

Vikingeskibsmuseet, Roskilde

Vurdering af levetiden for udsatte konstruktioner



Titel:

Vikingskibsmuseet, Roskilde Havn

Vurdering af levetiden for udsatte konstruktioner

Rekvirent:

Vikingskibsmuseet
Vindeboder 12,
4000 Roskilde

Att. Claus Christiansen <cc@vikingskibsmuseet.dk>

Udarbejdet for:

Se rekvirent

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg, Beton

Tommy B. Jacobsen
Christian Bøgh Jøns Nielsen
Morten Hjalmar Thomsen

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Tommy Jacobsen, tlf. 7220 2171, tj@teknologisk.dk
Godkendt af: TJ/CBJN

Opgavenr.: 699732

Versionsnr.: 699732_TJ16_011

Dato: 8. juni 2016

Indhold

1.	Objekt.....	4
2.	Baggrund	4
3.	Formål	4
4.	Data og modtagne informationer	4
5.	Analyse- og målemetoder	4
6.	Vurderingsgrundlag/Sammenfatning	5
6.1.	Opgavens omfang	5
6.2.	Resultater	5
7.	Vurdering	8
7.1.	Besigtigelse af gangbro i udstillingshal.....	10
7.2.	Dæklagsmåling	16
7.3.	Ophugninger	17
7.4.	Korrosions aktivitetsmåling (EKP)	23
7.5.	sMASH - pladekonstruktioner.....	33

1. Objekt

Søjler og facadebjælker orienteret mod Roskilde fjord på Vikingskibsmuseet, Roskilde Havn.

2. Baggrund

Vikingskibsmuseet ønsker en vurdering af levetiden for de mest udsatte konstruktioner i bygningen. Som grundlag for denne har Teknologisk Institut udført en supplerende undersøgelse af søjler og facadebjælker mod fjordsiden.

3. Formål

Opgaven har til formål at fremkomme med en vurdering af levetiden for de mest udsatte konstruktioner i bygningen med baggrund i en supplerende tilstandsundersøgelse af armering og beton i søjler og facadebjælker på fjordsiden.

4. Data og modtagne informationer

Et antal foto som viser skader forvoldt af orkanen "Bodil" på fjordsiden

Som i Instituttets rapport af 23 november 2010.

5. Analyse- og målemetoder

For beskrivelse af de anvendte metoder, henvises der til dokumentationsafsnittet.

6. Vurderingsgrundlag/Sammenfatning

6.1. Opgavens omfang

Gennemgang af tidligere tilstandsundersøgelse af konstruktionerne (Institutets rapport af 24. november 2010).

Feltundersøgelse

- Måling af armeringens placering ved prøvesteder.
Der er målt med covermeter, og dæklaget er bestemt stikprøvevist for hvert prøvested (ophugninger)
- Korrosionsaktivitetsmåling (EKP-målinger).
Der er udført korrosionsmålinger på to udvalgte søjler samt i udvalgte områder på to facadebjælker. Målepunkterne er placeret med en indbyrdes afstand på 50 cm. I forbindelse med EKP målingerne er der udført ophugninger til armering for etablering af armeringskontakt.
- Ophugninger.
Der er udført i alt 10 ophugninger til armering i hhv. søjler og facadebjælker for registrering af armeringens tilstand.

Resultaterne af ovenstående undersøgelser er sammenfattet i nærværende rapport. Figur 6.1.1 nedenfor viser oversigt over områder for EKP- og SMASH-målinger.



Figur 6.1.1. oversigt over placering for målefelter på søjler og facadebjælker

6.2. Resultater

Konstruktionerne på fjordsiden blev udvalgt som værende de mest kritiske for levetidsvurderingen. Den oprindelige undersøgelse fra 2010 blev suppleret med en ny undersøgelse af udvalgte konstruktioner på fjordsiden.

I det følgende gives en kortfattet sammenfatning af resultaterne fra de gennemførte undersøgelser. For en mere detaljeret beskrivelse af resultater, henvises til dokumentationsafsnittet.

Besigtigelse

I forbindelse med udførelsen af sMASH- og EKP-målinger på søjler og facadebjælker blev disse besigtiget. Der blev generelt observeret få synlige skader på overfladerne af søjler og facadebjælker orienteret mod nord, dog blev der observeret enkelte tidligere udførte reparationer. På facadebjælke orienteret mod vest, blev der observeret langsgående revne med rustudfældninger langs gesims i toppen af facadebjælken.

Der blev yderligere foretaget en visuel besigtigelse af gangbro i udstillingshal, hvor der blev observeret nedbøjning af kantbjælken på ca. 30 mm i forhold til fundamentsvæggen/-bjælken. Der blev enkelte steder observeret revnedannelse i kantbjælken. Dækkonstruktionen i gangbroen kunne ikke besigtiges fra udstillingshallen, da der på gangbroen var opklodsede betonelementer, som har til funktion at skjule indbyggede udsugningskanaler i dækket. Ved hver samling af gangbroelementer blev der observeret revnedannelse i den overliggende klinkebelægning.

Ved besigtigelse af gangbroen fra underside i ventilationskanal kunne det observeres at dækket er udkraget, og at kantbjælken i dækkonstruktionen er simpelt understøttet i enderne. I dækket blev der observeret enkelte tværgående revner i hele gangbroens bredde. Fotos samt nærmere beskrivelse af ovenstående iagttagelser fra besigtigelse af gangbro i udstillingshallen fremgår af afsnit 7.1.

EKP-målinger:

Der er udført EKP-målinger i 4 felter, heraf to felter på søjler og to felter på facadebjælker orienteret mod Roskilde Fjord. Detaljeret beskrivelse af resultater samt konturdiagrammer med oversigt over de målte potentialer og modstande fremgår af afsnit 7.4.

På både søjler og facadebjælker blev der målt lavere potentialer og modstande i bunden af konstruktionerne end i toppen, hvilket skyldes, at fugt- og formentlig også saltindholdet i betonen er højest i områderne tættest på vandspejlet.

Normalt vil potentialer på -250 til -500mV indikere, at der er høj risiko for aktiv armeringskorrosion, men for marine konstruktioner ses typisk, at aktiv armeringskorrosion først foregår ved potentialer som typisk er 100-200mV lavere end på ikke-marine konstruktioner. Der blev derfor foretaget ophugninger til armeringen til kalibrering af resultaterne fra EKP-målingerne.

Ophugninger blev generelt foretaget i områder, hvor der blev målt lavest potentialer på både søjler og i facadebjælker, altså i bunden af disse. I ingen af de ophugninger, som blev foretaget i områder med intakte betonoverflader blev der fundet tegn på aktiv armeringskorrosion.

I forbindelse med EKP-målingernes udførelse blev der dog udført en række yderligere ophugninger i forbindelse med etablering af armeringskontakt. Disse blev generelt udført i områder for tidligere udførte reparationer og her blev der i alt to områder på hhv. søjle (S1) og facadebjælke (F1) observeret tegn på, at aktiv armeringskorrosion har foregået, idet der blev observeret armering med væsentlig tværsnitsreduktion (30-60%). Der er dog tale om små lokale reparationer, og ophugninger udført i områder i umiddelbar nærhed af disse viste, at korrosionen udelukkende har foregået lokalt i de udførte reparationer.

Oversigt over registrering af armering i ophugninger samt målte dækklag fremgår af tabel 6.2.1 nedenfor.

ID	Konstruktionsdel	Armering Type/rustgrad	Dækklag ophugning [mm]		Dækklag (Covermeter) [mm]
			Lr:	Vr:	
O1	Søjle S1	Lr: K20 / 0 Vr: R7 / 1 Vr: R10 / 0	39	33 31	Lr: 33-66 Vr: 33-36
O2	Søjle S1	Lr: K20 / 0-1 Vr: R10 / 0-1	42	32	
O3	Facadebjælke F1	Lr: R10 / 3* Vr: K8 / 3*	10	20	Lr: 17-22 Vr: 9-11
O4	Facadebjælke F1	Vr: K8 / 0-1		25	Lr: 28-30 Vr: 24-25
O5	Facadebjælke F1	Vr: K8 / 1		24	
O6	Søjle S2	Vr: R10 / 0-1 Vr: R10 / 0-1		27 27	Lr: 35-38 Vr: 26-27
O7	Søjle S2	Lr: K20 / 0 Vr: R10 / 1	34	24	
O8	Facadebjælke F2	Lr: R10 / 1 Vr: K8 / 1	28	21	Vr: 21-23 Lr: 28-30
O9	Facadebjælke F2	Lr: R10 / 0-1	24		
O10	Facadebjælke F2	Lr: R10 / 0-1 Vr: K8 / 0-1	36	28	

Tabel 6.2.1 Opsummering af armeringsregistrering og dækklag i ophugninger. Alle mål er i mm. R= Rundjern; K =Kamstål; Lr = lodret; Vr = vandret. *Ophugning udført i tidligere udført reparation. Der ses tværsnitsreduktion af armeringen på op til 60%.

sMASH-målinger:

Målefelterne på søjler og facadebjælker består overordnet af samme punkter som blev anvendt til EKP-målingerne. På søjler blev der dog ikke målt på alle 4 sider, men kun fra den ene hhv. brede og smalle side af søjlerne. Den gennemsnitlige mobilitet på både søjler og facadebjælker varierer generelt ganske lidt og der er således på baggrund af de udførte mobilitetsmålinger ingen indikationer på, at betonen indeholder skjulte delamineringer eller stenreder. Nærmere beskrivelse af resultaterne fra de udførte sMASH-målinger inkl. konturdiagrammer med angivelse af den gennemsnitlige mobilitet i hvert målefelt fremgår af afsnit 7.5

7. Vurdering

Ud fra de udførte undersøgelser samt de givne data og informationer kan Institutet vurdere følgende:

De udførte korrosionsmålinger samt tilhørende ophugninger viser, at der generelt må vurderes at være lav risiko for at aktiv armeringskorrosion foregår i både facadebjælker og søjler og størstedelen af armeringsnettet her vurderes endnu at være intakt. Der er dog fundet tegn på aktiv armeringskorrosion i tidligere udførte reparationer, som imidlertid optræder meget lokalt på både søjler og facadebjælker. I disse er der fundet kraftig tæring af armeringen med tværsnitsreduktion på op til 60%.

De udførte SMASH-målinger viser lette variationer i den gennemsnitlige mobilitet, hvilket kan henføres til de geometriske/strukturelle forhold på konstruktionerne, og der vurderes således ikke at være problemer med betonens integritet i de undersøgte områder.

Besigtigelse af gangbro fra udstillingshal mod fjordsiden viste, at kantbjælken på midten har en nedbøjning på ca. 30 mm i forhold til fundamentsbjælken i facaden. Den udførte besigtigelse af dækkonstruktion og gangbro fra underside viste fine revner i undersiden. Nedbøjningen vurderes at være forårsaget af betonens normale krybning.

Levetiden vurderes ud fra de mest udsatte konstruktioner på fjordsiden og hvornår tidspunktet for en økonomisk forsvarlig reparation vil være forpasset dvs. hvor lang tid reparationen kan vente uden det medføre markante ekstraudgifter samt at bygningens brug ikke forringes.

Levetiden vurderes til 8-10 år med det forbehold at der ikke opstår skader som kan medfører yderligere fugttilførsel. Vi vil derfor anbefale at der foretages en fornyet undersøgelse af udvalgte konstruktionsdele efter ca. 5 år for at sikre at der stadigvæk kan udføres en økonomisk forsvarlig reparation. Der vil kunne etableres en katodisk beskyttelse af armeringen i konstruktionerne på fjordsiden efter de 5 år, hvis der er behov for det, hvilket vil kunne udskyde reparationen yderligere.

Venlig hilsen.

Teknologisk Institut, Byggeri.

Tommy B. Jacobsen
Faglig Leder

Christian Bøgh Jøns Nielsen
Konsulent

Dokumentation

7.1. Besigtigelse af gangbro i udstillingshal

Udført

Besigtigelse blev udført den 23. maj 2016 af Morten Hjalmar Thomsen, Teknologisk Institut.

Metode

Besigtigelsen blev udført som en visuel gennemgang af gangbro, med henblik på vurdering af nedbøjning af kantbjælke på gangbro.

Omfang

Overside af gangbro og kantbjælke blev besigtiget fra udstillingshal. Underside af gangbro og kantbjælke blev besigtiget fra ventilationskanal under gangbro.

Resultat

Ved besigtigelse af gangbro fra udstillingshallen, ses nedbøjning af kantbjælken på ca. 30 mm, i forhold til fundamentsvæggen. Der ses enkelte steder revnedannelse i kantbjælken. Dækkonstruktionen i gangbroen kunne ikke besigtiges fra udstillingshallen, da der på gangbroen er udlagt oplodsede betonelementer, der har til funktion at skjule indbyggede udsugningskanaler i dækket.

Der ses ved samlinger af gangbroelementer revnedannelse i klinkebelægning.

Ved besigtigelse af gangbro fra underside, i ventilationskanal, ses at dækket er udkraget, og at kantbjælken i dækkonstruktionen er simpelt understøttet i enderne. I dækket ses enkelte tværgående revner i gangbroens bredde.

Fotodokumentation

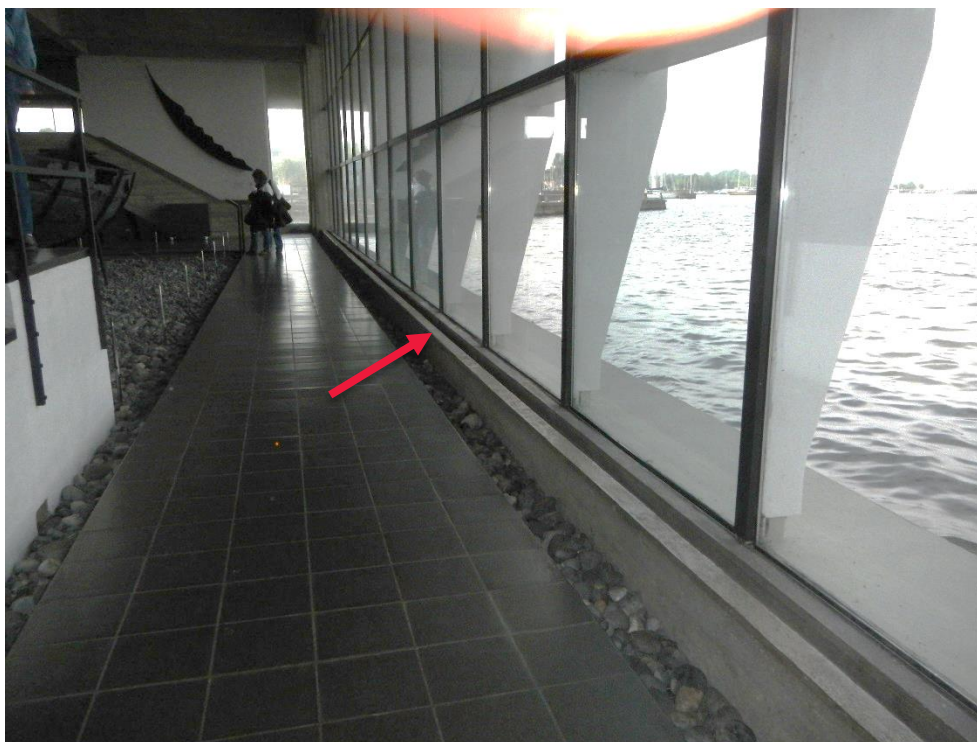


Foto 7.1.1 – Kantbjælke i dækkonstruktion med ca. 30 mm nedbøjning.



Foto 7.1.2 – Nedbøjning af kantbjælke



Foto 7.1.3 – Revne i kantbjælke. Revnevidde ses at være størst i overside af bjælke.



Foto 7.1.4 – Revnedannelse i klinkebelægning på gangbro.



Foto 7.1.5 – Revner i klinker i forbindelse med betonelementer udlagt på gangbro. Under betonelement ses luftsluse for udsugningsanlæg.



Foto 7.1.6 – Tværgående revne i underside af gangbro.



Foto 7.1.7 – Revne i underside af gangbro



Foto 7.1.8 – Understøtning for kantbjælke i dækkonstruktion.



Foto 7.1.9 – Ventilationskanal med udsugningskanaler i venstre side (rød pil), og indblæsningsspalte mellem ydervægsgfundament og kantbjælke i dækkonstruktion (blå pil).

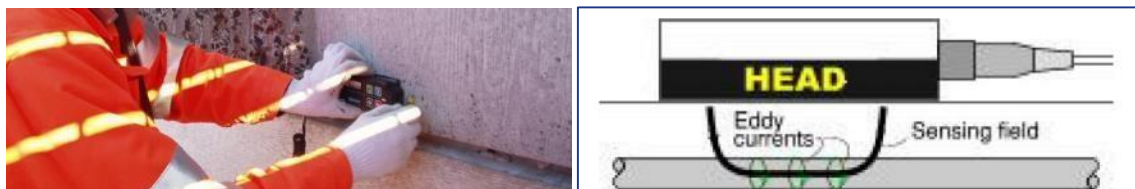
7.2. Dæklagsmåling

Udført

Dæklagsmåling er udført den 24. maj 2016 af Christian Bøgh Jøns Nielsen og Morten Hjalmar Thomsen, Teknologisk Institut.

Metode

Armeringens dækkende betonlag er målt med måleinstrument profometer 5+ i henhold til BS 1881:204. Udstyret registrerer metaller via en ændring i et udsendt magnetfelt. Målingens nøjagtighed aftager med stigende dækkende betonlag, og armering med dæklag større end 80 mm kan normalt vanskeligt registreres. Med stor afstand mellem armeringen og stor dimension kan dæklag til maks. 120-130 mm registreres. En estimering af armeringens dimension er mulig for dæklag mindre end ca. 50 mm.



Omfang

Registrering af dæklag er målt ved hvert prøveudtagningssted.

Resultat

Resultaterne af dæklagsmålingerne fremgår af Tabel 9.2-1 nedenfor.

Prøve ID (placering)	Dæklag til Us. [mm]	Dæklag til Ls. [mm]
S1 (Ved ophugning O1)		Vr: 35,34,36,33 Lr: 66,51,39,33,33
F1 (Ved ophugning O3)		Vr: 10,9,11 Lr: 17,18,19,22
F1 (Ved ophugning O4)		Vr: 25,25,24 Lr: 28,28,30
S2 (Ved ophugning O6)		Vr: 27,26 Lr: 35, 38
F2 (Ved ophugning O8)		Vr: 21,22,21,23 Lr: 28,30,29

Tabel 8.2.1 Dæklagsmålinger på konsoller, kantbjælke og svalegangsplade. Us. = underside ; Ls. = lodret side ; Lr. = lodret ; Vr. = vandret ; Bj. = bøjler ; Lg. = langsgående.
*(målt i ophugning med tommestok)

7.3. Ophugninger

Udført

Ophugning(er) er udført den 23. maj 2016 af Christian Nielsen og Morten Hjalmar Thomsen, Teknologisk Institut. Placeringen for hver enkelt ophugning er valgt ud fra en kombination af en visuel gennemgang af konstruktionen og som en kalibrering af de ikke-destruktive målinger, der er udført.

Metode

Armeringens rustgrad angives i henhold til BYG-ERFA blad 94 12 22: Vurdering af armeringsjerns rustgrad.

Omfang

Der er foretaget 10 ophugninger i alt.

Resultat

Resultatet af ophugningerne er præsenteret i skemaer på de følgende sider.

Ophugning O1: Ophugning er foretaget i bund af søjle (S1) til vandret og lodret armering i område med visuelt intakt overflade. Der ses ingen tegn på aktiv armeringskorrosion på nogle af jernene i ophugningen. I ophugningen er registreret følgende armeringsjern og rustgrader:

- 1 stk. vandret armering, $\varnothing 7$ mm rundjern, rustgrad 1, dæklag 33 mm
- 1 stk. vandret armering, $\varnothing 10$ mm rundjern, rustgrad 0, dæklag 31 mm
- 1 stk. lodret armering, $\varnothing 20$ mm kamstål, rustgrad 0, dæklag 39 mm



Ophugning O2: Ophugning er foretaget på samme søjle som ophugning O1 i område med visuelt intakt betonoverflade, dog ca. 100 cm højere oppe over vandspejlet. Heller ikke her ses der tegn på aktiv armeringskorrosion:

- 1 stk. vandret $\varnothing 10$ mm rundjern, Rustgrad 0-1, dæklag 32 mm
- 1 stk. lodret $\varnothing 20$ mm kamstål, Rustgrad 0-1, dæklag 42 mm



Ophugning O3: Ophugning er foretaget til hhv. lodret og vandret armering i facadebjælke F1. Ophugningen er foretaget i område hvor der er udført en tidligere betonreparation og der ses kraftig korrosion med tværsnitsreduktion (50-60%) på både den lodrette og vandrette armering.

- 1 stk. vandret ø8 mm kamstål, rustgrad 3, dæklag 20 mm
- 1 stk. lodret ø10 mm rundjern, rustgrad 3, dæklag 10 mm



Ophugning O4: Ophugning er foretaget til vandret armering i facadebjælke F1 ca. 35 cm højere oppe over vandspejlet end ophugning O3. Ophugning er foretaget i område med visuelt intakt betonoverflade. Der ses ingen tegn på aktiv armeringskorrosion i ophugningen.

- 1 stk. vandret ø 8mm kamstål, rustgrad 0-1, dæklag 25 mm



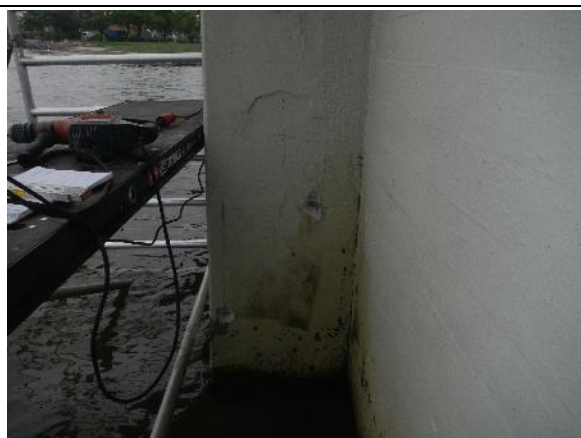
Ophugning O5: Ophugning er foretaget til vandret armering i facadebjælke F1 i samme niveau som ophugning O3, men i intakt område ca. 100 cm til venstre for denne. Der ses ingen tegn på aktiv armeringskorrosion i ophugningen.

- 1 stk. vandret \varnothing 8mm kamstål, rustgrad 1, dæklag 24 mm



Ophugning O6: Ophugning er foretaget til vandret armering i område med visuelt intakt betonoverflade ca. 80 cm over vandspejlet. I ophugningen ses to vandrette armeringsjern uden tegn på at aktiv armeringskorrosion foregår:

- 1 stk. \varnothing 10 mm rundjern, rustgrad 0-1, dæklag 27 mm
- 1 stk. \varnothing 10 mm rundjern, rustgrad 1-2, dæklag 27 mm



Ophugning 07: Ophugning er foretaget til lodret og vandret armering i område med visuelt intakt betonoverflade ca. 30 cm over vandspejlet. I ophugningerne er følgende registreret:

- 1 stk. vandret armering \varnothing 10 mm rundjern, rustgrad 1, dæklag 21 mm
- 1 stk. lodret armering \varnothing 20 mm kamstål, rustgrad 0, dæklag 34 mm



Ophugning 08: Ophugning er foretaget til vandret og lodret armering ca. 120 cm over vandspejlet i område med visuelt intakt betonoverflade. I ophugningen er følgende registreret:

- 1 stk. vandret \varnothing 8mm kamstål, rustgrad 1, dæklag 21 mm
- 1 stk. lodret \varnothing 10 mm rundjern, rustgrad 1, dæklag 28 mm



Ophugning O9: Ophugning er foretaget i samme område som O8, dog ca. 50 cm tættere på vandspejlet end O8. Der ses ingen tegn på aktiv armeringskorrosion i ophugningen.

- 1 stk. lodret $\varnothing 10$ mm rundjern, rustgrad 0-1, dæklag 24 mm



Ophugning O10: Ophugning er foretaget til vandret og lodret armering ca. 60 cm over vandspejlet i område med visuelt intakt betonoverflade. I ophugningen er følgende registreret:

- 1 stk. vandret $\varnothing 8$ mm kamstål, rustgrad 0-1, dæklag 28 mm
- 1 stk. lodret $\varnothing 10$ mm rundjern, rustgrad 0-1, dæklag 28 mm



7.4. Korrosions aktivitetsmåling (EKP)

Udført

EKP-måling er udført den 20. maj 2016 af Christian Bøgh Jøns Nielsen og Allan Skydsbæk Hansen, Teknologisk Institut.

Metode

Armeringens elektrokemiske potentiale (EKP) samt modstand måles med GalvaPulse-udstyr. Målingen er et øjebliksbillede af den aktuelle korrosionsaktivitet på måletidspunktet. Den er afhængig af konstruktionens temperatur og fugtindhold og kan variere, hvis disse forhold ændres (specielt udendørs konstruktioner). Målinger bør kun udføres ved temperaturer over +5°C da korrosionsprocessen ellers delvist stopper.

Der måles potentialer med en referenceelektrode af sølv-sølvchlorid i et veldefineret målenet. Potentialemålingerne omregnes efterfølgende, så de målte værdier angiver armeringens potentiale i forhold til en kobber-kobbersulfat elektrode jævnfør ASTM standard. Jo lavere (mere negativt) potentiale der måles, jo højere risiko for aktiv korrosion af armeringen.

De tilhørende modstande i betonen måles samtidig med potentialet i de pågældende punkter. Modstanden afhænger af porevæskens ledende evne og er derigennem et udtryk for både betonens indhold af fugt og ioner, samt indikator for målingens pålidelighed. Metoden forudsætter et sammenhængende armeringsnet, hvilket kontrolleres inden måling ved ophugning til armering i to områder i målenettet, hvorefter der med multimeter måles om der er kontakt mellem disse områder.

Ved tolkning af EKP- målinger anvendes følgende:

"Potentiale"	Måling af potentialet henover et større område vil give mulighed for at vurdere korrosionsaktiviteten. Ændringer i armeringens korrosionstilstand samt ændringer i det omgivende miljø i betonen vil kunne aflæses som ændringer i potentialet. Lavere potentialer = større sandsynlighed for korrosion.
"Potentialgradienter"	I områder, hvor potentialet ændres kraftigt (potentialgradienten er størst) er risiko for korrosionsaktive områder med kraftig tæring.
"Modstand"	Målinger af modstanden giver en indikation på fugtindholdets variation henover det undersøgte felt og hvorvidt der kan foregå korrosion. Jo højere fugtighed desto lavere modstand.

Til vurdering af potentialmålingerne anvendes Tabel 8.3.1, der er vejledende og gælder for konstruktioner, hvor ilttilførslen ikke er begrænset.

Tabel 8.3.1. Vejledende grænser for vurdering af potentialmålinger (ASTM C876-87).

Potentiale (mV vs. Cu/CuSO₄)	Sandsynlighed for korrosion
> -200 mV	Mindre end 10 % sandsynlighed for, at der er aktiv korrosion.
-200 mV til -350 mV	Det er usikkert om der er korrosion i gang.
< -350 mV	Mere end 90 % sandsynlighed for, at der er aktiv korrosion.

Bemærk: For våde/fugtige konstruktioner – typisk marine konstruktioner - vil en aktiv korrosion have lavere potentialmålinger, typisk 100-200 mV og grænserne i tabellen kan derfor ikke anvendes. Tilsvarende vil armering i karbonatiseret beton have et mere positivt potentiale. I begge tilfælde skal der udføres kalibrering på konstruktioner i form af ophugninger til armering i flere områder.

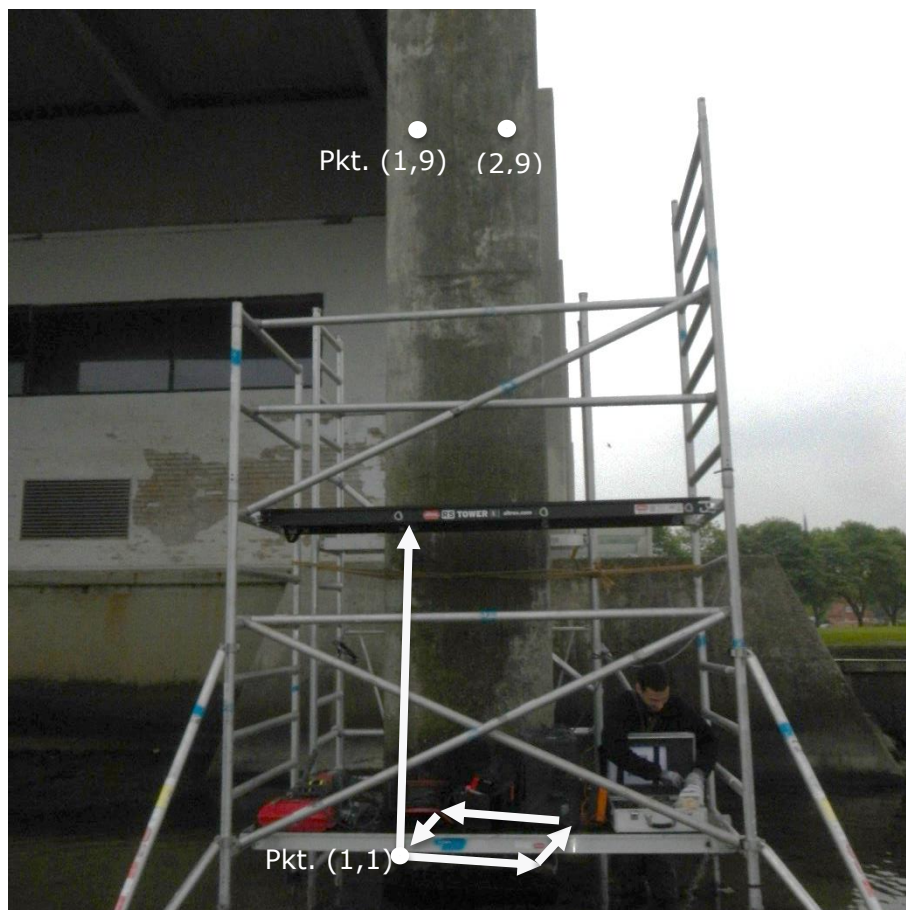
Omfang

Der er udført EKP-målinger på to måleflader på søjler og to måleflader på facadebjælker. Søjlerne benævnes hhv. S1 og S2 og facadebjælkerne F1 og F2 iht. oversigtstegning i afsnit 6.1.

Resultat

Målefladernes placering på hhv. søjler og facadebjælker samt resultaterne af de udførte målinger fremgår af nedenstående figurer.

Søjle S1:



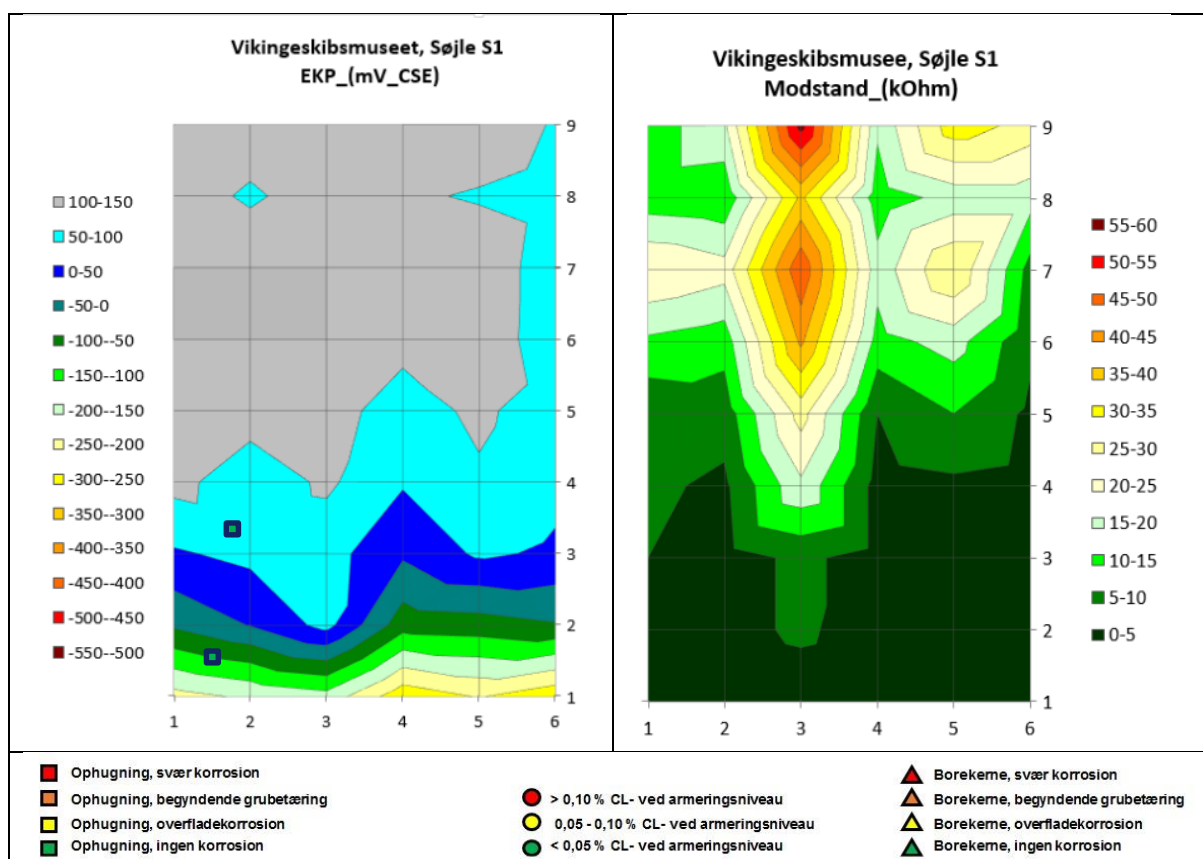
Figur 7.4.1. Placering af EKP-målefelt på søjle S1. Der er målt på alle sider af søjlen med i alt 6 målepunkter i x-retningen (vandret) og 9 målepunkter i y-retningen (lodret). Målepunkterne er placeret med en indbyrdes afstand på 500 mm.

Figur 7.4.2 nedenfor viser resultaterne af EKP-målingerne på søjle S1. Som det fremgår er potentialerne og modstandene lavest i bunden af søjlen, hvilket sandsynligvis skyldes, at fugtindholdet i betonen her er højest. Normalt vil potentialer på -250- -300mV indikere, at der kan være risiko for aktiv armeringskorrosion, men for marine konstruktioner ses typisk, at aktiv armeringskorrosion først foregår ved potentialer som typisk er 100-200mV lavere. Der er derfor foretaget to ophugninger til armeringen til kalibrering af dataen fra EKP-målingerne.

De to ophugninger er foretaget i hhv. EKP pkt (1,1-2) og (2,3-4), begge i den nedre del af søjlen, hvor potentialerne er lavest. I ingen af de to ophugninger er der fundet tegn på, at aktiv armeringskorrosion foregår, hvilket betyder, at risikoen for aktiv armeringskorrosion generelt må betegnes som værende lille i søjlen.

I forbindelse med EKP-målingernes udførelse blev der udført en yderligere ophugning i forbindelse med etablering af armeringskontakt. Denne blev udført i område for tidligere

udført reparation og her blev der observeret tegn på at aktiv armeringskorrosion har foregået, idet der blev observeret armering med væsentlig tværsnitsreduktion (30-40%). Reparationen var dog udført meget lokalt og årsagen til at korrosion har foregået lokalt i dette område kan ikke belyses på baggrund af forestående undersøgelse, men det kan skyldes en lokal defekt i betonen.



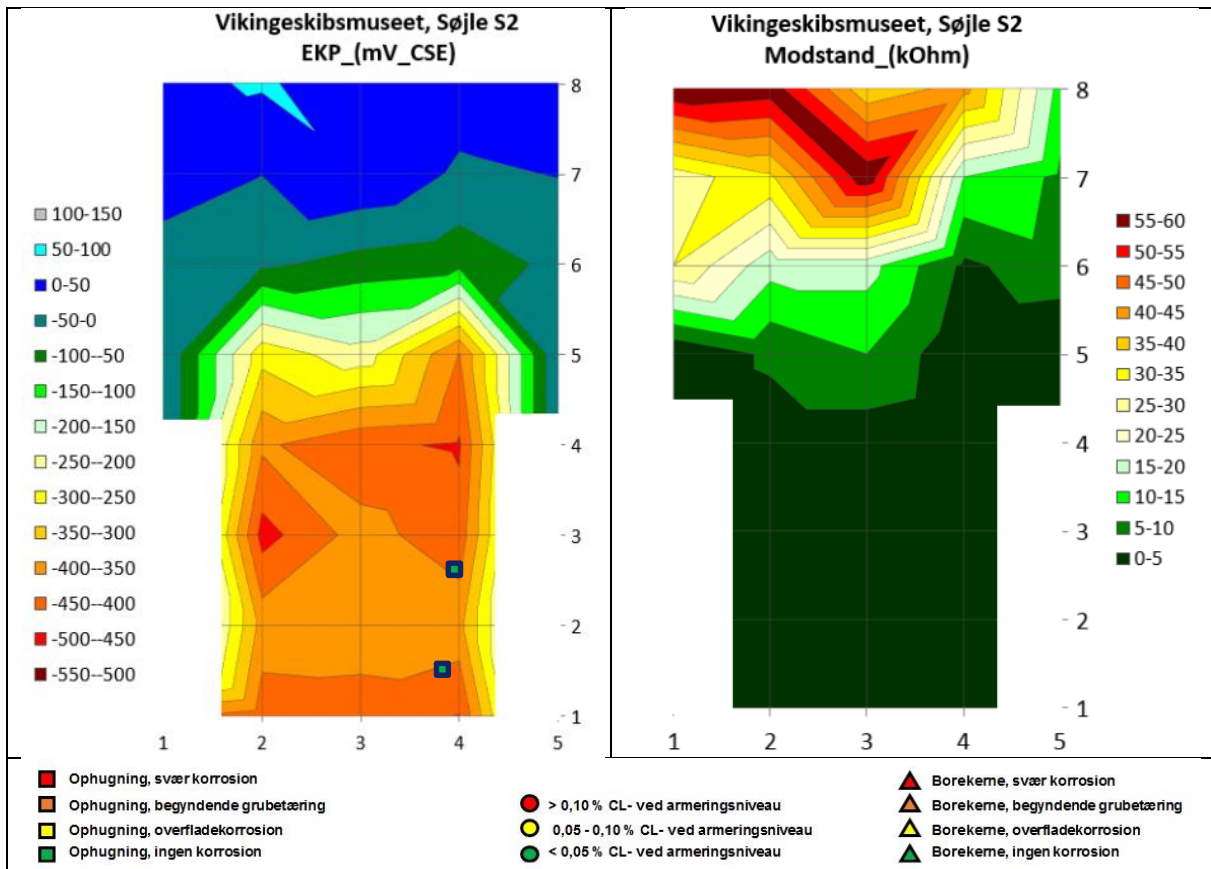
Figur 7.4.2 – Resultater af EKP og modstandsmålinger på søjle S1.

Søjle S2:



Figur 7.4.3. Placering af EKP-målefelt på søjle S2. Der er målt på alle tre sider af søjlen med i alt 5 målepunkter i x-retningen (vandret) og 8 målepunkter i y-retningen (lodret). Målepunkterne er placeret med en indbyrdes afstand på 500 mm med nederste punkt startende 60 cm over havbunden.

Figur 7.4.4 nedenfor viser resultaterne fra EKP-målingerne på søjle S2. Som på søjle S1 ses der generelt lave potentialer og modstande i bunden af søjlen, hvilket indikerer, at betonen i dette område er fugtigere end i det øvre område af søjlen. Potentialerne i de 4 nederste EKP-punkter ($y= 1-4$) er generelt lave (-300- -500 mV), hvilket normalt ville indikere end høj risiko for aktiv armeringskorrosion. Da der som tidligere nævnt er tale om marine konstruktioner er det dog usikkert hvorvidt aktiv armeringskorrosion først vil foregå ved endnu lavere potentialer og der er derfor udført ophugninger til armeringen til verificering af EKP-dataen. Som på søjle S1 er der foretaget ophugninger i de områder, hvor potentialerne er lavest og der er ikke fundet tegn på aktiv armeringskorrosion i nogle af de udførte ophugninger på søjle S2.



Figur 7.4.4 – Oversigt over målte modstande og potentialer i målefelt på søjle S2.

Facadebjælke F1:

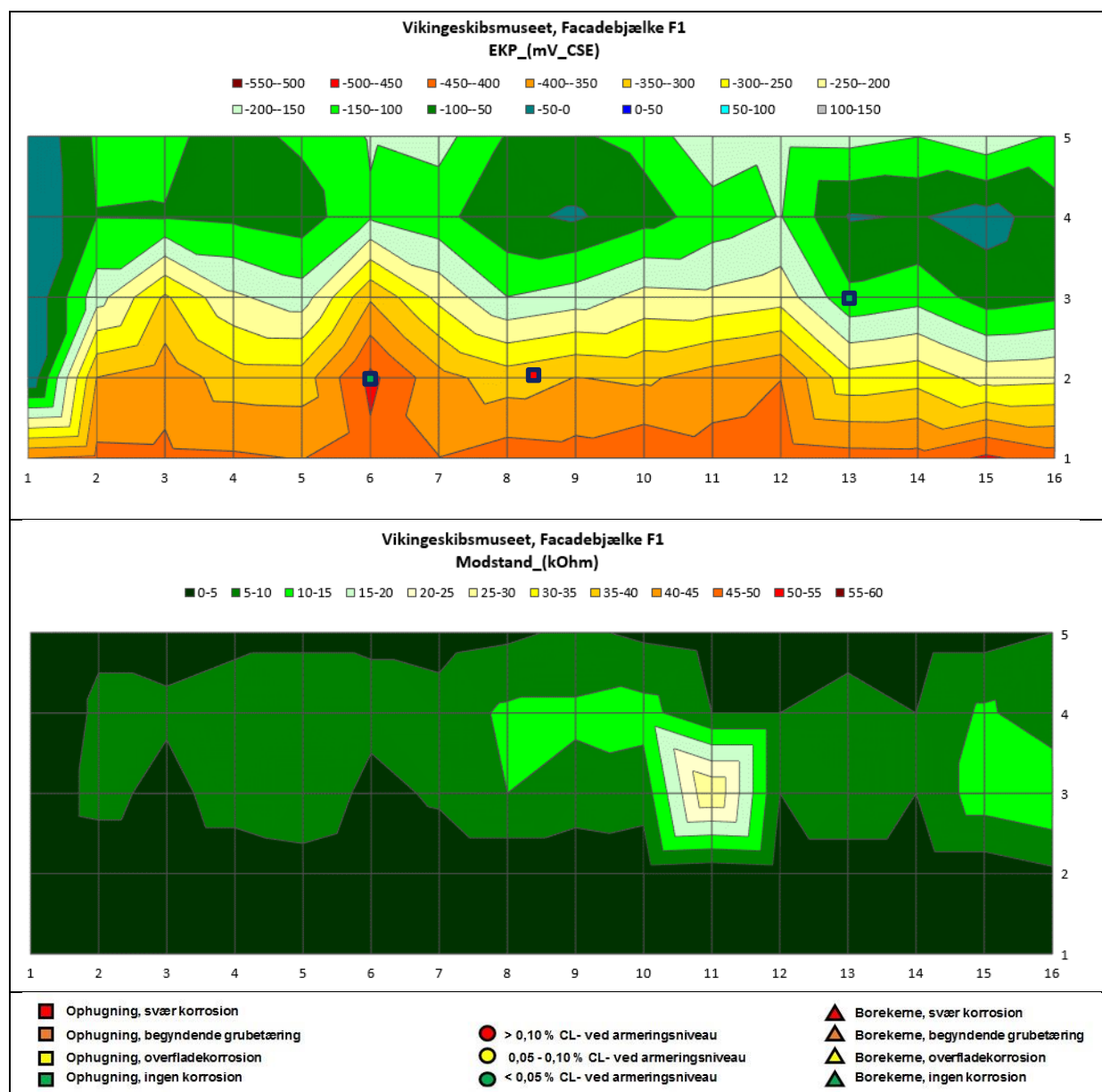


Figur 7.4.5. Placering af EKP-målefelt på facadebjælke F1. Målefeltet består af i alt 16 målepunkter i x-retningen (vandret) og 5 målepunkter i y-retningen (lodret) med målepunkt (1,1) placeret som angivet ovenfor. Målepunkterne er placeret med en indbyrdes afstand på 500 mm i begge retninger.

Figur 7.4.6 nedenfor viser resultaterne af EKP-målingerne på facadebjælke F1. Som det fremgår er potentialerne og modstandene lavest i bunden af bjælken, hvilket ligesom på søjlerne skyldes at fugtindholdet i betonen samt koncentrationen af salte her er højere end i den øverste del af bjælken. Til kalibrering af dataen er der udført to ophugninger i områder af den nedre del af bjælken.

De to ophugninger er foretaget i hhv. pkt (13,3) og (6,2), og i ingen af de to ophugninger er der fundet tegn på, at aktiv armeringskorrosion foregår (rustgrad 0-1). I forbindelse med EKP-målingernes udførelse blev der udført en yderligere ophugning (O3) i forbindelse med etablering af armeringskontakt. Denne blev udført i område for tidligere udført reparation og her blev der observeret tegn på at aktiv armeringskorrosion foregår, idet der blev observeret armering med rustgrad 3 og væsentlig tværsnitsreduktion (50-60%). Reparationen var udført meget lokalt og årsagen til at korrosion foregår her er

formentlig, at reparationen ikke er udført tæt nok, således at fugt, klorider og ilt har adgang til armeringen.



Figur 7.4.6 – Oversigt over målte modstande og potentialer i målefelt på facadebjælke F1

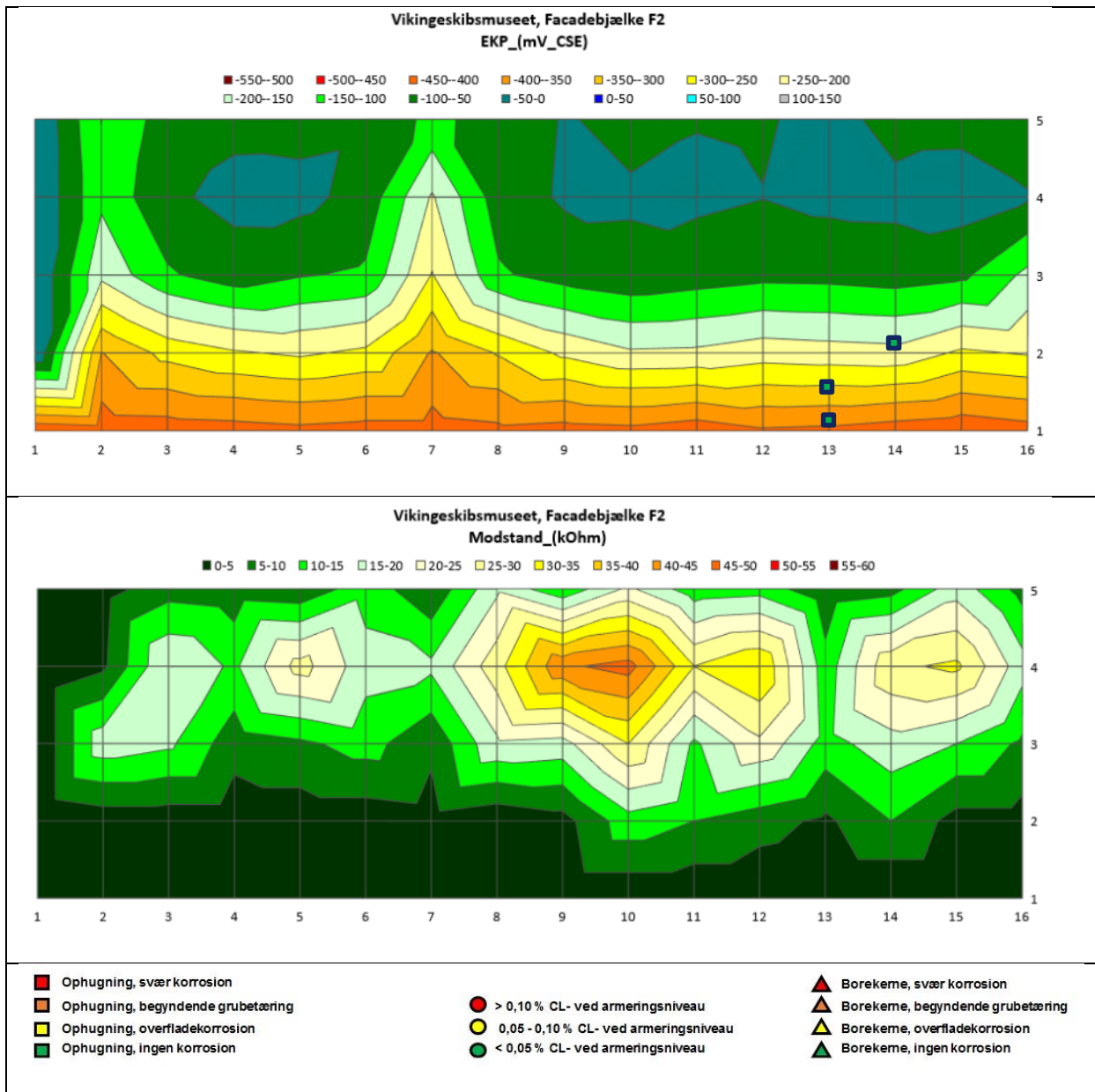
Facadebjælke F2:



Figur 7.4.7. Placering af EKP-målefelt på facadebjælke F2. Målefeltet består af i alt 16 målepunkter i x-retningen (vandret) og 5 målepunkter i y-retningen (lodret) med målepunkt (1,1) placeret som angivet ovenfor. Målepunkterne er placeret med en indbyrdes afstand på 500 mm i begge retninger.

Figur 7.4.8 nedenfor viser resultaterne fra EKP-målingerne på facadebjælke F2. Som på facadebjælke F1 ses der generelt lave potentialer og modstande i bunden af bjælken, hvilket indikerer, at betonen i dette område er fugtigere end i det øvre område af søjlen.

Der er udført ophugninger til armeringen til verificering af EKP-dataen og som på bjælke F1 er der foretaget ophugninger i de områder, hvor potentialerne er lavest. Ophugningerne viste ikke tegn på aktiv armeringskorrosion.



Figur 7.4.8 – Oversigt over målte modstande og potentialer i målefelt på facadebjælke F2

7.5. sMASH - pladekonstruktioner

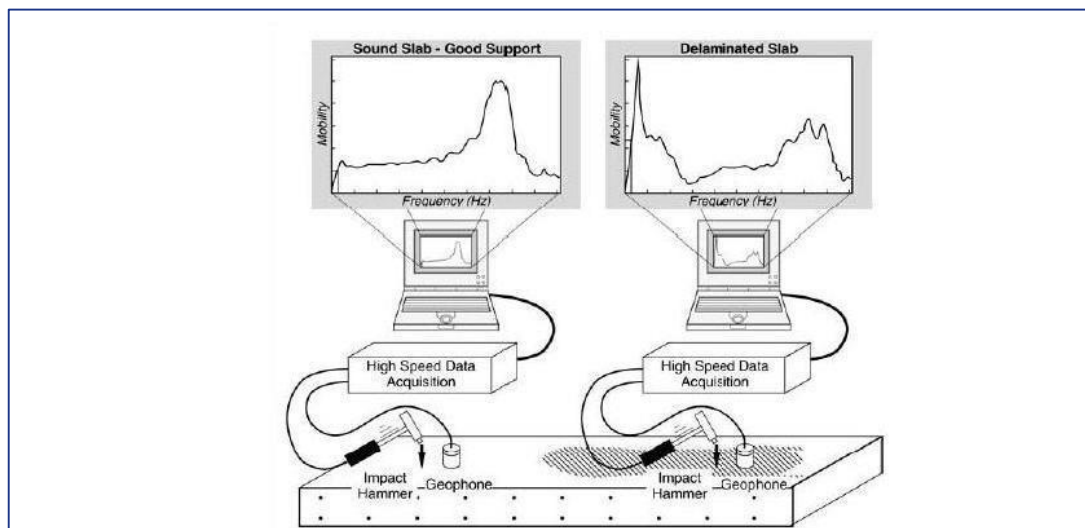
Udført

sMASH Impuls Respons måling er udført den 20. maj 2016 af Christian Bøgh Jøns Nielsen og Allan Skydsbæk Hansen, Teknologisk Institut.

Metode

Metoden undersøger pladekonstruktioner for at lokalisere anomalier som f.eks. delaminerede områder, tilstedeværelsen af hulrum/stenreder eller revner fra f.eks. AKR (Alkali Kisel Reaktionen), dårlig vedhæftning af facadeplader m.m. Metoden er uafhængig af vinklen på den flade der måles på og kan også anvendes på ujævne flader.

En konstruktion påføres en impuls med en hammer, hvorved en trykbølge genereres i konstruktionen. I hammeren er en indbygget trykcelle, der måler slagets kraft. En geofon placeret i nærheden af anslagspunktet med hammeren opfanger vibrationerne i betonkonstruktionen genereret af slaget. Dataene opsamles i en feltcomputer, hvorefter de kan behandles og analyseres i tilhørende software. Konturdiagrammer over vibrationer i konstruktionen angives som dynamisk mobilitet (m/s/N) mv. Se Figur 7.5.1



Figur 7.5.1. Skitse af eksempel på sMASH prøvning i godt og dårligt område.

Data for det pågældende måleområde sammenlignes relativt, hvor der tages højde for ændringen i konstruktionens udformning mht. understøtning, ændring i tykkelse eller materialer m.m. F.eks. vil der altid forventes stor mobilitet langs en fri rand i forhold til i midten af et element eller langs en indspændt rand.

Data giver ingen information om en specifik dybde til en evt. defekt. En erfaren operatør kan dog vurdere om skaderne ligger i overfladen eller relativt dybere. Defekter kan lokaliseres til dybder af ca. 25-30 cm fra overfladen, afhængig af udbredelse og tykkelse. Hvert testpunkt dækker et område med en diameter på ca. 50-60 cm.

sMASH måleværdier kan variere inden for vide grænser afhængig af pladetykkelse, elasticitetsmodul, understøtningsforhold, konstruktionsudformning osv. Ved vurdering af sMASH anvendes følgende parametre som standard for belægningsundersøgelser:

“Average mobility” Er den gennemsnitlige mobilitet.

Tolkning: Mobilitet mellem 100 og 800 Hz er direkte relateret til densiteten og tykkelsen af mediet. En *reduktion af pladetykkelsen* medfører en *øgning i den gennemsnitlige mobilitet*. Hvis det øverste lag af en belægning er helt (eller næsten helt) delamineret fra dybere lag vil mobilitet øges, da den gennemsnitlige mobilitet, som måles svarer til det øverste delaminerede lag. En høj værdi sammenlignet med andre målinger i et ellers homogent område vil derfor indikere en delaminering.

“Stiffness” Er den inverse af hældningen under 80 Hz på mobilitetskurven. Hældning af mobilitetskurven er fleksibilitet (“compliance”) af mediet.

Tolkning: Angiver stivheden af mediet omkring målepunktet og vil være en funktion af mediets kvalitet, elementets tykkelse og mediets understøtningsforhold. Værdien skal primært anvendes til at vurdere forskelle i mediet når de øvrige værdier sammenlignes.

“Mobility slope” Hvis der er stenreder i mediet vil dæmpningen af signalet mindskes og dermed stabiliteten af mobilitetskurven over det undersøgte frekvensspektrum (50 Hz til 1 kHz). Dette medfører en stigende / ikke stabil mobilitetskurve.

Tolkning: En større hældning eller en ikke-stabil mobilitetskurve angiver større sandsynlighed for stenreder / knust materiale i mediet.

“Voids Index” Er forholdet mellem det initiale mobilitetstoppunkt og den gennemsnitlige mobilitet.

Tolkning: Når der er delaminering eller manglende understøtning af mediet vil mobilitetstoppunktet under 100 Hz (det første topunkt) være meget højere end den gennemsnitlige mobilitet. Hvis “voids index” er *større end 2-4* er det et tegn på et potentielt dårligt område.

Omfang

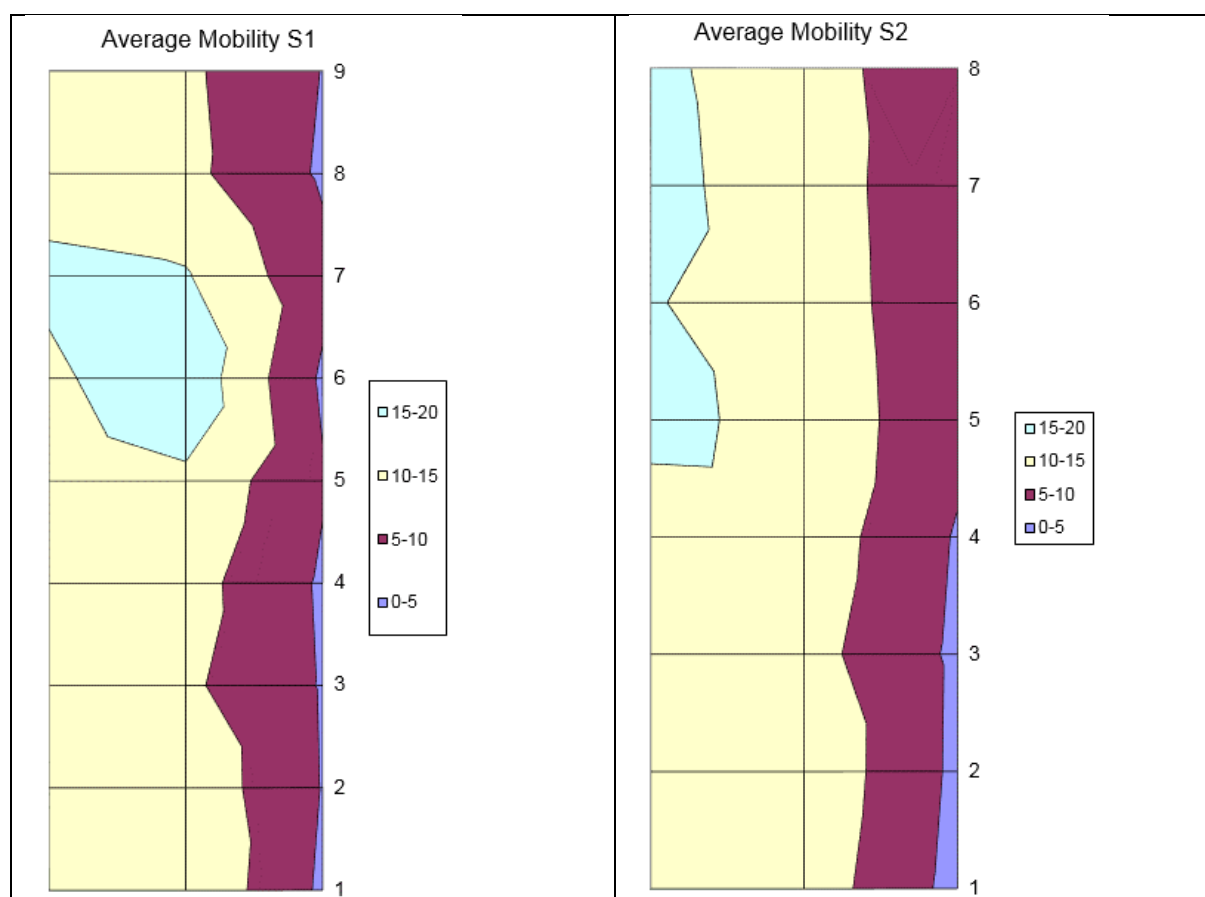
Der er målt i de samme 4 felter på søjler og facadebjælker som ved EKP-målingerne.

Resultat

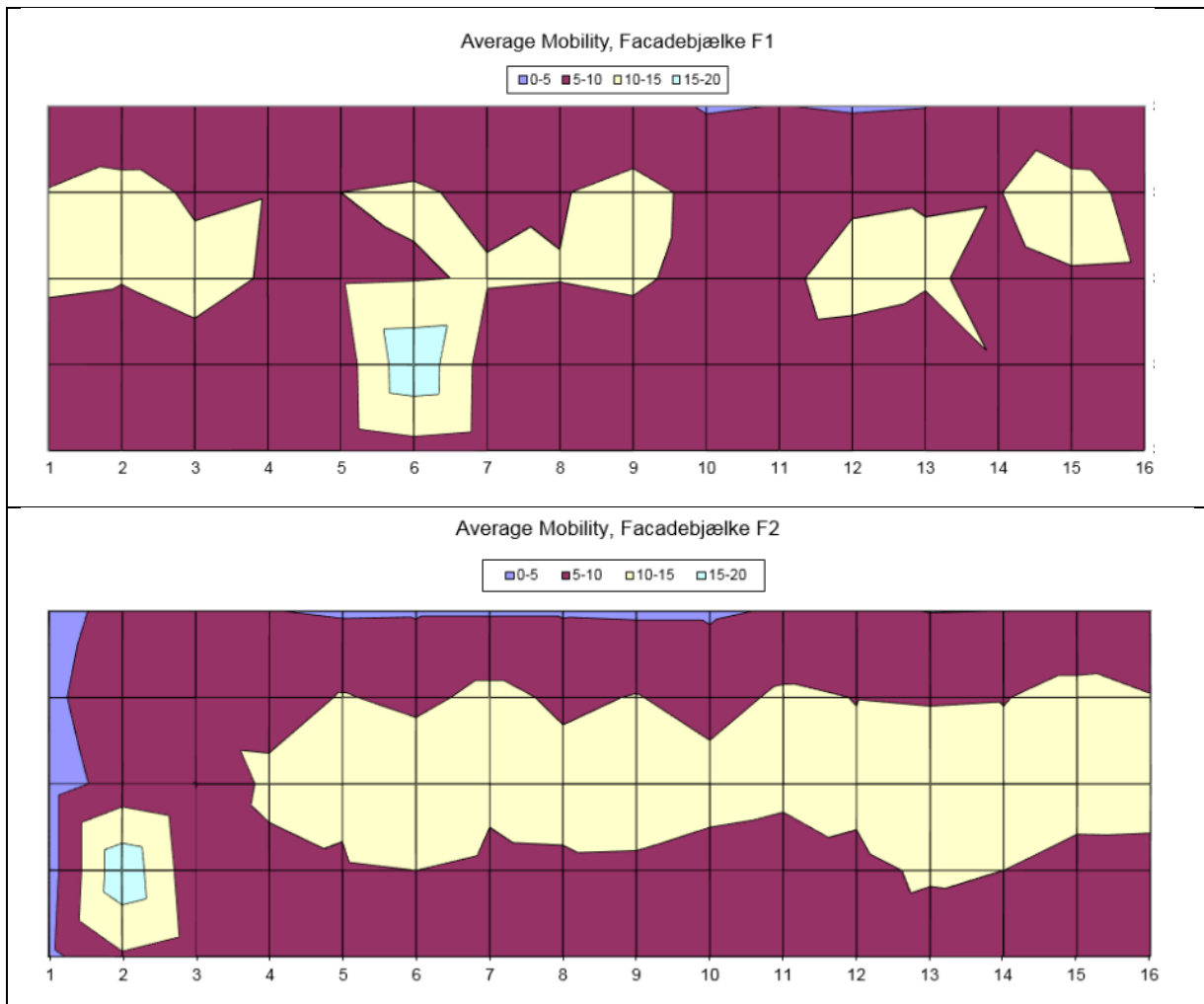
Konturdiagrammer af de udførte målinger ses på de følgende sider.

Målefelterne på søjler og facadebjælker består overordnet af samme punkter som er anvendt til EKP-målingerne. På søjler er der dog ikke målt på alle 4 sider, men kun på den ene brede side af søjlerne og på den ene smalle side. Som det fremgår af Figur 7.5.2 nedenfor er den gennemsnitlige mobilitet på søjlerne højest i punkterne (X=1-2) som er placeret på søjlernes brede side, hvilket er gældende i hele søjlernes højde. Dette skyldes søjlernes geometriske forhold.

Der ses endvidere en smule forhøjet mobilitet på søjle S1 omkring punkt (Y=5-7), hvilket sandsynligvis skyldes at mobiliteten er højere i midten af søjlen end i top og bund. På søjle S2 ses en let forhøjet mobilitet i det område på søjlen som ligger over de tilstødende facadebjælker, hvilket igen kan tilskrives de geometriske/statiske forhold, og der er således på baggrund af de udførte mobilitetsmålinger ingen indikationer på, at betonen indeholder skjulte delamineringer eller stenreder. På Figur 7.5.3 fremgår den gennemsnitlige mobilitet fra de udførte sMASH-målinger på facadebjælker. Resultaterne her viser heller ingen tegn på skjulte delamineringer eller stenreder i betonen.



Figur 7.5.2 – Average Mobility på søjler



Figur 7.5.3 – Average Mobility på facadebjælker