



equinor

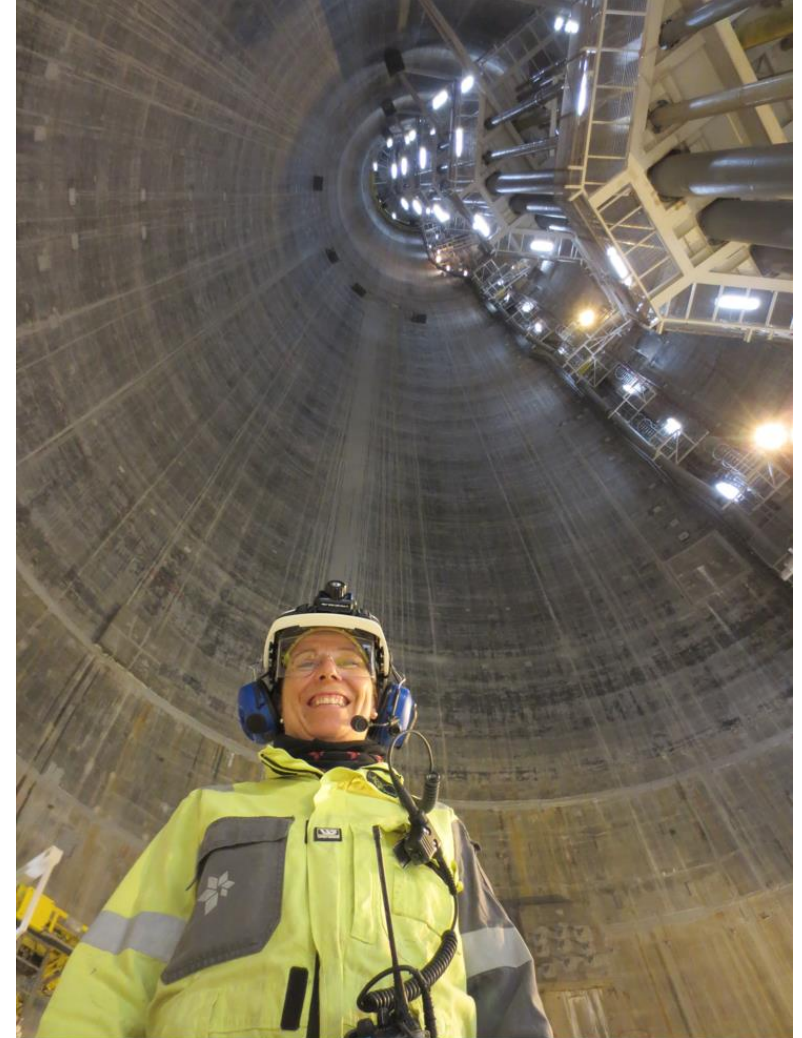
Erfaringer med betongkonstruksjoner offshore Konstruksjonsdagen, september 2024, Havtil

Ann Kristin Kjøs, Marinteknikk, Equinor



Litt om meg selv, og Equinor sitt betongteam

- Ann Kristin Kjøs, Principal Engineer, teamleder for betonggruppen i MTS Equinor
 - 2005-2012: Multiconsult (Bergen)
 - 2012-d.d: Equinor, Marinteknikk, betong
- Inspeksjon og rehabilitering av offshore betong
 - Inspeksjonsmetodikk
 - Rehabiliteringsmetodikk
- Equinor sitt betongteam
 - Konsernansvar på betong
 - 8 personer, med bred kompetanse (økt fra 1 person i 100% stilling i 2019 til 8 personer i 2024 i 100% stillinger!)



Disposisjon

- Oppgaver vi jobber med
- Equinors portefølje på betong offshore
- Historikk
- Nedbrytingsmekanismer
- Inspeksjonsmetoder
- Rehabilitering
- Etablering av SRS modeller
- Forskningsprosjekter
- Oppsummering og erfaringer



Typiske oppgaver

- Integritetsoppgaver
- Inspeksjoner av betong
- Rehabilitering av betong
- Utvikling og forskningsprosjekter (både internt og eksternt)
- Oppfølging av analyser (globalanalyser/SRS, vedlikehold av SRS, lokal analyser, etc)
- Betong design
- REN prosjekter (Renewables)
- Betongteknologi
- Vurderinger og analyser i forbindelse med levetidsforlengelser
- Konstruksjonsoptimalisering



Tjenester

- Konsernansvar for betong
- Integritetsstyring av offshore betongkonstruksjoner
- Støtte til drift på betongspørsmål
- Støtte til betongprosjekter (olje/gass og fornybar)
- Teknologigap
- Forskning og utvikling



Nøkkelpetanse

- Material teknologi
- Konstruksjonsprosedyrer
- Inngående kunnskap om standarder for design og konstruksjoner
- Inspeksjon og rehabiliteringsteknikk
- Laboratorie testing/kvalitetskontroll
- Kunnskap om avanserte beregningsprosedyrer (FE analyser og postprossesering)
- Multidiplin prosjektledelse

Equinors offshore betongkonstruksjoner

Facility	On field	Type	Design life	Extended life	Water depth
Statfjord A	1977	GBS	30	50	145
Statfjord B	1981	GBS	30	50	145
Statfjord C	1984	GBS	30	50	145
Gullfaks A	1986	GBS	30	44	135
Gullfaks B	1987	GBS	30	50	142
Oseberg A	1988	GBS	50		109
Gullfaks C	1989	GBS	30	41	216
Sleipner A	1993	GBS	50		82
Troll A	1995	GBS	70		303
Troll B	1995	Semi	40		325
Heidrun	1995	TLP	50		350

1 wind farm

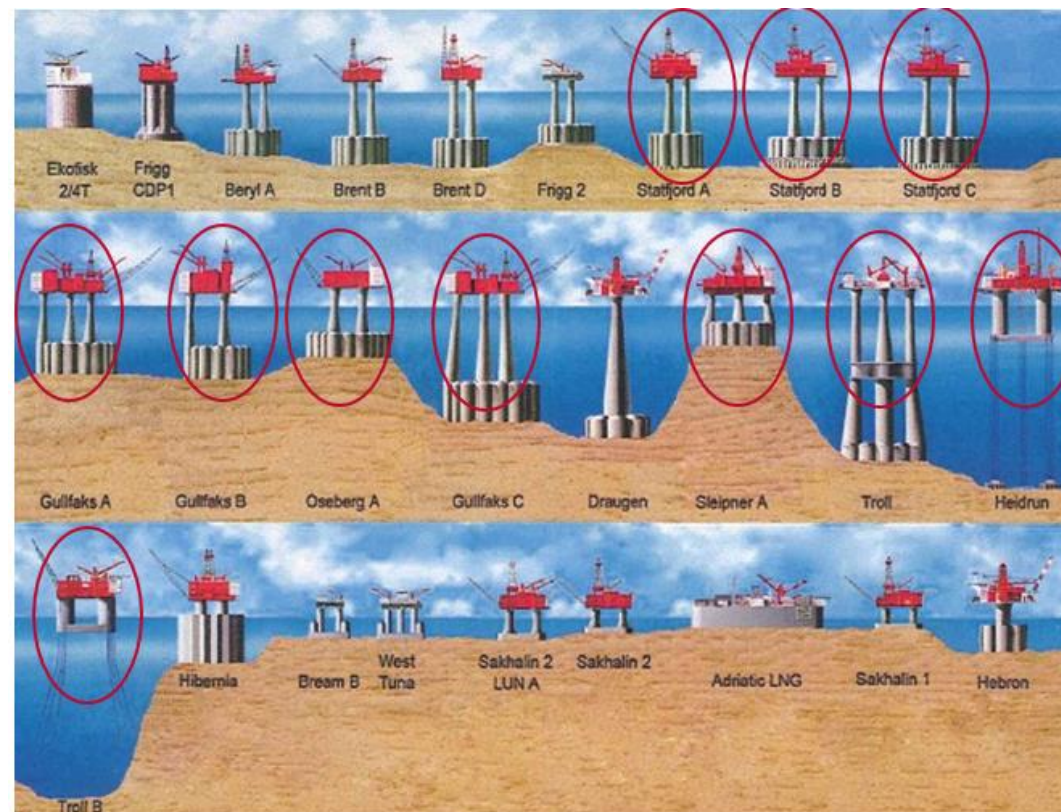
- Hywind Tampen (2022)



Noen nøkkeldata for Equinors betongplattformer

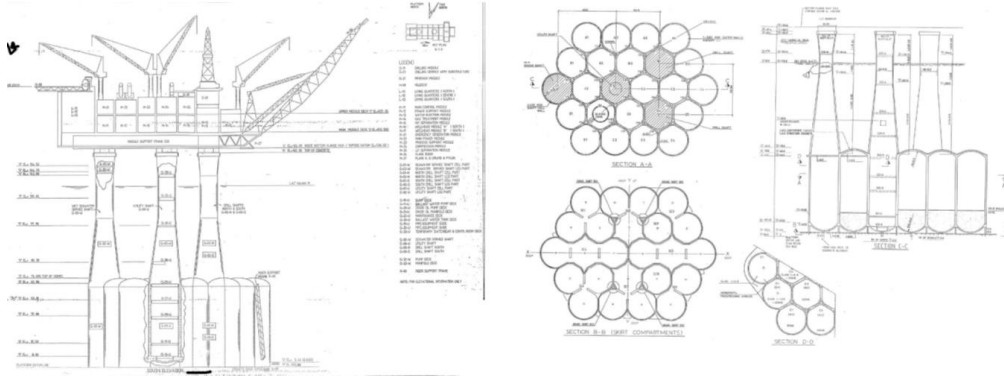
Platform	Installed	Type	Design Life	Design	Concr. Vol	WD	Skirt depth
Statfjord A	1977	GBS	30	Kværner	87000	145	3
Statfjord B	1981	GBS	30	Kværner	140000	145	4,5
Statfjord C	1984	GBS	30	Kværner	130000	145	4,5
Gullfaks A	1986	GBS	30	Kværner	125000	135	3,8
Gullfaks B	1987	GBS	30	Kværner	101000	141	1,3
Oseberg A	1988	GBS	30	Kværner	116000	109	1,4
Gullfaks C	1989	GBS	30	Kværner	244000	216	22
Sleipner A	1993	GBS	30	Kværner	75000	82	1
Heidrun	1995	TLP	50	Kværner	60000	345	NA
Troll A	1995	GBS	70	Kværner	220000	302	36
Troll B	1995	Semi		Doris	43000	325	NA

Equinor er operatør av 11 av 12 betongplattformer på norsk sokkel



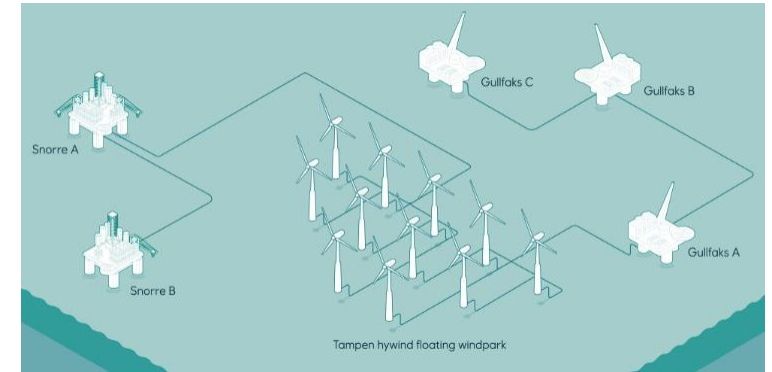
Offshore betonginstallasjoner

GBS

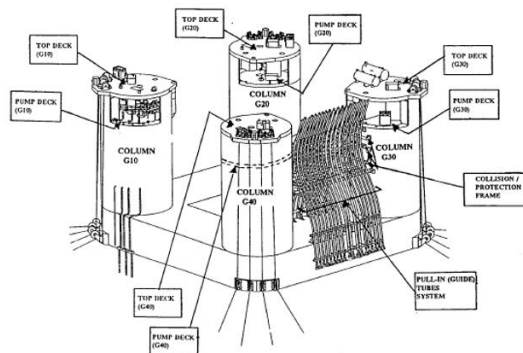


- 9 GBS (Gravity Base Structure)
- 1 TLP (tension leg platform/strekkstagplattform)
- 1 Semisub (flyter)
- 1 vindpark (Hywind Tampen)

Vindpark

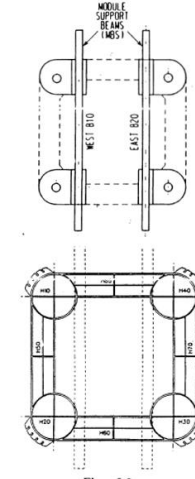


Semi (flyter) Troll B



4 søyler
4 pontonger

TLP (Heidrun)



4 søyler
4 pontonger
2 bjelker

Fra 80-tallet til nå

Omfattende fullskalamålinger for å bekrefte designberegninger

Hovedfokus på stabiliteten og bærekapasiteten på fundamenteringen (grunnforhold/geotekniske forhold samt høyere ordens bølgeeffekt)

Det var godt samsvar mellom de målte og "spådde" verdiene

Resultater fra fullskala malinger ble presentert på ulike internasjonale konferanser.

80-tallet

OTC 1994:

«Det er bemerkelsesverdig hvor godt betongkonstruksjonene har utstått det røffe nordsjømiljøet. Ingen signifikante tegn til materielle degraderinger, armeringskorrosjon, eller andre material relative defekter er observert»

Slike utsagn satte scenen for de neste 10-20 årene
"betongkonstruksjoner er mer eller mindre vedlikeholdsfrie"

Midten av 90-tallet

Det begynner å rapporteres om brune flekker på betongbeina

Det rapporteres om en og annen betongavskalling

GVI er fortsatt den mest brukte inspeksjonsmetoden

Har vi tilstrekkelig oversikt? Er tilstanden så bra som vi tror?

I 2010 åra

Ny inspeksjonsmetodikk

NVI med klatring (TT)

-Bombanking

-RCT prøver (kloridprøver)

NVI avdekker et behov for rehabilitering

Kompetansekrav etablert

Levetidsforlengelse

Fra 2015 og videre



Ny inspeksjonsmetodikk

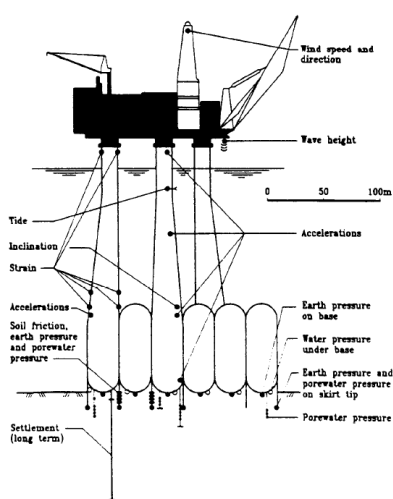
Drone

Radar scan/ultral lyd

Materialtesting

Forskningsprosjekter

Nå



OTC 7462

The North Sea Concrete Platforms: 20 Years of E Svein Fjeld, Norwegian Contractors A/S; M.E. Hall, Phillips Petroleum Mobil R&D Corp.; Dominique Michel, Doris Engineering; Lasse Robt Norge A/S; Aune Vegge, Norwegian Petroleum Directorate; and T.A.

Copyright 1994, Offshore Technology Conference

This paper was presented at the 26th Annual OTC in Houston, Texas, U.S.A., 2-6 May 1994.

This paper was selected for presentation by the OTC Program Committee following review of information contained as presented, have not been reviewed by the Offshore Technology Conference and are subject to correction by the any position of the Offshore Technology Conference or its officers. Permission to copy is restricted to an abstract of no should contain conspicuous acknowledgment of where and by whom the paper is presented.

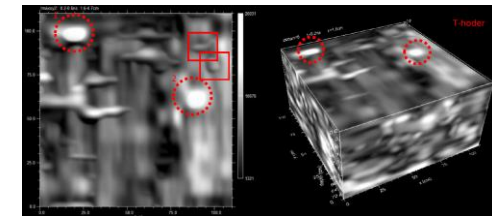
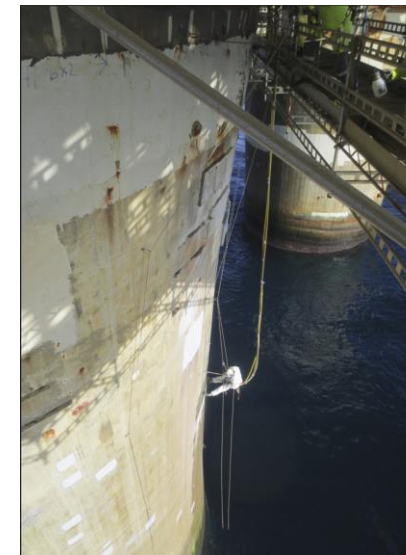
ABSTRACT

The experiences from in-service inspection of the offshore concrete platforms installed in the North Sea up to 1989 are summarized.

It is remarkable how well the concrete structures have performed in the hostile North Sea environment. No significant signs of material deterioration, corrosion of reinforcement or other material related deficiencies have been observed. In the submerged zone the reinforcement appears well protected against corrosion by the cathodic protection.

INTRODI

The follow the 22 G including 1989 are term dur. The acci about 30 years. The bas concern



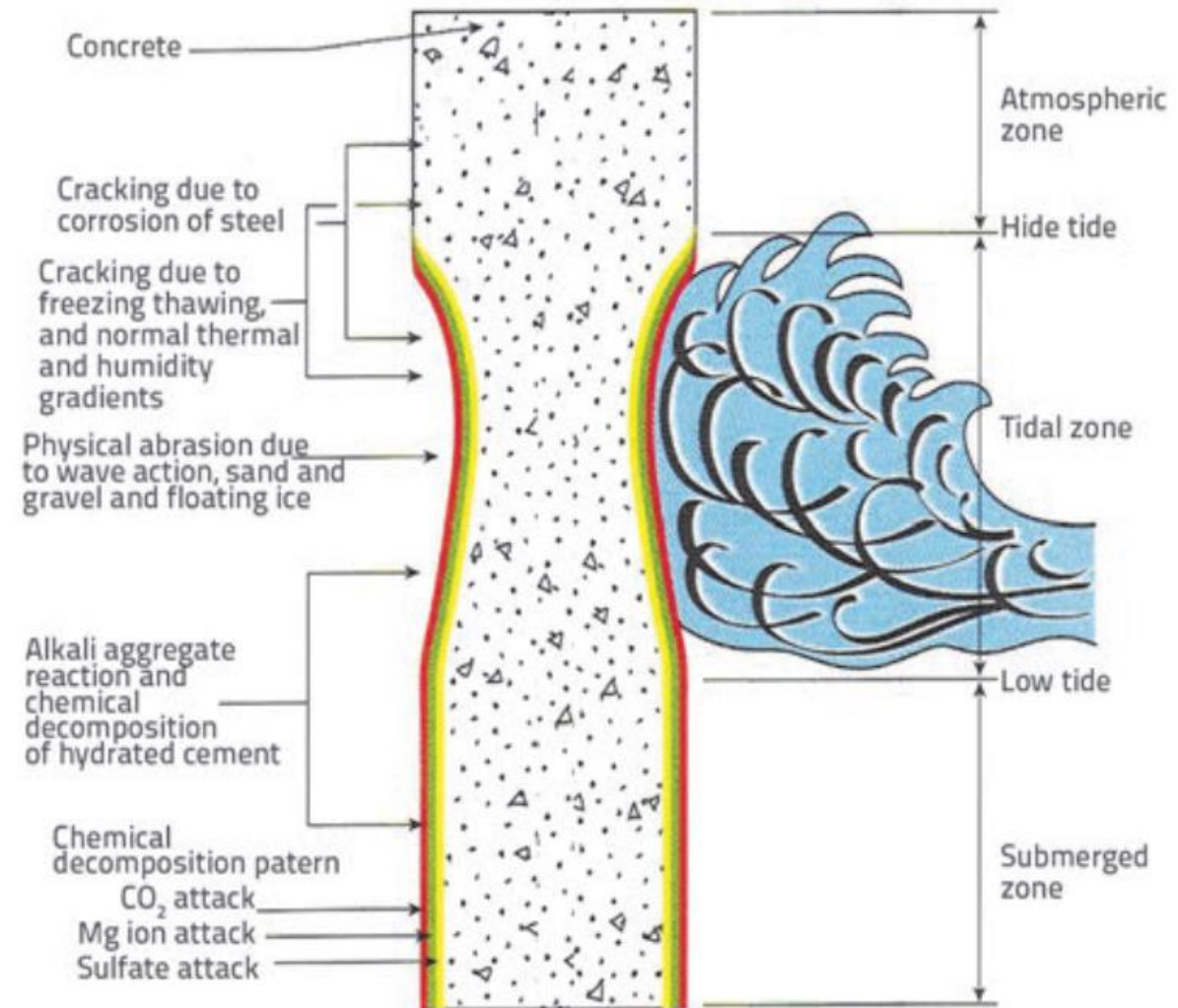
Nedbrytningsmekanismer på armert betong

- **Armeringskorrosjon**

- Kloridinitiert korrosjon
- Karbonatisering

- **Betongnedbrytning**

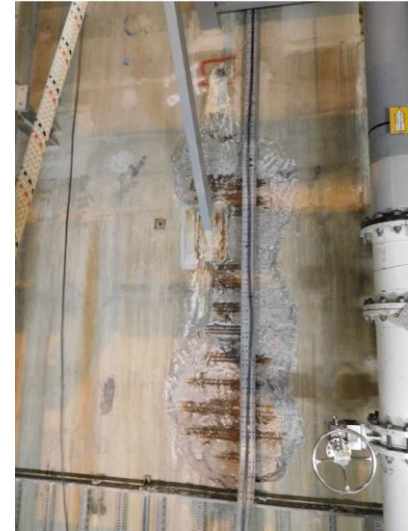
- Frost
- Temperaturpåkjenninger
- Mekanisk nedbrytning
- Kjemisk nedbrytning – utlutning
- Syreangrep
- Sulfat- og nitratangrep
- Alkalireaksjoner



D. Bjegović, M. Serdar, A. Baričević, M. J. Rukavina, Condition assesment of concrete pier after three decades of exposure to sea water

Kloridkorrosjon/armeringskorrosjon

- Hvilke tiltak kan benyttes?
 - Bedre betong – øke motstand mot kloridinntrenging
 - Øke overdekning
 - Bedre kontroll med utførelsen
 - Rustfri armering?
 - Katodisk forebygging
 - **Overflatebehandling**
 - → Epoksy

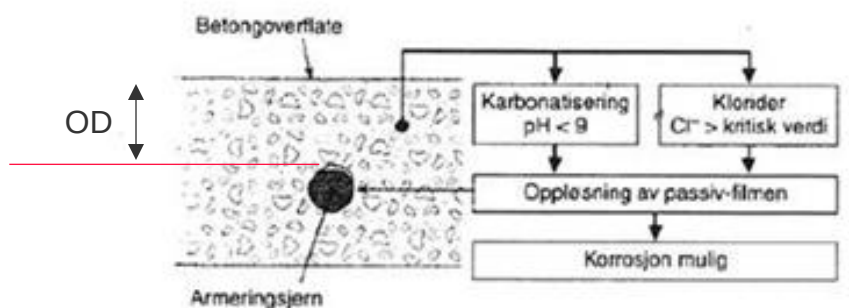


Epoksy er et tykkfilms belegg, typisk tykkelse 2-3 mm

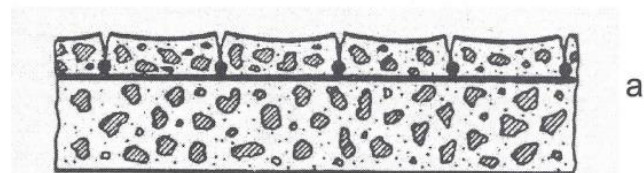
CFS er diffusjonstett og et elastisk belegg

Rissoverbyggende egenskaper

Overdekningens betydning for levetid/bestandighet



Figur 8-2 Korrosjon på armering etter oppløsning av oksidfilm /18/



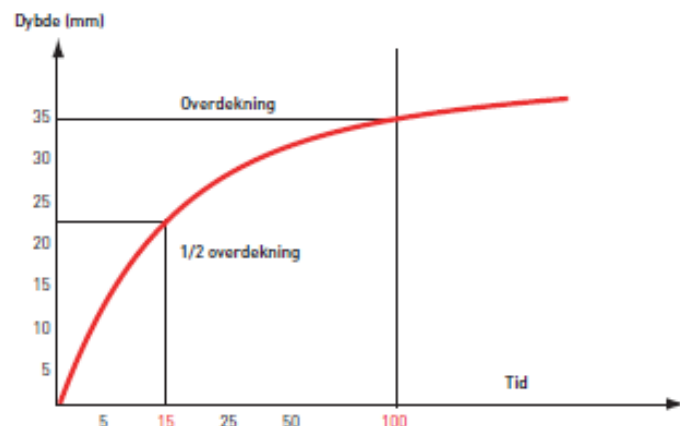
Følgende skala kan benyttes for fastsettelse av skadegrad:

Skadegrad 1	Riss/sprekk < 0,3 mm
Skadegrad 2	Riss/sprekk 0,3 – 1,0 mm
Skadegrad 3	Riss/sprekk 1,0 – 2,0 mm
Skadegrad 4	Riss/sprekk > 2,0 mm

Tabell 6: Skala for skadegrad 1-4

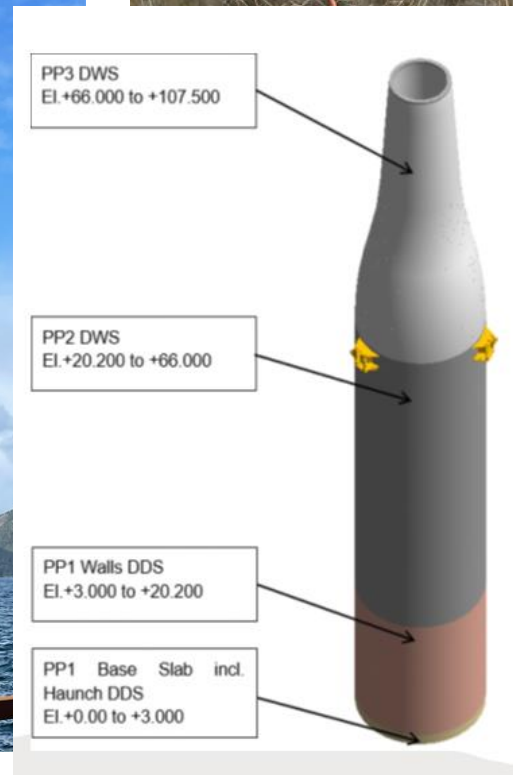
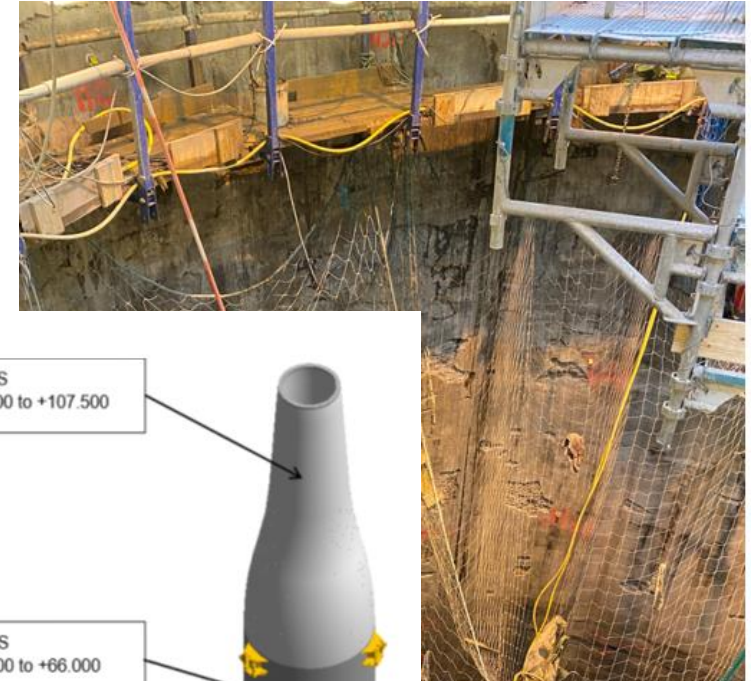
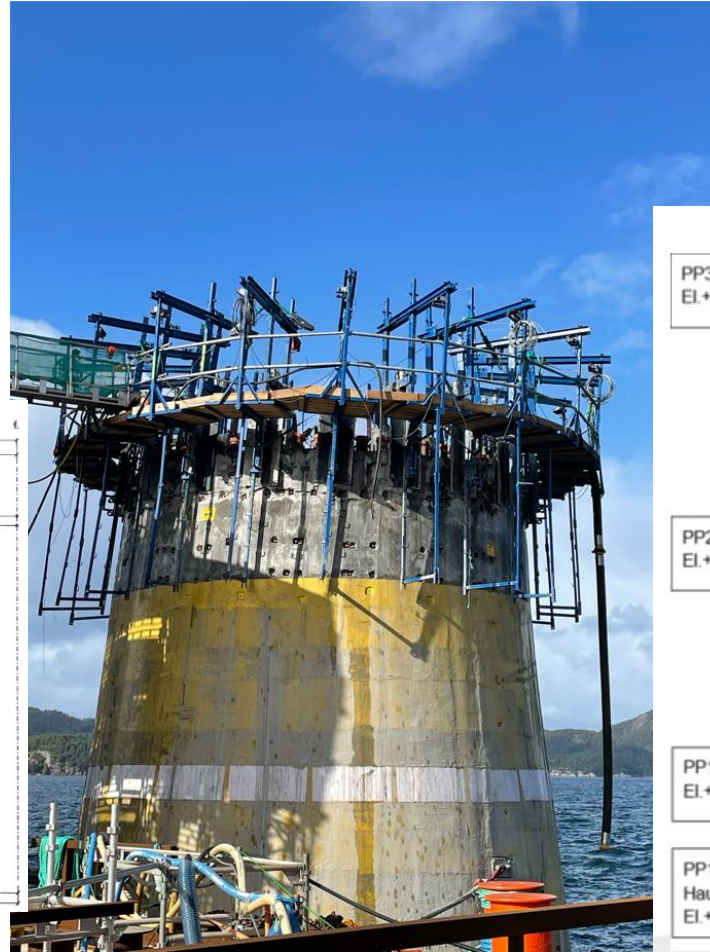
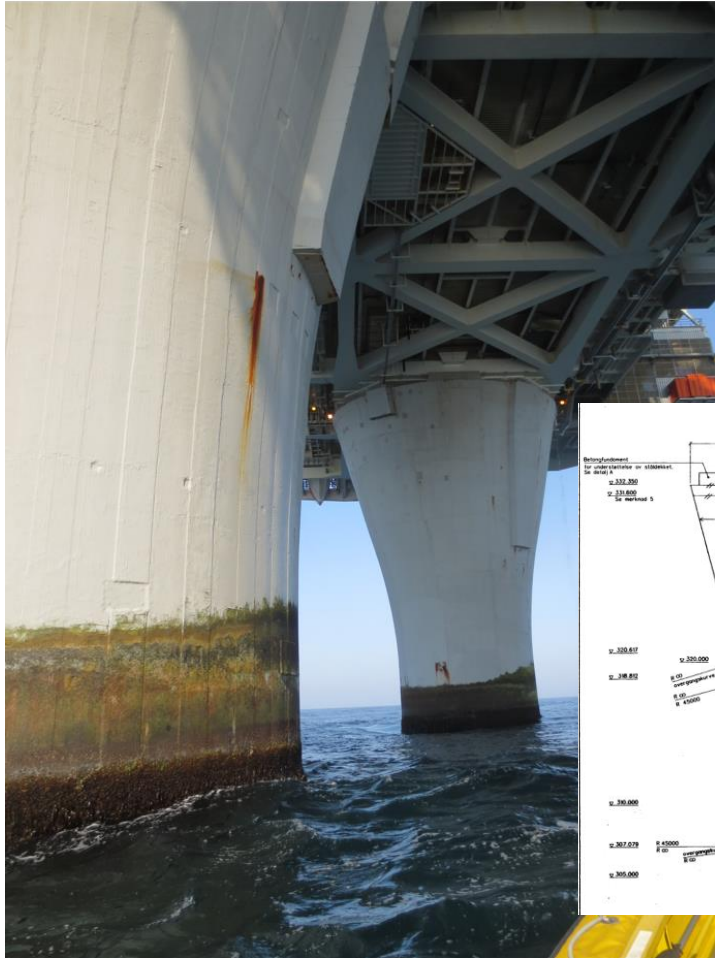


Få kontroll på faktisk overdekning, og hvor kloridfronten er!!



Figur 4: Overdekningens betydning for initieringstiden.

Udfordringer med glidestøb, for eksempel geometriendring



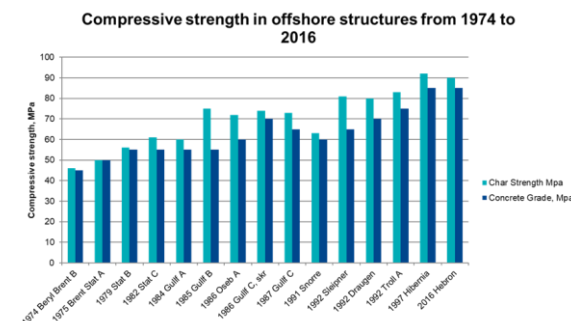
I et bestandighetsmessig perspektiv.... Ingeniørbragd?.. Hvorfor fortsatte vi ikke??

- Desto høyere trykkfasthet en betong har, desto tettere er den, og dermed også mer bestandig
- En C75 betong vil være mye mer bestandig enn feks en C50 betong, pga tetthet (tilsetningsstoff som silika og flygeaske)
- Likevel er det de eldste installasjonene til Equinor, de med lavest fasthet, som har færrest funn, i tillegg er det disse installasjoner som har hatt minst behov for betongrehabilitering.

→ Hvorfor?

- Statfjord plattformene ble påført epoksy under bygging/glidestøpen. Dette har fungert utrolig bra med hensyn på bestandighet. Det er nesten ikke avdekket noe armeringskorrosjon, på konstruksjoner som er eksponert for det røffe nordsjømiljøet.
- Det er tatt flere prøver fra områder med intakt epoksy, det er ingen kloridinntrenging i disse områdene

→ Hvorfor fortsatte vi ikke med dette? Det ville ha spart oss for mye arbeid og vedlikeholdskostnader



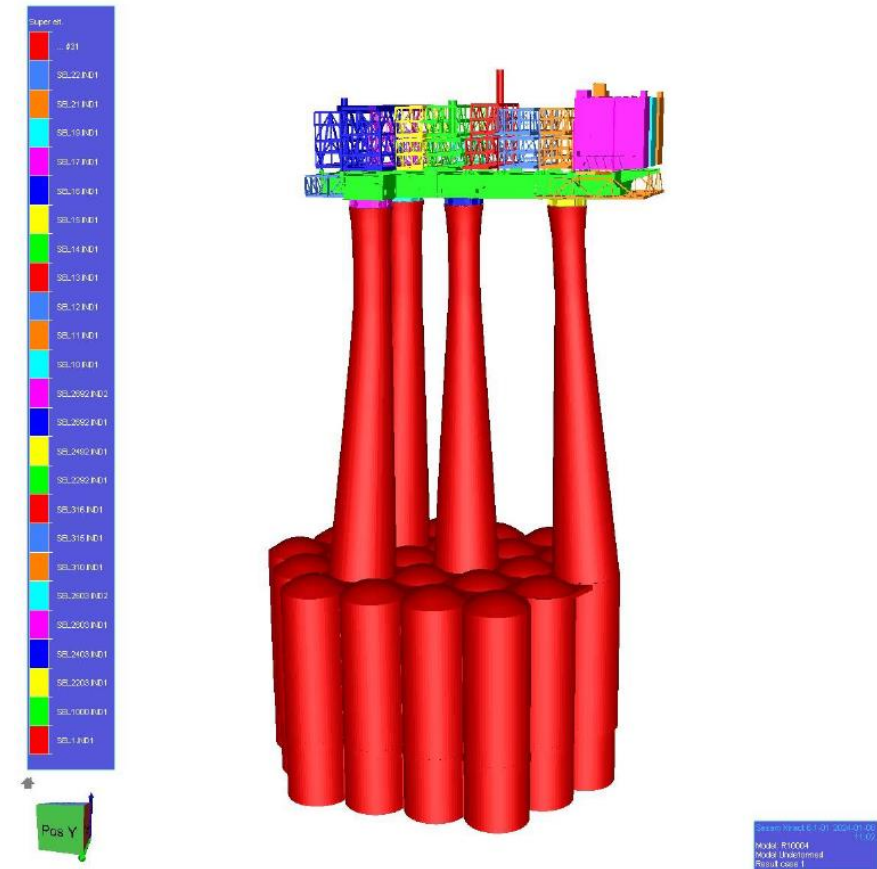
Epoksy påført fra skvalpesonen og opp



Installasjon	Installasjonsår	design levetid	Vanndyp	Design strenght	Aggregat	Cement	w/(c+s)	Silika fume%
Statfjord A	1977	30	145	C50	NDA	CEM 1	0,38	-
Statfjord B	1981	30	145	C55				-
Statfjord C	1984	30	145	C50/C55/C60				-
Gullfaks A	1986	30	135	C60	NDA	CEM 1	0,38	-
Gullfaks B	1987	30	145	C55				-
Oseberg A	1988	30	109	C60	NDA	CEM 1	0,37	-
Gullfaks C	1989	30	216	C65	NDA	CEM 1	0,38	2
Sleipner A	1993	50	82	C65				2
Heidrun	1995	50	350	LC60	NDA/LWA	CEM 1	0,39	5
Troll A	1995	70	303	C75/C80				7
Troll B	1995	30	325	C75	NDA/LWA	CEM 1	0,35	7

Etablering av SRS modeller for betongunderstell

- Krav iht. Styringsforskriften §16 og Equinor TR1055
- «Verktøy» for å kontrollere strukturell kapasitet for fremtidige hendelser og andre ikke-planlagte hendelser
- SRS modellene inkluderer;
 - Oppdatert topside (vekt)
 - Siste miljølaster
 - Kontroll iht. endinger i regelverk
- Evt. funn (skader, armeringskorrosjon osv) kan hensyntas i analysene
- Kontroll v/levetidsforlengelse
- Resultater kan benyttes som underlag for oppdatering av inspeksjonsplaner
- Ivaretagelse av strukturell integritet



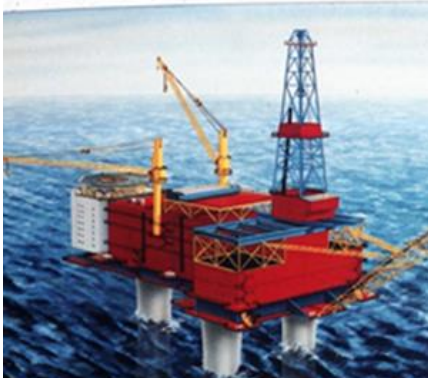
Isometrisk modell av Gullfaks C GBS (inkl. Topside)

Inspeksjonsmetoder

Inspeksjonsmetoder for tilstandsovervåking over og under vann:

Generell visuell inspeksjon (**GVI**)

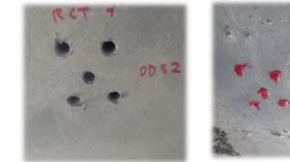
Nær visuell inspeksjon (**NVI**)



Norsk oljemuseum

Over vann

- Boreprøver for å måle kloridinntrengning og eventuelt betongstyrke.
- Kloridinntrengning to metoder benyttes:
 - Kjerneprøver (målinger i laboratorie)
 - RCT (støvprøver for å måle kloridpenetrasjon)
- Delamineringstesting av overflater (BOM).
- Overdekningsmåling (tykkelse på betonglag over armering).



Equinors data basis

Under vann

- ROV inspeksjon
- Potensialmåling for katodisk beskyttelse.
- Instrumentert overvåking, spesielt for områder som ikke er tilgjengelige for inspeksjon. I tillegg brukes instrumentert overvåking for datainnsamling av platform adferd og miljødata

Som basis tas det utgangspunkt i SVV håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer

Typiske funn, over vann

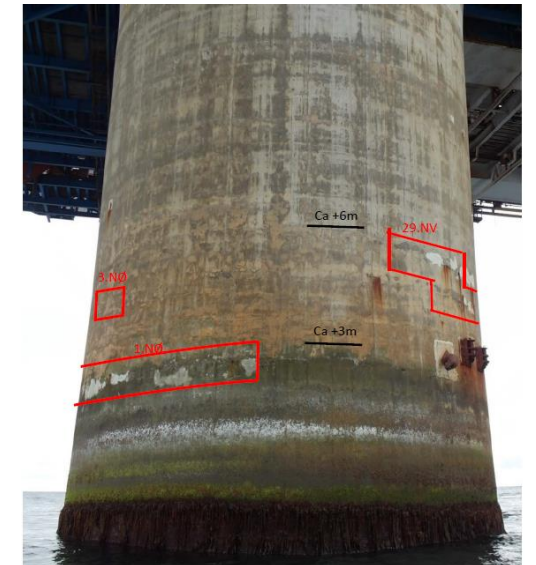
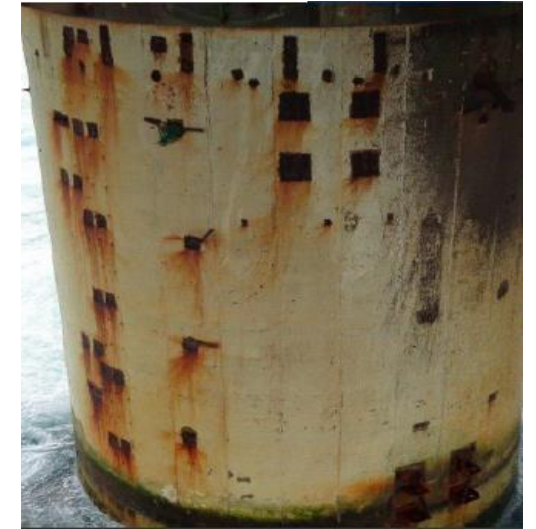
- Områder med dårlig epoksy
- Korroderte plater
- Flikkrepasjoner fra byggetiden
- Områder med for lav overdekning
- Områder med dårlig utstøping
- Armeringskorrosjon
- Riss/løfteriss



Figur 6-12: Funn 1.17.N0. To bunter med korrodert ringarmering nedskutt, markert med rødt



Figur 6-13: Felt med korrosjon på ringarmeringen, funn 1.17.nordøst



Bilder fra 2012

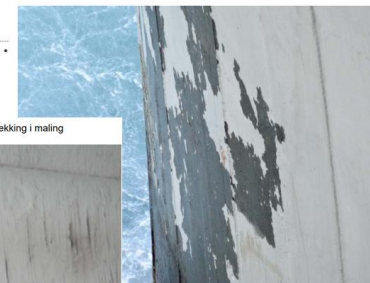
Boreskift Nord – riss/oppsprekking i maling



Boreskift Nord – riss/oppsprekking i maling



Boreskift Nord – malings avflissing



Under vann, og vannfylte skaft

- Det gjøres sjelden funn under vann. Dette trolig fordi det er for lite tilgang på oksygen
- Det er montert anoder på skaftebena innvendig og utvendig for beskyttelse av stålet, men virker også på armeringen. Dette gjelder de delene som er «neddykket i vann»
- Anodeforbruk



Materialtesting/prøvetaking

- Kloridmålinger
- Trykkfasthet
- Heftprøver
- Strukturanalyser
 - SEM - analyser
 - Trynnslip
 - Planslip
 - μ XRF

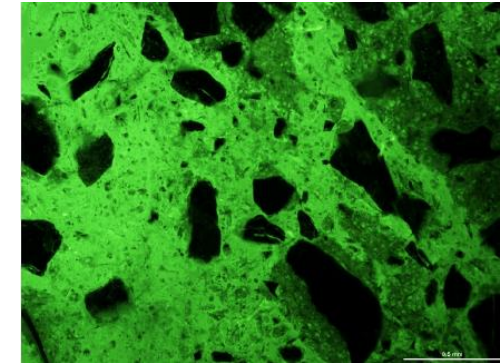
RCT – kloridmåling, enkel metode



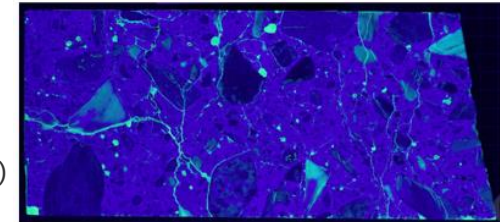
Trykkfasthet



Trynnslip –optisk mikroskopering



Planslip – til visuell analyse (makroanalyse)



Mikro-røntgenfluorescens (μ XRF)

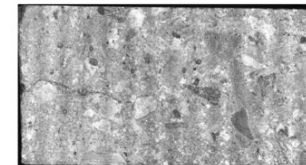


Fig. 27 – The image of the half from core 2 as scanned by μ XRF. Surface to the left.

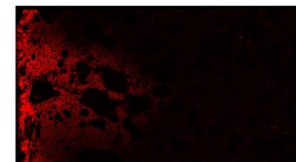
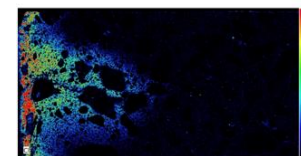
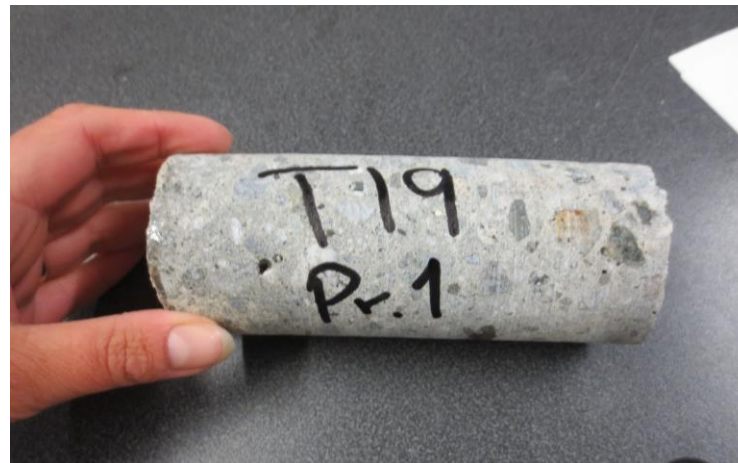
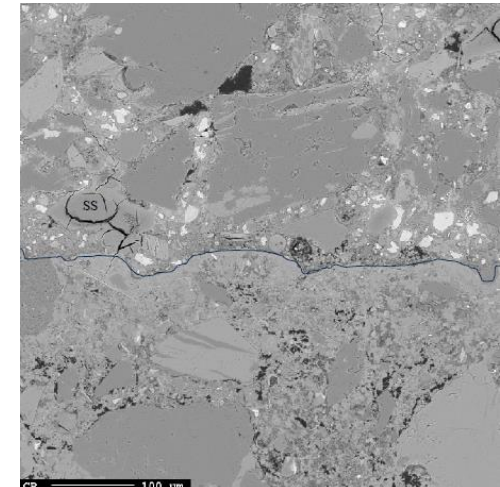


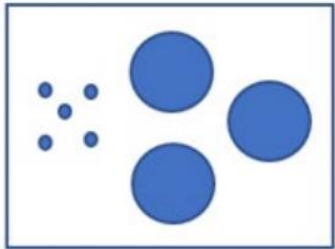
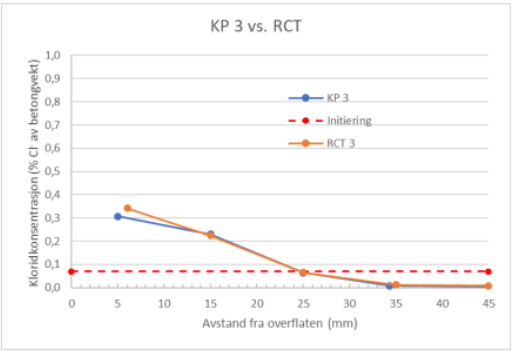
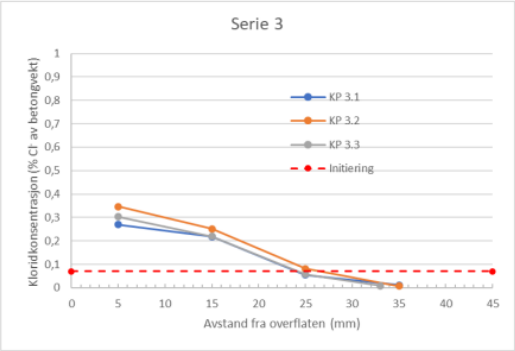
Fig. 28 – The chloride distribution over the half of concrete core 2 centred along the crack.



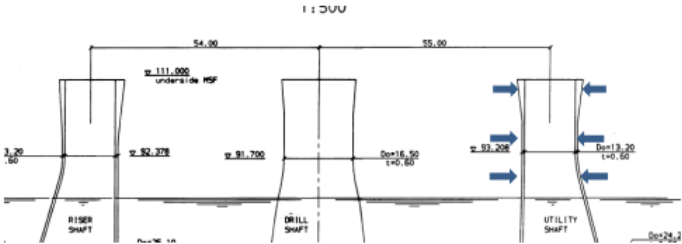
SEM-analyser (sveipeelektronmikroskopi), polerslip



Materialtesting, kloridfront



Figur 2.1: Illustrasjon av en prøverie



Figur 4-2: Plassering av kjerneprøver/RCT i utstyrskaftet.

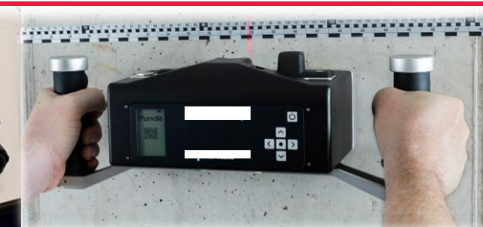


Inspeksjon med ikke-destruktive metoder

2 typer:

Generell visuell inspeksjon (GVI)

Nærvisuell inspeksjon (NVI)



Norsk oljemuseum

Over water

- Drone (GVI)
- Overdekningsmåling
- Betong radarskanner GPR (NVI)
- Betong punkt ultralydscanner GP (NVI)
- Betong rullende ultralyd skanner (NVI)



Under water

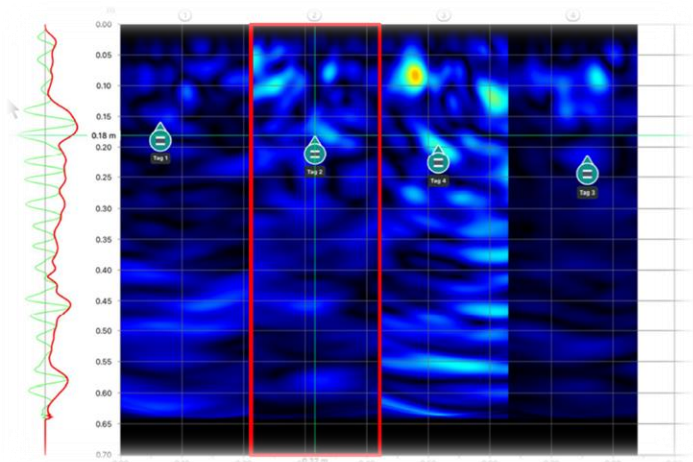
- ROV inspeksjon (E-ROV fra fartøy og mini ROV fra plattform)



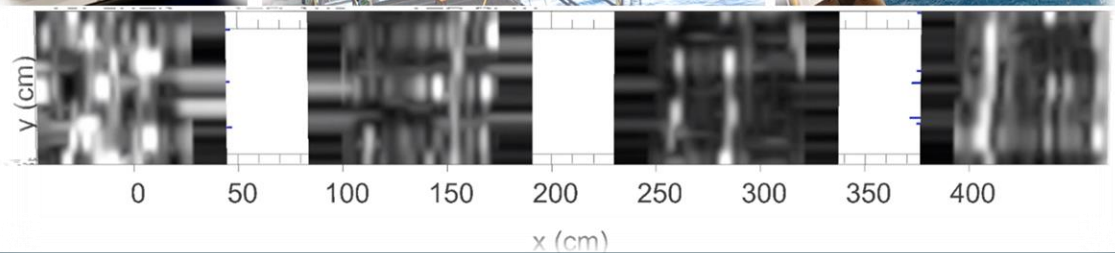
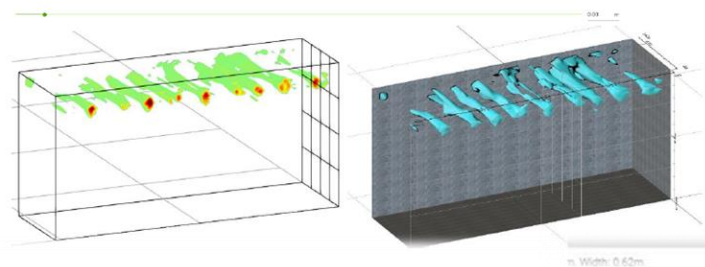
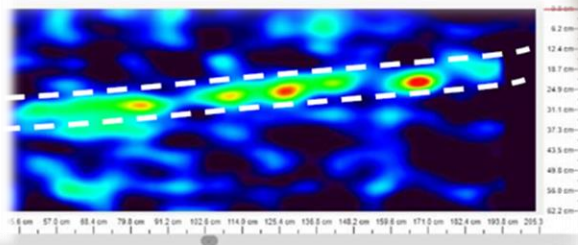
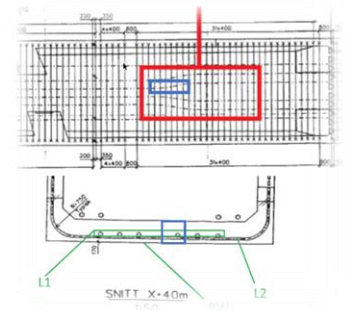
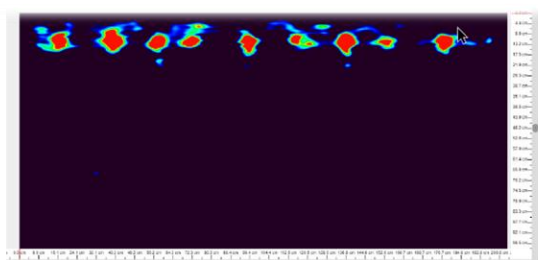
Bruk av avansert inspeksjonsutstyr

- Droner
- Ultralyd skanner
- Radar skanner

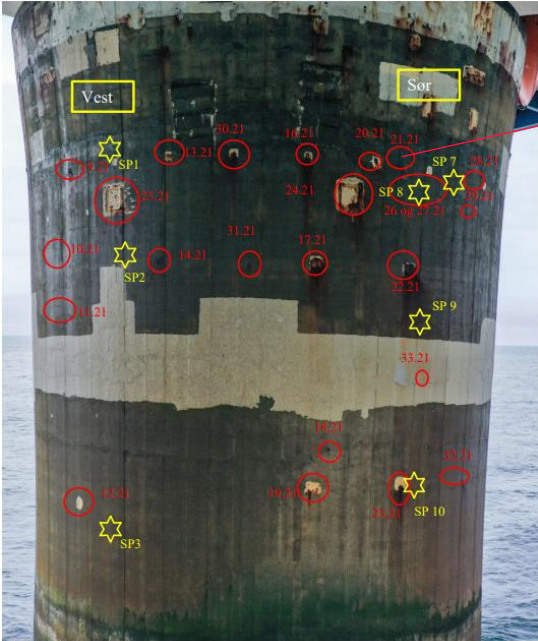
Drone



Radar skanning



Inspeksjon/rehabilitering, kartlegging av skader



Bilde 4-4 Oversikt fra Sør-vest



Bilde 4-17 BN 21.21, kun et svakt korrosjonsutslag i betongen uten bom



Bilde 4-18 BN 21.21 Meislet og sønnelid



NR	Seksjon	Skadetype før åpning	Skadetype etter åpning	Størrelse (cm)	Overdekning (OD)	Utfyllende beskrivelse av skade	Skade grad	Rep. metode	Membran
16.21	Sør-Vest	Korrodert plate ca 20x20cm og mindre		40x40			2	1c	Ja
17.21	Sør-Vest	Korrodert plate, stor		50x50			3	1c	Ja
18.21	Sør-Vest	Armeringskorrosjon		40x40	20mm	Skjærarmering med bortkorrodert ende. Kun lett overflatekorrosjon på resten av bøylen	3	4	Ja
19.21	Sør-Vest	Korrodert plate, stor		50x50		Tykk plate og armeringsjern som ligger tett ved platen, slik at fjerning er vanskelig	2	1b	Ja
20.21	Sør	Korrodert plate ca 20x20cm og mindre		30x30			2	1c	Ja
21.21	Sør	Armeringskorrosjon		80x80	10-20mm	Liten rustflekk, stålskrap med lav overdekning. Meislet bort den, og oppdaget svartrust inne på 6 stk horisontaltjern. 2 stk med 30% reduksjon og 4 stk med 10% reduksjon. 1 stk skjærarmering med kraftig korrosjon på enden, 40% reduksjon.	3	4	Ja
22.21	Sør	Korrodert plate, stor		50x50		Mye korrosjon på platen.	3	1c	Ja

Tabell 4-4: Reparasjonsnummer og metode

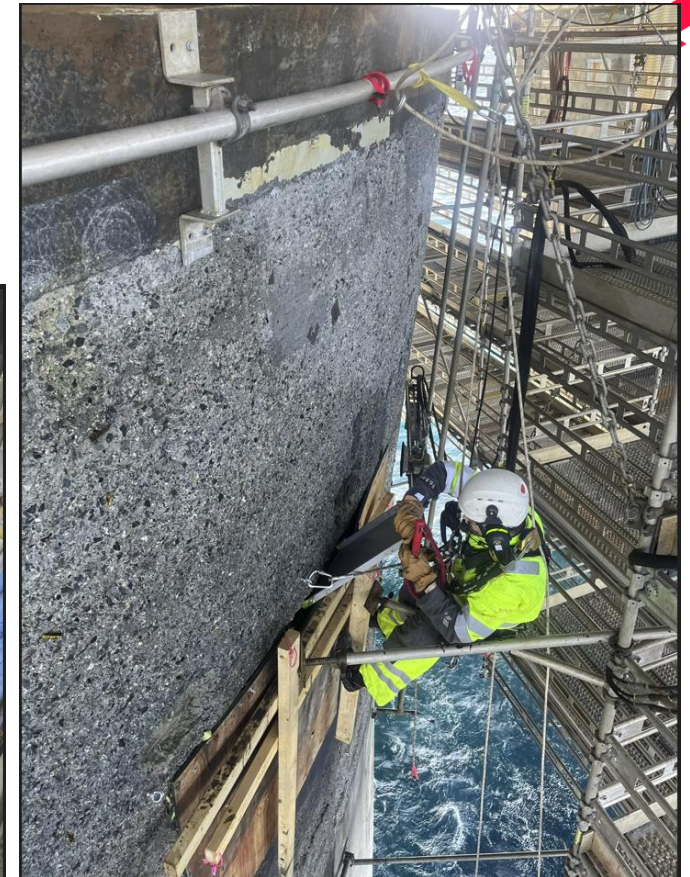
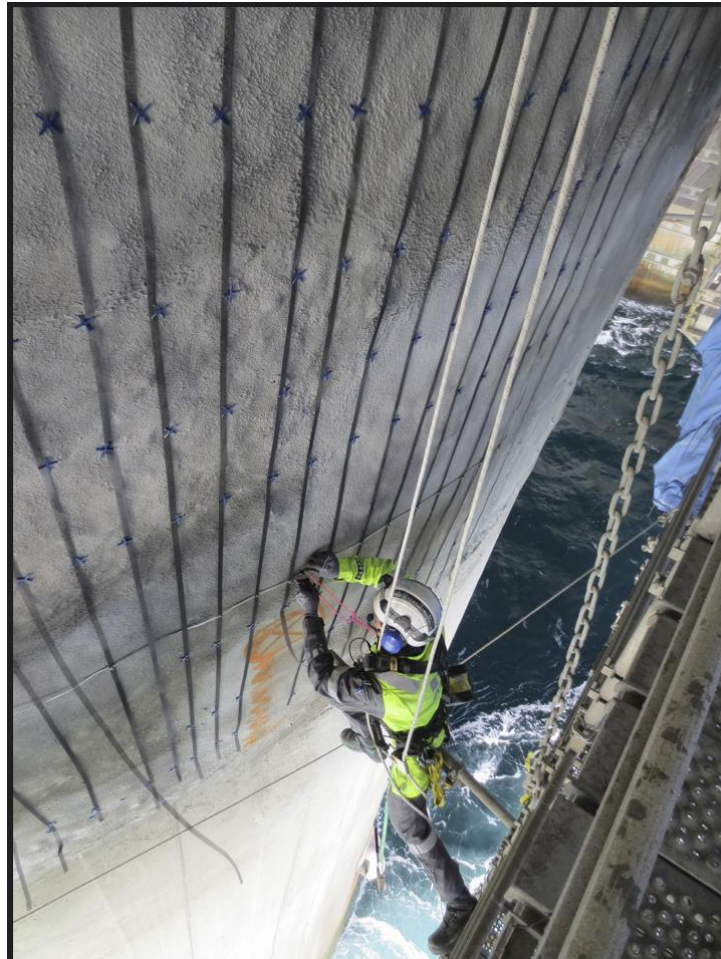
Rep.nr	Reparasjonsmetode
1a	Korrodert stålplate - Enkel overflatebehandling
1b	Korrodert stålplate - Kantrehabilitering
1c	Korrodert stålplate - Fjerning
2	Bom
3	Avskalling Betong
4	Armeringskorrosjon
5	T-hoder
6	Steinreir, porøs betong eller dårlig betongkvalitet
7a	Sprekk/riss - Mekanisk reparasjon
7b	Injisering
7c	Sparkling/overflatebehandling
8	Skader på overflatebelegg
9	Bolter/spiker
10	Armeringstråd

Rehabilitering



Ringstillas for rehabilitering

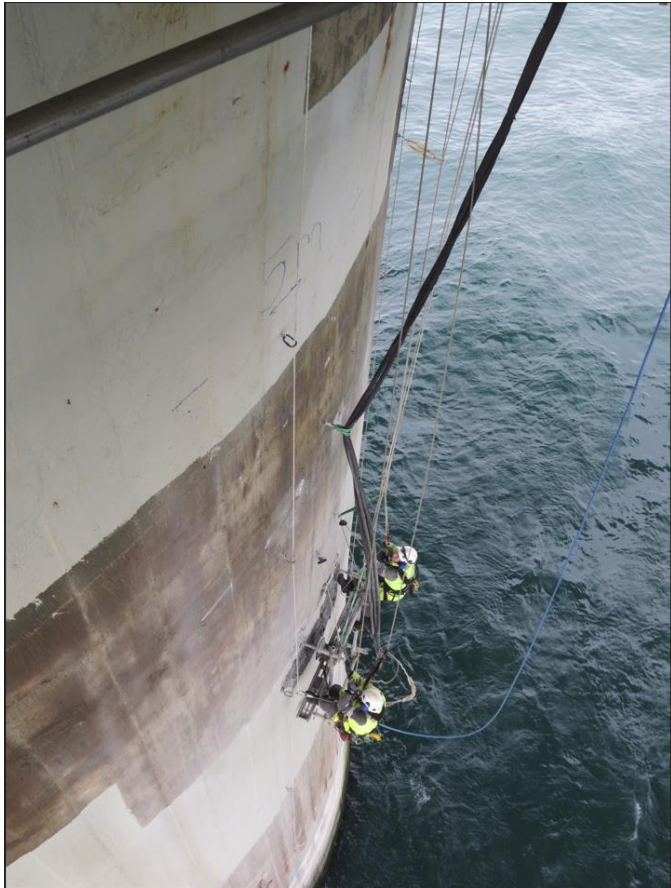
Installasjon av katodisk beskyttelse



Forskalingsstøp

Rehabilitering

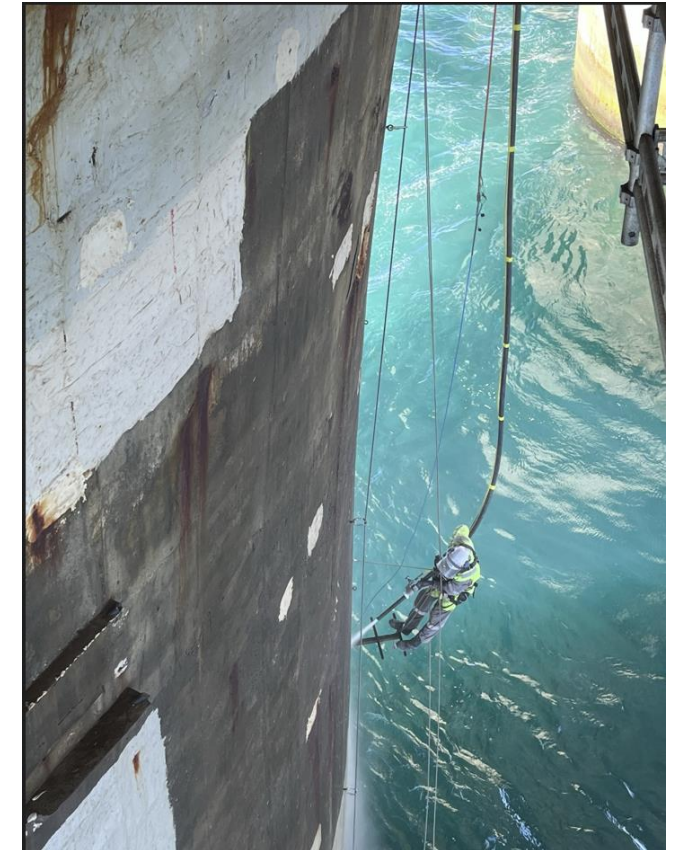
Arbeid fra korg



Vannmeisling med robot



Tørresprøyting



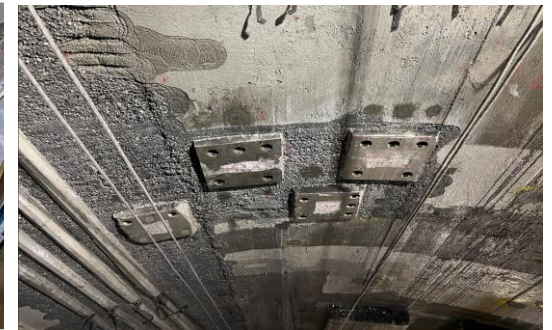
Tørresprøyting

Dokumentasjon av reparasjoner

- Dagplater
- Heftprøver
- Trykkfasthet
- mm



Figur 5-10: Kjerneboring rundt rondellene



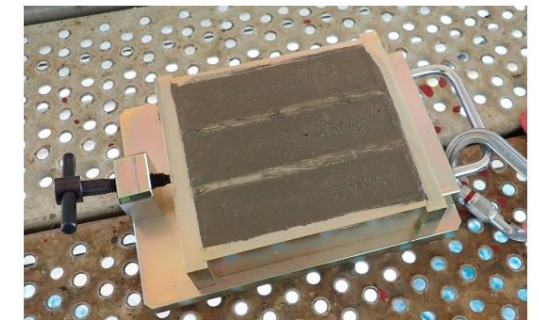
Bilde 4-39 Profil avtrekk nr. 3, prøvefelt 2



Bilde 4-40 Overflate avtrekk nr. 3, prøvefelt 2



Figur 5-4: Kasse for trykkprøving ferdig sprøytet og pakket inn i plastsekk.



Bilde 4-41 Støp av prømer på stillas, Weber Rep 65

Research and development - Sustainable marine concrete structures

Project name	Timeline	Deliverables
BeStrong  https://www.be-strong.no	2022-2025	New solution for concrete mixes both for rehabilitation and building with significantly reduced CO2 emissions and reduced requirements for maintenance and repair during the service life.
Extend “Functional service life extension of offshore concrete structures”	2022-2026	» Degradation mechanisms and repair solutions » Fatigue service life for concrete structures » FEM analysis for concrete structures vs. degradation mechanisms
Excon “Green management of constructions for infrastructure” https://www.sintef.no/prosjekter/2023/excon-gronn-forvaltning-av-konstruksjoner-for-infrastruktur/	2023-2025	1. Thorough and advanced condition analysis of relevant structures. 2. NDT methods. Testing of methods to be able to arrive at the most suitable ones. 3. Materials and methods for repair/protection/reinforcement. 4. Sensors and procedures for monitoring the performance of structures; 5. Lifetime models for repaired/protected/reinforced construction, including maintenance methodology and frequency, based on documentation from 3 as well as data from monitoring (4). 6. LCA and LCC for different solutions repaired/protected/reinforced/ construction or replaced. 7. Decision models based on technical performance, LCA and LCC

Oppsummering og erfaringer

- Få kontroll på faktisk overdekning der armeringskorrosjon mtp områder der armeringskorrosjon kan oppstå/pågå
- Riktig overdekning er avgjørende for bestandighet til betong, faktisk overdekning avgjør når rehabilitering bør starte
- Få kontroll på kloridinntrengning
- Kom i gang med rehabilitering i riktig tid
- Epoksy utvendig på betong overvann → sparer store vedlikeholdskostnader
- Rehabiliterings sykler på 8-12 år ut levetiden, hyppigere inspeksjoner etter at en har startet rehabilitering
- De fleste inspeksjonsfunn er relatert til områder med dårlig/feil utførelse, såkalte "svake soner"; områder med lav OD, steinreir, løfteriss, flikk områder fra byggetid, områder med epoksy, overganger stål/betong, etc
- Betongplattformer er meget bestandige **konstruksjoner, men IKKE vedlikeholdsfrie**
- Erfaringene fra de siste 30-40 årene indikerer at betong, som alle andre materialer, krever inspeksjon, vedlikehold og reparasjon for å opprettholde funksjon og integritet gjennom hele livssyklusen





Takk for oppmerksomheten !!!

Contact person: **Ann-Kristin Kjøs**, Principal Engineer Platform Technology
Marinteknikk, Equinor ASA
Mobile: +47 95169337
Email: annkj@equinor.com

© Equinor ASA

This presentation, including the contents and arrangement of the contents of each individual page or the collection of the pages, is owned by Equinor. Copyright to all material including, but not limited to, written material, photographs, drawings, images, tables and data remains the property of Equinor. All rights reserved. Any other use, reproduction, translation, adaption, arrangement, alteration, distribution or storage of this presentation, in whole or in part, without the prior written permission of Equinor is prohibited. The information contained in this presentation may not be accurate, up to date or applicable to the circumstances of any particular case, despite our efforts. Equinor cannot accept any liability for any inaccuracies or omissions.