningen er grundig planlagt. Tilfeller hvor tiltaket ikke er godt nok planlagt kan en risikere andre utmattingsproblemer knyttet til koblingen mellom laskeplate og konstruksjon. Det finnes eksempler hvor det har oppstått utmattingssprekker i laskeplaten fordi sveisearbeidet ikke var tilstrekkelig planlagt/utført.

5.1.5.5 Stenge åpninger

Å stenge åpninger som vist i Figur 5-16 kan være et effektivt tiltak i tilfeller hvor beregnet utmattingsstyrke er lav eller ved funn av utmattingsprekker. Dette kan være åpninger i forbindelse med for eksempel stivergjennomføringer og skjot av stivere. Det er imidlertid viktig å være klar over at ulike typer åpninger benyttes både av fabrikkasjons- og funksjonsmessige årsaker. Å stenge åpninger er derfor i visse tilfeller ikke å anse som den optimale løsningen for å bedre utmattingsstyrken. I vurderingen av

ulike reparasjonsmetoder er det derfor viktig å kjenne den lokale spenningsgangen både for nåværende geometri og før en eventuell modifikasjon.

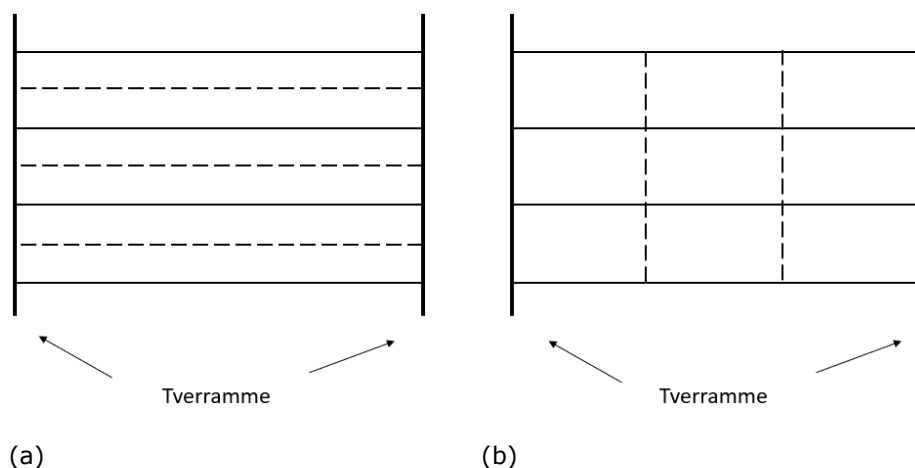
I tilfeller hvor lukking ikke anses til å være en god løsning kan tåsliping, optimalisering av lokal geometri eller oppmyking av detaljen være gode alternativer.



Figur 5-16 Eksempel på stengt åpning.

5.1.5.6 Bruk av mellomstivere og tverrplater

Spenningsene i ytterhuden av flytende innretninger som følge av direkte bølgebelastning er i stor grad bestemt av forholdet mellom stiveravstand (s) og platetykkelse (t), det såkalte s/t -forholdet. I tilfelle stiveravstanden er for stor er bruk av mellomstivere eller tverrplater mulige løsninger for å redusere spenningsnivået lokalt i langsgående sveis mellom stiver og plate. Det skal nevnes at sliping av sveisetåen kan være et alternativ, men ofte har kilsveisen for lite a -mål for at dette kan vurderes som et reelt alternativ. Bruken av mellomstivere og tverrplater er illustrert i Figur 5-17 med stiplede linjer.



Figur 5-17 Bruk av (a) mellomstivere og (b) tverrplater for å redusere nominelle spenninger. Indikert med stiplede linje

5.1.5.7 Fjerning av konstruksjonselementer

Fjerning av konstruksjonselementer kan i noen tilfeller være en foretrukken løsning i en reparasjonssammenheng. Det er stor variasjon i hva slags type konstruksjonselementer som kan fjernes, men hensikten bak et slikt tiltak kan settes i tre hovedkategorier:

1. Fjerning av sekundærelementer for å unngå lokale spenningskonsentrasjoner.
2. Fjerning av hele eller deler av et konstruksjonselement for å endre globale eller lokale lastvirkninger.
3. Fjerning av konstruksjonselement for å bli erstattet av et nytt.

1. Fjerning av sekundærelement

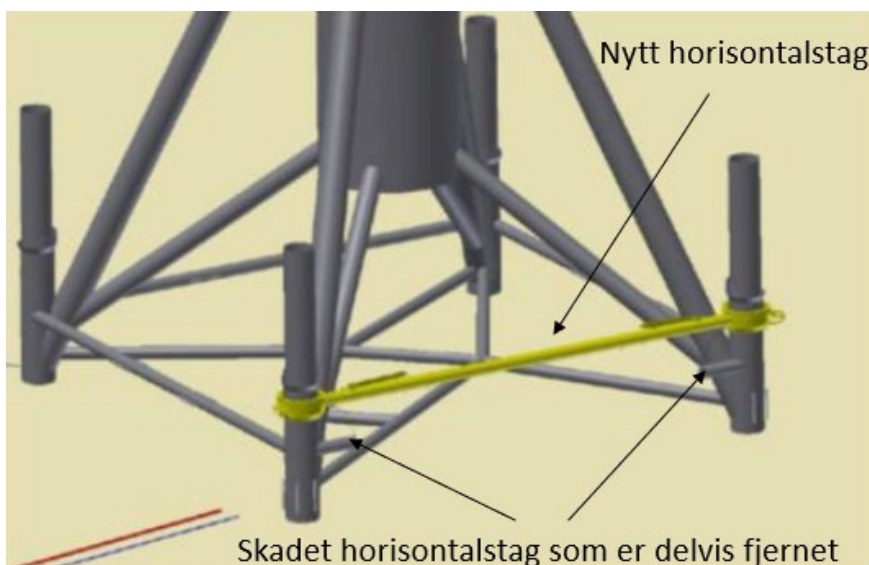
Dette kan være relevant for konstruksjonselementer anvendt i tidligere temporære faser, men som ikke lenger har en funksjonell betydning. Et eksempel på dette kan være løfteører. Slike detaljer kan ha lav utmattningsstyrke om de er plassert i et område med høy nominell spenningsvariasjon. For å forebygge utmatting er derfor fjerning sett på som et effektivt tiltak.

2. Fjerning av hele eller deler av konstruksjonselement

Fjerning av konstruksjonselementer kan i visse tilfeller være hensiktsmessig for å redusere ytre laster på konstruksjonen eller å endre lastmønsteret for å øke utmattningsstyrken til lokale detaljer. Etter flere års drift er det ikke sikkert at stigerør eller annet utsyr lenger er i bruk. Fjerning av disse inkludert støttekonstruksjoner vil redusere de hydrodynamiske lastene og potensielt ha en positiv effekt på utmattningsstyrken til nærliggende konstruksjoner. I tillegg fjernes risikoen for utmattingssprekker som dannes i overgangen mellom støttekonstruksjonen og hovedbærekonstruksjonen.

3. Fjerning av konstruksjonselement for å bli erstattet av et nytt

Det kan i visse tilfeller være mer hensiktsmessig å installere et nytt konstruksjonselement enn å reparere det eksisterende som er skadet. Et eksempel på dette er presentert i Figur 5-18 hvor det var funnet en sprekk i knutepunktet mellom opprinnelig horisontalstag og pelehylse. For å unngå en kostbar og komplisert sveisereparasjon ble det i stedet montert et nytt stag lenger oppe. Det opprinnelige staget ble fjernet.



Figur 5-18 Eksempel hvor opprinnelig horisontalstag fjernes for å bli erstattes av et nytt.

5.2 Overbelastning

5.2.1 Vurdering av behov for forsterkning

Hvis konstruksjonen er overbelastet vil det være nødvendig å fastlegge størrelsen på permanente deformasjoner og eventuelle plastisk tøyninger. Konstruksjoner kan få bulker og eller permanente utbøyninger fra støt fra skip, fallende laster eller lokal knekking på grunn av overbelastning. Det en normalt gjør er å kontrollere at konstruksjonen ikke er mer skadet enn at den fortsatt tilfredsstillende kravene uten reparasjon. For eksempel er regler for kontroll av staver med bulk gitt i ISO 19902 /15/. For platekonstruksjoner kan en foreta analyser med redusert eller ingen stivhet av skadede områder for å få en rask indikasjon på konsekvensen av skaden. Konstruksjonen bør kontrolleres om styrken er tilfredsstillende når de permanente deformasjonene tas hensyn til. I tilfeller hvor konstruksjonen har fått plastiske tøyninger kan det være nødvendig med materialprøver for å fastlegge om konstruksjonen ikke er svekket.

5.2.2 Konstruksjon med utilstrekkelig styrke på grunn av bulk eller permanent utbøying

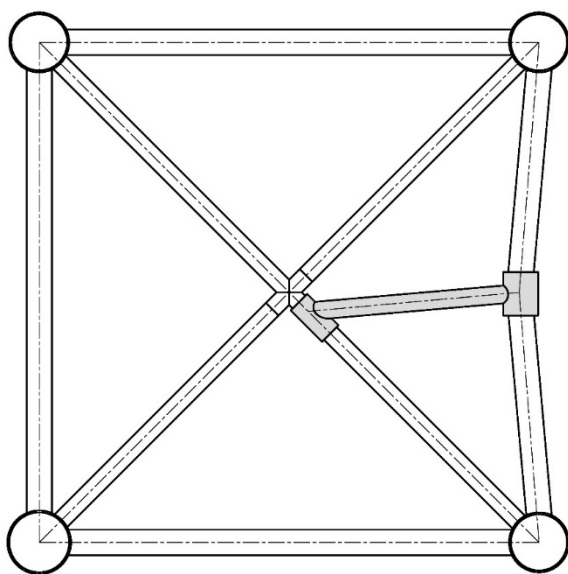
5.2.2.1 Kollisjonsskade på staver med rørtverrsnitt

Ved kollisjonsskade på staver med rørtverrsnitt bør man først sjekke om skaden så alvorlig at konstruksjonens integritet ikke lenger kan dokumenteres. Dette kan først gjøres etter at skadeomfanget er godt dokumentert, eventuelt kan man anta at det skadede elementet ikke bidrar til lastbæring i det hele tatt. Det er to typer skader som vil være typisk for staver med rørtverrsnitt. En bulk i staget ved kollisjonsstedet og med eller uten en permanent utbøying slik at staget ikke er like rett som tidligere.

Beregningsregler for kontroll av staver med bulk gitt i ISO 19902 /15/. For staver med utbøying må det gjøres en ny kontroll hvor effekten av utbøyningen tas hensyn til. Det vil ofte være nødvendig å gjøre analysene slik at mulig omlagring av kreftene fra det skadede elementet blir tatt hensyn til. Det kan være hensiktsmessig å bruke ikke-lineære beregningsmetoder.

I tilfellene hvor konstruksjonens skader er for store til at kapasiteten er tilfredsstillende kan det være aktuelt å reparere f.eks. med å fylle staget med mørtel. Mørtelen vil øke kapasiteten av tverrsnittet ved bulken og vil også øke aksial- og momentkapasiteten generelt. Denne reparasjonsmetoden egner seg for skader både over og under vann. Se også Avsnitt 5.2.6.1.

I andre tilfeller kan det være nødvendig å sette inn et ekstra stag for å opprettholde foreskrevet kapasitet. Ekstrastaget må ikke nødvendigvis bidra til å redusere kreftene i den skadde staven, men det kan i noen tilfeller være tilstrekkelig og betydelig enklere å kun redusere spennet til den skadde staven ved å forhindre knekking og redusere momenter, se Figur 5-19. Det kan være nødvendig å stage av i to ortogonale plan.



Figur 5-19 Eksempel på kollisjonsskade reparert med ekstra stag

Ved innfesting av ekstra stag kan det være nødvendig eller fordelaktig å benytte seg av klammer istedenfor en sveist løsning, se Avsnitt 5.2.7.

5.2.2.2 Skade på avstivede plater

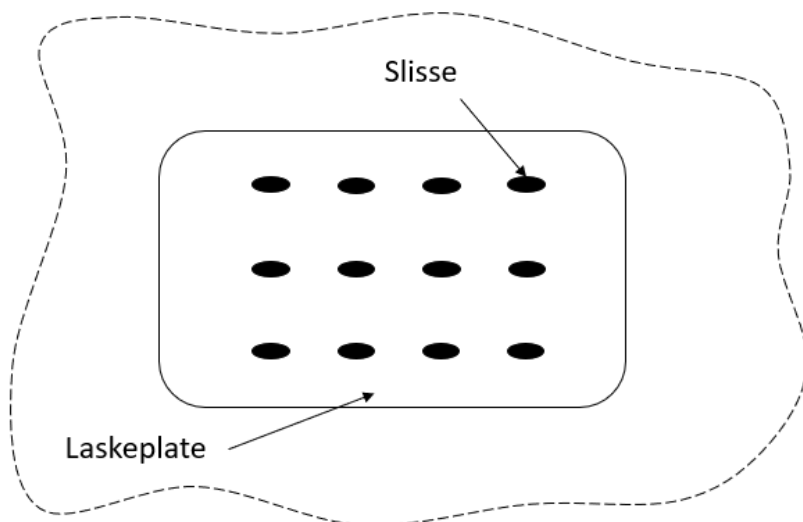
Ved skade på en avstivet platekonstruksjon kan det være nødvendig med tilleggsavstivninger om kapasiteten ikke lenger er tilstrekkelig. Det vil forutsette at det er adgang til det skadde område for å kunne utføre sveisearbeid. Valgt løsning vil variere med skade og konstruksjonsarrangement, men alle typer som nevnt i avsnitt fra 5.2.3 til 5.2.5 kan være aktuelle. I enkelte tilfeller kan likevel den beste måten være å erstatte det skadde området med nye materialer.

Det er imidlertid viktig å påpeke at platekonstruksjoner har en meget god evne til omfordeling av laster og at det kan være forsvarlig å ikke reparere fordi global bærevirkning ikke er nevneverdig påvirket.

5.2.3 Manglende tverrsnittskapasitet

Bruk av laskeplater kan være en effektiv forstærkningsmetode i tilfeller hvor der det er nødvendig å øke den effektive tykkelsen av platen. Det viktig med en grundig analyse av den valgte løsningen for å

forsikre seg om at laskeplaten er effektiv i lastbæringen. For å oppnå god lastbæring anbefales det av IACS /14/ å maskinere inn slisser i laskeplaten som sveises, se Figur 5-21.



Figur 5-20 Laskeplate med slisser som fylles med sveis

Bruk av laskeplater anvendes også til lokale forsterkninger. Slike tilfeller kan være svært ulike og det er vanlig at spesifikke løsninger må utvikles i hvert enkelt tilfelle. Det er i slike tilfeller viktig med en grundig analyse for å forsikre seg om at den valgte løsningen har ønsket effekt. Figur 5-21 viser et eksempel på bruk av laskeplater som lokal forsterkning av innfestingen til et helikopterdekk.



Figur 5-21 Eksempel på lokal forsterkning av innfestingen av helikopterdekk

5.2.4 Forsterkning av avstivet platefelt

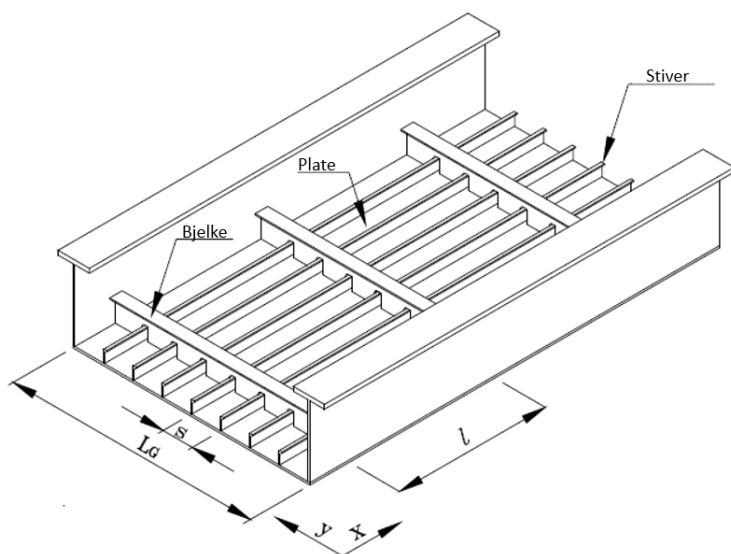
Det kan være flere ulike grunner bak et behov for å forsterke et avstivet platefelt, se Figur 5-22. Både plater, stivere og bjelker kan være underdimensjonerte og forsterkning av de enkelte elementene krever ulike tiltak.

For underdimensjonerte plater er bruk av laskeplater, som beskrevet i Avsnitt 5.2.3, en effektiv metode til midlertidig forsterkning. Dette alternativet kan imidlertid av praktiske grunner være utfordrende, for eksempel på hoveddekk hvor diverse utstyr kan forhindre effektiv plassering kan av laskeplatene og dermed redusere effekten av tiltaket. Det har også ved flere tilfeller oppstått problemer med utmattingssprekker fordi det ikke ble vurdert grundig nok under dimensjoneringen.

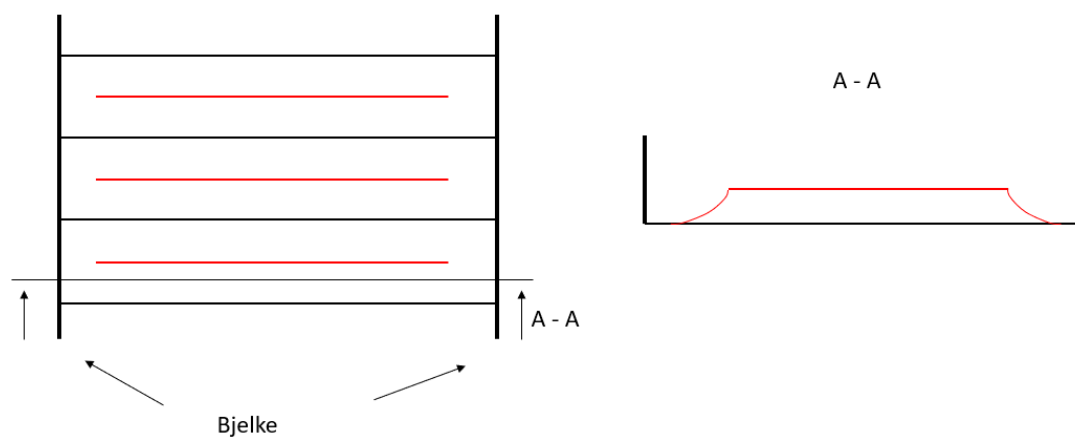
Bruk av mellomstivere som vist i Figur 5-23 for å oppnå en økt effektiv flensbredde er et annet mye brukt alternativ. For å redusere omfanget av arbeidet blir mellomstiverne ofte trappet ned før bjelken. Det er i den sammenheng viktig med en gradvis nedtrapping for å unngå eventuelle utmattingsproblemer, se Avsnitt 5.1.5.2. Tilstrekkelig utmattingskapasitet bør dokumenteres ved hjelp av en lokal elementanalyse.

I tilfeller med utilstrekkelig motstandsmoment i selve stiveren er forsterkninger av flensen som vist i Figur 5-24 effektive og hyppige anvendte metoder.

Tiltak hyppig anvendt for forsterkning av bjelker er vist i Figur 5-25. Mulige forsterkningsmetoder for steget av oppsveiste bjelker er beskrevet i Kapittel 9 i DNV-RP-C201 /16/, se Figur 5-26. Hensikten med slike forsterkninger er å sikre at bjelken kommer i tversnittklasse 3 eller bedre.



Figur 5-22 Avstivet platefelt, hentet fra DNV-RP-C201 /16/



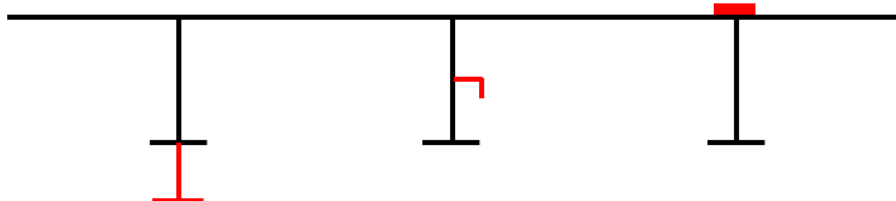
Figur 5-23 Bruk av mellomstiver for å øke effektiv flensbredde



(a)

(b)

Figur 5-24 Metoder for forsterkning av stivere

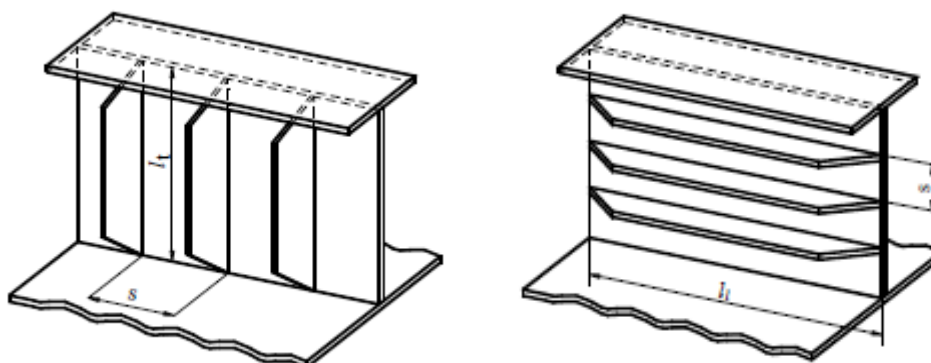


(a)

(b)

(c)

Figur 5-25 Metoder for forsterkning av bjelker



(a)

(b)

Figur 5-26 Forsterkning av bjelkesteg ved (a) tverrstivere og (b) langsgående stivere

5.2.5 Installasjon av nye konstruksjonselementer

I enkelte tilfeller er den mest effektive reparasjonsmetoden å innføre nye konstruksjonsdeler. Dette er utført både med mindre og større nye elementer. I forbindelse med å øke plattformstyrken for å tåle økte bølgekrefter kan man sette inn ekstra diagonaler. Slike diagonaler kan sveises fast om det er tilgjengelighet over vann, mens under vann kan det være hensiktsmessig å benytte klammer for å feste de nye elementene.



Figur 5-27 Nye diagonalstag for en fagverkskonstruksjon installert ved hjelp av tilkomstteknikk basert på tau (Kilde: Linjebygg)

5.2.6 Bruk av mørtel

5.2.6.1 Fylling av stag på fagverkkonstruksjoner

Fylling av mørtel i stag har positiv effekt både på kapasitet av intakte stag og stag med bulker. For intakte stag vil styrken mot lokal knekking øke ettersom mørtelen vil hindre knekking innover. For stag hvor lokal knekking allerede har forekommet kan fylling av mørtel føre til full gjenvinning av styrken fordi mørtelen vil forhindre videre lokale deformasjoner. I tillegg til gode egenskaper med tanke på lokal knekking vil stagets kapasitet mot global søyleknekkning øke.

Fylling av mørtel vil øke stivheten til staget og dermed endre lastgangen i konstruksjonen. Videre kan økt masse resultere i økte treghetslaster, men denne effekten er ansett å være begrenset for typiske fagverkkonstruksjoner på norsk sokkel. Det er imidlertid viktig at effekten av fylling dokumenteres gjennom reanalyse av konstruksjonen.

For å oppnå full nytte av en slik operasjon er det viktig at det anvendes metoder som fyller staget fullstendig med mørtel og at hulrom begrenses i så stor grad som mulig. Dette er fordi den beste lastoverføringen mellom stål og mørtel er gjennom kontakttrykk i endene av staget. Dette kan imidlertid

være en utfordring, for eksempel for horisontale stag eller stag med indre ringstivere.

Utførelsesprosedyren for fylling, inkludert valg av materiale, innløps- og utløpspunkt, og utstyr, bør verifiseres ved hjelp av fullskalatesting. Det er først og fremst for trykkpåkjennte stag hvor mørtelfylling har sin beste anvendelse. Lastoverføring gjennom friksjon eller bindingen mellom stål og mørtel kan normalt ikke antas. Søyleknekkingsstyrken til staven vil forbedres selv om fyllingen ikke er fullstendig.

Fylling av mørtel i stag er en vanlig forsterkningsmetode på norsk sokkel. Dette gjelder spesielt for fagverkkonstruksjoner som ble installert tidlig i olje- og gassutvinningstiden på norsk sokkel.

5.2.6.2 Fylling av knutepunkt på fagverkkonstruksjoner

Fylling av knutepunkter skjer ved at benet fullstendig fylles med mørtel. På eldre plattformer hvor pelene er rammet fra toppen og ned i grunnen gjennom benet blir mørtel gjerne fylt i ringrommet mellom ben og pel. Styrken til et knutepunkt øker ved fylling av mørtel da det styrker veggen, begrenser lokal bøyning og ovalisering av tverrsnittet. Økt kapasitet oppnås både mot utmatting og brudd ved fylling av mørtel. Fylling av knutepunkter med mørtel er en relativt enkel og effektiv reparasjonsmetode.

Effekten av fylling kan være begrenset ettersom knutepunktets kapasitet begrenses av styrken til et innkommende staven. I tillegg gjelder mange av de samme begrensninger ved bruk av mørtel i stag også for knutepunkter. Det er derfor viktig at innvirkning på stivhet og lastgang vurderes nøye for å få et så godt som mulig utbytte av tiltaket.

5.2.6.3 Fylling av horisontale stag på oppjekkbare rigger

Dette avsnittet er nært relatert til 5.2.6.1 som beskriver fylling av stag på fagverkkonstruksjoner. Denne typen reparasjoner er presentert separat fordi dette kun observeres i horisontale stag på oppjekkbare rigger på grunn av induerte svingninger som resulterer i utmattingssprekker.

Under drift av oppjekkbare plattformer har det ved flere anledninger blitt observert utmattingssprekker i koblinger mellom horisontalstag og krysstag på benene, se Figur 5-28. Sprekkene har oppstått på grunn av svingninger i horisontalstagnet. Det er antatt at de induerte svingningene er en kombinasjon av vindinduserte laster og vibrasjoner fra maskineri. Problemet kan bli forebygget ved å fylle horisontalstagene med mørtel. Økt masse endrer svingeegenskapene til staget og resulterer i reduserte svingninger. Det har ikke blitt observert sprekker i stag fylt med mørtel. Figur 5-29 viser bilder av sprekk, klargjøring til sveiseoperasjon ved sliping og detalj etter sveisereparasjon.

Fullstendig fylling av horisontale stag kan være komplisert og krever fokus på utførelsesprosedyren for fylling, inkludert valgt material, innløp og utløp, og utstyr, og bør verifiseres ved hjelp av fullskalatesting.



Figur 5-28 Koblinger mellom horisontalstag og krysstag hvor utmattingssprekker har blitt observert



(a)



(b)



(c)

Figur 5-29 (a) sprekk i overgang mellom horisontalstag og krysstag, (b) klargjøring til sveising ved å slipe ut sprekk og (c) etter sveiseoperasjon

5.2.7 Bruk av klammer

5.2.7.1 Innledning

Bruk av klammer er en reparasjonsmetode som primært blir anvendt på konstruksjonselementer med sirkulært tverrsnitt. De fleste klammer er laget i to eller flere deler som ved hjelp av bolter blir montert sammen rundt konstruksjonselementet, som oftest en stav eller et knutepunkt. Klammer har flere bruksområder som reparasjonsmetode. De mest vanlige er:

- Kompenserende tiltak for staver eller knutepunkt på grunn av skade forårsaket av for eksempel utmatting, knekking eller store plastiske deformasjoner ved skipsstøt eller annen overlast.
- Forsterke staver eller knutepunkt på grunn av økte dimensjonerende laster på grunn av for eksempel innsynking av plattform.
- Feste av et nytt konstruksjonselement til eksisterende konstruksjon.

Det brukes flere forskjellige typer klammer i reparasjonssammenheng. De mest vanlige typer klammer er presentert under og beskrevet i de påfølgende avsnitt.

- Friksjonsklammer
- Mørtelklammer med forspenning
- Mørtelklammer uten forspenning
- Elastomerklammer
- Gripeklammer

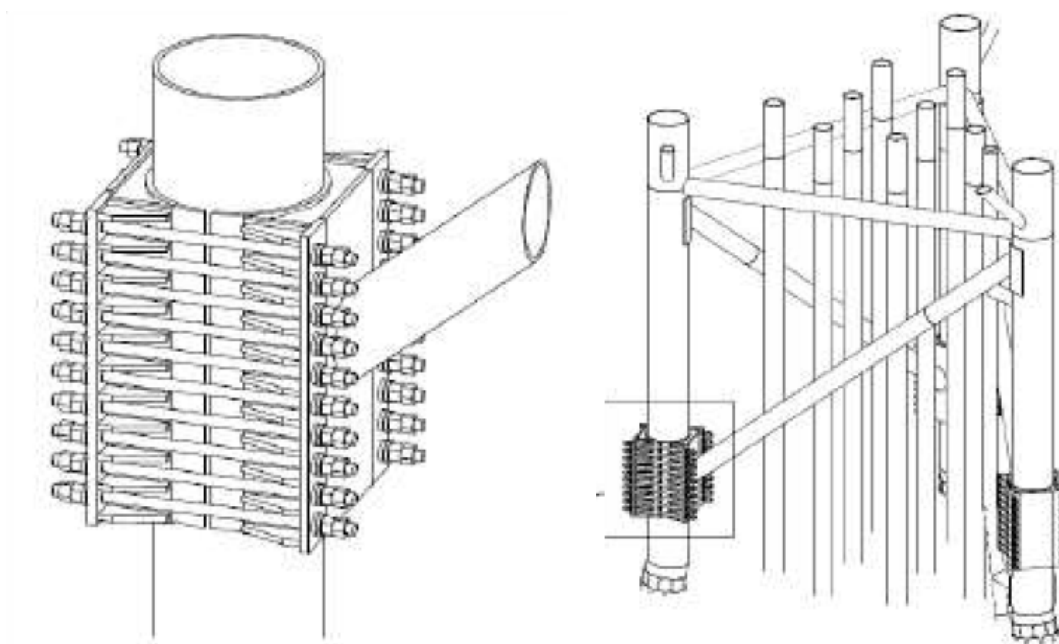
Det som hovedsakelig skiller de ulike metodene er deres bæreevne og evne til å fungere for de gitte geometriske toleranser til konstruksjonselementet den skal kobles til.

5.2.7.2 Friksjonsklammer

Friksjonsklammer består av segmenter som er fabrikkert med strenge toleranser for å passe til staget den skal monteres på ved hjelp av forspente bolter. Den mekaniske koblingens bæreevne oppnås ved friksjon mellom staget og klammeret ved at segmentene trykkes sammen med bolter.

Friksjonskoeffisienten mellom de to ståloverflatene er derfor viktig for koblingens styrke.

Friksjonsklammer er ikke egnet til bruk i knutepunkter på grunn av at de er lite egnet til å ta opp avvik fra ideell geometri.



Figur 5-30 Skisse av friksjonsklemme og eksempel på bruk i en fagverkkonstruksjon for å installere et nytt stag

5.2.7.3 Mørtelklammer uten forspenning

Mørtelklammer uten forspenning består av segmenter av stål som plasseres rundt et stag eller knutepunkt. Klammeret er produsert med en større innvendig diameter enn de sirkulære elementene de skal monteres rundt. Etter at klammeret er montert fylles ringrommet med mørtel. Det er ingen etterspenning av bolter. Lasten i grensesnittet mellom klammer og stag eller knutepunkt overføres gjennom mørtelen ved skjær- og trykklaster. For å øke skjærkapasiteten kan det for eksempel



legges sveisestrenger rundt omkretsen til klammeret og staget eller knutepunktet. Dette kan imidlertid være en utfordring om operasjonen gjøres under vann.

Styrken til mørtelklammer uten forspenning er lav sammenlignet med klammer med forspenning. Selv om økt skjærstyrke kan oppnås ved tiltak som nevnt over må klammeret ofte lages med større lengde for å oppnå tilstrekkelig kapasitet. Mørtelklammer har imidlertid en stor fordel ved at de er svært godt egnet til å ta opp geometriavvik.

Fylling av mørtel i slike klemmer er vanligvis en standardisert operasjon men det kan være enkeltelementer som gjør det nødvendig med storskalatesting for å verifisere utførelsesprosedyrene, for eksempel på grunn av store volum, plassering av rørføring for mørtel, entreprenørens erfaring med material og metode. I tillegg kan det være utfordrende å sikre at det er god tetting i bunnen av klammer, samt i vertikale skjøter mellom segmentene. Fra inspeksjon av klemmer som har vært på installasjoner som er tatt ut av drift er det observert tilfeller hvor det ikke er oppnådd god fylling, blant annet på grunn av utvasking og dårlig kvalitet i bunn av forbindelsen. Dette viser viktigheten av å ha en verifisert metode som sikrer kvaliteten som forutsettes i beregninger.

5.2.7.4 Mørtelklammer med forspenning

Disse er svært like mørtelklammer beskrevet over bortsett fra at boltene blir etterspent etter at mørtelen er herdet. Mørtelklammer med forspenning deler fordelene til både friksjonsklammer og mørtelklammer uten forspenning ved at de både har høy styrke og er godt egnet til å håndtere toleranser.

Denne typen klammer har blitt svært mye benyttet på norsk sokkel og erfaringene har generelt vært gode. Mørtelklammer med forspenning har de samme utfordringene med hensyn på utførelse som klammer uten forspenning.

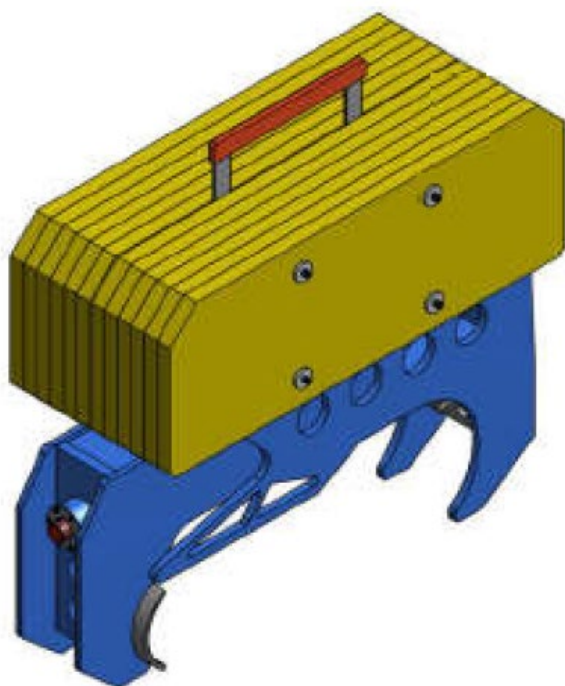
5.2.7.5 Elastomerklammer

Elastomerklammer er nærmest identisk med friksjonsklammer bortsett fra at det blir lagt på et lag med elastomermateriale, for eksempel neopren, mellom klammeret og konstruksjonen. Ved bruk av elastomer vil koblingen være mindre avhengig av de samme høye toleransekrav som gjelder friksjonsklammer. Styrken bestemmes av forspenningskraft og friksjonskoeffisienten mellom elastomerlaget og ståloverflaten.

5.2.7.6 Gripeklammer

Det har i senere år blitt tatt i bruk en ny type klammer på norsk sokkel som skiller seg fra de tradisjonelle klammere beskrevet over ved at de ikke blir installert ved å montere sammen flere segmenter ved hjelp av bolter. De er snarere ferdige komponenter som aktiveres ved å gripe rundt, dytte fra hverandre eller trekke sammen et eller flere konstruksjonselementer. Eksempel på en gripeklammer er presentert i Figur 5-31. Disse ble brukt på en fagverkkonstruksjon hvor en støttekonstruksjon måtte knyttes til en eksisterende ramme som ikke hadde tilstrekkelig bærekapasitet. Støttekonstruksjonen ble knyttet til eksisterende konstruksjon ved hjelp av en rekke ulike typer gripeklammer.

Bruken av slike klammer er ny på norsk sokkel og har ikke blitt brukt lenge nok til å konkludere rundt langtidsegenskaper.



Figur 5-31 Eksempel på gripeklammer

5.3 Korrosjon

5.3.1 Erfaringer med korrosjonsbeskyttelse

5.3.1.1 Generelt

Utfordringer knyttet til korrosjonsbeskyttelse varierer både med tanke på type innretning og når de ble bygget. Under er det oppsummert erfaring med korrosjonsbeskyttelse for ulike innretninger på norsk sokkel.

5.3.1.2 Fagverkkonstruksjoner

Gjennom de første tiårene med olje- og gassproduksjon på norsk sokkel ble det primært installert fagverkkonstruksjoner. Under vann var disse beskyttet både med maling og katodisk beskyttelse. Til tross for at mange av disse innretningene har vært i drift langt utover det de opprinnelig var dimensjonert for har det vært lite problemer knyttet til korrosjon. Dette skyldes både at systemene for katodisk beskyttelse har vært robust dimensjonert og godt vedlikehold under drift. Som en konsekvens av god kvalitet på maling i kombinasjon med god planlegging og utførelse av arbeidet har malingen også vist seg å ha en meget god bestandighet.

I dag dimensjoneres fagverkkonstruksjoner i henhold til NORSOK /3/. Det stilles krav til bruk av et katodisk beskyttelsessystem under vann samt at maling skal brukes både under og over vann. I plaskesonen skal det i tillegg benyttes et korrosjonstillegg. For fagverkkonstruksjoner har en gode erfaringer med korrosjonsbeskyttelsessystemer dimensjonert etter NORSOK-regelverket.

5.3.1.3 Produksjonsskip (FPSO)

Bruken av produksjonsskip økte i omfang utover på 90-tallet. Disse var gjerne dimensjonert uten korrosjonstillegg og var av den grunn sårbare for tap av gods som følge av korrosjon. Ballasttankene var beskyttet med maling og katodisk beskyttelse som riktignok kun fungerte for områder under vann. Det har imidlertid vist seg at malingen og/eller utførelsen for endel av innretningene ikke var av tilstrekkelig kvalitet. Det har følgelig vært store utfordringer knyttet til korrosjon i ballasttanker.

Lagringstanker har vært mindre utsatt for korrosjon ettersom de er utsatt for et mindre korrosivt medium. Det var vanlig å male den nederste og øverste delen av tanken for å beskytte mot vann som samler seg i bunnen og kondens i toppen. Graden av korrosjon varierer ettersom den korrosive prosessen er følsom for temperatur og konsentrasjonen av for eksempel svovel.

Det er observert stor variasjon knyttet til korrosjonsproblemer for flytende enheter. Dette skyldes flere faktorer. Det er strengere krav til dimensjonering av malingssystemer i NORSOK sammenlignet med klasseregler. Kvalitet på maling og senere oppfølging av utførelsen under byggefasen har variert mye, noe som er meget viktig med tanke på bestandigheten.

Dimensjoneringen av beskyttelsessystemer mot korrosjon på FPSOer har endret seg en god del siden 90-tallet. FPSO'er blir i dag dimensjonert med korrosjonstillegg i skrog, tanker og dekk, noe som gir en økt robusthet. Det er fortsatt vanlig å observere korrosjonsskader både på hoveddekk og dekkkonstruksjoner, men dette er ikke like kritisk for innretninger dimensjonert med korrosjonstillegg siden en har tid til utbedring av skader.

5.3.1.4 Andre innretningstyper

Bortsett fra i plaskesonen bygges halvt nedsenkbare plattformer og strekkstagplattformer normalt uten korrosjonstillegg. Malingssystemet må følges opp i driftsfasen og det kan i visse tilfeller være krevende å oppnå tilfredsstillende beskyttelse.

5.3.1.5 Dekkskonstruksjoner

Topside dimensjoneres generelt i henhold til NORSOK. Det er ikke krav til noe korrosjonstillegg, noe som krever god oppfølging i driftsfasen for å holde beskyttelsessystemene intakt.

5.3.2 Tap av godstykkelse

Tap av godstykkelse skjer ved at et korrosivt medium reagerer med stål som enten er ubeskyttet eller hvor malingen, eller andre forebyggende tiltak, ikke lenger fungerer etter hensikten. Fenomenet er mest kritisk i tilfeller med vedvarende tykkelsesreduksjon av bærende konstruksjonselementer som skrog, lagrings- og ballasttanker, og hoveddekk på produksjonsskip eller halvt nedsenkbare rigger. Et eksempel på reduksjon av godstykkelse er presenter i Figur 5-32.

Som understreket i Kapittel 4 er det viktig med grundige vurderinger før iverksetting av tiltak. Et mulig utfall av denne prosessen kan være at det aktuelle området har tilstrekkelig styrke, redusert godstykkelse tatt i betraktning. Det vil følgelig være tilstrekkelig å forebygge videre korrosjon ved for eksempel rengjøring, sandblåsing og påføring av beskyttende lag med maling.

Korrosjonen kan også være av et slikt omfang at mer omfattende tiltak er nødvendig. Dette innebærer som regel at områder fullstendig erstattes med nytt gods eller lokale forsterkninger. Metoder ofte anvendt i slike tilfeller er:

- Utskifting av stål. Anvendes når et område er så kraftig korrodert at det vurderes mest hensiktsmessig med en fullstendig utskiftning. Innleggsplater blir brukt enten til å sette tilbake til opprinnelig tilstand eller til å forsterke ved å øke platetykkelsen for å få et større korrosjonstillegg til den videre driften.
- Buttring. Det legges sveisestrenger for å erstatte tapt gods. Dette er ansett som et godt alternativ i tilfeller hvor området med redusert godstykkelse er begrenset, for eksempel i forbindelse med sveiser.
- Laskeplate. Det sveises på en eller flere laskeplater i områder med redusert godstykkelse for å øke bæreevnen. Bruk av laskeplater til dette formålet er primært et midlertidig tiltak.



Figur 5-32 Eksempel på tap av godstykkelse

5.4 Limte reparasjoner

5.4.1 Innledning

Dette avsnittet presenterer reparasjonsmetoder ved liming, spesielt kompositt lapp-reparasjon og hybride stål-polymerreparasjoner. Gjennomgangen er i første rekke basert på intern kompetanse, publiserte artikler og kommersielt arbeid utført av DNV GL. Bruk av limte forbindelser knyttet til reparasjon av maritime og offshore applikasjoner ble studert i 2004 /18/ and 2015 /19/.

Reparasjon ved liming gjør at en unngår varmt arbeid, noe som minimerer nedetid for produksjonsinnretninger. Generelt er ikke mulighetene innen limte reparasjoner særlig kjent og erfaringene med bruken og eventuelle begrensninger er ikke alltid godt dokumentert.

De tre vanligste reparasjonsmetodene er presentert med målsetning om å gi en bedre forståelse og et grunnlag for å velge rett reparasjonsmetode.

De tre metodene er:

- Reparasjon med limt kompositt
- Reparasjon ved liming av stål
- Reparasjon med stål-polymer sandwich (eller SPS)

5.4.2 Reparasjon med limt kompositt

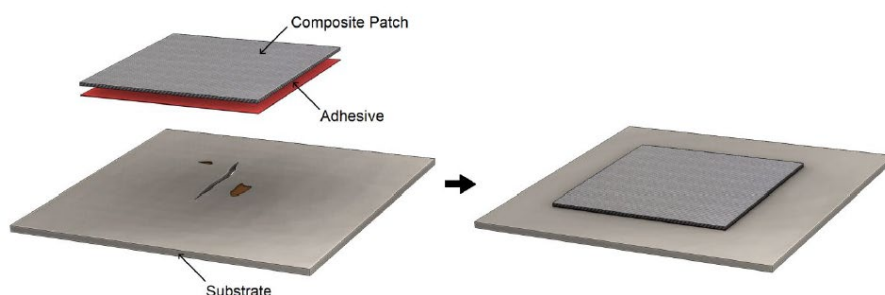
5.4.2.1 Beskrivelse

Reparasjon med limt kompositt gir en strukturell forsterkning av en eksisterende stålplate med et lag fiberforsterket komposittmateriale som vist i Figur 5-33. Komposittmaterialet blir enten påført stålplaten som en overlaminering eller med en prefabrikkert komposittplate limt til stålplaten. Ved overlaminering påføres de forsterkende fibrene i form av flere lag med tørre fibermatter som gjennom-impregneres med en harpiks (eng: resin) som også trenger gjennom fibrene og væter ståloverflaten. Ved utharding av harpiksen til et fast polymermateriale etableres både heft til stålplate og en stiv og sterk komposittplate som effektivt forsterker stålplaten. Utherdet polymermateriale som bestanddel i komposittmateriale

betegnes gjerne som en matrise (eng: matrix). En plate bestående av flere lag fibermatter forbundet med polymer-matrise omtales gjerne som laminat.

Gjennom valg av fiber, resin og tykkelse kan komposittplatens stivhet og styrke tilpasses de spesifikke kravene. Skjærlast overføres mellom den eksisterende stålplaten til laminatet via limforbindelsen som enten er et resultat av overlaminering eller at en prefabrikkert komposittplate limes til stålplate med egnet lim.

Det er vesentlig for en god limforbindelse at overflatene som skal limes forbehandles på en god måte, gjerne ved en kombinasjon av rengjøring og pussing eller annen påvirkning som gir god heft.



Figur 5-33 Reparasjon av sprekker og korrosjon ved overlaminering med kompositt (Kilde: P. Rotwitt, UiO)

Følgende fibertyper er mest anvendt som armering:

- Glassfiber
- Karbonfiber
- Aramidfiber (med kjente produktnavn som Kevlar® og Twaron®)

Det finnes mange forskjellige typer av glass og karbonfiber med ulike mekaniske egenskapene, som elastisitetsmodul og strekkstyrke. Det finnes for eksempel lav-, medium- og høy-styrke karbonfiber og karbonfiber med lav, medium og høy stivhet. Karbonfiber er ofte et naturlig valg til anvendelser som stiller høye krav. Aramidfiber finnes også i forskjellige graderinger. Det er derfor viktig å bruke nøyaktig samme type fiber som forutsatt under design og planlegging av reparasjon.

Materialeegenskapene til et laminat av fiberforsterket polymer (FRP) er ikke bare avhengig av egenskapene til fiberen, men også matrisen. Samvirket mellom fiber og matrise og volumandelen fiber har betydelig innvirkning på egenskapene.

Polyester, vinylester og epoxy er de mest vanlige polymerene. Polyester er mest vanlig, mens epoxy ofte brukes i anvendelser med høyere strukturelle krav. Fenoler kan brukes der det stilles krav til gode egenskaper i brann (brannmotstand og brannreaksjon). I to-komponent systemer blandes en herder inn i harpiksen som starter en kjemisk reaksjon der lange polymerkjeder dannes og forbindes, og utgjør et stivt og sterkt polymermateriale. En katalysator eller inhibitor kan brukes for å øke eller redusere kjemiske reaksjonshastigheten, samt for å justere gel- og herdetid til den ønskede arbeidstemperatur og prosedyren som brukes.

Til laminater leveres fiberarmeringen i form av matter som består av kappet fibre, gjerne referert til som «chopped strand mat» (CSM) eller som vevde eller sydde matter. I CSM-matter er fibre tilfeldig orientert i planet. I vevde matter er det gjerne fiberarmering i to retninger: varp (renning) i mattens



lengderetning og veft (islettstråder) på tvers. Sydde matter gir fleksibilitet til å arrangere armeringsfibrene i ulike retninger, og man kan ha ensrettede matter (eng: unidirectional – UD), biaksielle der $0^\circ/90^\circ$ tilsvarer vevd matte men en også kan ha fibre i retninger som for eksempel $\pm 45^\circ$, eller multiaksielle matter med mer enn to retninger som for eksempel $0^\circ/\pm 45^\circ$. Mengden fiber i de ulike retningene kan bestemmes etter behov. Fiberarmering kan også leveres i form av såkalt prepreg, der fibrene allerede er impregnert med polymermateriale som er delvis utherdet. Prepreg er spesielt egnet til å produsere flate plater, men er ikke egnet til å drapere over ujevnt underlag. Armeringsmatter som består av mer enn en type fiber, for eksempel glass og karbon, kalles gjerne hybrider. Den fulle sammensetningen av forsterkning i et laminat blir definert av sekvensen med armeringslag. Sekvensen blir spesifisert som hvert enkelt lag fra en side av laminatet med tilhørende orienteringen relativt til en referanseretning. Dette bestemmer også total vekt av armering pr enhetsareal (arealvekt for eksempel g/m²), som gir viktig informasjon om laminatet.

5.4.2.2 Designmetode

Designmetoden for limte komposittreparasjoner omfatter geometrisk utforming av reparasjonen, dimensjonering av laminatet og design av limforbindelsen. Reparasjonen utformes slik at laster kan overføres forbi skadestedet. Laminatet dimensjoneres slik at det kan bære disse lastene og limforbindelsen designes slik at den kan overføre kreftene mellom stålkonstruksjonen og laminatet. Bruddgrensetilstandene som betraktes er brudd i laminatet, brudd i limforbindelsen og delaminering av laminatet.

I tilfelle skaden som skal repareres er en sprekk planlegges reparasjonen for å stoppe utviklingen av denne sprekken.

I tilfelle skaden som skal repareres er en korrosjonsskade vil en intakt komposittreparasjon utgjøre en god beskyttelse mot videre utvikling av korrosjon fra den siden som kompositten er påført.

DNVGL-RP-C301 /20/ gir krav og retningslinjer til bruken av overlaminering og liming med kompositt i reparasjoner. RP'en gir retningslinjer til hvor en slik reparasjon kan brukes og hvordan en kan oppnå en reparasjon av tilstrekkelig kvalitet.

Reparasjonsmetoden anbefales for ikke-kritiske konstruksjonselementer. Metoden kan også brukes for et kritisk konstruksjonselement der skaden er å regne som ikke-kritisk. Med ikke-kritisk menes at konstruksjonen fortsatt kan brukes ved reparasjonstidspunktet og at man tar forholdsregler som sikrer at en eventuell svikt i selve reparasjonen vil fanges opp slik at reparasjonen kan utbedres hvis det skulle bli påkrevd. Bakgrunnen for denne begrensningen i RP'en er usikkerhet rundt langtidsegenskapene til limte reparasjoner.

5.4.2.3 Begrensninger

Estimater på langtidsegenskapene til limte forbindelser basert på resultater fra akselererte aldringstester er fortsatt usikre. Derfor er kravene som stilles til den limte forbindelsen en kombinasjon av krav til å dokumentere integritet av selve reparasjonen og krav som begrenser konsekvensene i tilfelle at en feil oppstår i limforbindelsen /21/ - /23/. Det siste innebærer begrensning til ikke-kritiske reparasjoner som beskrevet over.

Ved dokumentasjon av tilstrekkelig langtidsegenskaper basert på relevant driftserfaring kan dette kravet lempes på.

Limte komposittreparasjoner krever de fleste tilfeller en viss oppfølging på grunn av usikkerhet knyttet til langtidsegenskaper. Avhengig av konstruktiv utforming, stilles det ulike krav til inspeksjonsmetoder. På lang sikt kan det være mulig å utvide bruken av reparasjonsmetoden til kritiske områder når ytterligere driftserfaring er dokumentert og inspeksjonsmetoder er videreutviklet.

Brannmotstanden til en limt reparasjon er vanligvis lavere enn motstandsdyktigheten til stålkonstruksjonen, fordi oppvarming av konstruksjonen der kompositten er pålimt vil føre til at limforbindelsen svekkes ved en lavere temperatur enn den som vil svekke selve stålkonstruksjonen. En vanlig antagelse er at limforbindelsen vil svikte som følge av eksponering av stålet mot brann. Dette må det tas hensyn til ved vurdering av motstandsdyktighet mot relevante brannforløp og behov for eventuell brannbeskyttelse.

En vanlig bekymring rundt bruk av komposittmaterialer i brannutsatte konstruksjoner er faren for utvikling av tett røyk og utslipp av giftig gasser fra kompositten under brann. I rene komposittkonstruksjoner er dette førende for valg av brannbeskyttelse og kan begrense bruken av komposittkonstruksjoner. Det av betydning om reparasjonen er lokal slik at mengden brennbart materiale er beskjedent eller om vesentlige deler av ståloverflatene er belagt med kompositt, og i hvilken grad polymer materialet blir eksponert i aktuelle brannforløp.

Inspeksjon av limte forbindelser i drift gjennomføres hovedsakelig ved hjelp av visuell inspeksjon av den delen av konstruksjonen inspektøren kan se. Det er krav til oppfølging av reparasjonen i drift og typisk gjøres dette ved regelmessige intervaller, for eksempel årlig klasseinspeksjon. Målet med inspeksjonen er å finne eventuelle tegn på at den limte forbindelsen slipper fra stålkonstruksjonen. Mest utsatt er kanten på laminatet, der tegn på problem kan være misfarging, korrosjon og at kanten av laminatet løsner fra stålmaterialet. Enkle grep kan forenkle muligheten til å oppdage slike indikasjoner. For eksempel at laminatet avtrappes gradvis i tykkelse mot kantene og at man benytter et beskyttende øverste lag som består av glass CSM. Dette laget dekker hele laminatet og et stykke ut på stålunderlaget slik at eventuelle rustangrep, eller at laminatet begynner å løsne, blir lett synlig ved inspeksjon.

I dag finnes det en mengde inspeksjonsmetoder som for eksempel ultralyd, termografi og røntgen. Om skaden er sprekkvekst i stålkonstruksjonen hvor den er dekket av komposittreparasjonen blir hovedutfordringen å pålitelig detektere sprekkutvikling gjennom belegg og reparasjonen. Delaminering av laminatet kan også bli detektert ved bruk av ultralyd, termografi, mynttapping og røntgen. Per i dag finnes det ingen helt pålitelig teknologi for inspeksjon av limte forbindelser.

5.4.2.4 Tidligere applikasjoner

Reparasjon ved overlaminering med kompositt har blitt anvendt i 25 år for å redusere sprekkvekstraten i fly og reparasjon av områder utsatt for korrosjon eller utmattingssprekker. Den mest omfattende bruken har vært reparasjoner av utstyr med sprekker og korrosjon på komponenter som rør og tanker. Bruken i maritim og offshorenæringen har vært begrenset. Under er det oppsummert noen eksempler.

Australsk militær fregatt – reparasjon av utmattingssprekker i overbygg

Målet med reparasjonen var å hindre gjentagende utmattingssprekker i det øvre dekket på fregatten. Etter 15 år i drift har gode langtidsegenskaper blitt dokumentert. Ytterligere informasjon kan finnes i /24/.

Halvt nedsenkbar plattform – reparasjon i bunnen av en ballasttank

Målet med reparasjonen var å gjenopprette kapasiteten til platene i bunnen i en ballasttank som var utsatt for kraftig korrosjon, se Figur 5-34. Gjennom inspeksjon hadde det blitt påvist tap av opptil 70% av den opprinnelig 14 mm tykke stålplaten. Kravet til minimumtykkelse fra klasseselskapet er 13.3 mm. Den gjennomsnittlige platetykkelsen var redusert til 5.6 mm. Etter reparasjon sommeren 2009 har den blitt visuelt inspisert hver tredje måned. I 2015 ble inspeksjonsintervallet økt til ett år siden det så langt ikke var registrert noen problemer. Ytterligere informasjon kan finnes i /25/.



Figur 5-34 Reparasjon i bunnen av en ballasttank, etter maling (Kilde: D. McGeorge, DNV GL)

Reparasjon av utmattingssprekk på en FPSO

En utmattingssprekk i et langskipsskott i forskipet av en FPSO ble utbedret. Sprekken gikk 45 grader ut fra hjørnet på en dør og til en horisontal stiver over døren. Under planleggingen av reparasjonen var sprekkelengden målt til 150 mm. To måneder senere var sprekkelengden målt til 220 mm.

Langskipsskottet med sprekken var begrenset til forskipsmoduleen i form av at skottet ikke strakk seg videre inn i laste- eller prosessområdet. Skottet var derfor ikke ansett som en del av skipets kontinuerlige langshipsstruktur, og derfor ikke å regne som vesentlig for skipets globale bæreevne. Av den grunn ble sprekken ansett som ikke-kritisk. En tilsvarende sprekk på motsatt side av fartøyet ble reparert med konvensjonell sveisereparasjon slik at de to metodene kunne sammenlignes. Sprekken som ble sveiset opp igjen sprakk opp på nytt, mens komposittreparasjonen stoppet videre sprekkvekst. Komposittreparasjonen ble senere fjernet grunnet usikkerhet rundt motstandsdyktigheten ved eventuelle branntilløp. Av den grunn var det ikke mulig å følge opp denne reparasjonen over lang tid. Ytterligere informasjon kan finnes i /26/.

Reparasjon av korrodert plate i flytende lagringsenhet for olje (FSO)

Reparasjon av en flytende lagringsenhet for olje lokalisert i Malaysiske farvann med fem års planlagt tid i operasjon. Reparasjonen ble gjennomført da skipet var i havn i sammenheng med en konvertering fra tankskip til FSP. Utfordringen var at en del av et 24 mm tykt dekk under et rørstativ i midtseksjonen av skipet hadde korrodert. Korrosjonsskaden var vurdert av ansvarlig i klasseselskap til at en reparasjon ikke var nødvendig på dette tidspunktet. Dette ble ansett som en mulighet til å teste en relativ



omfattende reparasjon i et fuktig utendørsmiljø og vise at reparasjon kunne fungere pålitelig for en lengre periode i et aggressivt operasjonelt miljø. For å nå krav til design var det nødvendig at reparasjonen kompenserte for potensielle fremtidig reduksjon i platetykkelse og at reparasjonen ville bli utsatt for betydelig laster. Reparasjonen ble gjennomført og det er ikke rapportert om problemer med denne i drift. Ytterligere informasjon kan finnes i /26/.

5.4.2.5 Teknologimodenhet, kvalitet og langtidsegenskaper

Metoden er ansett til å være en moden reparasjonsteknologi. Den har blitt anvendt i over 20 år for en mengde applikasjoner.

Grunnet usikkerheten knyttet til langtidsegenskaper og inspeksjon bør bruken begrenses til ikke-kritiske reparasjoner, med mindre det kan vises til tilfredsstillende langtidsegenskaper fra driftserfaring.

Egenskapene til komposittreparasjoner avhenger av forbehandling av ståloverflaten, tilvirkning og påføring av kompositten. Derfor må oppfølging av fabrikasjon og påføring av overlaminert og pålimt kompositt være en integrert del av verifikasjonen. Det stilles strenge krav til kvalitetssikring for å ivareta dette.

5.4.2.6 Kommersielle leverandører

Listen under presenter en liste over leverandører av reparasjonssystemer til det marine og offshore-relaterte markedet:

- Belzona: <http://www.belzona.com/>
- Clock Spring: <http://www.clockspring.com/>
- COMPA Repairs <https://www.comparepairs.com>
- Loctite pipe repair system: <http://www.loctite.co.uk/>
- TEAMFurmanite: <http://www.team.com/>
- ICR: <https://icr-world.com/>
- Wencon: <http://www.wencon.com/>
- 3X Engineering: <https://3xeng.com/>

Disse selskapene har kvalifikasjonsordninger for planlegging av reparasjoner og installering. En del selskaper gjennomfører planleggingen selv eller har sine egne godkjente underleverandør. Noen selskaper er spesialisert på rørteknologi, mens andre er mer allsidig.

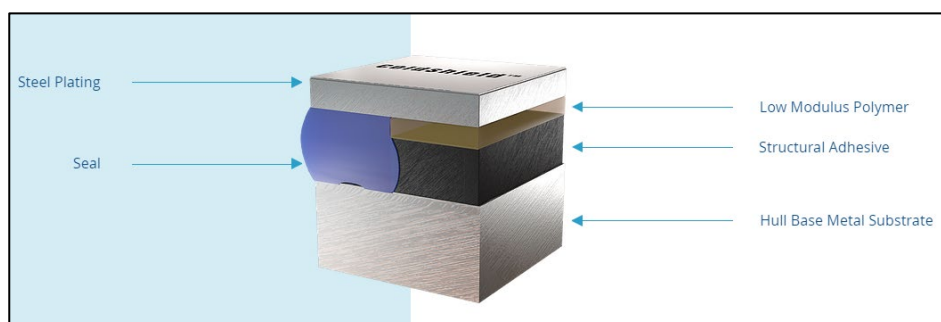
5.4.3 Reparasjon ved liming av stål

5.4.3.1 Innledning

Limt reparasjon kan utføres med pålimt stålplate på tilsvarende vis som beskrevet for påliming av prefabrikkert komposittplate i forrige avsnitt. En spesiell løsning for dette, som er kvalifisert og i bruk, vil bli brukt som eksempel i beskrivelsen.

5.4.3.2 Beskrivelse av ColdShield

ColdShield-forsterkning består av en Superduplex stålplate, holdt på plass av en lav-modul (myk) polymer limt til stålkonstruksjonen med et konstruksjonslim, se Figur 5-35. For å kontrollere atmosfæren under installasjonen og for å unngå en ukontrollert nedbrytning av bindingspolymeren i et offshore-miljø, beskyttes limfugen av en barriere. Denne beskyttelsesbarrieren består av selve den lastbærende Superduplex-platen og en pakning langs kanten av platen som blir sammentrykt når platen installeres. Etter utharding av limforbindelsen holdes denne permanent sammenpresset slik at tetting oppnås. Siden bindingspolymeren er innkapslet av superduplex-platen og pakningen unngås eksponering mot det marine miljøet. ColdShield er et prefabrikkert produkt.



Figur 5-35 ColdShield forsterkning (Kilde: Cold Pad)

5.4.3.3 Designmetode

Reparasjonen utformes for å gi ønsket strukturell respons og for å ha kontroll på aktuelle feilmoder for en slik limt forbindelse. Både bruddgrensetilstand for selve reparasjonen og estimat på forsterkningens styrkebidrag, såkalt «Efficiency Limits State» blir normalt verifisert. Panelene blir vanligvis designet av Cold Pad, som er både oppfinner og patenteier av ColdShield.

ColdShield-reparasjoner er sertifisert av Bureau Veritas (BV) og American Bureau of Shipping (ABS), og har en prinsipiell godkjenning («Approval in Principle») fra DNV GL.

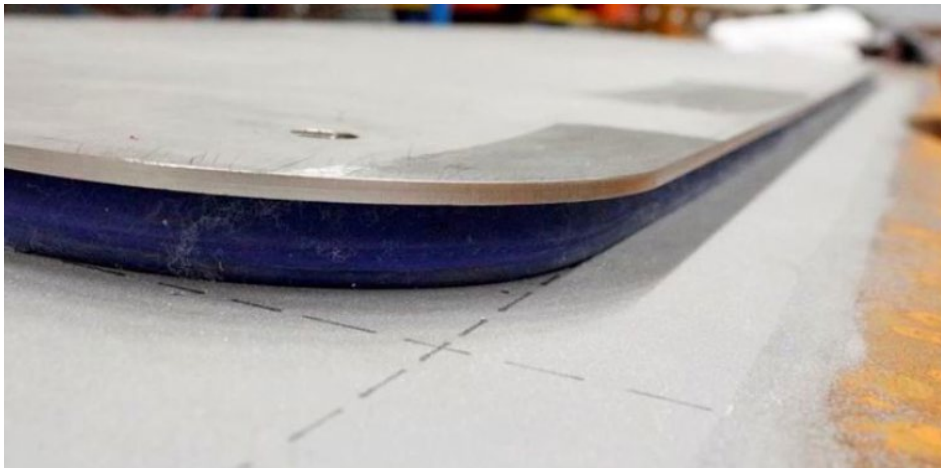
DNVGL-RP-C301 /20/ gir krav og veiledning for anvendelser av limte reparasjoner.

5.4.3.4 Begrensninger

Erfaringer rund bruken er begrenset ettersom teknologien er relativt ny. Erfaringer fra drift og kunnskap om langtidsegenskaper er derfor begrenset.

5.4.3.5 Tidligere applikasjoner

Denne reparasjonsmetoden er relativt ny og DNV GL kjenner kun til et par tilfeller hvor denne løsningen har blitt anvendt.



Figur 5-36 Profil av ColdShield (Kilde: Cold Pad)

5.4.3.6 Teknologimodenhet, kvalitet og langtidsegenskaper

Bruk av ColdShield har blitt dokumentert i aktuell bruk i noen år, men bare for et begrenset antall tilfeller. Erfaringer rundt bruken av ColdShield er derfor begrenset.

Fabrikasjon og installasjon av ColdShield-reparasjoner er alltid en del av verifikasjonsprosessen. Generelle prinsipper for kvalitetssikring under fabrikasjon og installasjon er gitt i DNVGL-RP-C301.

ColdShield-reparasjoner utføres vanligvis av Cold Pad selv (oppfinner og patenteier av Cold Shield) med et sterkt fokus på prosesskontroll under fabrikasjon og installasjon.

Langsiktige egenskaper forventes å forbli tilfredsstillende og forutsigbare da miljøaldring unngås takket være den beskyttende konvolutten.

5.4.3.7 Kommersiell leverandør

Det er bare en leverandør til det marine og offshore markedet:

- ColdPad <https://www.cold-pad.com/>

5.4.4 Reparasjon med sandwich av stål-polymer (eller SPS)

5.4.4.1 Beskrivelse

Sandwich plate system (SPS) består av to metallplater limt sammen med en kompakt polyuretan elastomerkjerne, se Figur 5-37. SPS kan brukes til nybygg, men er også egnet til reparasjoner. Da utgjør konstruksjonselementet som skal repareres den ene av de to platene, og reparasjon oppnås ved at den andre platen forbindes med denne ved hjelp av en elastomerkjerne.

SPS-enheten lages ved å injisere en to-komponent flytende elastomer i støpeform som består av den eksisterende stålplaten og en ny stålplate. Bøyesivheten og styrken i en sandwichplate er mange ganger den til en enkel stålplate og kan tilpasses til de spesifiserte strukturelle krav ved å velge tykkelse av hvert sandwichelement. Skjærlaster overføres fra den ene stålplaten til den andre gjennom elastomeren. I tillegg gir elastomeren støtte til stålplaten og hindrer lokal utbøying, forbedrer lokal slagfasthet og reduserer behovet for tett plasserte avstivere.



Figur 5-37 SPS sandwich panel (Kilde: SPS Technology)

5.4.4.2 Designmetode

Relevante klasseregler og godkjenningsprosess for SPS er som følger:

- ABS Guidance Notes on Composite Repairs of Steel Structures and Piping /27/; ABS Certification with ABS Product Design Assessment Certification; Installation and Quality Assurance with classed approved SPS Installation Guidelines.
- BV: Denne typen av reparasjon er sett på som midlertidig for noen reparasjoner, men kan bli akseptert av BV som permanent reparasjon i enkelttilfeller etter godkjenning i henhold til «Process Approval Certification» av BV for det aktuelle selskapet.
- DNV GL: Design and fabrication according to DNV GL Class Guideline, DNVGL-CG-0154, Steel Sandwich Panel Construction /28/. Polyuretan kjernematerialtype godkjennes i henhold til DNVGL-CP-0097, kjernematerialer for bruk i sandwich-plate-system (SPS) eller liknende/29/. Flere forhåndsgodkjente detaljer og forbindelser. Godkjent som permanent reparasjon.
- Lloyds Register: Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure /30/.

5.4.4.3 Begrensninger

Tilstandskontroll av SPS paneler utføres vanligvis ved visuell inspeksjon. Reparasjonen inspiseres vanligvis med jevne intervaller, for eksempel i forbindelse med årlige klasseinspeksjoner. Det oppdages sjeldent feil fra produksjonen eller operasjonen, takket være ensartet produksjon, sikring av kvalitet og at SPS i seg selv er en robust metode.

En karakteristisk feil er delaminering mellom topplate og polyuretan kjernemateriale. Dette kan ofte oppdages ved såkalt coin-tapping. Andre ikke-destruktive metoder kan også benyttes som for eksempel ultralyd, termografi og røntgen. Imidlertid finnes det per i dag ikke en enkelt ikke-destruktiv metode som alene kan avdekke alle potensielle feil i et SPS-panel.

Brannbestandigheten og brannreaksjonsegenskapene til stål-elastomer-sandwich er ansett for å være lik en konvensjonell stålkonstruksjon. Den gjenværende originale stålplaten har fortsatt signifikant gjenværende styrke (tillatt maksimum 20% korrosjon), og derfor vil ikke potensielt tap av styrke for SPS limingen ha betydning i aktuelle brannforløp.

For nybygde SPS paneler må det likevel demonstreres ved SOLAS Ch II.2 Regulation 17 at designet har ekvivalent brannytelse. Overflatene på SPS panelene er i stål og bidrar lite til flammespredning.

Polymerkjernen og bindingen kan imidlertid påvirkes kraftig av varmen fra brann og kan dekomponere på den branneksponte siden, hvilket kan medføre tap av sandwicheffekten.

5.4.4.4 Tidligere applikasjoner

Gjennom de tjue siste årene har SPS etablert seg som en av de foretrukne reparasjonsmetodene i offshore og maritim industri, så vel som i andre industrier /31/. Applikasjoner inkluderer gjenoppbygging av korroderte skipsdekk, styrking av cargotanktopper, skrog, nye eksplosjonsvegger. Selv om bruken av SPS is første rekke er begrenset til reparasjon er bruken i nybygg forventet å øke. SPS sandwich reparasjonssystemet er godkjent av alle større klasseselskap for permanent reparasjon og styrking av eksisterende fartøy og strukturer.

Et stort antall prosjekter innen den maritime industrien har vært levert på verdensbasis, for eksempel:

- Ro-Ro dekk gjenoppbygging
- Gjenoppbygging av flyttbare bildekk på Ro-Ro
- Tanktopp gjenoppbygging av lasterom
- Støtbeskyttelse av skrog for isklasse
- Flere andre mindre konstruksjonselementer

Utbredelsen innen offshore-industrien er også betydelig. Noen eksempler er:

- Beskyttelse mot båtstøt for FPSOer
- Eksplosjonsvegger
- Gjenoppbygging av dekk på plattformer
- Beskyttelse mot fallende objekter
- Forsterkning av spudcan på oppjekkbare rigger.
- Forsterkning av helikopterdekk
- Flere andre mindre konstruksjonselementer



Figur 5-38 Gjenoppbygging av dekk på en FPSO (Kilde: SPS Technology).

5.4.4.5 Teknologimodenhet, kvalitet og langtidsegenskaper

Sandwich platesystemet SPS er et av de mest modne systemene for limte reparasjoner. Det har vært dokumentert i felt i over 20 år i flere hundre applikasjoner.

Fabrikasjon og installasjon av SPS reparasjoner er en integrert del av verifikasjonsprosessen. De største klasseselskapene har implementert krav i reglene for å sikre tilstrekkelig styrke og kvalitet på reparasjonen. SPS-reparasjon er typisk utført av SPS Technology (oppfinner og patenteier av SPS) eller noen få lisensierte selskaper som opererer med samme kvalitetsnivå.

Erfaringer fra operasjon har vist at reparasjonsmetoden er pålitelig og av høy kvalitet. Det er rapportert svært få skader i drift.

5.4.4.6 Kommersielle leverandører

Det er kun en leverandør til maritim og offshore markedet:

- SPS Technology: <https://www.spstechnology.com/>

6 REPARASJON AV BETONGKONSTRUKSJONER

6.1 Innledning

6.1.1 Bakgrunn

Dette kapitlet er utarbeidet basert på litteraturgjennomgang, engasjement med eiere og operatører av betonginnretninger på norsk sokkel, og DNV GLs erfaringer i forbindelse med vurdering og utbedring av betongkonstruksjoner. Det baseres på kunnskap opparbeidet gjennom prosjekter for nybygging, forsterkning, og utbedring, samt inspeksjons- og vedlikeholdsarbeid for aldrende betongkonstruksjoner. Dette kapitlet fremlegger informasjon for nåværende tilstand og utfordringer for betongkonstruksjoner på norsk sokkel, samt beste praksis for inspeksjoner, vurderinger og utbedringer av betongdefekter. Det har ikke som hensikt å sammenligne spesifikke reparasjonsmaterialer eller utførelsesmetoder.

I den siste tiden har det vært et økende fokus på inspeksjoner og vedlikehold av aldrende betongkonstruksjoner som driftes på land ettersom de enten nærmer seg eller overskrider opprinnelig levetid. Dette er også gjeldende for de fremdeles operasjonelle betongkonstruksjonene på norsk sokkel, som ble installert mellom 1977 og 1995, og har nå vært i drift under tøffe forhold i flere tiår. Som eksempel, se Equinors presentasjon av driftserfaringer med betongplattformer på norsk sokkel /32/.

Man har i de senere år erfart et økt omfang av bestandighetsrelaterte funn på disse bærende konstruksjonene. Betongkonstruksjoner på norsk sokkel ble inspisert tidlig i levetiden og basert på dette har det vært en forventning om at betongkonstruksjonene er bestandige og prosjektert og bygget for å unngå nedbrytning på grunn av miljøeksponering i Nordsjøen, se blant annet /17/ og /33/.

6.1.2 Formål

Formålene med de betongspesifikke avsnittene i denne rapporten er:

- Oppsummere i grove trekk de viktigste degraderingsmekanismene observert gjennom pågående inspeksjoner av betongkonstruksjoner på norsk sokkel (ved utgivelse av rapport)
- Basert på erfaring, og relevante standarder, presentere en veiledning og beste praksis for inspeksjoner og vurdering av defekter
- Presentere beste praksis for en reparasjonsstrategi, inkludert ingeniørvurdering av både ikke-reparerte og reparerte konstruksjoner
- Presentere en oversikt over ofte benyttede reparasjonsmaterialer og reparasjonsteknikker
- Gi innspill til fremtidige inspeksjonsregimer, -spesifikasjoner og -dokumentasjon relatert til reparasjon av betongkonstruksjoner på norsk sokkel.

6.1.3 Omfang

Dette kapitlet omhandler defekter som kan bli funnet ved normal inspeksjonsvirksomhet utført på betongkonstruksjoner offshore, både visuell inspeksjon samt kjemiske og destruktive tester. Ulike typer defekter som oppstår på lastbærende betongkonstruksjoner vurderes, inkludert de som kan påvirke konstruksjonens bestandighet, bruk og endelige styrke. De følgende avsnittene skisserer prosesser som er essensielle i forhold til god reparasjonspraksis for bærende betongkonstruksjoner på norsk sokkel.



En foreslått reparasjonsstrategi for betongkonstruksjonen er diskutert i Avsnitt 6.2, med noen detaljer gitt til utvalgte kritiske elementer.

Inspeksjonsplanlegging og utførelsesprosesser, sammen med kjente fokusområder for inspeksjoner, er omtalt i Avsnitt 6.3. Krav i relevante standarder blir også presentert.

Dokumentasjon og vurdering av funn er diskutert i Avsnitt 6.4, samt mulige årsaker til observerte defekter. Tilgjengelige verktøy og metoder for vurdering blir presentert. Funn og informasjon rapportert under arbeidsmøte med operatører og eiere for installasjoner på norsk sokkel er også lagt inn her.

Avsnitt 6.5 presenterer beste praksis for valg av reparasjonsmetode og -materiale, mens Avsnitt 6.6 presenterer hvordan arbeidet kan følges opp under utførelsen.

Ofte brukte reparasjonsmaterialer er diskutert i Avsnitt 6.7, og erfaringer med spesifikke reparasjonsmetoder, når det gjelder modenhet, kvalitet, omfang, utfordringer og anvendelsesområder er inkludert i Avsnitt 6.8.

6.1.4 Anvendelse

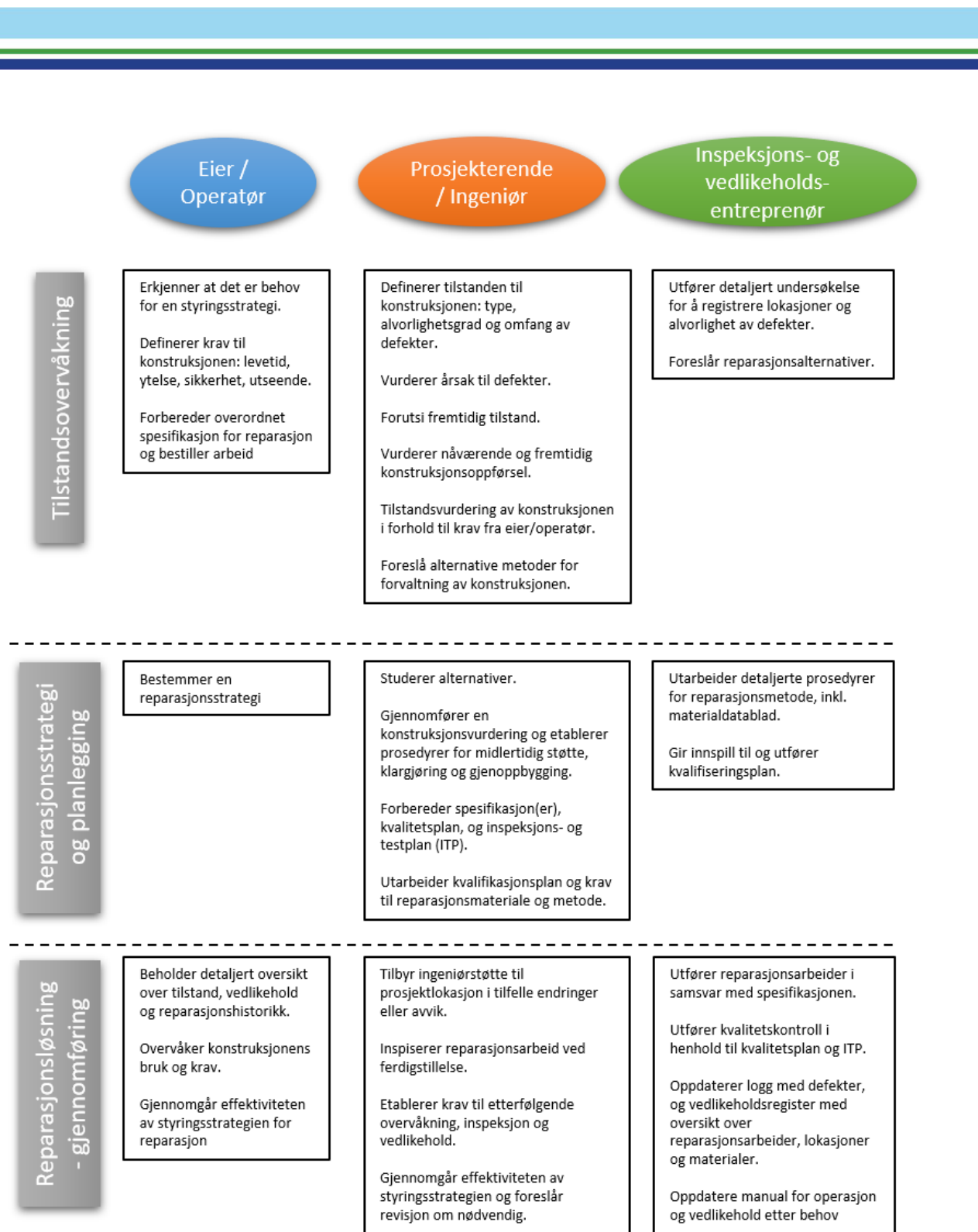
De betongspesifikke aspektene av denne rapporten er tenkt som referanse for operatører, eiere, tilsynsmyndigheter, inspeksjons- og monitoreringsfirma, ingeniører, og reparasjonsentreprenører som er involvert i vurdering og utbedring av betongkonstruksjoner på norsk sokkel.

6.2 Reparasjonsstrategi

6.2.1 Konsistent tilnærming

Basert på tilbakemeldinger fra industrien, er det behov for løpende overvåking og utbedring av betongkonstruksjoner på norsk sokkel. Dette arbeidet bør behandles gjennom en konsistent tilnærming med tanke på dokumentasjon, tekniske krav, kvalifisering av materialer og metoder, kontroll på stedet og alle funksjonskrav til reparasjonen.

Ettersom konstruksjonene som omhandles i denne rapporten er til havs, er ikke bruk av de europeiske normene, inkludert EN 1504-pakken relatert til betongreparasjoner, obligatorisk i henhold til gjeldende regelverk. Det kreves derfor en passende tilnærming for å sikre at konstruksjonene fortsetter å oppfylle sine designkrav. Se Figur 6-1 for en foreslått reparasjonsstrategi som er utviklet for denne rapporten, basert på kvalitetssikring og utførelseserfaring i bransjen, og et bredt spekter av litteratur, med publikasjoner fra HSE /34/ og ACI 562 /35/ som fortjener spesiell merknad.



Figur 6-1 Foreslått reparasjonsstrategi for betongkonstruksjoner

6.2.2 Grunnleggende krav

Det anbefales å produsere en passende installasjonsspesifikk betongreparasjonsspesifikasjon. Dette dokumentet skal produseres av eieren i god tid før utførelse av reparasjons- eller rehabiliteringsarbeid. Den skal ivareta krav til inspeksjon og overvåking av konstruksjonen, reparasjonsstrategi, personalkompetanse og kvalifisering, reparasjonsmateriell og metoder samt kontroll under utførelse av arbeidene.

Eksisterende betongkonstruksjoner skal være underlagt et løpende overvåknings- og inspeksjonsregime for å identifisere og følge utviklingen av defekter og nedbrytning.

Når det identifiseres defekter som krever reparasjon, bør en reparasjonsstrategi som fanger opp hele livssyklusen til arbeidet følges, se Figur 6-1.

Tilstandsvurdering samt reparasjons- og beskyttelsesarbeid for betongkonstruksjoner krever høy grad av ferdighet og kompetanse. De er ikke bare komplekse i forhold til materialer og konstruksjonene de utføres på, men også på grunn av de mange forskjellige ferdighetene som kreves, og hvordan disse er forbundet. For betongkonstruksjoner kan materialet blandes på stedet, og med en skreddersydd løsning installeres innenfor tillatte tidsvinduer på grunn av miljøet arbeidet utføres i og materialene som brukes. Etter at reparasjonen er fullført, er en videre vurdering kostbar og vanskelig å gjennomføre. Av denne grunn trengs et tett samarbeid mellom inspeksjonsfagfolk, ingeniører, utførelses- og kvalitetsfagfolk innen entreprenøren, eierrepresentanter og i noen tilfeller forskere og laboratorier. Prosessene som er implementert for å administrere disse grensesnittene, og formalisering av dokumentasjon og kommunikasjon, er en viktig bidragende faktor for å oppnå kvalitetsresultater som oppfyller forventningene.

Se Tabell 6-1 for en liste over ansvar og oppgaver som er involvert i en god reparasjonsstrategi. Merk at eierens interne kompetanse og innspill ofte er en pådriver for hele prosessen.

Tabell 6-1 Ansvar og aktiviteter gjennom reparasjonsprosessen

Element i reparasjonsprosessen	Ansvarlig	Aktivitet
Etablere styrende dokumenter	- Eier - Ingeniør	- Generell spesifisering for reparasjonsarbeid - Materialspesifisering
Etablere inspeksjonsregime	- Inspeksjon- og vedlikeholdsfirma	- Monitoreringsprogram og tidsplan - Omfang av inspeksjoner, inkludert kategorisering av defekter - Registrering av defekter - Mekanisme for å utløse behov for ingeniørvurdering, basert på definerte beregningsforutsetninger
Utførelse av inspeksjonsregime	- Inspeksjon- og vedlikeholdsfirma	- Regelmessig - Kontinuerlig dokumentert - Kontinuerlig tilbakemelding fra tidligere utførte inspeksjoner
Ingeniørvurdering (hvis aktuelt)	- Ingeniør	- Tilfredsstille myndighetskrav - Årsak til defekt - Krav til reparasjonsmetode - Funksjonskrav for reparasjon
Valg av beskyttelse- og reparasjonsmetode	- Ingeniør - Vedlikeholdsfirma /-entreprenør	- Basert på ingeniørkrav (hvis aktuelt) - Gjennomgang av egnethet, historikk og beste praksis - Etablering av reparasjonsprosedyre, inkludert krav til testing - Krav til rengjøring og overflatebehandling
Kvalifikasjonstesting	- Ingeniør - Vedlikeholdsfirma /-entreprenør	- Materialvalg - Utstyrets egnethet - Kvalifikasjon reparasjonsmetode (f.eks. storskalatest) - Kvalifisering av personell

Element i reparasjonsprosessen	Ansvarlig	Aktivitet
Etablere utførelses- og kontrolldokumentasjon	- Vedlikeholdsfirma /-entreprenør	- Inspeksjons- og testplan (ITP) - Prosedyrer for kvalitetskontroll - Utførelsesprosedyrer
Utførelse av beskyttelse- og reparasjonsarbeid	- Vedlikeholdsfirma /-entreprenør	- I samsvar med styrende dokumenter og prosedyrer for den kvalifiserte metoden - Bruke kvalifiserte materialer - Utførelse av kompetent og kvalifisert personell
Oppfølging av utførelse (inkl. Kvalitetskontroll)	- Ingeniør - Vedlikeholdsfirma /-entreprenør	- Kvalitetsdokumentasjon - Sjekkliste og testrapporter - Håndtering av endringsdokumentasjon
Dokumentasjon av defekter og reparasjoner	- Inspeksjon- og vedlikeholdsfirma	- Vedlikeholdslogg/skadeatlas - Ferdigdokumentasjon

6.2.3 Ingeniørinvolvering

En ingeniørfunksjon skal være involvert i den løpende vurderingen av inspeksjonsdataene. Ingeniøren skal være en sentral deltaker av styringsstrategien for reparasjoner. Ved vurdering av defekter bør behovet for en strukturell vurdering av den skadde betongkonstruksjonen gjøres, inkludert en vurdering av ytelsen til den ferdige reparasjonen.

En passende teknisk tilnærming presenteres av ACI 562 /35/ for vurdering og reparasjon av eksisterende betongkonstruksjoner. Når det er nødvendig, skal den prosjekterte strukturelle reparasjonen returnere konstruksjonen til å ha samme eller bedre styrke enn tidligere.

6.2.4 Kvalifikasjon av materialer, metoder og personell

Når kravene til reparasjonen er definert, og den foreslåtte løsningen dokumentert som egnet ved prosjektering, bør kvalifisering av reparasjonsmetoden og materialet gjøres.

Avhengig av metoden, skal kvalifikasjonsnivået vurderes og defineres av prosjektering. Som et minimum bør kravene i EN 1504-pakken være oppfylt. Generelt bør alle reparasjonsmetoder som brukes på betongkonstruksjoner være kvalifisert for 1) deres nødvendige ytelseskriterier og 2) den faktiske konstruksjonen de skal utføres på. For metoder hvor kvaliteten på det ferdige produktet, og dets interaksjon med den eksisterende konstruksjonen, er veldig avhengig av dyktigheten til operatøren (tørresprøyting, håndpåført mørtel, fleksibelt epoksybelegg, osv.), bør personalet være opplært og kvalifisert for arbeid på konstruksjonen. Kvalifiseringsordning for tørresprøytet betong i samsvar med vanlig europeisk praksis, presenteres i EN 14487-1 /36/ og "European Specification for Sprayed Concrete" /37/. Kvalifiseringen tar hensyn til den aktuelle operatøren, metoden, reparasjonsorienteringen og utstyret som skal brukes på den faktiske konstruksjonen.

6.2.5 Endrings-, kvalitets og avvikshåndtering

For ingeniørkommunikasjon til utførende på arbeidstedet, og omvendt, bør formelle instruksjoner og forespørsler anvendes. Disse bør formelt registrere forespørsler relatert til ingeniørens prosjekteringskrav, instruksjoner fra ingeniøren, avviksrapporter og kvalitetsrapporter.

Reparasjonsstrategien bør ha egnede mekanismer implementert for å håndtere endringer under prosjektering og utførelse. Dokumentasjonen som er skissert i Tabell 6-2 bør brukes for

ingeniørkommunikasjon til utførende på arbeidsplassen, og omvendt. På den måten registreres eventuelle endringer som er gjort under utførelsen av reparasjonsarbeidet, og det etableres et system for å gi klare og avtalte innspill til de som utfører arbeidet.

Når de som er ansvarlige for å dokumentere samsvar med spesifikasjonen og utvalgte standarder observerer utfordringer som bør adresseres eller registrerer avvik, bør en lignende formell kommunikasjonsmetode brukes, slik som beskrevet i Tabell 6-3.

Tabell 6-2 Håndtering av ingeniørdokumentasjon for endringer

Ingeniørmessig endrings-dokumentasjon	Utsteder	Besvart av	Beskrivelse	Kommentar
Endringsforespørsel	Utførende entreprenør	Prosjekterende ingeniør	Tillater utførende entreprenør å be om innspill, avvik fra, eller avklaring til tegninger	Bør inkluderes i sluttdokumentasjon for prosjektet
Endringsinstruksjon	Prosjekterende ingeniør	Utførende entreprenør (som implementert)	Prosjekterende ingeniør gir ytterligere detaljer eller endringer til tegninger eller andre ingeniørmessige krav	Bør inkluderes i sluttdokumentasjon for prosjektet

Tabell 6-3 Håndtering av kvalitets- og avviksdokumentasjon

Kvalitetsdokument	Utsteder	Besvart av	Beskrivelse	Kommentar
Avviksrapport	Utførende entreprenør	Prosjekterende ingeniør	Ferdig produkt som avviker fra spesifikasjonen eller tegningene, og det ikke finnes etablerte prosedyrer for utbedring. Ber om en ingeniørvurdering om reparasjonen kan aksepteres som den er, eller om den må utbedres eller fjernes	Typisk utstedt av kvalitetsansvarlig person hos utførende, besvart av prosjekterende, og implementering av eventuelle tilleggsaktiviteter signert ut av ansvarlig for utførelse og kvalitet fra entreprenør
Kvalitetsrapport	Prosjekterende ingeniør	Utførende entreprenør (som implementert)	Kortfattet rapport som omhandler elementer som avviker fra prosedyrer, spesifikasjoner eller tegninger og som må håndteres av utførende for aksept	Bør lukkes før ferdigstilling av reparasjoner

6.2.6 Kontroll under utførelse

Kontrollnivået som kreves under utførelse av reparasjoner, bør defineres i eierens installasjonsspesifikke betongreparasjonsspesifikasjon. Et passende kontrollnivå er foreslått i Avsnitt 6.6.

Entreprenøren skal ha eget personell ansvarlig for kvalitetskontroll og som følger opp arbeidene separat til utførende personell. Denne personen skal ha ansvar for å produsere inspeksjons- og testplaner (ITP'er) og utføre inspeksjoner i tråd med kravene i spesifikasjonen og den valgte utførelsesstandard.

6.3 Inspeksjons- og tilstandsovervåkning

6.3.1 Inspeksjon, planlegging og utførelse

I disse avsnittene er det valgt å bruke terminologien fra NS-EN 1504-9 /38/ «Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner -Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av ansvar». Noen viktige definisjoner er vist nedenfor:

- Defekt = uakseptabel kondisjon som kan være innebygget eller være resultat av nedbrytning eller skade
- Vedlikehold = periodisk eller kontinuerlig tiltak for reparasjon og/eller beskyttelse
- Beskyttelse = tiltak som er påtenkt for å hindre eller redusere videreutvikling av defekter i konstruksjonen
- Reparasjon = tiltak som er påtenkt for å utbedre defekter

Størrelsen og omfanget av inspeksjonsprogrammet vil til enhver tid variere fra installasjon til installasjon avhengig av flere variabler inkludert konstruksjonssystem, eksponering av delene, tilgjengelighet, reparasjonshistorikk, alder, osv. Inspeksjoner bør dekke den ytre overflaten av konstruksjonen for å dokumentere tilstand til deler over skvalpesonen, i skvalpesone og under havnivået. Tilgjengelige innvendige sider av vegger i tørre deler av konstruksjonen, spesielt de som har vanntrykk som virker på den ene siden, og de som inneholder hydrokarboner, bør inspiseres.

Skallkonstruksjoner i armert betong kan være høyt utnyttet i et hvilket som helst tverrsnitt, avhengig av konstruksjonssystem, geometri, belastning, mengde armering, osv. Et risikobasert inspeksjonsprogram benyttes vanligvis ikke uten en omfattende studie som tar hensyn til prosjekteringsdokumentasjon, sombygget dokumentasjon, utførelshistorikk, byggesekvenser, osv. Imidlertid kan man gjennom erfaringer oppnådd på norsk sokkel identifisere noen områder som er mer utsatt for mangler enn andre. Mangler på noen områder kan også utgjøre en større risiko for den generelle konstruksjonsintegriteten enn andre. Noen av disse områdene er oppsummert i Tabell 6-4.

Tabell 6-4 Fokus- og interesseområder for inspeksjon av betongkonstruksjoner til havs

Høyrisikoområder for konstruksjonen	Inspeksjonspunkter og -aktiviteter	Dokumentasjon av inspeksjon
- Braketter og forankringssoner for spennkabler - Gjennomføringen (rørgjennomføringer, lukkede midlertidige aksesspunkt) - Innstøpte elementer og -plater - Støpeskjøter - Reparerte områder - Områder med mekaniske skader - Områder med tegn til væskelekkasjer gjennom konstruksjonselementer - Skvalpesonen - Områder på glidestøpte konstruksjoner med betydelige geometriendringer (f.eks. form- og veggtykkelsesendringer i skaft) - Overgang mellom fundament og plattformdekket (fotpunkter)	- Gjennomgang av resultater fra tidligere inspeksjoner (dokumentgjennomgang) - Gjennomgang av vedlikeholdshistorikk (dokumentgjennomgang) - Kartlegging av riss/sprekker og overvåkning (lokasjon, orientering, størrelse, alder, utvikling over tid) - Dokumentasjon av betongnedbrytning (på grunn av kjemiske eller mekaniske mekanismer: fryse-tine sykler, ekspanderende tilslag, karbonatisering, kloridinntrengning, osv., og utvikling over tid) - Dokumentasjon av avskalling på betongen - Dokumentasjon på eksponert armering - Dokumentasjon av eventuell armeringskorrosjon - Dokumentasjon på skader eller korrosjon i forankringssoner av spennkabler - Dokumentasjon på lekkasjer/drypping gjennom vegger, plater eller støpeskjøter - Dokumentasjon av sprukne eller deformerte betongbelegg - Registrering av utgraving av betong	- Logging av defektlokasjoner - Utfylte sjekklistor og beskrivelser av defekter - Bilder - Oversikt over riss/sprekker - Resultater fra destruktiv testing - Resultater fra ikke-destruktiv testing - Resultater fra kjemisk testing - Resultater fra overvåkning av konstruksjonen - Inspeksjonsrapport

Inspeksjonsregimet skal være i stand til å identifisere og spore defekter når de utvikler seg og til det er bestemt at reparasjon er nødvendig. I tillegg skal det være i stand til å tilveiebringe flerårige data som kan brukes til å vurdere hele historien til reparasjoner utført på konstruksjonen.

6.3.2 Krav til inspeksjoner

Krav til inspeksjons- og tilstandsovervåkning for eksisterende betongkonstruksjoner er angitt i Avsnitt 5.3.4 i NORSOK N-006 /8/, som refererer videre til Kapittel 14 i ISO 19903 /9/. For å tilfredsstille ISO 19903 skal det etableres et inspeksjonsprogram som del av prosjekteringsfasen med det overordnede formål om at inspeksjons- og tilstandsovervåkningsaktiviteter skal sikre at konstruksjonen er egnet for den tiltenkte funksjonen gjennom hele levetiden.

Erfaring fra tilstandsvurdering av eksisterende konstruksjoner viser at det er viktig å investere tid i etablering av et godt inspeksjonsprogram. Viktige elementer som bør vektlegges i henhold til Avsnitt 14.4.1 i ISO 19903 /9/:

- Funksjonen til hvert konstruksjonselement
- Eksponering for skade
- Sårbarhet for skade
- Tilgang for inspeksjon

Inspeksjonsprogrammet skal følges periodisk med eventuelle tilleggsinspeksjoner ved spesielle hendelser hvor blant annet konstruksjonen har vært utsatt for en designkondisjon, endring av bruk eller belastning, eller ved en eventuell levetidsforlengelse.

Det henvises til Kapittel 14 i ISO 19903 /9/ for utfyllende krav, samt til Kapittel 8 i DNVGL-ST-C502 /39/ som gir ytterligere veiledning i forbindelse med inspeksjons- og tilstandsovervåkning av betongkonstruksjoner.

6.4 Dokumentasjon og vurdering av defekter

6.4.1 Dokumentasjon av inspeksjoner

Defekter på betongkonstruksjoner kan være vanskelig å kategorisere eller identifisere med referanse til konstruksjonselementer, slik det typisk er gjort for stålkonstruksjoner. Dette skyldes arten av de kontinuerlige skall- og plateelementene som er støpt monolittisk og utgjør en offshore betongkonstruksjon. Inspeksjoner og plassering av mangler blir derfor typisk kartlagt i forhold til plattform- eller elementspesifikke koordinatsystemer, eller ved bruk av tegninger eller 3D-modeller av betongoverflatene. Etablering av et slikt system, som kan være basert på koordinatsystemet som ble brukt under bygging av konstruksjonen, er en forutsetning for å utføre effektive inspeksjoner år etter år og være i stand til å spore utviklingen av defekter over tid.

For å tillate konsekvent og effektiv vurdering av defekter som blir oppdaget under inspeksjoner, er det viktig at funnene dokumenteres på en standardisert og nøyaktig måte, se Kapittel 14.5 i ISO 19903 /9/. Defekter skal dokumenteres etter beliggenhet, ID, dato, type defekt, beskrivelse, størrelse / dybde, bilder, klassifisering, nærhet til andre feil. I tillegg bør de som er ansvarlige for å vurdere inspeksjonsresultatene etablere defektenes historie og deres utvikling over tid.

6.4.2 Vurdering av defekter

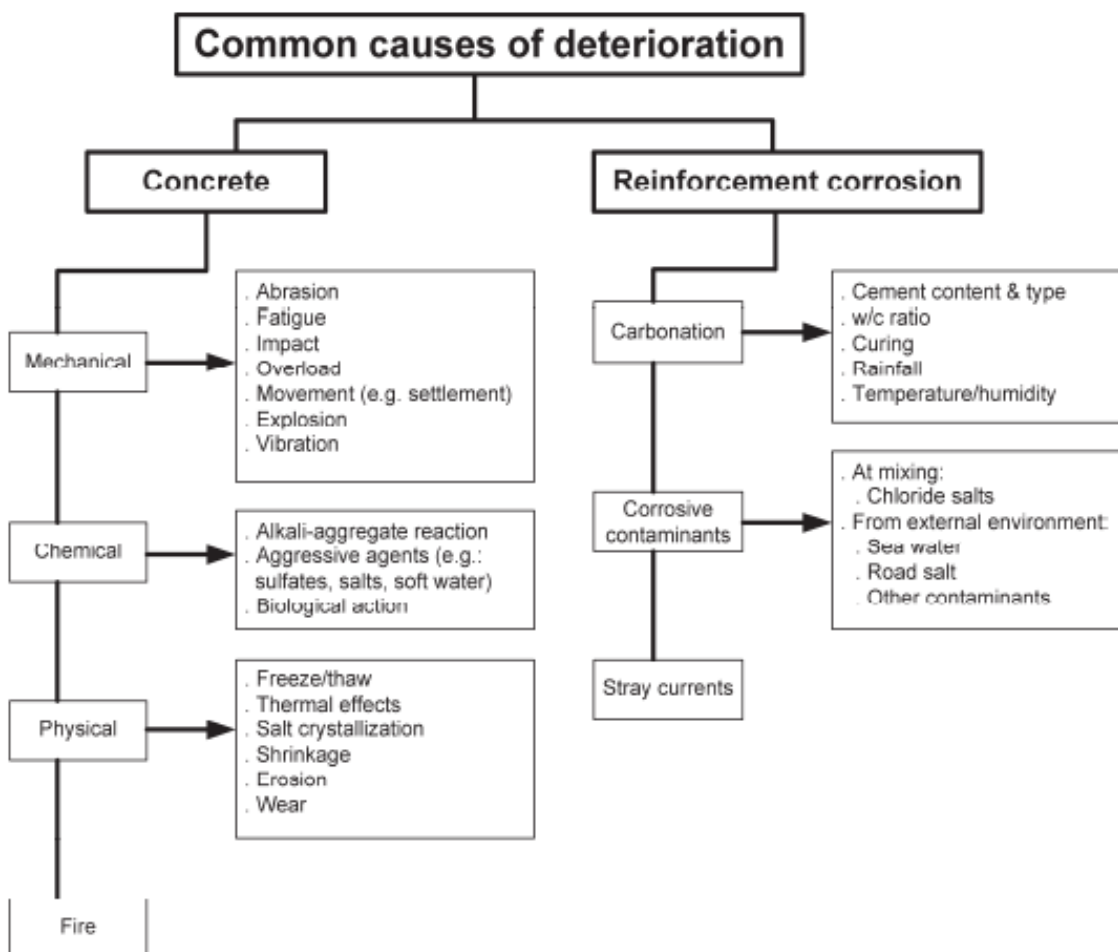
En detaljert tilnærming er presentert i NS-EN 1504-9 /38/ for identifisering og vurdering av defekter, og valg av materialer og metoder. I forbindelse med denne rapporten bør veiledningen gitt i standarden vurderes sammen med den foreslåtte reparasjonsstrategien i Figur 6-1.

I henhold til Avsnitt 4.3 i NS-EN 1504-9 /38/ skal vurderingen av konstruksjonen inkludere men ikke begrenses til følgende:

- Den visuelle tilstanden til den eksisterende betongkonstruksjonen
- Testing for å fastsette tilstanden til betongen og armeringen
- Den originale beregningsmetodikken
- Miljø, inkludert eksponering for forurensning
- Betongkonstruksjonens historikk, inkludert miljøeksponering
- Bruksbetingelser (f.eks. belastning og andre funksjoner)
- Krav til videre bruk

De dokumenterte inspeksjonsdataene, inkludert registreringer av defekter, bør vurderes kontinuerlig av kompetente personer fra vedlikeholds- og ingeniøravdelingen. Hvis ingeniøren finner ut at en nedbrytningsmekanisme, en defekt, en økende mengde av spesifikke defekter eller historikk med gjentatte defekter i konstruksjonen, indikerer at det er nødvendig med en konstruksjonsvurdering, skal dette utføres før reparasjonen blir utført. Denne vurderingsprosessen bør utføres som en del av valg av reparasjonsmetode og materialvalg, se Kapittel 4 i NORSOK N-006 /8/.

En viktig del av vurderingen av inspeksjonsdata er å identifisere årsaken(e) til defekter for å unngå fremtidig degradering. Figur 6-2 er hentet fra NS-EN 1504-9 /38/ og viser vanlige årsaker til feil på betongkonstruksjoner generelt. Å vurdere årsaken og velge en passende metode og materiale kan kreve ytterligere testing eller ingeniørvurdering. Å identifisere årsaken til det defekte området og velge en relevant reparasjonsmetode og -materiale sikrer at den samme nedbrytningsmekanismen ikke fortsetter å inntre.



Figur 6-2 Vanlige årsaker til defekter og nedbrytning av betongkonstruksjoner (Figur 1 i NS-EN 1504-9 /38/)

Omfanget og lokasjon av den defekte betongen skal vurderes av ingeniøren for å bestemme passende reparasjonsmetode og -materiale. Dette medfører at defekter som skyldes en enkelt mekanisme ikke nødvendigvis vil bli utbedret med samme reparasjonsmetode. Defektens potensiale til å påvirke den lokale eller globale konstruksjonsintegriteten vil endre seg med dens omfang. For eksempel kan lokal kloridinntrenging repareres ved utgraving og flikking av et lite område, uten noen detaljert ingeniørvurdering av konstruksjonen eller reparasjonen. I motsatt tilfelle, hvis denne kloridinntrengningen strekker seg over et betydelig overflateareal av et kritisk konstruksjonselement, vil reparasjonen kreve en detaljert ingeniørvurdering, og det kan være behov for å en kreve strukturell forsterkning, bruk av en løsning med betongutstøping, osv.

Av denne grunn er ingeniørens vurdering av defekten en viktig del av styringsstrategien for reparasjonsarbeidet, se Figur 6-1. ACI 562 /35/ gir veiledning om vurdering av konstruksjoner med defekter for å evaluere alvorlighetsgrad og implikasjoner. ACI-publikasjonen er en verdifull ressurs for enhver ingeniørvurdering av en skadet betongkonstruksjon.

Tabell 6-5 presenterer en oversikt over typiske defekter observert på betongkonstruksjoner på norsk sokkel med tilhørende potensielle årsaker, ofte i kombinasjon.

Tabell 6-5 Typiske defekter med tilhørende potensielle årsaker

Defekt	Potensiell årsak(er)¹⁾
Armeringskorrosjon	Liten overdekning, løfteriss, riss/sprekk, støpeskjøter, støpesår, utilstrekkelig betongkvalitet (densitet), porøse soner pga. utilstrekkelig vibrering/utstøping, løsnet reparasjoner, løsnet/skadd epoksy, kjemiske reaksjoner (kloridinntrengning, kloridinfisert betong og karbonatisering)
Avskalling og delaminering (bom)	Armeringskorrosjon, korrosjon pga. eksponert stål fra byggefase (avkapp, bindetråd, osv.) og innstøpningsplater, belastning
Riss og sprekker i betongen	Belastning, støpeskjøter, løfteriss
Ufullstendig fylling av kabelkanaler (oppspenningskabler)	Lange vertikale kabelkanaler hvor trykk og temperatur kan resultere i segregasjon av mørtel i fersk tilstand, materialvalg, horisontale kabelkanaler med utfordrende geometri
Steinreir og porøs betong	Ikke tilstrekkelig utstøping/vibrering
Deformasjoner og strukturelle svakheter	Belastning, støt/slag
Forvitring av betong	Frostsprengning, utmatting av betong pga. vekslende trykkbelastning
Utvasking av betong	Utmattning av betong pga. vekslende trykk- og strekkbelastning (pumpeeffekt i riss)
Skadd overflatebehandling	Støt/slag

¹⁾ Materialvalg, design, utførelse i byggefase (inkludert blanding av betong) og eventuelle tidligere reparasjoner er relevant for de fleste defektene ovenfor

Erfaring fra eksisterende betongkonstruksjoner på norsk sokkel har vist at armeringskorrosjon på grunn av kloridinntrengning er den vanligste nedbrytningsmekanismen. Dette samsvarer med flere studier relatert til rehabilitering av betongkonstruksjoner /40/. Armeringskorrosjon er hyppigst observert på utsiden av skaftene, fra skvalpesonen og oppover, som er meget eksponert for klorider. Ofte sees dette i sammenheng med områder hvor det er utfordringer i forbindelse med glideetøpen (liten overdekning, støpesår på grunn av lange glideetapper, løfteriss som skyldes redusert hastighet på grunn av geometriendringer, osv.).

Det er ikke mange publikasjoner tilgjengelig som bygger på faktiske inspeksjoner eller undersøkelser utført på betonginstallasjoner i Nordsjøen. Følgende rapporter (ikke en fullstendig liste) kan imidlertid være nyttige som referanse for installasjonene i Nordsjøen:

- Repairs of offshore installations /41/

- Review of repairs to offshore structures and pipelines /42/
- Durability of high-strength offshore concrete structures /33/
- Typical Blemishes Visible on the Surface of Concrete Underwater /43/
- The assessment of impact damage caused by dropped objects on concrete offshore structures /44/

6.4.3 Testing på konstruksjonen

Det er en rekke destruktive og ikke-destruktive testmetoder som kan brukes til å bestemme tilstanden og egenskapene til betong og armering, disse er angitt sammen med fordeler og utfordringer ved de forskjellige metodene i Tabell 6-6. Disse er vanligvis brukt til å undersøke betongens tilstand, alvorlighetsgraden eller omfanget av et område med defekter, for å bekrefte utviklingen over tid, eller bestemme på hvilket tidspunkt reparasjonsarbeidet bør starte.

Tabell 6-6 Testmetoder for fastsettelse av egenskaper og tilstand til betong og armering

Testmetode	Fordeler	Ulemper/utfordringer
Overdekningsmåling	Ikke-destruktiv og enkel	- Krever kalibrering for relevant armeringstetthet
Elektrokjemisk potensiale (EKP)	Ikke-destruktiv, enkel og kan oppdage armeringskorrosjon i tidligfase	- Krever personell med spesialkompetanse for feltarbeid og tolkning av resultater
Spennkabelkontroll	Fiberoptikk kan oppdage ufullstendig fylling (hulrom)	- Destruktiv - Krever omfattende planlegging for å treffe kabelkanal og hulrom i kabelkanaler - Fare for å skade spennkabler
Korrosjonsbedømmelse (opphugging)	Blottlagt armering for bedømmelse av korrosjon.	- Destruktiv (bør begrenses i omfang ettersom en god reparasjon vanskelig erstatter opprinnelig betong)
Kjerneprøver (fasthet)	Velegnet for nøyaktig bestemmelse av fasthet	- Krever boring og gjenstøping av hull - Krever forsiktighet med tanke på armerings- og kabelføring - Tidkrevende og kostbart utstyr - Resultat sensitivt til håndtering og klargjøring av prøvestykker (uavhengig laboratorium)
Slaghammer	Rask, billig og enkel metode som kan indikere fasthetsvariasjoner	- Svært unøyaktige verdier - Kun resultat ved betongoverflaten
Måling av kloridinnhold (støvprøver)	Enkel feltmetode som er billig å utføre	- Mindre nøyaktig enn laboratoriemetoder (som er mer tidkrevende og kostbart) - Kun mindre boring og tetting av hull - Krever planlegging for vær og vind
Karbonatiseringsdybde	Enkel	- Krever boring i konstruksjonen

6.5 Valg av reparasjonsløsning

Ved bestemmelse av materialer og metoder for beskyttelse og/eller reparasjon må det være veldefinerte krav til hvilke egenskaper som skal oppnås, både når reparasjonen er lastbærende og for bestandighet.

Reparasjonsløsningen, inkludert reparasjonsmetode og materialer, velges ut fra ingeniørkrav, årsak til defekt, ytelseskrav for fullført reparasjon, erfaring med metode, kompleksitet, osv.

For et bestemt tilfelle, en fullstendig vurdering av de rapporterte defekter danner grunnlaget for hvilken strategi som bør velges for hver enkelt konstruksjon, og hver enkelt defekt. NS-EN 1504-9 /38/ gir følgende opsjoner som skal vurderes for å tilfredsstille fremtidige krav for levetiden til konstruksjonen:

- Gjør ingenting for en gitt periode men overvåke
- Re-analysere konstruksjonskapasiteten, med mulig nedgradering av funksjon
- Hindre eller redusere videre nedbrytning
- Forsterke eller reparere og beskytte hele eller deler av betongkonstruksjonen
- Gjenoppbygge eller erstatte hele eller deler av betongkonstruksjonen
- Rive hele eller deler av betongkonstruksjonen

Begrepet reparasjon, som tidligere er definert som «tiltak som er påtenkt for å utbedre defekter», dekker i denne sammenheng også forsterkning og modifikasjon. I tillegg vil en reparasjon i mange tilfeller også inkludere en beskyttelse for å redusere sannsynligheten for en senere nedbrytning. Det må gjøres en vurdering om det er behov for en midlertidig forsterkning frem til fullført reparasjon.

Entreprenøren og ingeniøren bør arbeide i en iterativ prosess for å finne og dokumentere egnetheten til de foreslåtte reparasjonsløsningene.

Proessen med kvalifisering bør gis tilstrekkelig fokus. Tilstrekkelig tid bør gjøres tilgjengelig før planlagt reparasjonsarbeid for å kvalifisere metode og materiale, samt kvalifisering av nødvendig personell.

I tillegg til storskalatesting for å verifisere metoden, kan det være behov for innledende materialtesting som del av utvikling og bestemmelse av betongresepten, avhengig av metoden, dens modenhet eller valgt reparasjonsmateriale.

Oversikt over personellkompetanse, inkludert et internt opplæringsregister, skal opprettholdes av reparasjonsentreprenøren for alle operatører som utfører reparasjons- eller beskyttelsesarbeid på konstruksjonen.

6.6 Kvalitetskontroll og utførelse av reparasjonsarbeid

Betonginstallasjonene på norsk sokkel ble prosjektert i henhold til den nå utgåtte norske standarden for prosjektering av betongkonstruksjoner NS 3473 /45/ (i tillegg til krav og veiledninger fra Oljedirektoratet). Prosjekteringen på det tidspunktet var i henhold til pålitelighetsklasse 3, som tilsvarte Utvidet inspeksjonsklasse med hensyn til inspeksjon og kontroll av utførelsen.

Inspeksjons- og kontrollregimet for reparasjonsarbeider skal følge kravene i standarden som brukes i prosjekteringen. For reparasjoner som er utført i dag er det hensiktsmessig å bruke utførelsesklasse 3 i samsvar med den europeiske standarden for utførelse av betongarbeider NS-EN 13670 /46/. Dette er i hovedsak en lignende tilnærming til utvidet inspeksjonsklasse i NS 3473 og gjeldende DNV GL-standard for offshore betongkonstruksjoner /39/.



For å oppfylle kravene i utførelsesklasse 3, bør det opprettes en inspeksjons- og testplan (ITP) for å beskrive inspeksjoner og tester knyttet til hver delaktivitet i det totale arbeidsomfanget. ITP'en skal ha arbeidsomfanget oppdelt i delaktiviteter med inspeksjoner, tester, ansvarlig part og hvilken dokumentasjon som skal produseres for hver enkelt delaktivitet. I tillegg bør inspeksjonsnivået for alle relevante parter beskrives ved bruk av et passende system, dvs. Gjennomgang, Bevitne, Overvåke, Holdepunkt, osv.

De som utfører arbeidet, bør produsere prosedyrer som beskriver de tekniske aspektene ved oppgaven. Disse bør være basert på relevant prosjekterfaring, relevante standarder og lærepunkter fra materialutvelgelse og storskalatesting.

6.7 Reparasjonsmaterialer

6.7.1 Generelt

Disse underavsnittene oppsummerer de ofte brukte reparasjonsmaterialtyper, og gir informasjon for materialvalg uten å sammenligne spesifikke produkter.

Alt materiale må være kvalifisert for relevant applikasjon, utstyr, miljø og metode hvis det ikke er dokumentasjon fra tidligere tester og anvendelser som kan brukes, se Avsnitt 6.2.4 for nærmere diskusjon om kvalifiseringsaktiviteter

Typiske egenskaper som må tas inn i vurderingen av materialer med tanke på utførelse, bestandighet og konstruksjonsintegritet:

- Brukstilid og pumpbarhet (i forhold til relevant utstyr)
- Kompatibilitet med grunnmateriale (elastisitetsmodul, temperaturutvidelseskoeffisient, permeabilitet)
- Egnethet for miljø (temperaturbegrensninger, relativ fuktighet, eksponering)
- Volumstabilitet (svinnegenskaper)
- Langtidsegenskaper (miljø- og vekslende belastning)
- Vedheft til grunnmateriale
- Fasthet og fasthetsutvikling (trykk og strekk)

For beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner kan materialene som vurderes her brytes ned til to grupper, sementbaserte- og epoksymaterialer. Disse behandles separat i de følgende underavsnittene.

6.7.2 Sementbaserte produkter

Det er mange tilgjengelige mørtelprodukter som egner seg til reparasjon av betongkonstruksjoner. NS-EN 1504-3 /47/ spesifiserer ytelseskrav (inkludert bestandighet) for lastbærende reparasjonsprodukter for rekonstruksjon og forsterkning av betongkonstruksjoner. Mørtelprodukter for injisering i kabelkanaler er ikke dekket av denne standarden.

For å sikre jevn og best mulig kvalitet bør produktene være forblandet og ferdigpakket slik at de kun krever tilsetning av vann for blanding offshore. Forpakning må være egnet og robust for forholdene på feltet.

Sementbaserte materialer som vanligvis er spesifisert:

- Betong
- Selvkomprimerende betong
- Håndpåført mørtel
- Tørrsprøytet mørtelblanding
- Våtsprøyting av betongblanding
- Mørtel – forblandet/forpakket
- Mørtel – blandet på arbeidsstedet, bestående av vann og standard portlandsement (OPC)

For veldig store reparasjonsarbeider kan betong spesifiseres. For å sikre kontroll over betongens egenskaper, blir materialsammensetningen (betongresepten) utviklet gjennom en prosjekteringsprosess hvor egenskapene som kreves for påføring og av konstruksjonen er dokumentert.

Erfaringer med mørtelprodukter tas inn under gjennomgang av reparasjonsmetodene.

6.7.3 Epoxy

Det er mange tilgjengelige produkter som egner seg til injeksjon av betongkonstruksjoner. NS-EN 1504-5 /48/ spesifiserer ytelseskrav (inkludert bestandighet) for injeksjonsprodukter for betongkonstruksjoner.

Epoksymaterialer som vanligvis er spesifisert er:

- Fleksibel epoksy
- Injeksjonsepoksy
- Injisert epoksy for forankring av ankere.

Epoksy for injisering av betongkonstruksjoner er ofte opplevd å være meget sensitiv til temperatur- og fuktighetsforhold under blanding. På samme måte kan påføringen av fleksibel epoksy påvirkes av temperatur og fuktighet, så vel som forberedelse og tilstanden til underlaget. Flere erfaringer med disse produktene tas inn under gjennomgang av reparasjonsmetodene.

6.8 Reparasjonsmetoder

6.8.1 Generelt

Oversikt:

I de følgende avsnittene er det presentert en oversikt over reparasjonsmetoder benyttet på betongkonstruksjoner på norsk sokkel. Merk at denne oversikten ikke dekker alle reparasjonsmetoder, men dekker de vanligste metodene. Hver enkelt reparasjonsmetode er vurdert i forhold til:

- Modenhet
- Kvalitet
- Pålitelighet
- Langtidsegenskaper
- Andre sikkerhetsmessige forhold

Oversikten er basert på erfaringer som er delt av operatører og riggeiere som opererer på norsk sokkel, i tillegg til tilgjengelig litteratur samt egne prosjekterfaringer.

Utførelse:

Generelt for alle reparasjonsmetodene er at de krever høyt fokus på selve utførelsen og kompetansen til personell som utfører arbeidet. Reparasjonsprosedyrer (inkludert utstyr) bør derfor verifiseres ved hjelp av fullskala tester som representerer relevante forhold som størrelse, temperatur, osv. Tester bør samtidig benyttes til kvalifisering av personell som skal utføre jobben. Selv om det er dokumentasjon tilgjengelig fra tidligere bruk kan det være elementer som endrer vesentlig hvordan resultatet blir. Grunnen til at det gis ekstra fokus mot utførelse for reparasjonsmetodene for betongkonstruksjoner, kontra stålkonstruksjoner, er at det er vanskeligere å etterprøve kvalitet, utførelse og hva som er bygget i ettertid.

Forarbeid:

De ulike reparasjonsmetodene stiller krav til forberedelse av grunnmaterialet/underlaget for å oppnå en god reparasjon. Kapittel 7 i NS-EN 1504-10 /49/ stiller krav til forberedende arbeid for betong og armering gjeldende for flere reparasjonsmetoder. Dette dekker alt fra fjerning av kloridinfisert betong til fjerning av betong på armering for å oppnå god heft.

Kvalitetskontroll:

Reparasjonsarbeidet skal utføres i henhold til en kvalitetsplan forberedt for prosjektet, se NS-EN 1504-10 /49/ som er dekkende for flere reparasjonsmetoder.

Dokumentasjon:

Det stilles krav til at reparasjonsarbeid, og tilhørende vurderinger, skal dokumenteres og at dette oppbevares av eier/operatør, se Kapittel 14.5 i ISO 19903 /9/.

Langtidsegenskaper:

Tidligere studier på reparasjoner har konkludert at det er begrenset med publisert informasjon som uavhengig sammenligner langtidsegenskaper for ulike reparasjonsmetoder under like forhold. Se HSE Phase 1 Report /40/. Spesifikke erfaringer knyttet til hver enkelt reparasjonsmetode er håndtert i respektive delkapitler.

6.8.2 Tørresprøyting

Tørresprøyting er en meget utbredt metode for mekanisk reparasjon av betongkonstruksjoner på norsk sokkel. Metoden er ofte benyttet hvor det er defekter som avskalling og delaminering (bom) i betongen på grunn av armeringskorrosjon. Ettersom dette ofte forekommer i områder hvor det allerede har vært defekter fra bygging (støpesår, støpeskjøter, osv.) er dette en reparasjonsmetode som dekker en vesentlig andel av defekter som erfares på norsk sokkel. Dette er en effektiv metode for å reparere større områder med omfattende skader, typisk på skaftene hvor det er utfordringer knyttet til tilkomst.

Kvaliteten på sluttproduktet med denne metoden er spesielt avhengig av utførelse og personell ettersom dette utføres ved at tørrmørtel og vann blandes kontinuerlig ved enden av slangen, og ved kontakt med reparasjonsoverflaten. Operatøren har kontroll over mengden vann som tilsettes blandingen til enhver tid. Dette gjør det essensielt å kvalifisere metode, utstyr og personell for gjeldende applikasjon. Det refereres til Avsnitt 7.3 i NS-EN 14487-1 /36/ for krav til testing før selve utførelsen, som blant annet spesifiserer at samme personell som gjør testen skal utføre jobben. De følgende elementene bør vurderes for planlegging av oppsett for test og utførelse:

- Fjerning av korrosjonsprodukter, løs/kloridinfisert betong og preparering av sårkanter
- Rengjøring, overflatebehandling (rubbing) og for-vanning (ikke fritt vann)
- Tildekking for å unngå søl og sprøyt på nærliggende områder klargjort for reparasjon
- Temperatur- og fuktighetsforhold (under påføring og tidligfase herding, vurdere behov for oppvarming, osv.)
- Plassering av pumpeenhet (innvirkning på trykk i slangen), pumpetrykk og innstilling nåleventil
- Avstand fra munnstykket til grunnmaterialet
- Orientering på munnstykket (normalt mot grunnmaterialet)
- Orientering på grunnmaterialet (vertikal flate eller under-opp flate)
- Tykkelse for reparasjon (behov for lagdeling for å unngå sig, spesielt for under-opp påføring)
- Ufullstendig fylling bak innstøpningsgod og armeringsjern (skygging)
- Vanning eller påføring av herdemembran (mørtelen er ekstremt vannfattig)
- Etterbehandling (påføring av epoksy)

Trykkfastheten til reparasjonsmaterialet skal ifølge Avsnitt 4.4 i NS-EN 14487-1 /36/ klassifiseres i henhold til NS-EN 206 /50/, hvor trykkfastheten skal bestemmes på kjerneprøver etter NS-EN 12504-1 /51/. Erfaringer med fasthetsdokumentasjon for tørresprøyting har vist at det kan være stor spredning i resultatene. I tillegg, avhengig av spesifisert fasthetskrav for reparasjonen, er det en utfordring å oppnå tilsvarende fasthet som grunnmaterialet (høyfast betong) dersom det skal være en fullverdig lastbærende reparasjon. Fasthetsdokumentasjonen for reparasjonsmaterialet kan utføres på dagpaneler som støpes tilsvarende og i parallell med reparasjonen, slik at man unngår destruktiv testing på selve konstruksjonen, se Kapittel 5 i NS-EN 14488-1 /52/.

Heftfasthet mellom reparasjons- og grunnmaterialet er med denne metoden erfart, avhengig av spesifiserte krav til heftverdier, å gi gode resultater dersom forberedende arbeid og utførelsen er gjort tilfredsstillende. En metode for å måle heftfastheten ved hjelp av avtrekksprøving er beskrevet i

NS-EN 1542 /53/. Avhengig av applikasjon kan det være utfordrende å få gode avtrekksprøver på feltet (sentrisk belastning, egnet lim for rondeller, etc.).

Overflatebehandlingsteknikker som vanligvis brukes på betonginstallasjoner på norsk sokkel, er vannmeisler eller mekaniske meisler. Flere undersøkelser og publikasjoner har tidligere dokumentert at vannmeisling generelt gir mindre mikroriss i overflaten enn mekanisk meisling, og er derfor å foretrekke med hensyn til å oppnå god heft med grunnmaterialet, se ICRI's retningslinjer for overflatebehandling /54/ og HSE /34/. Vanmeisling er derfor et foretrukket alternativ for å oppnå god vedheft med grunnmaterialet samt bestandighet. I tillegg gir vannmeisling en ujevn overflate som er gunstig for vedheft mot grunnmaterialet. Ved vannmeisling av større områder er det positive erfaringer med bruk av robot. I tilfeller hvor det er frilagt armering eller innstøpningsgods må det gjøres tilpasninger for å unngå skyggeeffekter.

I mange tilfeller er tørrsprøyting den valgte reparasjonsmetoden, delvis på grunn av den positive historiske erfaringen, og dens operasjonelle fordeler fremfor andre metoder. En viktig betraktning, hvis reparasjonen er stor, eller viser seg å ha en strukturell funksjon, er at selve betongkonstruksjonen ofte er utsatt for permanente trykkrefter på grunn av blant annet spennkabler eller egenvekt. Dette gjør at en ny lokal reparasjon ikke vil bidra med en lastbærende effekt for egenlast og oppspenningskraft uten at det gjøres ytterligere tiltak.

Påføring av mørtel ved hjelp av våtsprøyting under lavt trykk er ikke omhandlet spesifikt i denne rapporten. Denne metoden er tidligere benyttet for utbedring av defekter på betongkonstruksjoner, både under byggefasen og ved reparasjonsarbeid i levetiden, men er ikke så utbredt for betongkonstruksjoner på norsk sokkel i dag. Dette kan skyldes delvis at det er en mer tidkrevende og kostbar prosess i forhold til tørrsprøyting.

6.8.3 Håndmørtling

Håndmørtling er en reparasjonsmetode som i antall reparasjoner er meget utbredt. For reparasjoner på eksisterende betongkonstruksjoner er denne metoden primært benyttet på mindre og mer enkeltstående defekter.

Kvaliteten på reparasjonen ved denne metoden er veldig avhengig av håndverkeren som utfører jobben, spesielt for under-opp flater. Det er en fin balansegang mellom tilført vannmengde for å oppnå god konsistens og tilstrekkelig fasthet. Fordelen med denne metoden, sammenlignet med tørrsprøyting, er at den ferdigpakkede tørrblandingen blandes med en bestemt mengde vann før påføring, og dermed tillater bedre kontroll over det påførte materialets egenskaper og kvalitet. Imidlertid kan komprimering av materialet gjennom reparasjonstykkelsen være utfordrende, og metoden bør derfor være underlagt nøye kontroll under utførelse.

Ved håndmørtling benyttes ofte håndmeisling for å fjerne løs, kloridinfisert betong, osv. for å klargjøre for mørtling. Dette kan skyldes at defekter som er reparert med denne metoden ofte er ganske små i størrelse og spredt utover et større område. Bruk av håndmeisel øker risikoen for å få mikroriss i grunnmaterialet som kan bidra til en reduksjon i heftfasthet mellom mørtel og grunnmaterialet, se ICRI's retningslinjer for overflatebehandling /54/ og HSE /34/.

Under bygging av betongplattformene på norsk sokkel var dette hovedreparasjonsmetode på grønn betong under glidestøpene, utført fra arbeidsplattform hengende under glideformen. En del av defektene som observeres i dag er rapportert til å stamme fra nedbrytning av tidligere reparasjoner. Dette kan være indikasjon på at langtidsegenskapene på disse ikke har vært optimale. Samtidig kan dette være

relatert til utført forarbeid, utførelse, metode og materiale for disse reparasjonene, og ikke være direkte relatert til håndmørtling generelt som metode.

Dersom mørtelen skal være lastbærende og erstatte eksisterende betong er fasthetskrav ofte erfart å være en utfordring basert på at det stort sett er benyttet høyfast betong i prosjektene på norsk sokkel. Dette kan i tilfelle resultere i at det i tillegg til en ren reparasjon må planlegges for en tilleggsforsterkning.

6.8.4 Betongstøping

Betongstøp med forskaling benyttes gjerne ved omfattende reparasjoner hvor det er dype defekter, gjerne flere tilgrensede, med betydelig mengde eksponert armering. Defekter som er bestemt av ingeniørene å kreve denne typen støp vil sannsynligvis kreve en detaljert beregningsvurdering. Disse kan følge ulike prinsipper, blant annet de som er beskrevet i Tabell 6-7.

Tabell 6-7 Prinsipper for reparasjon med betongstøping

Type	Reparasjonsprinsipp	Beskrivelse
A	Betongreparasjon uten installasjon av tilleggsarmering	Benyttes typisk ved rene betongreparasjoner som skyldes større defekter i betongen
B	Betongreparasjon med installasjon av tilleggsarmering	Benyttes gjerne ved betydelig armeringskorrosjon, gjerne i kombinasjon med større defekter i betongen, eventuelt at det dokumenteres at en ren betongreparasjon ikke er tilstrekkelig for å dokumentere nødvendig kapasitet
C	Betongreparasjon med installasjon av tilleggsarmering i kombinasjon med oppspenning	Benyttes dersom det er behov for å sikre at betongreparasjonen primært er utsatt for trykkrefter; blant annet for å tilfredsstille tetthetskrav, bedre utmattingsegenskaper, eller for å sikre at reparasjonen er med å avlaste omkringliggende betong som står utsatt for trykkrefter på grunn av oppspenning eller egenvekt

For alle tre prinsipper indikert ovenfor benyttes gjerne en meget flytende og pumpbar betong eller mørtel.

Historisk har betongkonstruksjoner i Nordsjøen også sett bruken av «totrinns» betong, hvor det grove tilslaget blir installert i formene og senere pumpes bindemiddelet og det fine tilslaget, som danner en mørtel, inn for å fylle hulrommene for å danne en monolittisk reparasjon. Nyere trender i reparasjonsindustrien favoriserer forblandede mikrosementbetonger, ofte med grovt tilslag, for støpte reparasjoner med forskaling.

På grunn av vanlig størrelse vil denne typen reparasjon typisk stille store krav til kompatibilitet med omkringliggende konstruksjon; forbehandling og ruhet i støpeskjøter, elastisitetsmodul, temperaturegenskaper, osv.

Som nevnt tidligere, øker bruk av håndmeisel for overflatebehandling risikoen for mikroriss i grunnmaterialet som kan bidra til en reduksjon i heftfasthet mellom mørtel og grunnmaterialet, se ICRI's retningslinjer for overflatebehandling /54/ og HSE /34/.

Erfaringer fra betongkonstruksjoner som har vært i operasjon har vist utfordringer knyttet til integritet av støpeskjøter mellom reparasjon og omkringliggende konstruksjon, i form av lekkasjer eller rustutslag. Støpeskjøter bør gis fokus på å oppnå en god ruhet og det bør vurderes behov for epoksyinjisering ved hjelp av forhåndsinstallerte tetningsslanger.

I tilfeller hvor det blir støpt på nytt for å reparere bør Prinsipp 3 og Metode 3.2 i NS-EN 1504-3 /47/ følges.

Støpning under vann må vurderes som en spesialreparasjon og er ikke omhandlet spesifikt i dette avsnittet. Det er flere metoder som er benyttet med gode erfaringer for dette, blant annet «Rescon-metoden», i tillegg har det skjedd en utvikling på antiutvaskingsegenskapene hos moderne betongrecepter. Det henvises også til Norsk Betongforenings publikasjon nr. 5 /55/ for utstøpning i vann.

6.8.5 Epoksyinjisering

Injeksjonsepoksy er et allsidig og historisk mye brukt reparasjonsmateriale på installasjonene på norsk sokkel. I denne sammenheng er epoksyinjisering hvor flytende epoksy er designet for å bli injisert i sprekker og hulrom, inkludert veldig tynne plane hulrom. Dette avsnittet omhandler ikke mer viskøse epoksyblandinger brukt som injeksjonsslim for forankring av armeringsjern i grunnmaterialet.

Injeksjonsepoksymetoden brukes for en rekke defekter, men grunnleggende forutsetninger forblir de samme. En veldig flytende to-komponent epoksy påføres gjennom slanger koblet til injeksjonspakninger, eller rør, som plasseres i betong for å fylle hulrom som vil være for innsnevret til at et sementholdig materiale gi god fylling. Utstyr og deler som brukes til injeksjon kan installeres før støpning av betongen, som for støpeskjøter mellom en reparasjon og den opprinnelige strukturen, eller bores i herdet betong, som er tilfellet for injeksjon av sprekker, osv.

Metoden brukes vanligvis ikke med vilje for å fylle tomrom i store volum på grunn av utfordringer med varmeutvikling under herding, krypegenskaper, samt begrensninger i materialets åpentid. Noen eksempler på metodene og bruken av epoksy er presentert i Tabell 6-8.

Tabell 6-8 Reparasjonsmetoder med epoksyinjisering

Type	Reparasjonsmetode	Beskrivelse
A	Injisering i støpeskjøter	- Før støping av en betongreparasjon kan det installeres injeksjonsslanger mot overflaten på grunnmaterialet. Etter innledende herding injiseres epoksyen under lavt trykk for å fylle eventuelle gap mellom de nye og gamle konstruksjonsdelene. - Ved defekter i støpeskjøter eller støpeskjøter som lekker fra den opprinnelige betongstøpen, kan injeksjonspakninger installeres i forborede hull som krysser normalt på støpeskjøten. Etter at overflaten av betongen er tettet med hurtigherdende mørtel, blir epoksyen injisert sekvensielt gjennom pakningene til defektene lokalt til støpeskjøten er fylt.
B	Injisering av riss og sprekker	- Den vanligste bruken av injeksjonsepoksy. - Tilsvarende som injeksjonsreparasjoner på land bortsett fra at injisering av riss og sprekker under skvalpesonen kan utføres mot det opptredende hydrostatiske trykket. - Tilsvarende metode som beskrevet ovenfor for injisering av støpeskjøter i eksisterende konstruksjoner.
C	Injisering av hulrom i vegger	- Injeksjon av epoksy i små hulrom ved bruk av pakninger, vanligvis forårsaket av byggefeil. - Ved forberedelse for reparasjoner med betongstøping mot en under-opp flate, eller spesiell ru overflate, kan slanger for epoksyinjisering



		forhåndsinnstaleres for å fylle eventuelle mulige gap som kan oppstå på grunn av fanget luft under støping.
D	Injisering av delaminering i vegger	- Ved delaminering av betong, for eksempel på grunn av internt væsketrykk, kan injeksjonsepoksy brukes. Disse reparasjonstypene kan bruke et betydelig volum av materialer på grunn av den potensielle utstrekningen av reparasjonsarbeidene.
E	Injisering av hulrom i spennkabelkanaler med ufullstendig fylling eller lekkasjer	- Det må klargjøres for innløp og utløp for injiseringen basert på kartlegging av hulrom. - Ved lekkasjer kan spennkabelkanalene injiseres fra den tørre enden ved forankringen for å stanse vanngjennomstrømming til konstruksjonen /42/.

Begrensninger i reparasjonsmetoder med epoksyinjisering inkluderer:

- Ved injisering av delaminering i vegger, eller i riss og sprekker som er gjennomgående over veggtykkelsen, kan det være en utfordring å få tilgang til alle påvirkende veggflater for å tette sprekken i overflaten før injeksjonen kan starte. Hvis tetting på overflaten ikke er tilstrekkelig, kan det føre til tap av epoksymateriale og at effektiviteten av operasjonen er kompromittert
- Begrenset åpentid for noen av materialene på markedet kan begrense bruken til kun hulrom med små volum
- Påvirkning av temperatur kan ha en betydelig innvirkning på materialets åpentid
- Påvirkning av relativ fuktighet kan ha en betydelig innvirkning på sluttproduktets egenskaper
- Injisering ved for høye pumpetrykk kan risikere å forårsake defekter i betongen på grunn av hydraulisk trykk.

6.8.6 Overflatebeskyttelse – epoksybelegg

Overflatebeskyttelse i form av epoksybelegg er mye brukt på betongkonstruksjoner på norsk sokkel, primært for å bedre bestandighet for betongen i områder med lav overdekning, beskyttelse ved støpeskjøter og gjennomføringer, samt beskyttelse på fullførte reparasjoner. De typiske anvendelsene samt erfaring med epoksy som overflatebeskyttelse er skissert i Tabell 6-9.

Tabell 6-9 Anvendelse av epoksy som overflatebeskyttelse

Type	Anvendelse	Beskrivelse og erfaring
A	Heldekkende membran påført under byggefasen	- Epoksybelegg påføres på skaft (grønn betong) under selve glidestøpen, fra nedre hengedekk. Dette er en effektiv metode for påføring med tanke på tilkomst og effektivitet. - Det er positive erfaringer med dette i forhold til kloridinntrengning og bestandighet, når utførelse og materialvalg er tilfredsstillende. Ett eksempel på dette er Statfjord A, se blant annet Durability of High-Strength Offshore Concrete Structures /33/.
B	Heldekkende membran påført under operasjon	- På grunn av positive erfaringer med heldekkende membran påført under bygging og utfordringer med blant annet kloridinntrengning, er det tilfeller hvor det i ettertid er påført en heldekkende membran (et eksempel er Troll A etter 10 til 15 år i drift). Dette er en mer arbeidskrevende prosess med tanke på tilkomst. - Erfaringene med dette er varierende, hvor det er observert avflassing og lommer med vann bak membranen, samt utfordringer knyttet til kloridnivå i eksisterende betong.

- | | | |
|---|---------------------------|---|
| C | Lokal påføring av membran | - Brukes gjerne på mindre områder for å kompensere for lav overdekning, beskytte innstøpningsgods, ved støpeskjøter, ved gjennomføringer i vegger, eller som membran på utførte reparasjoner. |
|---|---------------------------|---|
-

Overflatebeskyttelse med eposkybelegg er sensitivt til utførelse, materialvalg samt temperatur og relativ fuktighet. Det bør derfor utføres tilstrekkelig testing for metode- og materialvalg på en representativ konstruksjon med representative forhold. I tillegg er rengjøring og forberedende arbeid på overflaten av grunnmaterialet essensielt for å oppnå en god vedheft. Påføring av epoksybelegg krever ofte spesialistentreprenører med god kjennskap til både material og utførelse.

6.8.7 Mørtelinjisering

Flytende sement- og epoksybaserte mørtler, både med og uten tilslag, har vært ofte brukt tidligere på betongkonstruksjoner på norsk sokkel. Denne metoden har typisk blitt benyttet når volum av hulrom som skal fylles er for stort i forhold til typisk injeksjonsepoksy (Avsnitt 6.8.5), og for lite, eller for trangt, for hva man typisk vil støpe med betong (Avsnitt 6.8.4).

Det henvises til Avsnitt 6.8.4 og 6.8.5 som dekker mye for denne reparasjonsmetoden.

7 REFERANSER

- /1/ NORSOK N-005. In-service integrity management of structures and marine systems.
- /2/ Forskrift om utforming og utrusting av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten (innretningsforskriften). Fastsatt av Petroleumstilsynet 29. april 2010
- /3/ NORSOK N-001. Integrity of offshore structures.
- /4/ NORSOK N-003. Actions and action effects.
- /5/ Veiledning til innretningsforskriften. <https://www.ptil.no/regelverk/alle-forskrifter/?forskrift=634>
- /6/ DNVGL-OS-A101. Safety principles and arrangements.
- /7/ NORSOK N-004. Design of steel structures.
- /8/ NORSOK N-006. Assessment of structural integrity for existing offshore load-bearing structures.
- /9/ ISO 19903 Petroleum and natural gas industries – Fixed concrete offshore structures
- /10/ DNVGL-RP-C203. Fatigue design of offshore steel structures.
- /11/ I. Lotsberg, A. Fjeldstad, M. R. Helsem og N. Oma. Fatigue life of welded doubling plates. Proceedings of OMAE2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. Rio de Janeiro, Brazil, 2012. OMAE2012 – 83683.
- /12/ D. Echols, K. Hitchman og J. Ransom. Residual compressive stress as a crack arrest method in maritime structures
- /13/ Repairing and Preserving Bridge and Steel Structure Using an Innovative Crack Arrest Repair System. Presentation for 'Fatigue 2014 11th International Fatigue Congress'. Len Reid.
- /14/ International Association of Classification Societies (IACS) Shipbuilding and Repair Quality Standard 47, 1996 (Rev. 1, 1999) Part B.
- /15/ ISO 19902. Petroleum and natural gas industries – Fixed steel offshore structures.
- /16/ DNV-RP-C201. Buckling strength of plated structures.
- /17/ Offshore structures – a new challenge, XIV National Conference on Structural Engineering, Acapulco 2004
- /18/ Anon, 2004, Assessment of Repair Techniques for Ageing or Damaged Structures, Project #502, DOC REF C357R001 Rev 1 NOV 2004, MSL Engineering Limited
- /19/ Weitzenböck J., 2014, (Cold) Repair Methods for FPSO hull, FPSO Life Cycle Management of Hull Structures JIP, DNVGL Report No.: 2015-3196
- /20/ DNVGL-RP-C301, Recommended Practices for Design, Fabrication, Operation and Qualification of Bonded Repair of Steel Structures
- /21/ Weitzenböck J., McGeorge, D., 2005, BONDSHIP Project Guidelines, DNV Report No. 2004-0134 and DNV Report No. 2004-0193, DNV

- /22/ Weitzenböck, J.R. & McGeorge, D., 2005. On the need for durability testing of bonded joints for marine structures. Seminar on Fatigue and Durability of Adhesive Joints.
- /23/ Weitzenböck, J.R. & McGeorge, D., 2004. The designer's dilemma: How to deal with the uncertainty about the long-term performance of adhesively bonded joints. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 218(4)
- /24/ Grabovac I. & Whittaker, D, 2009, Application of bonded composites in the repair of ships structures – A 15-year service experience. Composites: Part A, 40, 1381–1398
- /25/ Meniconi, L.C.M. et al., 2010. Structural repair at a production platform by means of a composite material patch. In Offshore Technology Conference. Houston, TX: Offshore Technology Conference, p. 11.
- /26/ McGeorge, D. et al., 2009. Repair of floating offshore units using bonded fibre composite materials. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40(9), pp.1364–1380.
- /27/ ABS Guidance Notes on Composite Repairs of Steel Structures and Piping, ABS
- /28/ DNVGL-CG-0154, Steel Sandwich Panel Construction, DNV GL.
- /29/ DNVGL-CP-0097, Core materials for use in sandwich plate system (SPS) or similar, DNV GL. Available at: <https://rules.dnvgl.com/ServiceDocuments/dnvgl/#!/home>
- /30/ Anon, 2019, Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure, LR
- /31/ Anon, 2019, SPS Project Portfolio, SPS Technology. Available at https://www.spstechnology.com/download/Project_Portfolio_v2019.pdf
- /32/ Bech, S., Carlsen, J.E.: Durability of High-Strength Offshore Concrete Structures. Proceedings - 5th. International Symposium on Utilisation of High Strength/High Performance Concrete. Sandefjord, Norway, June 1999.
- /33/ Fossan, Tor Inge: Statoil – Driftserfaringer med betongplattformer, PTIL Konstruksjonsdag 30 August 2017.
- /34/ Health & Safety Executive (HSE), Research Report 186, Field studies on the effectiveness of concrete repairs, Phase 4 Report: Analysis of the effectiveness of concrete repairs and project findings, 2003.
- /35/ ACI 562, Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary.
- /36/ NS-EN 14487-1, Sprayed concrete, Part 1: Definitions, specification and conformity.
- /37/ European Federation of National Associations Representing for Concrete (EFNARC), European Specification for Sprayed Concrete, 1996
- /38/ NSEN 1504-9, Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity, Part 9: General principles for the use of products and systems.
- /39/ DNVGL-ST-C502, Offshore concrete structures

- 
- /40/ Health & Safety Executive (HSE), Research Report 175, Field studies on the effectiveness of concrete repairs, Phase 1 Report: Desk study and literature review, 2003.
 - /41/ Offshore Technology Report OTO 96 057 - Repairs of offshore installations.
 - /42/ MTD Publication 94/102 - Review of repairs to offshore structures and pipelines
 - /43/ Offshore Technology Report OTH 87 261 – Typical Blemishes Visible on the Surface of Concrete Underwater.
 - /44/ Offshore Technology Report OTH 87 240 – The assessment of impact damage caused by dropped objects on concrete offshore structures.
 - /45/ NS3473, Concrete structures – Design and detailing rules
 - /46/ EN 13670, Execution of concrete structures.
 - /47/ NS-EN 1504-3, Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity, Part 3: Structural and non-structural repair.
 - /48/ NSEN 1504-5, Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity, Part 5: Concrete injection.
 - /49/ NS-EN 1504-10, Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity, Part 10: Site application of products and systems and quality control of the works.
 - /50/ NS-EN 206, Concrete – Specification, performance, production and conformity.
 - /51/ NS-EN 12504-1, Testing concrete in structures, Part 1: Cored specimens – Taking, examining and testing in compression.
 - /52/ NS-EN 14488-1, Testing of sprayed concrete, Part 1: Sampling fresh and hardened concrete.
 - /53/ NS-EN 1542, Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Test methods, Measurement of bond strength by pull-off.
 - /54/ ICRI Guideline No. 310.2R–2013, Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings, Polymer Overlays, and Concrete Repair
 - /55/ Norsk Betongforenings publikasjon nr. 5, Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann.





Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer.

Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.