

Tarjei Karlsen Bruaas

Long-term performance of cathodic protection (CP) of marine bridge, inspection of Sortlandsbrua 27 years after CP installation

An investigation of performance and damages on the installation.

Master's thesis in Experience-based Part-time Master programme Road and Railway Engineering
Supervisor: Mette Rica Geiker
May 2019



Tarjei Karlsen Bruaas

Tarjei Karlsen Bruaas

Long-term performance of cathodic protection (CP) of marine bridge, inspection of Sortlandsbrua 27 years after CP installation

An investigation of performance and damages on the installation.



Master's thesis in Experience-based Part-time Master programme
Road and Railway Engineering
Supervisor: Mette Rica Geiker
May 2019

Norwegian University of Science and Technology
Faculty of Engineering
Department of Ocean Operations and Civil Engineering

Abstract

Concrete structures placed in or next to the sea are constantly bombarded with chlorides, either directly from the seawater or by airborne chlorides. This can cause ingress of chlorides on to the surface of the reinforcement of the concrete which then may start to corrode. There are more than 7000 concrete bridges in Norway located close to the sea. This thesis focuses on the long-term effects and how to ensure good quality with cathodic protection (CP), which is a repair method that prevents further corrosion of the reinforcement and can therefore increase the service life of a structure with several decades. The work in this thesis has been performed using literature studies, field investigations and laboratory analyses.

Sortlandsbrua is a cantilever concrete bridge which was built in 1975 and showed signs of corrosion damage early in the 1980s. In 1990-1991 cathodic protection was installed on the pillars to prevent further corrosion damage. The CP was installed using 3 different methods, in combination with the long lifetime of the installation this makes it ideal to investigate the bridge to study long-term effect of CP. The bridge was investigated during the summer of 2018, 21 concrete cores were sampled from 4 different pillars to create chloride profiles, μ -XRF scans and thin section samples. All the areas with CP was also investigated for delamination of CP-mortar.

During the investigations there have been discovered protective and destructive consequences of the CP over 27 years on Sortlandsbrua. Chlorides have been extracted from the bridge concrete and ASR have been discovered at the reinforcement. Small areas of delamination of CP-mortar were also discovered. There seem to have been development of microcracks in the CP-mortar due to the impressed current from the CP.

Carbonated concrete seems to have affected the transportation of chlorides. The effect of carbonated concrete on the chloride movement and different transport mechanism has been discussed along with the consequences of the observed changes and damages. There are suggested further investigations to supplement the findings here and give better understanding of the findings in this thesis.

Sammendrag

Betong konstruksjoner i eller ved sjøen blir hele tiden bombardert av klorider, enten direkte fra sjøvannet eller gjennom luftborne klorider. Dette kan føre til at kloridene trenger inn i gjennom betongen og når overflaten til armeringsstålet i betongen som da kan begynne å korrodere. Det er over 7000 betongbruer i Norge som ligger i eller ved sjøen. Denne oppgaven fokuserer på langtidseffektene og hvordan å sikre god kvalitet ved katodisk beskyttelse (KB), som er en reparasjonsmetode som forhindrer videre korrosjon av armeringen og kan dermed forlenge levtiden til konstruksjonen med flere tiår. Arbeidet i denne oppgaven er gjennomført med litteraturstudier, feltundersøkelser og laboratorieundersøkelser.

Sortlandsbrua er en fritt frambygd betongbru som ble bygd i 1975, allerede tidlig på 1980-tallet var det tegn på skader som følge av korrosjon. I 1990-1991 ble det installert KB på pillarene for å forhindre videre korrosjonsskader. Det ble brukt tre forskjellige metoder for å installere KB-en, i kombinasjon med den lange levetiden til installasjonen gjør dette det ideelt å undersøke brua for å studere langtids effekter av KB. Brua ble undersøkt i løpet av sommeren 2018, 21 betongkjerner ble tatt ut fra 4 forskjellige piler for å lage kloridprofiler, μ -XRF-scaninger og tynnslip prøver. Alle områder med KB ble undersøkt for delaminering av KB-mørtel.

Undersøkelsene avdekket både godartete og ødelegende konsekvenser av KB-en som har virket på bruen over 27 år. Klorider har blitt trukket ut av brubetongen, men det har også blitt observert alkalie silika reaksjoner inntil armeringen. Små områder med delaminasjon av KB-mørtel er avdekket. Det er også observert mikrosprekker i mørtelen som tilsynelatende er en konsekvens av den påtrykte strømmen fra KB anlegget

Karbonatisert betong ser ut til å ha påvirket forflyttningen av klorider. Effekten av den karbonatiserte betongen og de forskjellige transportmekanismene har blitt diskutert i oppgaven, samt konsekvensene av de observerte endringene og skadene. Det er anbefalt videre undersøkelser for å kunne supplere og gi bedre forståelse rundt de fundene som er gjort i denne oppgaven.

Preface

This master thesis is written as a part of NTNU's experience-based master program in roads and railroads, with specialization on roads. The thesis is conducted at the department of Civil and Environmental Engineering at NTNU over a 38-week period from August 2018 to May 2019.

The thesis explores the long-term effect of cathodic protection on concrete bridges to further knowledge and provide better methods for protecting concrete bridges.

First, I would like to address my deepest gratitude to my cohabitant Renate for her patience through the process of writing this thesis and help with language corrections.

I would also like to express sincere gratitude to my supervisors: professor Mette Rica Geiker from NTNU, Dr. Roy Antonsen from NPRA and PhD Karla Hornbostel from NPRA for their guidance and counselling during my study.

A special thank goes to Multiconsult and Visinor for their help with performing field investigations and Leif-Harald for his report of the field investigations. I would also thank Tobias and Ola at SINTEF for analysing the extracted concrete cores with μ -XRF investigations and making the chloride profiles. Ulla at DTI deserves gratitude for analysing the thin section samples. Per Hagelia deserves gratitude for discussions about results of the investigations. I would also like to thank the NPRA project Bedre bruvedlikehold (better bridge maintenance) for financing the investigations and lab analyses. And at last I would like to thank my employer who has allowed me to work on this thesis as a part of my job.

Index

Figures	xii
Tables	xiv
Equations	xiv
List of abbreviations and symbols	xiv
1 Introduction	15
1.1 General	15
1.2 Objective	15
1.2.1 Conditions of the CP on Sortlandsbrua	16
1.2.2 Mechanisms that CP is protecting against or may impair the functionality and lifetime of CP-installations	16
1.2.3 Causes of the conditions and consequences of todays conditions	17
2 Theory	18
2.1 Concrete:	18
2.1.1 Transport mechanisms	19
2.1.2 Pore structure	19
2.1.3 Quality of concrete	19
2.2 Corrosion of steel in concrete	20
2.3 Damaging mechanicms in the concrete	24
2.3.1 Frost deterioration	24
2.3.2 Shrinkage	25
2.3.3 Internal sulfate deterioration	25
2.3.4 ASR	26
2.4 Cathodic protection	26
2.4.1 The different anode systems:	27
2.4.2 Damage mechanisms of the anodes	28
3 Hypothesis	30
3.1 Movement of chlorides from bridge concrete to CP-mortar	30
3.2 Damage development due to forced current.	33
3.2.1 Anodic acidification	33
3.2.2 Alkali Silica Reaction	34
3.2.3 Increased amount of microcracks	34
3.3 Potentially reduction of current due to healthier concrete.	34
4 Experimental	36
4.1 Case Sortlandsbrua	36
4.1.1 Data about the bridge	37

4.1.2	Methods for repair	38
4.1.3	Specifications of the CP-installation	39
4.1.4	Specifications of the CP-mortar	40
4.1.5	Depolarization results form the CP-installation	41
4.1.5.1	Data sets from Sortlandsbrua	41
4.2	Investigations	44
4.2.1	Chloride profiles	46
4.2.1.1	Acquiring the data	46
4.2.1.2	Drilling of cores.	49
4.2.1.3	Packing and shipping the cores.	49
4.2.1.4	Chloride profiles	49
4.2.1.5	Sources of error	49
4.2.2	μ -XRF scans and thin sections	51
4.2.2.1	μ -X-Ray Fluorescence scans	54
4.2.2.2	Thin sections.	55
4.2.3	Onsite inspection.	56
5	Results from the investigations	57
5.1	Current densities	57
5.2	Onsite inspection	57
5.3	Results from cores	60
5.3.1	Chloride results	60
5.3.2	μ -XRF	66
5.3.3	Thin sections	73
5.3.3.1	Carbonatization	73
5.3.3.2	Porosity and cracks	74
5.3.3.3	ASR	74
5.3.3.4	Sulphate attacks	76
5.3.3.5	Frost attack	76
5.3.3.6	Hydroxide content	76
5.3.3.7	Acidification of the mortar	77
6	Discussion	78
6.1	Chloride movement from original concrete to CP mortar	78
6.1.1	Consequences of chloride movement	80
6.2	Observed damagemechanisms	82
6.2.1	Microstructure in the CP mortar	82
6.2.2	ASR	82
6.2.3	Acidification	83

6.2.4	Delamination	83
6.2.5	Carbonatization.....	83
6.2.6	Sulfate attacks	84
6.3	Assessments of the CP installation on Sortlandsbrua.....	84
6.4	Ensure good result for CP systems over time.	85
7	Conclusions.....	86
8	Possible utilization of the results and further investigations.	87
	References	88
	Appendix.....	
	Appendix A Contract for writing master thesis	
	Appendix B Thin section report (Ulla Hjorth Jakobsen 2019. Danish Technological institute)	
	Appendix C Questions and answers about the thin section report.	
	Appendix D Depolarizations from Sortlandsbrua 1990-2018	
	Appendix E Test report, μ -XRF investigations of concrete from Sortland Bridge, Norway (Tobias Danner 2018. SINTEF)	
	Appendix F Prøvingsrapport, Kloridprofiler for borkjerner Sortlandsbrua, (Ola Skjølvold 2018, SINTEF).....	
	Appendix G Sortland bru Nordland fylke reparasjon med katodisk beskyttelse. (Vegvesenet)	
	Appendix H Sortlandsbrua, tilsandskontroll av søyler 1990. (Jan Østvik Ringtek)	

Figures

Figure 2-1 Evans diagram that show a schematic display of the transition from active corrosion to passive behavior to the transpassive state for passive metals. (Shamsudin 2011)	21
Figure 2-2 Schematic representation of the propagation stage of pitting (McCafferty 2010)	22
Figure 2-3 Representation of macrocell corrosion (Bertolini 2013).	22
Figure 2-4 Pourbaix diagram for iron (Fe) at 25°C (McCafferty 2010).....	23
Figure 2-5 concrete spalling due to rust (Bernt Kristiansen 1998).	24
Figure 2-6 Delamination of concrete due to rust	24
Figure 2-7 schematic representation of conditions for thaumasite attack (Hagelia 2007).	26
Figure 2-8 Pedferri's diagram showing the evolution of corrosion potential of steel in cement depending on chloride level and electrochemical charge. Cathodic prevention (1-2-3); CP restoring passivity (4-5); CP reducing corrosion rate (4-6). (Bertolini 2013). ..	27
Figure 2-9 Pourbaix diagram of Titanium (Velloso, Aguiar et al. 2017)	28
Figure 3-1 chloride content according to depth before CP-mortar was applied.	30
Figure 3-2 Original chloride profiles from 1999 in original concrete (left side is exposed side) (Rodum and Lindland 2012).....	31
Figure 3-3 Chloride profiles around the intersection between repair concrete and old concrete 2004 (left side is towards the surface of the repair concrete), 5 years after the repair (Rodum and Lindland 2012).	31
Figure 3-4 Chloride profiles around the intersection between repair concrete and old concrete 2009 (left side is towards the surface of the repair concrete). 10 years after the repair(Rodum and Lindland 2012) graphs are not directly comparable to Figure 3-3 as the samples are not from the exact same location.	32
Figure 3-5 Expected new chloride profile due to migration, diffusion and a combination.	32
Figure 4-1 Picture of the building of Sortlandsbrua, picture taken from the north-western side of the bridge. Image from digitaltmuseum.no.....	36
Figure 4-2 Map over Nordland and Troms showing the placement of Sortlandsbrua (Vegvesenet 2018)	37
Figure 4-3 Overview of repair methods for Sortlandsbrua with Sortland towards the left side.	38
Figure 4-4 Zones for the anode nett of each pillar with CP.	40
Figure 4-5 Depolarization of pillar 11 a) from 1993, b) from May 2011 c) from August 2011 and d) from 2018	42
Figure 4-6 Depolarization from pillar 2 June 2018.....	43
Figure 4-7 Placement of the cores from pillar 2. a) is eastern side b) is western side	44
Figure 4-8 Placement of the cores from pillar 4, eastern and northern side.	45
Figure 4-9 Placement of the cores from pillar 11. a) shows from southern, eastern and northern side, b) shows western side.....	45
Figure 4-10 Placement of the cores taken from pillar 12, a) shows the southern and eastern side, b) shows the western side.	46
Figure 4-11 Example of picture of pillar 4 from after hydrodemolition.....	47
Figure 4-12 The interface between the different layers, figure a) show a sandblasted surface, figure b) shows a surface that has been hydro demolished in small spots and figure c) shows a completely repaired surface.	50
Figure 4-13 possible variation due to cement content of the mortar for core A9.	51

Figure 4-14 Delamination in core M8 a) from before wrapping, b) from after 4 months in storage.	54
Figure 4-15 Core M6 with a crack	54
Figure 4-16 Placement of the thin section cuts: a)M3 b)M4 c)M5 (Jakobsen 2019).....	55
Figure 5-1 Delamination on pillar 11, north eastern corner. On the left the crack is shown before removing the delaminated mortar.....	58
Figure 5-2 Delaminated area sprayed with phenolphthalein.	58
Figure 5-3 Highlighted acidic areas of the mortar from the freshly broken surface.	59
Figure 5-4 Northern side of pillar 17	60
Figure 5-5 Chloride content core A1	61
Figure 5-6 Chloride content core A2	61
Figure 5-7 Chloride content core A3	62
Figure 5-8 Chloride content core A4	62
Figure 5-9 Chloride content core A5	63
Figure 5-10 Chloride content core A6	63
Figure 5-11 Chloride content core A7	64
Figure 5-12 Chloride content core A8	64
Figure 5-13 core A8 broken at the CP-mortar and bridge concrete interface.....	65
Figure 5-14 Chloride content core A9	65
Figure 5-15 Chloride profiles grinded from the cores taken with CP-mortar in 2018	66
Figure 5-16 Core M4 and M5 with different levels of chloride ingressio.....	67
Figure 5-17 chloride mapping using μ -XRF scan on core M6	68
Figure 5-18 M6: taken from the eastern side at 4.5 meters above sea level, image 2 shows the same results with at different scale for the chloride mapping. The scale on the right side shows percentage of the highest measured content in the sample.	69
Figure 5-19 M4 taken from the Northern side at 18.55 Meters above sea level	70
Figure 5-20 M3: taken form the northern side at 6,85 Meters above sea level, Image 2 shows the same results with at different scale for the chloride mapping. The scale on the right side shows percentage of the highest measured content in the sample.	70
Figure 5-21 M5: taken from the eastern side at 2.5 meters above sea level, image 2 shows the same results with at different scale for the chloride mapping. The scale on the right side shows percentage of the highest measured content in the sample.	70
Figure 5-22 M1: taken from the western M8: taken from the western side at side at 7.35 meters above sea level. 7.35 meters above sea level.....	71
Figure 5-23 M7: taken from the eastern side at 2.85 meters above sea level	71
Figure 5-24 M2: taken from the eastern side	71
Figure 5-25 M8 μ -XRF scans for Na and K.....	72
Figure 5-26 closeup of rebar imprint M8, shows a slight accumulation of sodium at the front of the rebar.....	72
Figure 5-27 Sulphur scans of cores. a)M3 b)M4 c)M5 d)M6	73
Figure 5-28 Documented ASR in M5 (Jakobsen 2019)	75
Figure 5-29 closeup of reactive aggregate in core M6.....	75
Figure 5-30 M6 showing several potential reactive aggregates, with surrounding moisture	76
Figure 6-1 Drop in chloride content (close-up of Figure 5-15).....	78
Figure 6-2 Chloride levels by cement weight compared to threshold value for steady corrosion.	81

Tables

Table 1 Long-time comparing of Cathodic protection and Chloride Extraction.	33
Table 2 Placement of core samples A series	47
Table 3 Core data for A series	48
Table 4 Placement and purpose of M-series.	52
Table 5 Core data for the M series	53
Table 6 Current densities for pillar 11.....	57
Table 7 Summary of observations from the thin section investigations (Jakobsen 2019)	74

Equations

Equation 1	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ (dissolution of iron) Anodic reaction.....	20
Equation 2	$2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 4(\text{OH}^-)$ Cathodic reaction	20
Equation 3	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeOH}^+ + \text{H}^+$	21
Equation 4	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$	21
Equation 5	$\text{H}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{HCl}$	21
Equation 6	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	28
Equation 7	$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$	28

List of abbreviations and symbols

NPRA	Norwegian Public Roads Administration
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (Norwegian University of Science and Technology)
CP	Cathodic Protection
ASR	Alkali Silica Reaction
μ -XRF	Micro X-ray Fluorescence
SEM-EDX	Scanning Electron Microscopy, Energy Dispersive X-ray
RaD	Research and Development
NOK	Norwegian Krone
w/c	Water/cement
MMO	Mixed metal oxide
RAD	Research and development
RTC	Rapid Chloride Test
A	Ampere
V	Volt
μ	Micro

1 Introduction

1.1 General

Cathodic Protection (CP) is a way of protecting steel from corrosion. The method involves applying a direct current between the reinforcement steel and an anode. This process lowers the corrosion rate and can enable the steel to re-establish its protective film on the its surface, it can also force chloride ions to migrate to the positively charged anode.

There are 185 concrete bridges in Norway that are more than 100 meters long, built before 1980 and located in coastal areas, where 114 are characterised as exposed or severely exposed (Vegvesenet 2018). These structures are or may be at risk of being subjected to chloride attacks which can cause reinforcement corrosion. For such bridge lengths the cost of building new structures is huge, and repair may often be a less expensive alternative. The price of a new bridge generally ranges from 300 000 NOK per meter to 1 000 000 NOK per meter. Corrosion of reinforcement is considered to be the most dominant destructive mechanisms for concrete around the world (Al-Amoudi, Maslehuddin et al. 2003) . Therefore, it is important to find economical ways to repair and protect against chloride induced corrosion, in some instances CP may be the preferred method.

When considering which repair method to use the cost and life expectancy of the different methods must be assessed. Conventional repair for concrete structures consists of chiselling out the damaged concrete and reapplying mortar. This is costly, and the extent can be vast because a lot of structurally healthy concrete must be removed if it contains chlorides or is carbonated, if not the rebars will start to corrode in the interface between new and old concrete. When using CP, the structural damaged concrete must be removed and replaced with fresh concrete in order to establish electrolytic contact between the reinforcement and the anode. However, the rebars inside the chloride contaminated or carbonated concrete will re-establish its protective film and the corrosion rate will slow down or even stop. Accordingly, there is no need to remove structural healthy concrete. If done correctly CP can have a long lifespan and should therefore be a less costly way of extending the service life of large concrete bridges than conventional repair methods.

By assessing existing CP-installations it is possible to both evaluate the effect of CP on the concrete and the reinforcement and reconsider accordingly how future CP-installations should be carried out to ensure good effect and a long lifespan.

Sortlandsbrua is a good case to study, as it was repaired using CP in several different ways in 1990-1991, and it seem to be working satisfying until today.

1.2 Objective

The general objective of this thesis is to provide improved knowledge for ensuring good quality and lifetime of cathodic protection installations, this task is wide and difficult to answer in one thesis. Therefore, the following sub-objectives have been set:

- Document the conditions of the CP-installation on Sortlandsbrua.

- Identify possible mechanisms that impair the functionality and lifetime of CP-installations.
- Discuss potential causes of the observed condition of the CP-installation on Sortlandsbrua and address the consequences for the remaining service life of the installation

1.2.1 Conditions of the CP on Sortlandsbrua

There are several conditions that are expected occur throughout the lifetime of a CP-installation. Some of them will have a negative effect, some positive and others no practical effect. The effects expected to have appeared at Sortlandsbrua and to be addressed in this thesis are the following:

- The chloride distribution is expected to have changed in the concrete compared to before the CP was installed. Changes should either be chlorides penetrating from the outside or chlorides moving from the concrete to the CP-mortar.
- The pH in both the mortar and concrete may have changed. The carbonated concrete may be re-alkalized and the mortar may be acidified around the anode. There might be an increased amount of hydroxide molecules in the concrete and the CP-mortar may have been depleted of hydroxides because of the electrochemical processes.
- The concrete or mortar used to install the anode net for the CP may have delaminated in some areas, especially in vicinity of the anode or at the CP-mortar/concrete interface.

1.2.2 Mechanisms that CP is protecting against or may impair the functionality and lifetime of CP-installations.

There are several damaging mechanisms that will affect reinforced concrete over time. Some will still affect the concrete after CP is installed and may impair the installation. The most apparent mechanisms that are damaging the concrete are the ones such as corrosion, deterioration and destruction of concrete which can be caused by physical attacks, chemical attacks or biological attacks (biological attacks are not in the scope of this thesis).

The damaging mechanisms that will be investigated and discussed are:

- Reinforcement corrosion
- Alkaline silica reactions (ASR)
- Sulphate attacks
- Freeze/thaw attacks
- Acidification
- Movement of chlorides into the CP-mortar

There are also some mechanisms that can have a positive influence on the CP-installation and the concrete, the different mechanisms that will be investigated and discussed are:

- Movement of chlorides away from the rebars.
- De-carbonatization/re-alkalization

1.2.3 Causes of the conditions and consequences of todays conditions.

The cause and consequences for the relevant conditions of the CP-installation will be discussed.

- Chloride content
- Delamination/loss of electrolytic contact
- Condition of mortar

2 Theory

2.1 Concrete:

Concrete consists of cement, aggregates and additives. The material can withstand tremendous amounts of pressure, if made properly, but is fairly weak when it comes to tensile stresses. To overcome the problems regarding tensile strength it was discovered that by reinforcing the concrete with steel the composite could withstand compression, bending and tensile stress. The technology is fairly similar to the wattle and daub method of building houses, which has been used for several thousands years (Flannery 1976), where branches or straw is used in combination with clay, dung or dirt to build inexpensive but strong walls. However, when used just for tensile purpose it is much more common to use just steel as it is then lighter and less expensive. Due to its durability, cost-effectiveness and it being an easy material to form, concrete is one of the most used building materials in the world (Kristiansen, Lindland et al. 1998).

The damaging mechanisms of reinforced concrete can be divided into four different main categories (Kristiansen, Lindland et al. 1998):

- Reinforcement deterioration, corrosion.
- Physical attacks
- Chemical attacks
- Biological attacks

Fresh concrete is the perfect place for steel, as the alkaline concrete gives the steel a protective film that passivates and protects it from corrosion. However, there are several factors that can destroy the protective film: high chloride content or lowered pH in the concrete can destroy the protective film and make active corrosion of the steel possible.

Reinforcement corrosion is generally caused by chloride ingress or carbonatization. Though this could fall into the category of chemical attacks it is widely spread and the most pressing cause of deterioration.

Physical attacks are frost damage, creep and shrinkage, temperature variations, overload/under dimensioned, consolidation of soil, attrition, erosion and accidents such as collisions, avalanches etc.

Chemical attacks are alkali silica reactions (ASR), leaching of calcium hydroxide, acid attacks and sulphate/nitrate attacks.

Biological attacks are bacteria or other microbes which can deteriorate concrete paste.

This thesis will focus on the chemical and physical processes that may occur after installation of CP-systems on bridges and how local changes or conditions in OH⁻ or Cl⁻ content may affect corrosion, frost deterioration, delamination, cracking or ASR development. Some of these effects are also present in concrete without CP, but CP may increase or decrease the effect.

- Corrosion of steel in concrete 2.2
- Damaging mechanisms in concrete 2.3

- Cathodic protection-damage mechanisms in the anodes 2.4.2

2.1.1 Transport mechanisms

There are four different transport mechanisms for chlorides to move through concrete (Bertolini 2013).

- Diffusion (due to concentrations gradients evening out)
- Migration (due to electrical potential gradients)
- Capillary suction (due to suction of water through the pore structure)
- Permeability (due to pressure difference)

The concrete will contain both free and bound chloride ions. To be able to move through the concrete the chloride need to be free chloride ions in the pore solution. The ratio of bound and unbound chloride ions will be regulated and sustained by chemical equilibrium reactions. It is a slow process to form equilibrium between bound and unbound chlorides (Elsener, Molina et al. 1993) (Bertolini 2013). However, if the concrete is carbonated the bound chlorides are released faster and will be free to move at a rapid ratio compared to uncarbonated concrete (Bertolini 2013) (Wang, Nanukuttan et al. 2017) (Suryavanshi and Swamy 1996).

2.1.2 Pore structure

The pore structure of concrete is essential for the transportation of chlorides. There are mainly three different pore types in concrete: gel pores, capillary pores and air voids. The sizes of the pores differ, as gel pores are from a few fractions of a nm to several nm, capillary pores are generally from 10 to 50 nm but can reach up to 3-5 μm and air voids have a dimension ranging from 0.05-0.2mm (Bertolini 2013). For ions to be able to move through the pores, the pores need to be somewhat connected and close to one another, allowing for a continuous network of pores acting as transport channels.

2.1.3 Quality of concrete

The quality of concrete has changed a lot over the last 40 years. Especially since the mid 70's. The knowledge of damaging effects and how to prevent them have increased and some of the problems with the bridges from the era of when Sortlandsbrua was built should not be occurring in new bridges today.

The differences between older and newer concrete are:

- There is more control of the aggregates (sizes and chemical compounds) in newer concrete.
- Better additives give room for less water which in return gives stronger and less porous cement that is also easy to work with.
- Better control over geometrical aspects such as: cover depth, design for ensuring proper casting and designs leading water away.

As the control over the w/c ratio in older bridges varies, it is expected significant differences in the pore structure and ingress of chlorides throughout the bridge. A w/c ratio over 0.4 generally gives more pores in the concrete (Bertolini 2013).

2.2 Corrosion of steel in concrete

Corrosion is an electrochemical process involving anodic dissolution of iron:

Equation 1 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ (dissolution of iron) **Anodic reaction**

At the cathode the free electrons react with water and oxygen and create hydroxyl ions:

Equation 2 $2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 4(\text{OH}^-)$ **Cathodic reaction**

As mentioned earlier the most pressing deterioration mechanism in concrete is corrosion of reinforcement steel. In fresh concrete corrosion rarely occurs, as there is a protective film that is generated around the rebars (Bertolini 2013). But if the pH drops or chlorides are present the passive film can get destroyed and corrosion can occur (Bertolini 2013) (Ma 2012).

The chlorides must be free to depassivate the steel and bound chlorides should therefore not affect the corrosion ratio. However, the bound chlorides in "Friedel's salts" ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) can be released in to the pore solution (Suryavanshi and Swamy 1996). This may result in a damaging environment for the steel after some time, if there are chlorides cast into the concrete even though they originally were bound to the cement. The threshold for corrosion to propagate varies depending on the source. Alonso, Andrade, Castellote and Castro tried to find the range of threshold values, by basing the "definition of chloride threshold as the value that induces permanent active corrosion (mean corrosion current higher than $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)" (Alonso, Andrade et al. 2000), they concluded in their study that by total Cl^- (based on weight of cement) the value lies between 1.24% and 3.08% (Alonso, Andrade et al. 2000). However as shown in figure Figure 2-8 Bertolini et. al. suggests that pitting may initiate at about 0.4% and that the chloride levels must be reduced to about 0.1% to stop propagation if it has started (Bertolini 2013). Cl^- ions are seemingly everywhere with their presence in seawater, de-icing solutions and can even be airborne and are therefore the most important aggressive anion. However, other aggressive anions such as Br^- , I^- , SO_4^- or NO_3^- , to mention a few, can also initiate pitting corrosion depicted in Figure 2-2 (McCafferty 2010).

Because there is need of a cathodic reaction (Equation 2) as well as an anodic reaction (Equation 1) for corrosion to occur, oxygen and water must be present at the steel surface, without it corrosion won't occur. Lack of oxygen is the reason submerged structures won't corrode fast compared to structures in the air exposed to seawater.

The Evans diagram in Figure 2-1 shows how the corrosion rate increases with increased potential until i_{crit} were the metal will enter a passive state if the potential is increased further. With increased chloride content i_{crit} will move to the right. As the scale is logarithmic the rate of corrosion will increase massively with increased potential.

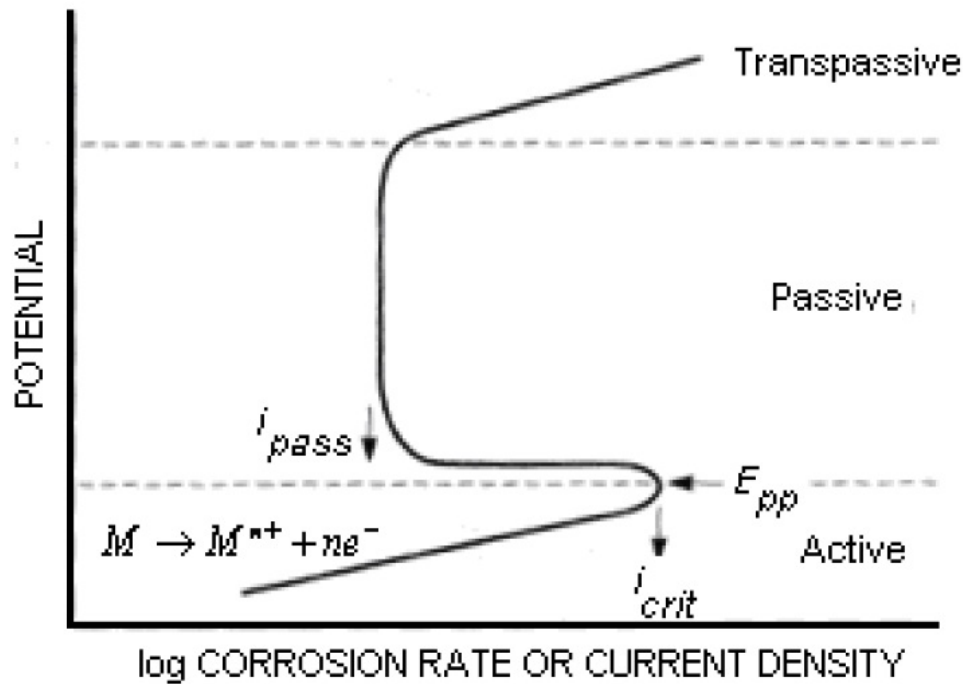
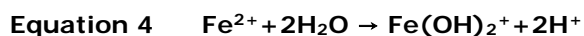
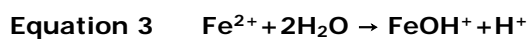


Figure 2-1 Evans diagram that show a schematic display of the transition from active corrosion to passive behavior to the transpassive state for passive metals. (Shamsudin 2011)

Corroding steel in concrete will often be in the active area, this is where macrocell corrosion occurs (depicted in Figure 2-3), pitting corrosion described in literature basically occurs as macrocell corrosion giving localized corrosion a place on the reinforcement. In the transpassive area pitting corrosion can occur and the corrosion rate moves towards infinity. This is an extremely dangerous state as the entire cross section can corrode rapidly. The pH drops inside the pit because Fe^{2+} ions can't diffuse efficiently outside the pit because of the geometry. These ions react with water and creates H^{+} ions (Equation 3 and Equation 4). With the additional accumulation of Cl^{-} ions hydrochloric acid may be created as pH inside the pit continues to drop.



The effects are referred to as autocatalytic reactions and the pit can sustain further growth on its own (McCafferty 2010). In the passive state iron oxides are formed at the surface, this is the protective film which gets destroyed by lowered pH or chlorides. In Figure 2-4 the Pourbaix diagram for iron shows how different oxides and ions are created with variations in potential and pH. Figure 2-2 is a schematic representation of pitting corrosion where the corrosion process occurs in the pit the anodic reaction occurs inside the pit and the cathodic reaction occurs on the passive surface outside the pit (McCafferty 2010).

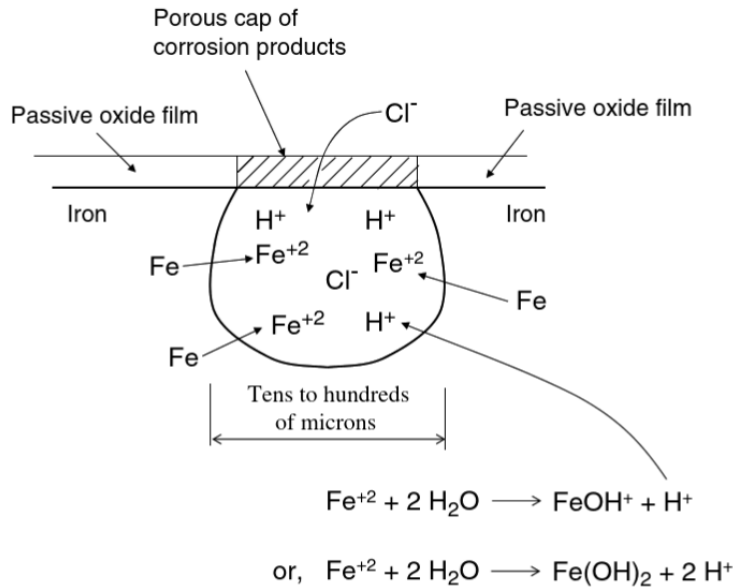


Figure 2-2 Schematic representation of the propagation stage of pitting (McCafferty 2010)

Macrocell corrosion occurs when cathodic and anodic reaction takes place on different places on the surface of the metal (Bertolini 2013). Macrocell corrosion can occur on the same piece of rebar or the 2nd layer can become the cathode and the 1st layer can become the anode. Usually the current will take the shortest way possible from a potential anode to a potential cathode. All these reactions follow ohm's law. The extent of anode and cathode areas, the distance between them all are controlled by geometry and conductivity of ions in the concrete/mortar. As conductivity is high in steel the conductivity here is usually of less importance.

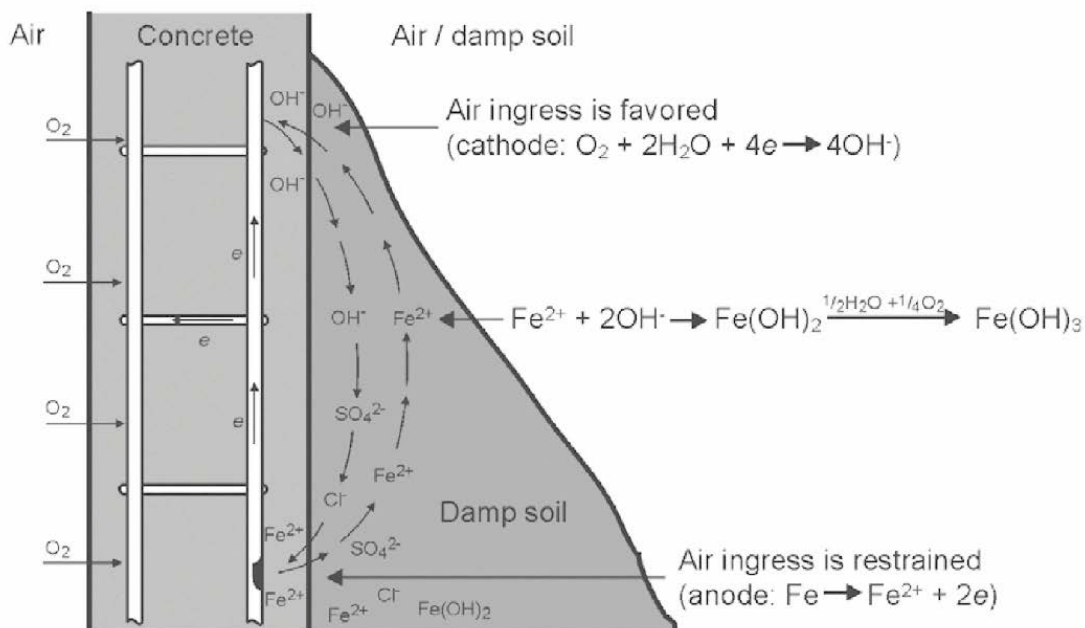


Figure 2-3 Representation of macrocell corrosion (Bertolini 2013).

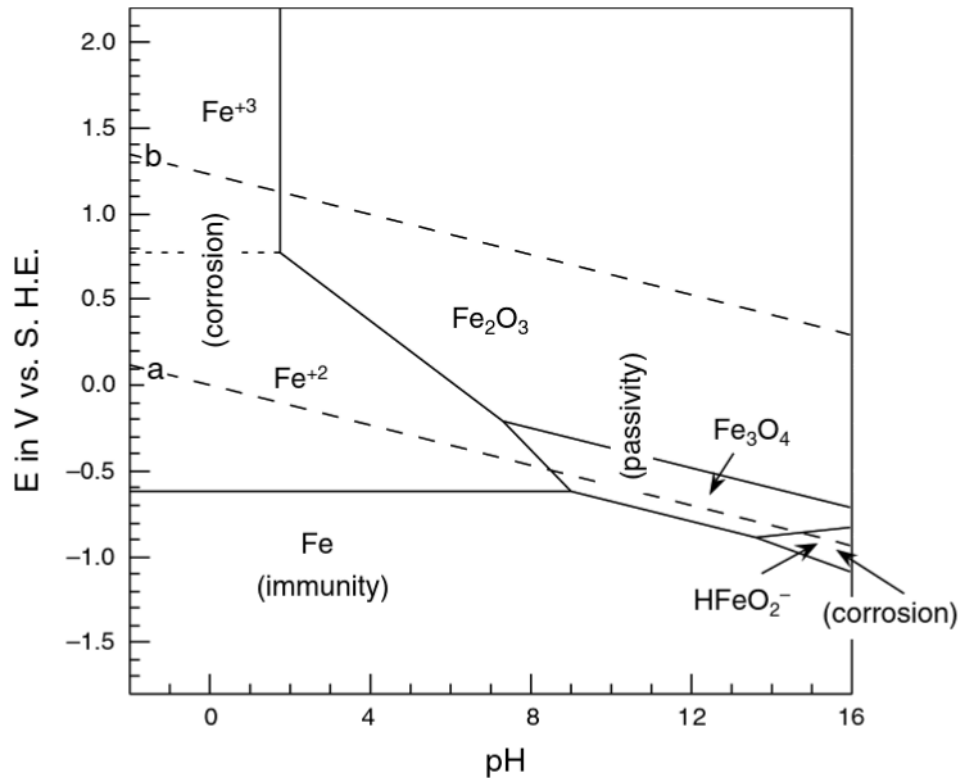


Figure 2-4 Pourbaix diagram for iron (Fe) at 25°C (McCafferty 2010)

The Pourbaix diagram shows active, passive and immune areas and which products that accumulate at the iron surface depending on pH and electrochemical potential. It can be observed that in the passive area iron oxides are accumulated and that in the areas of corrosion iron ions are generated. It should be noted that there is an area with low potential and high pH where corrosion also occurs, this area must be kept in mind when protecting steel, however the pH needs to be higher than what is common in concrete (about 13). It is also important to note that the effect of chlorides is not shown in this diagram. Basically, the active areas will increase with the presence of Cl⁻.

There are mainly two damaging effects of corrosion in concrete. The most obvious is loss of rebar cross section and the second is spalling of concrete due to the expansion of corrosion products. The corrosion products have larger volume than steel and a consequence of this is cracking and spalling in the concrete. This usually happens on the side of the rebar facing outwards, the pressure from the corrosion products causes tensile forces to build up and can cause the concrete to lose connection to the rebars. This can be local spalling Figure 2-5 or delamination that can cover fairly large areas of a structure Figure 2-6.

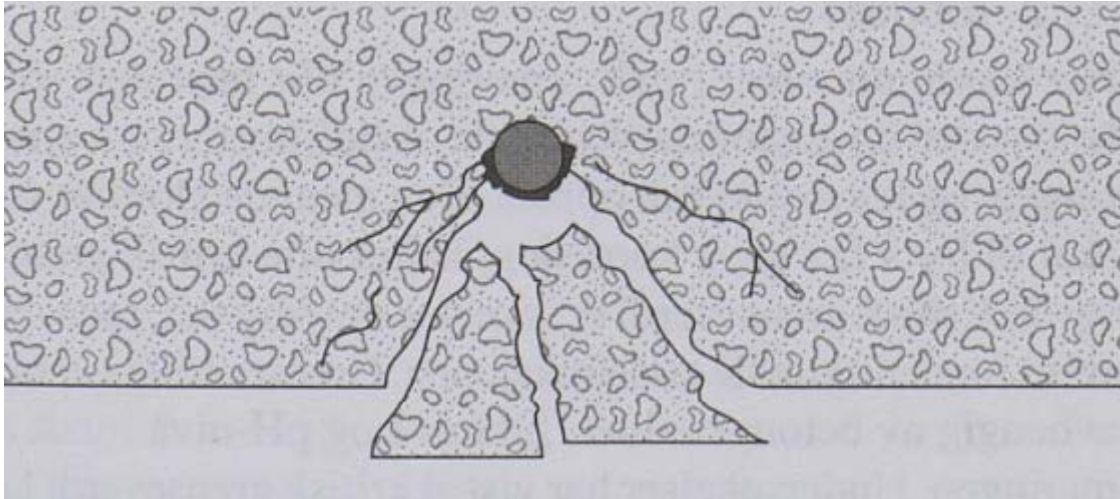


Figure 2-5 concrete spalling due to rust (Bernt Kristiansen 1998).

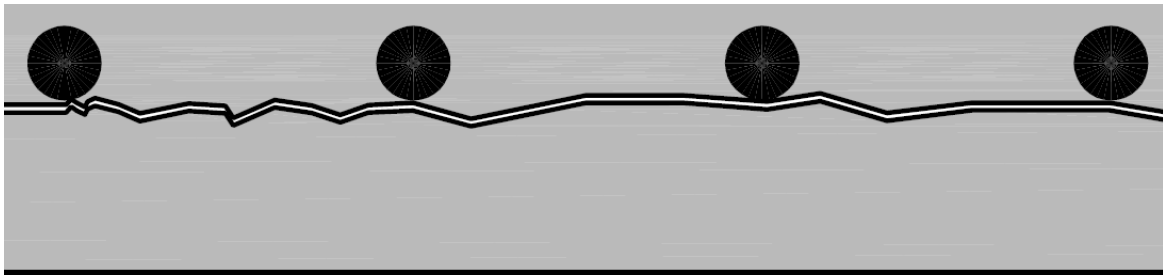


Figure 2-6 Delamination of concrete due to rust

As shown in Figure 2-5 the concrete can delaminate from the rebars. If the rebars are close to each other the cracks can go between the rebars and cause a whole area of concrete to lose contact with the underlying rebars and concrete. This sort of delamination is not easy to see, but a well-trained ear can hear the delamination when the concrete is tapped with a hammer.

2.3 Damaging mechanisms in the concrete

As mentioned previously there are several different damage mechanisms than can deteriorate the concrete itself.

2.3.1 Frost deterioration

Frost deterioration can be divided into two sub categories:

- External damage, scaling.
- Internal damage, delamination, cracking.

Due to tension caused by the expansion of water when it freezes, about 9%, the concrete can scale off, crack or spall in small pieces every freeze-thaw cycle (Bertolini 2013). This effect can get enhanced drastically with high chloride content in the water, because of change in freezing temperature when chlorides are diluted in water. This can cause the

amount of freeze-thaw cycles to increase when the temperature changes and is below 0°C. Every change in temperature will then cause some water to freeze or thaw. This effect usually occurs close to the surface of the concrete, but can also occur on the inside, especially if there is some delamination already between two layers of concrete. This effect is dependent on the concrete being saturated with water than can freeze. Pore sizes are important for the development of frost damage. Small pores filled with water will cause expansion, but the larger pores especially air voids will not be fully saturated and can absorb expansion created by the freezing water in the neighboring capillary pores.

Already existing cracks or delamination can be enhanced by freezing and thawing. If the concrete is well saturated waterfilled cracks can freeze and delamination caused by rust or other mechanisms can increase in size.

2.3.2 Shrinkage

When the fresh mortar sets the cement starts to shrink as it loses water in its pores, this causes increased shear tension between the underlying concrete and the fresh mortar as the hardened concrete experiences minimal shrinkage (Bertolini 2013). This causes shear tension which can cause the new mortar or concrete to lose connection with the old concrete and cause delamination.

Malmgren and his co-authors have investigated failure in shotcrete in tunnels and mines. Lack of adhesion between shotcrete and underlying rock increases rapidly with the thickness less than 20mm. With an average thickness of 40mm 90% of fallouts of plain shotcrete had a thickness ≤ 20 mm (Malmgren, Nordlund et al. 2005). Testing also showed that shrinkage increased with decreasing thickness. And with increased shrinkage the shear tension increases.

To avoid this the fresh mortar or concrete needs good shear strength with underlying concrete, sufficient thickness and a rough underlying surface which breaks the build-up of shear tension.

2.3.3 Internal sulfate deterioration

There are two types of internal sulfate attack; ettringite and thaumasite attacks. They are both caused by present or added sulfates in the concrete but form under different circumstances. Damaging ettringite forms within the decomposition of initially formed ettringite present in the concrete. This ettringite usually decomposes under high temperatures, often a few hours after casting when temperatures can get higher than 70-80°C (Bertolini 2013). Ettringite is a hard material and when formed in pores it can cause tension on the concrete, this effect can be enhanced by cracks or freeze/thaw attacks (Bertolini 2013).

Thaumasite attacks are different from ettringite attacks. Thaumasite ($\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) is a soft, weak material without strength and can't bind aggregates together (Abdalkader 2014). "Crammond (2003) reported that for thaumasite to form, reactions of calcium, sulphate, carbonate and silicate ions should occur in wet, cold (favourably less than 15°C) conditions" (Abdalkader 2014).

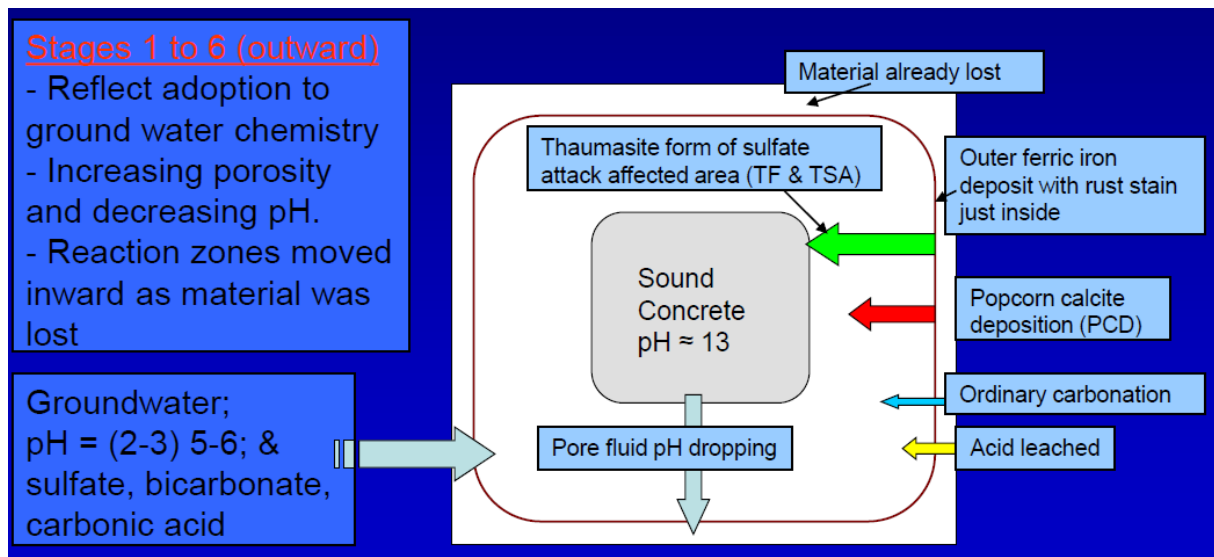


Figure 2-7 schematic representation of conditions for thaumasite attack (Hagelia 2007).

If water, sulfates, carbonate and high pH is present there is a possibility of thaumasite formation. If sprayed mortar is cast onto a carbonated surface the sulphur that accumulated from splashed or airborne seawater before the repair can be sufficient to form thaumasite. If the extent of the formation is sufficient the attack can cause loss of bond between the sprayed mortar and the underlying mortar.

2.3.4 ASR

Alkali silica reactions or alkali aggregate reaction is the development of silica gel in concrete. The silica gel can expand and cause tension in the concrete, which can cause cracking or even make the bridge longer. The process involves the creation of the silica gel that absorbs moisture and swells (Bertolini 2013). The gel is created due to reactive aggregate in the concrete. For the reaction to occur it is necessary with hydroxyl, alkali metal and calcium ions and water. The hydroxy ions provoke the reaction (Bertolini 2013) and an increased amounts of these ions may provoke reactions that would not have occurred otherwise.

2.4 Cathodic protection

Cathodic protection is a recognized method for protecting steel, the technique has been developed for over a hundred years. For protection of steel in concrete the experience goes back about 50 years (Kristiansen, Lindland et al. 1998).

Cathodic protection stops the corrosion process by mounting an anode that is highly resistant to corrosion and passing a direct current between the reinforcement and the anode or by mounting a sacrificial metal and connect it to the reinforcement. This causes the reinforcement to become cathode and the new material to become the anode. It is common to use MMO (mixed metal oxides) coated titanium or zinc as anodes when protecting coastal bridges in Norway.

To stop the corrosion of the reinforcement steel the electrochemical potential must be lowered in chloride rich cement compared to chloride free cement, the Pedefferri's diagram in Figure 2-8 shows at what chloride levels corrosion may begin but also at what levels corrosion will stop depending on the charge from the CP. The CP installation must

be adjusted so that the charge keeps the steel in area C to stop corrosion, but area B can be sufficient if the corrosion is slowed down enough.

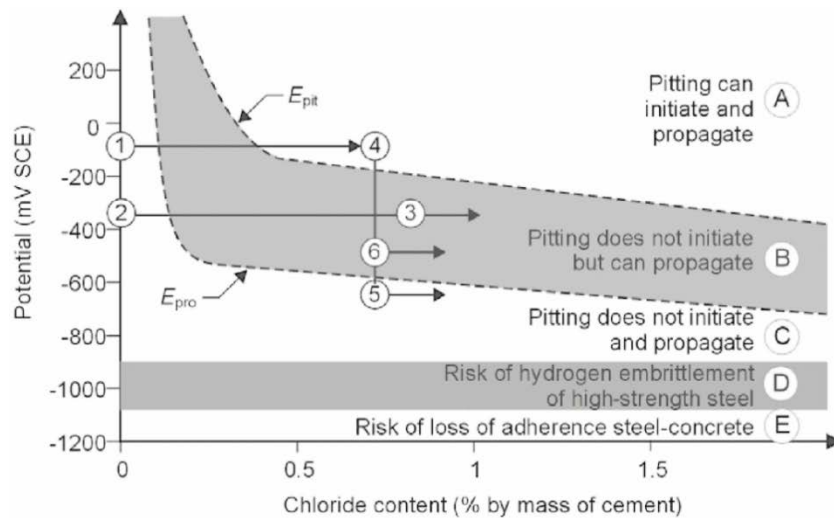


Figure 2-8 Pedefferri's diagram showing the evolution of corrosion potential of steel in cement depending on chloride level and electrochemical charge. Cathodic prevention (1-2-3); CP restoring passivity (4-5); CP reducing corrosion rate (4-6). (Bertolini 2013).

2.4.1 The different anode systems:

From the concrete rehabilitation book edited by Jan Lindland (Lindland 2017) there are 7 different anode types:

1. Titanium net
2. Titanium bond
3. Titanium rod
4. Conductive coating
5. Sprayed zinc
6. Zinc plates
7. Casted zinc anodes

Usage of zinc anodes is based on the natural difference in the galvanic series where zinc has lower potential than steel and iron. This forces the anodic reaction to occur at the zinc and the cathodic reaction to occur at the steel. Zinc anodes are outside the scope of this thesis and are just mentioned here.

When using titanium anodes, a direct impressed electric current is used to move the electrons the opposite way compared to the galvanic series of the metals. The steel becomes the cathode and the titanium becomes the anode. Titanium has high resistance to corrosion and is passive under most circumstances and is often protected even more by applying a mixed metal oxide (MMO) coating. This makes titanium an ideal material as it usually won't corrode due to the impressed current.

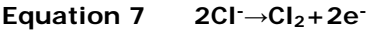
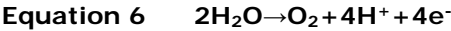
A titanium net is evenly distributed across the surface of the concrete. This is important for even distribution of current and even protection of the rebars.

The titanium bonds are easier to mount, but the current density gets higher compared to Ti-nets. From experience the results are not as good as with a net, regarding acidification and delamination of the CP-mortar which is being studied in the project "Bedre bruvedlikehold" (better bridge maintenance).

The titan rods give even more concentrated current than the bonds, but they are easy to replace, which can make them preferable in some situations. There is also no need to add weight in form of sprayed mortar when installing the anodes.

2.4.2 Damage mechanisms of the anodes.

There are several mechanisms that can damage the anode, whether using nets, bonds or rods. All are susceptible for mechanical damage during installation, but with proper instructions and procedures it can be avoided. Even though titanium is highly resistant to corrosion too much current can cause corrosion or destroy the mortar around the anode, and ohmic potential drops may occur.



The Pourbaix diagram for titanium in Figure 2-9 shows that there is an active area on negative potential under acidic conditions. It is also shown that if the potential gets too high and the environment is alkaline a reaction starts to create titanium hydroxide (TiO₃·2H₂O) which is unstable in water (Chen, Chen et al. 2005). This effect is somewhat mitigated with the MMO coatings used, but defects in the coating or higher potentials can possible cause oxidation of the titanium net. The effects of chloride content are not considered in the Pourbaix diagram, as chlorides generally have a negative influence on passive metals (Liu, Alfantazi et al. 2015) it should be handled with care.

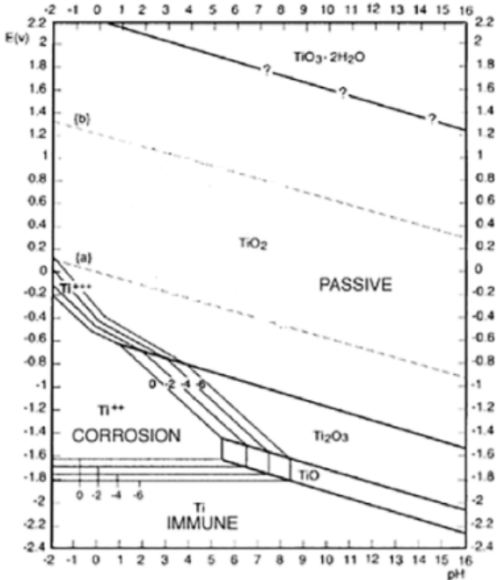


Figure 2-9 Pourbaix diagram of Titanium (Velloso, Aguiar et al. 2017)

Experience show that if the current is to high the anode will break after a while. This will of course render the installation useless as the means to deliver current have been destroyed.

It proved difficult to find research on corrosion of titanium in alkaline environment under influence of chlorides. The research that was found did tests in irrelevant conditions for where titanium is used in CP.

3 Hypothesis

3.1 Movement of chlorides from bridge concrete to CP-mortar

Corrosion attacks due to chlorides are the main reason for degradation of Sortlandsbrua. There are chlorides present in the bridge concrete, presumably already from the production (as aggregates may have been contaminated and as an added accelerator (bruavdeling 1992)) in addition to the bridge being exposed to seawater. It can be anticipated that some of the chlorides have moved from the bridge concrete to the CP-mortar/concrete. The mortar/concrete was casted or sprayed without chlorides in it, so there should be a possibility for the chlorides to move from the bridge concrete to the CP-mortar/concrete to lower the concentration inside the bridge concrete.

Two possible transport mechanism are expected to have worked on the chlorides present in the bridge concrete during the period after CP was installed: diffusion and migration.

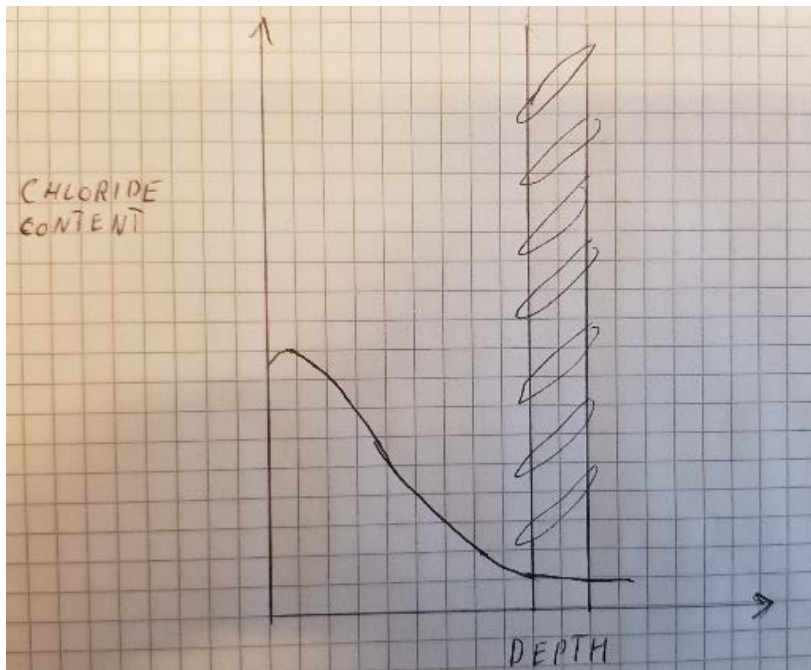


Figure 3-1 chloride content according to depth before CP-mortar was applied.

Diffusion is the main mechanism that moves chlorides in ordinary concrete and mortar. Diffusion is expected to still move the chlorides unaffected by the added current after the installation of CP. However, due to possible changes in concentration because of migration, diffusion can amplify or reduce the effect of migration.

On Sortlandsbrua, there was applied a layer of surface protection onto the CP-mortar. Given that the surface protection is still functional, there should not have been more chlorides that have entered the CP-mortar and concrete from the outside.

Diffusion will even out the chloride content in the pore solution throughout the concrete, if $time = \infty$ an even distribution would be obtained throughout the entire cross section.

Some scientific research was conducted in a rehabilitation project on a quay in 1999, where the transport of chlorides between concrete and shotcrete was examined. The quay was in Oslo and the project ended after 10 years and was documented in NPRA report no. 77 (Rodum and Lindland 2012). There are chloride profiles from original state (before applying shotcrete), 5 years after applying shotcrete and 10 years after applying shotcrete. These profiles show that the chlorides slowly are moving from the underlying concrete and into the shotcrete. Figure 3-2 through Figure 3-4 shows the development of the chloride profiles from 1999 to 2009. As there was not installed CP on the quay the mechanisms for the chloride transport must have been diffusion.

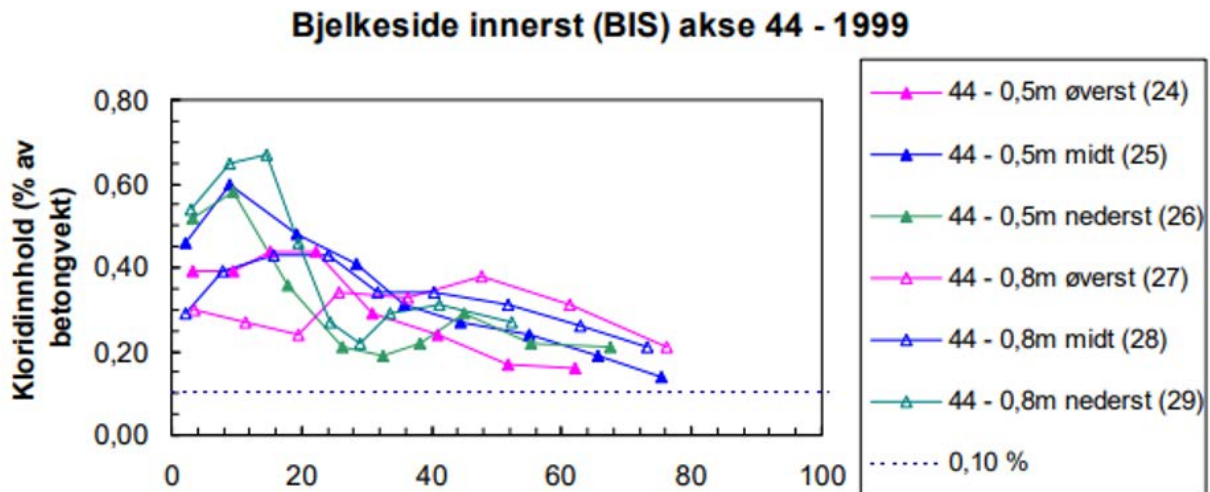


Figure 3-2 Original chloride profiles from 1999 in original concrete (left side is exposed side) (Rodum and Lindland 2012).

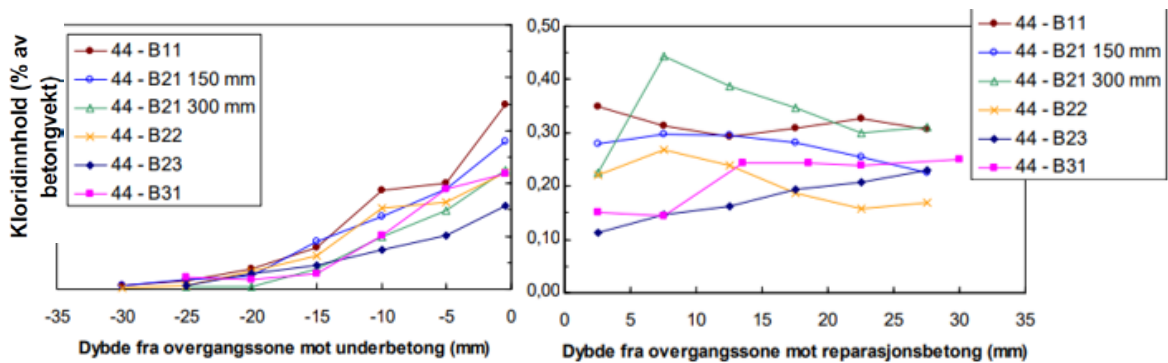


Figure 3-3 Chloride profiles around the intersection between repair concrete and old concrete 2004 (left side is towards the surface of the repair concrete), 5 years after the repair (Rodum and Lindland 2012).

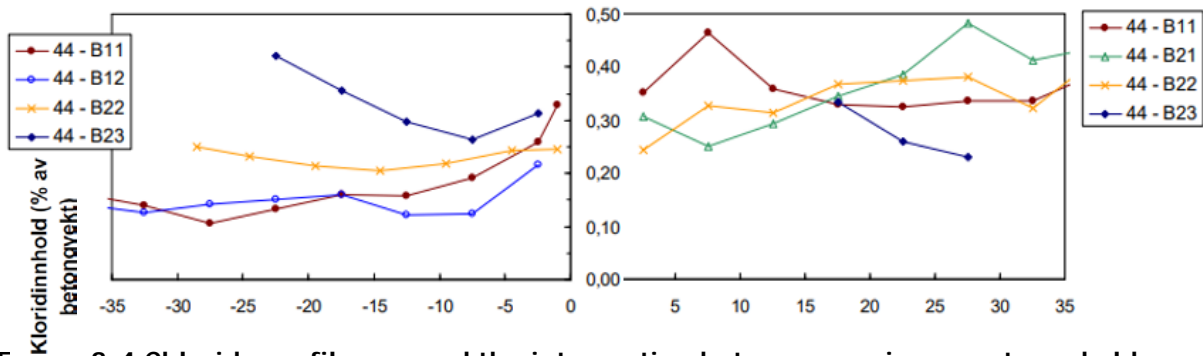


Figure 3-4 Chloride profiles around the intersection between repair concrete and old concrete 2009 (left side is towards the surface of the repair concrete). 10 years after the repair (Rodum and Lindland 2012) graphs are not directly comparable to Figure 3-3 as the samples are not from the exact same location.

All the figures show chloride content to mass of concrete. The scales would probably be different if the cement mass was considered when looking at the left- and right-hand side, however those values are not available. Also, several values are missing from Figure 3-4.

The trend is showing that the chloride content is generally moving from the old concrete to the new concrete and is levelling out. The graphs pointing upwards towards the left side of Figure 3-4 are most likely chlorides moving in from the exposed side of the repair mortar.

Migration left to work over an infinite time would move all the chlorides close to the anode mesh and distribute around it.

This effect only works on the chlorides between and a short distance past the polarised rebars and the anode. Accordingly, chlorides that have passed the polarised rebars will not have been affected by migration.

Figure 3-5 shows an expected graph for chloride content due to migration, diffusion and a combination of both effects after several years.

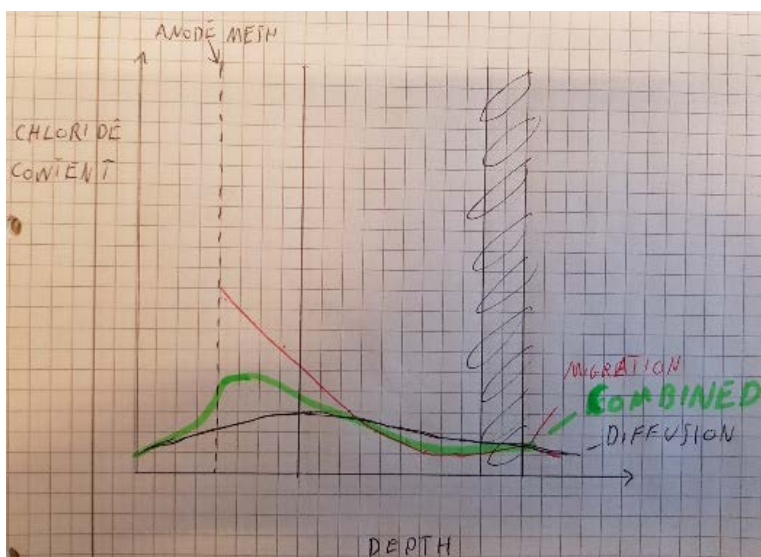


Figure 3-5 Expected new chloride profile due to migration, diffusion and a combination.

The combined effect of migration and diffusion is difficult to predict. The amount of current that is used in a chloride extraction project can be compared to the amount of current that have been used on Sortlandsbrua over the past 27 years. The total charge is

roughly the same (Table 1). However, the effect of the lower current over time might not be the same as the stronger current over a short amount of time. Suggested by Bertolini and co-authors (Bertolini 2013): at medium to low current densities, typical for cathodic protection, there should be certain reduction of chloride anions at the cathodic surface. In other words, close to the rebars there should at least be some reduction of chlorides. But it is not anticipated the same effect since the high current force the chlorides to move more effectively as long as there are free chlorides to move in the pore solution.

Table 1 Long-time comparing of Cathodic protection and Chloride Extraction.

Purpose	Current density	Duration	Number of days	Total charge
Cathodic protection (Sortlandsbrua)	8-20mA/m ² (15mA/m ²) ¹	27 Years	9862 Days	3552A•h/m ²
Chloride Extraction	1-2A/m ² (2A/m ²) ¹	6-10 weeks	70 Days	3360A•h/m ²

¹ value set for calculating total charge

There can be removed a large amount of chlorides close to the rebars, but when moving 30mm away from the rebars the amount of chlorides removed should be less (Polder and Hondel 2002). As stated in the report “significant amounts of chloride remain in the concrete, even after a large amount of charge have passed” (Polder and Hondel 2002).

An experiment of the effect of Electrochemical chloride removing described by Polder and Hondel (Polder and Hondel 2002) shows potentials for removing between 69 and 93% of the penetrated chlorides close to the rebars, about 5 percent points less between the rebar mesh. These numbers were achieved for a total charge >2000 A•h/m². The experiments showed that the amount of chlorides removed steadily increased with the total charge. However, the efficiency decreased with the increasing of total charge.

There is expected that migration should have worked on the chlorides to some extent. The majority of chlorides removed due to migration, is expected to be observed around the rebars.

There are experiments that show that carbonated concrete will make chloride extraction less effective (Ihekweba, Hope et al. 1996). Carbonated concrete on the surface of the bridge concrete may therefore hinder the movement of chlorides.

3.2 Damage development due to forced current.

There are several consequences of applying current to concrete that are not beneficial, alkali silica reaction and anodic acidification are two damaging effects that potentially could appear at the CP system of Sortlandsbrua.

3.2.1 Anodic acidification

At the surface of the anode the process of oxygen evolution takes place (Equation 6), if chlorides are present even chlorine develops (Equation 7). These processes can directly or indirectly produce acidity. However, the migration of hydroxyl ions from the cathode to the anode is expected to negate most of the effect of the acid development (Bertolini 2013). It might be expected that there has been some deterioration of the concrete due to acidification, mainly due to unintentional local high currents.

Deterioration of cement paste close to the anode net can cause several problems and limit or even destroy the functionality of the CP system. The consequences of destroyed

cement will be less bond between the anode and the mortar and accordingly higher resistance to current flow (interruption of the electrolytic contact between the anode and the cathode). Consequently, higher current is needed to achieve the same level of protection (polarisation of the rebars). Which again will lead to further increased rate of acidification. Studying the depolarization and the amount of current needed to achieve passivation of the steel, can be an indication on whether the resistance has increased or not, more voltage needed for protection would mean higher resistance. Nevertheless, other effects will also affect the resistance between the anode and the cathode: chloride content, moisture state and contact between CP-mortar and bridge concrete. Thus, if the necessary current is increased it may be the result of several different reasons and can be expected in the long term.

3.2.2 Alkali Silica Reaction

Hydroxyl and alkali metals are some of the requirements for the reaction between alkalis and reactive siliceous aggregate causing alkali reaction. During the application of CP, hydroxyl ions created at the cathode and alkali metals migrate towards the cathode, this may increase the chances of alkali reaction given that there are reactive aggregates present. However, as described in (Bertolini 2013), provoked ASR due to the effects of current only happens for current densities well over 20mA/m^2 . Therefore, for conventional CP systems with current densities below 20mA/m^2 the theory states that there should not be expected to see increased rates of alkali reactions close to the rebars. However, after 27 years there will most likely be a higher amount of hydroxyl ions and alkali metal close to the rebars and the possibility of ASR close to the rebar must be investigated.

3.2.3 Increased amount of microcracks

There is a possibility that created gasses can create microcracks in the cement surrounding the anode net or the rebars. During the thin section investigation after a chloride extraction experiment conducted by Polder a higher amount of microcracks was found surrounding the steel (Polder 1996). Polder suggested that the reason for the development was due to hydrogen developing and the pressure from the gas caused the formation of the microcracks. The development of microcracks seemed to depend more on the composition of the cement than the current strength (Polder 1996).

It is expected that there has been some creation of microcracks at the anode and cathode as there most probably have been development of gasses in the pores adjacent to the anode and cathode.

3.3 Potentially reduction of current due to healthier concrete.

If the long-term effects of chloride transportation have reduced the amount of chlorides close to the rebars to a level where the steel can re-passivate without the impressed current, the current of the CP-system can be lowered or perhaps even be turned off. This measure can increase the lifetime of the anode net, because of smaller chances of acidification and potential areas where titanium is unstable may be avoided. The parts that are hard to replace are the ones embedded in mortar. Wires and such can easily be replaced if they are defect but, replacing the anode mesh would basically mean redoing the entire installation.

If the chloride content is reduced to such a point that steel can regain passivity the concrete can be considered short term healed. However, it would then probably be

unwise to turn the current of the CP off completely, as the chloride that remain in the original bridge concrete and CP- mortar will over time diffuse back into the concrete and the passive film surrounding the steel can be dissolved again. But if the current can be reduced it should have a positive effect on the lifetime of the anode net.

It is not expected to find chloride levels at such a low level that corrosion won't occur. However, there is expected to find small reductions which can possible allow for lower current necessary to achieve protection.

4 Experimental

4.1 Case Sortlandsbrua

Sortlandsbrua was built in 1975, it's a 948 meter long cantilever bridge with 3 main spans and 18 viaduct spans. The bridge is located just outside Sortland, in the northern part of Norway, connecting Hinøya and Langøya. Already in 1982 there were signs of corrosion in several pillars. Few years later massive damage started to occur. After only a few years a bridge costing around 30 million NOK was about to deteriorate. The rebars in the pillars were heavily corroded and the concrete was starting to delaminate at several places. Presumably sea grabbed aggregates were used for the concrete production and chlorides were used as accelerators in some of the pillars. In addition, the bride is located in a harsh costal climate.



Figure 4-1 Picture of the building of Sortlandsbrua, picture taken from the north-western side of the bridge. Image from digitaltmuseum.no

Several different methods for repairing the bridge were considered; a protecting surface cover, cast concrete coat, shotcrete repairs and cathodic protection. In the summer of 1990 it was decided to conduct a trial-repair using cathodic protection. 3 pillars that were heavily damaged were selected. Starting from the Sortland side pillar 5, 12 and 16 were chosen for this. After what was considered a successful trial-repair, the remaining pillars were also repaired with cathodic protection in 1991 (bruavdeling 1992).

When the repair of the remaining 17 pillars was carried out, it was decided to run a research and development program to test different repair methods. 3 different methods were tested out:

- CP with shotcrete (almost same method as in the trial repair)
- CP with casted concrete
- Casted concrete cape around the pillar with epoxy coated rebars.

Today the CP installation seems to still be working for the pillars that had CP installed. 28 years after being installed, the CP system is apparently giving sufficient protection for the reinforcement. Nevertheless, there seems to be a few places where either the reference electrodes or the installation have failed since some of the reference electrodes doesn't give sufficient depolarization values.

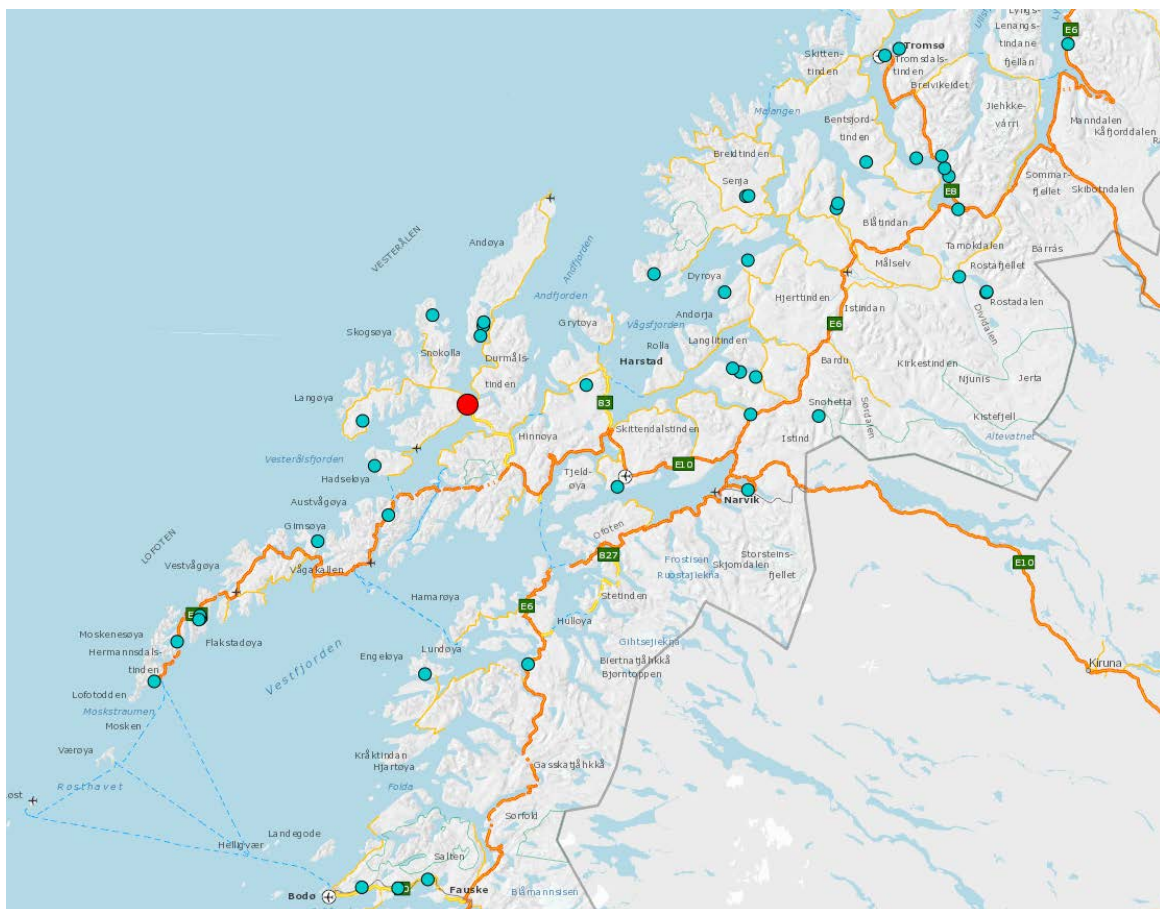


Figure 4-2 Map over Nordland and Troms showing the placement of Sortlandsbrua (Vegvesenet 2018)

4.1.1 Data about the bridge

The bridge was constructed in the period between 1973 and 1975. The engineering company who designed the bridge was DR.ING A. AAS-JAKOBSEN.

Data about the concrete in the pillars (bruavdeling 1992):

- Quality: B350
- Cement quantity: 360 kg/m³
- Projected w/c: 0,46
- w/c measured with thin sections: 0,35-0,60.
- Aggregate: Sea grabbed sand.
- Concrete cover thickness projected: 50mm

- Concrete cover measured: down to 30mm (mostly observed between 30 and 50mm, but up to 80mm (Table 3 and Table 5))

Data about the concrete in the Bridgeway (AAS-JAKOBSEN 1975):

- Quality: B450
- Rebar strength straight: Ks50
- Rebar strength bent: Ks 40s

The pillars have different dimensions depending on their height and the length of the closest spans:

Pillar 1,2,3,18,19 and 20 are rectangular and have the dimensions 3000mm•500mm.

Pillar 4,5,6,15,16 and 17 are rectangular and have the dimensions 3000mm•800mm.

Pillar 7,8,13 and 14 are rectangular and have the dimensions 3000mm•1000mm

Pillar 9 and 12 rectangular and have the dimensions 3000mm•1500mm.

Pillar 10 and 11 are hollow rectangular cross sections with a wall thickness of 400mm and outer dimensions of 5400mm and 4000mm.

4.1.2 Methods for repair

There are 4 different methods used to repair the bridge, they are spread over different pillars as shown in Figure 4-3. All methods involve new mortar or concrete with a protective surface treatment.

Pillar 1 and 2: RAD CP in casted concrete Pillar 3 and 4: RAD CP in sprayed concrete Pillar 5, 12 and 16: Trial repair, CP in sprayed concrete
Pillar 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 18, 19 and 20: Main repair CP in sprayed concrete. Pillar 15 and 17: Cast concrete with epoxycoated rebars.

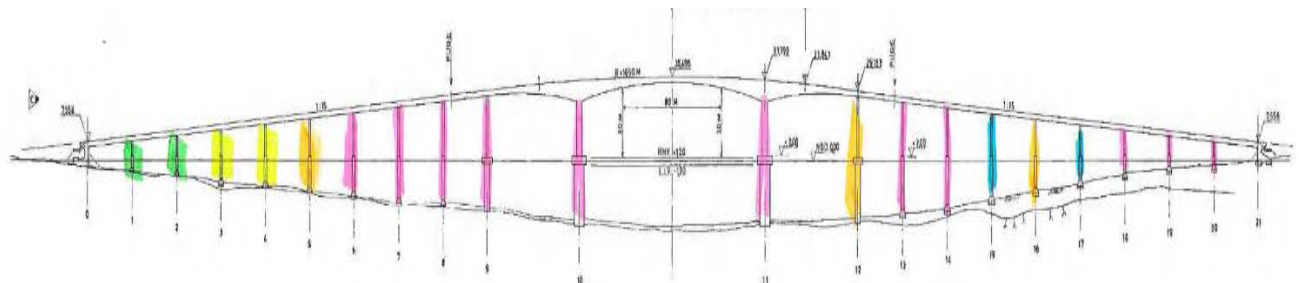


Figure 4-3 Overview of repair methods for Sortlandsbrua with Sortland towards the left side.

Pillar 1 and 2 was a part of the research and development program, they have casted concrete with CP. Here the casted concrete is about 100mm thick.

Pillars 3 and 4 was a part of the research and development program, they have shotcrete with CP. The shotcrete is about 40mm thick and the surface beneath the shotcrete have been hydrodemolished in small spots to create a rough surface for the mortar to create good bond to the underlying concrete.

Pillars 5, 12 and 16 have shotcrete with CP. The shotcrete is about 40 mm thick, the surface of the underlying concrete has been sandblasted to get a somewhat rough surface to give good bond for the mortar. These pillars were the trial repair from 1990.

Pillars 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 18, 19 and 20 have shotcrete. The same method as with pillars 3 and 4 have been used here. About 40mm thick mortar and hydrodemolished

concrete underneath. For pillar 10 and 11 (the pillars for the main span) the CP was only carried out on the eastern and northern side but was carried out two times higher than on the rest of the pillars.

Pillars 15 and 17 was a part of the research and development program, they have a casted concrete cape about 150mm thick and epoxy coated rebars. There is no CP installed on these pillars. However, there are reference electrodes installed to preform control readings.

The mortar and concrete thickness were in accordance with later recommendations, recommended by Bertolini and his co-authors (Bertolini 2013). They suggested that the thickness of the shotcrete should be below 50mm and when the thickness is higher than 50mm the concrete should have a flowable or pumpable consistency and framework should be applied.

4.1.3 Specifications of the CP-installation

The CP system was delivered by EB-installasjon both for the trial repair and the main repair. Data (bruavdeling 1992):

- Anode mesh: Permagard Type 150 and 300, titan mesh coated with noble metal oxide. (Type 150: 16mA/m², Type 300: 32mA/m²)
- Conductors: Permagard titan bands 12,7x1,0mm
- Instruments: Reference electrodes ERE 10 from Korrosjonsentralen in Denmark. The reference electrodes are mounted on freed rebars and casted into mortar.

The anode mesh is divided into different zones with 3 zones on each pillar. The form and how the zones were divided differs from the trial project to the main repair project. From the user guide delivered by COWIplan a sketch of the forms of the different zones can be found (as 1991).

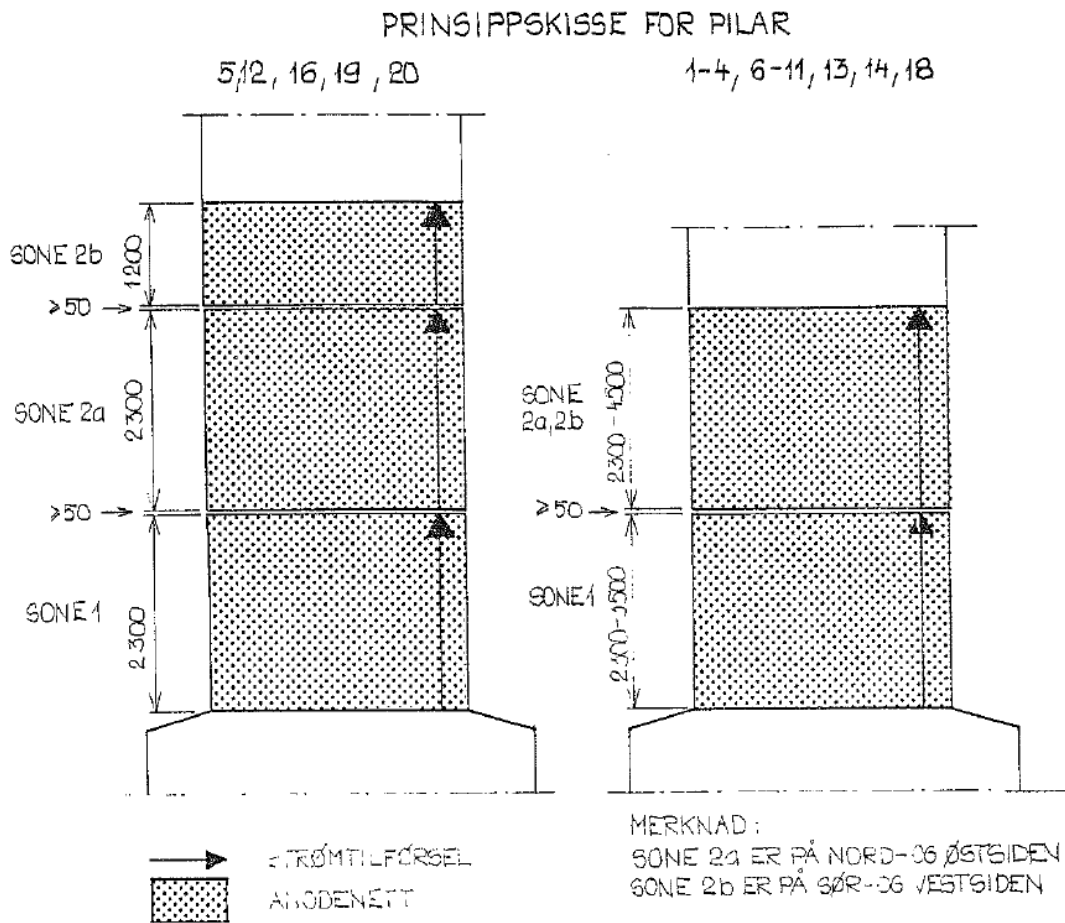


Figure 4-4 Zones for the anode nett of each pillar with CP.

Note that arrows mean current bearing, hatched is anode net. For pillars 1-4, 6-11, 13, 14 and 18 zone 2a is on the northern and eastern side of the pillar and zone 2b is on the western and southern side of the pillar.

The different zones are used to control the current and give more protection on the more exposed sides of the pillars if needed. This has been used to some extent and can be seen in the depolarization charts in Figure 4-5. The ampere can be used to determine the current used on each m² of reinforcement by dividing the total current from one zone over the area of the zone and estimating the area of reinforcement compared to concrete.

4.1.4 Specifications of the CP-mortar.

The specifications of the CP-mortar differ between the cast concrete and the shotcrete.

Generally, the CP-mortar should be relatively conductive which allows for the current to move through the mortar and spread evenly to the interface with the underlying concrete. On the other hand the repair mortar should be similar to the original concrete's conductivity as different levels may cause ununiform current flow (Bertolini 2013).

Acquiring the data about the CP-mortar used on Sortlandsbrua turned out to be difficult, as the recipes are trade secrets and the company who delivered the mortar has been bought up by other companies several times since 1990. The cement content of

Shotcrete can vary a lot, in tunnels the content can vary from 400kg/m³ to 585kg/m³ (Hagelia 2008).

4.1.5 Depolarization results from the CP-installation

Since 1991 there have been forced current on the installation. To determine whether the installation is working, and how protected the bridge is, depolarization measurements have been taken several times over the last 28 years. The measurements can be used to assess if a zone is protected, unprotected or even overprotected. According to NS-EN ISO 12696 (the standard for CP) (CEN 2016) there are 3 different interpretation criteria for CP-installations for assessing the performance, where the installation must meet one of the following criteria:

- a) An instantaneous OFF potential of more than -720mV with respect to Ag/AgCl/0.5 M KCl;
- b) A potential decay over a maximum of 24h of at least 100mV from Instantaneous OFF;
- c) A potential decay over an extended period (typical 24 h or longer) of at least 150mV from the instant off subject to a continuing decay and the use of electrodes (not potential decay probes) for the measurement extended beyond 24 h.

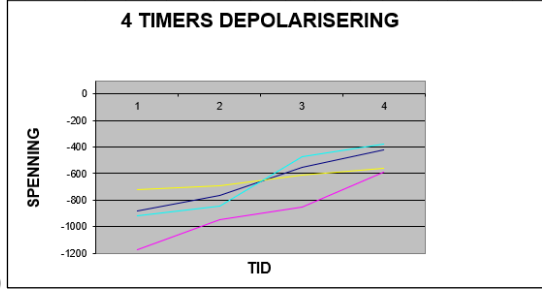
By utilising the depolarisation values available it can be determined if the installation is still working by the definition set in the standard. Because of damage potentials due to high currents it is important to avoid over protecting the structure.

4.1.5.1 Data sets from Sortlandsbrua

Several data sets of depolarisation measurements are available for Sortlandsbrua, from just after cathodic protection was installed and some throughout the lifespan of the installation. These values can be studied and compared to data readings ordered in connection with the main inspection¹ of 2018. The current used over time can be used to estimate how much total current has been applied and if there is a difference between the different zones. Full datasets of the readings can be found in Appendix D.

¹ Every bridge in Norway undergo a strict inspection regime where they are inspected at least once every year, general inspection, and every 5th year have a much more thorough inspection called main inspection.

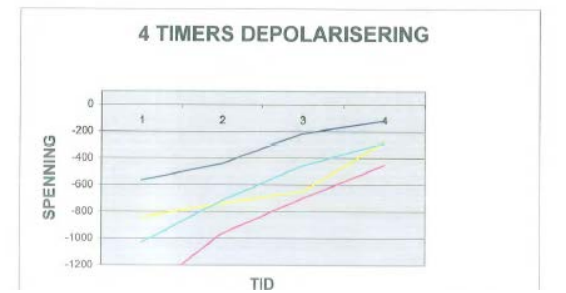
SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 07.01.1993					
PILAR I AKSE : 11						UTFØRT T.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING						TEMP	NEDBØR	VIND	SOL		
						-2 °C	Nei	Nei	Nei		
DRIFTSTRØM OG			SONE 1		SONE 2A		SONE 2B				
DRIFTSPENNING			A	V	A	V	A	V			
INGEN KATODISK BESKYTTELSE			0,81	2,67	0,91	2,83					
REF. ELEKTRODE						POTENSIALVERDIER					
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	DEPOL. TID				4T	24T	
					OFF	DROP	10m	30m			
1	N		-880	-767	-113				-550	-468	-419
2	Ø		-1177	-945	-232				-850	-717	-592
1	N		-720	-693	-27				-613	-592	-561
2	Ø		-920	-845	-75				-470	-318	-382



a)

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011					
PILAR I AKSE : 11						UTFØRT T.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING						TEMP	NEDBØR	VIND	SOL		
						8 °C	Nei	BRIS	Nei		
DRIFTSTRØM OG			SONE 1		SONE 2A		SONE 2B				
DRIFTSPENNING			A	V	A	V	A	V			
			3,7	1,3	3,59	1,3					
REF. ELEKTRODE						POTENSIALVERDIER					
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	DEPOL. TID				4T	24T	
					OFF	DROP	10m	30m			
1	N		-567	-440	-127	-378	-323		-217		-119
2	Ø		-1434	-964	-470	-859	-809		-702		-452
1	N		-840	-738	-102	-757	-729		-648		-277
2	Ø		-1033	-718	-315	-603	-569		-458		-286

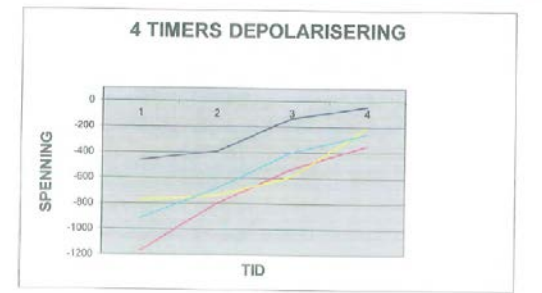
SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 26.08.2011					
PILAR I AKSE : 11						UTFØRT T.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING						TEMP	NEDBØR	VIND	SOL		
						13 °C	Nei	BRIS	Nei		
DRIFTSTRØM OG			SONE 1		SONE 2A		SONE 2B				
DRIFTSPENNING			A	V	A	V	A	V			
INGEN KATODISK BESKYTTELSE			-	0,79	3,72	0,79			3,48	0,80	
REF. ELEKTRODE						POTENSIALVERDIER					
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	DEPOL. TID				4T	24T	
					OFF	DROP	10m	30m			
1	N		-613	-620	7				-408	-370	-252
2	Ø		-1432	-1428	-4				-1024	-1007	-992
1	N		-765	-714	-51				-584	-515	-455
2	Ø		-837	-841	4				-495	-495	-318



b)

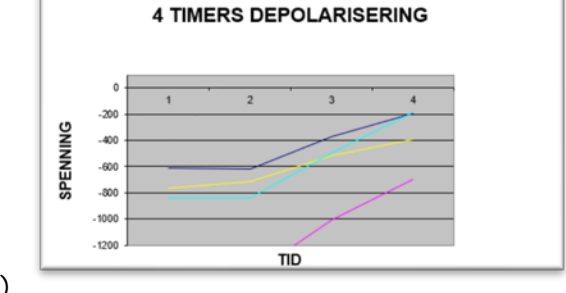
SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 26.08.2011					
PILAR I AKSE : 11						UTFØRT T.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING						TEMP	NEDBØR	VIND	SOL		
						13 °C	Nei	BRIS	Nei		
DRIFTSTRØM OG			SONE 1		SONE 2A		SONE 2B				
DRIFTSPENNING			A	V	A	V	A	V			
INGEN KATODISK BESKYTTELSE			-	0,79	3,72	0,79			3,48	0,80	
REF. ELEKTRODE						POTENSIALVERDIER					
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	DEPOL. TID				4T	24T	
					OFF	DROP	10m	30m			
1	N		-665	-362	-73	-330	-261		-134		-44
2	Ø		-1174	-800	-374	-733	-600		-530		-348
1	N		-775	-738	-37	-699	-661		-590		-208
2	Ø		-918	-695	-233	-588	-525		-399		-259

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 18.06.2018					
PILAR I AKSE : 11						UTFØRT T.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING						TEMP	NEDBØR	VIND	SOL		
						10 °C	Nei	Nei	Nei		
DRIFTSTRØM OG			SONE 1		SONE 2A		SONE 2B				
DRIFTSPENNING			A	V	A	V	A	V			
INGEN KATODISK BESKYTTELSE			-	0,79	3,72	0,79			3,48	0,80	
REF. ELEKTRODE						POTENSIALVERDIER					
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	DEPOL. TID				4T	24T	
					OFF	DROP	10m	30m			
1	N		-613	-620	7				-408	-370	-252
2	Ø		-1432	-1428	-4				-1024	-1007	-992
1	N		-765	-714	-51				-584	-515	-455
2	Ø		-837	-841	4				-495	-495	-318



c)

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 18.06.2018					
PILAR I AKSE : 11						UTFØRT T.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING						TEMP	NEDBØR	VIND	SOL		
						10 °C	Nei	Nei	Nei		
DRIFTSTRØM OG			SONE 1		SONE 2A		SONE 2B				
DRIFTSPENNING			A	V	A	V	A	V			
INGEN KATODISK BESKYTTELSE			-	0,79	3,72	0,79			3,48	0,80	
REF. ELEKTRODE						POTENSIALVERDIER					
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	DEPOL. TID				4T	24T	
					OFF	DROP	10m	30m			
1	N		-613	-620	7				-408	-370	-252
2	Ø		-1432	-1428	-4				-1024	-1007	-992
1	N		-765	-714	-51				-584	-515	-455
2	Ø		-837	-841	4				-495	-495	-318



d)

Figure 4-5 Depolarization of pillar 11 a) from 1993, b) from May 2011 c) from August 2011 and d) from 2018

- ON: Potential with current on
- INST.OFF: Potential directly after turning the current off.
- IR DROP: Difference between ON and INST.OFF.
- DEPOL: Time (m=minutes T=hours)

The measurements show that the installation is still working. However, the numbers for pillar 11 might be concerning regarding the possibility of development of hydrogen embrittlement, as one of the reference electrodes record much lower potentials than allowed for cathodic protection. This can also be a defect reference electrode that shows wrong numbers but should be investigated further.

Generally, it seems that the current has mostly been similar for the different zones from 1991 until 2011. By comparing the area of the zones to the current applied it seems that zone 2a and 2b have had higher current per m² (Table 6) which is unexpected as those areas are higher up than area 1. Accordingly, it seems zone 2a and 2b have had somewhat higher protection than necessary.

The reference electrodes installed at most of the pillars seem to still be working. However, at several of the pillars the measurements from June 2018 are flat lining.

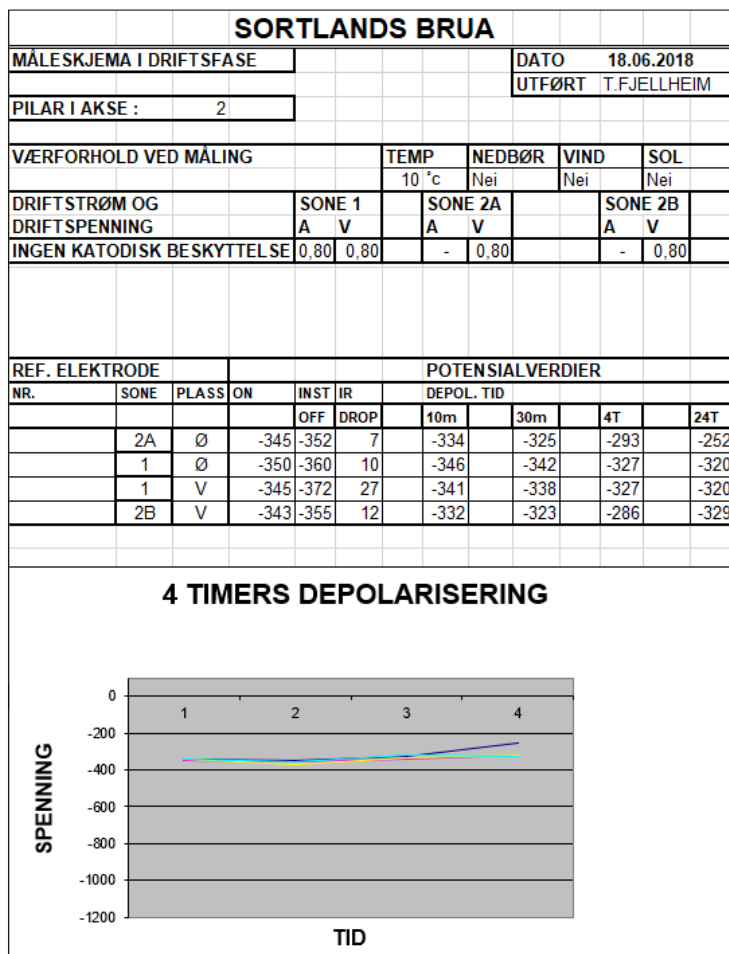


Figure 4-6 Depolarization from pillar 2 June 2018

The pillars where the lines are flat are pillar 2, 3, 6, 7, 8 and 18. That is 6 out of 18 pillars where the results from the depolarization measurements can't prove that the construction is protected. This is more likely to be a result of defected reference electrodes than a defect CP-installation. Measurements from 1993 showed 3 reference electrodes with flat results, one from each on pillar 8, 12 and 18. The reason for why the reference cell in pillar 12 is working again is unknown, though it might still be defect even though it gives readings.

4.2 Investigations.

To investigate the objectives presented in section 1.2 the following investigations were conducted:

1. Chloride profiles on drilled cores.
2. μ -XRF scans on drilled cores.
3. Thin section on drilled cores.
4. Delamination investigation.

There were two different sets of cores taken for the investigations, one set for chloride profiles; the A-series, and one set for μ -XRF scans and thin section investigations; the M-series.

The cores are taken at different heights, sides and pillars, the following figures show the placement of the cores on each pillar. Detailed information about the placement of the cores are given in Table 2 and Table 4.

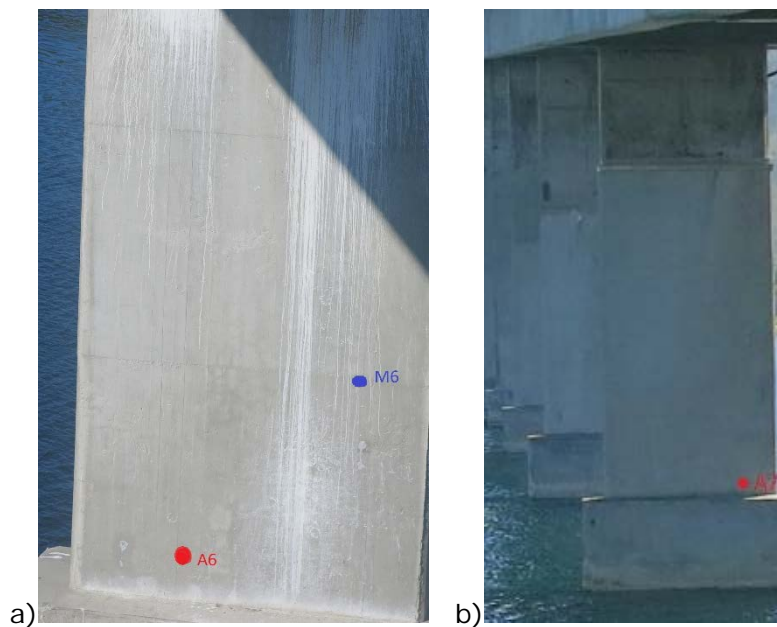


Figure 4-7 Placement of the cores from pillar 2. a) is eastern side b) is western side

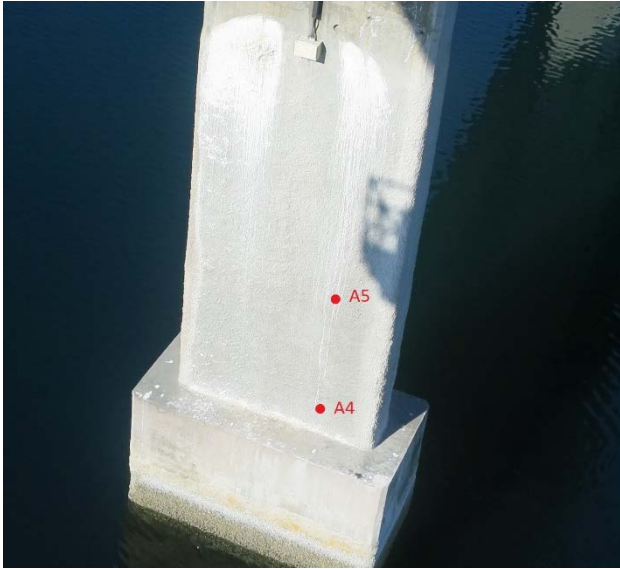


Figure 4-8 Placement of the cores from pillar 4, eastern and northern side.

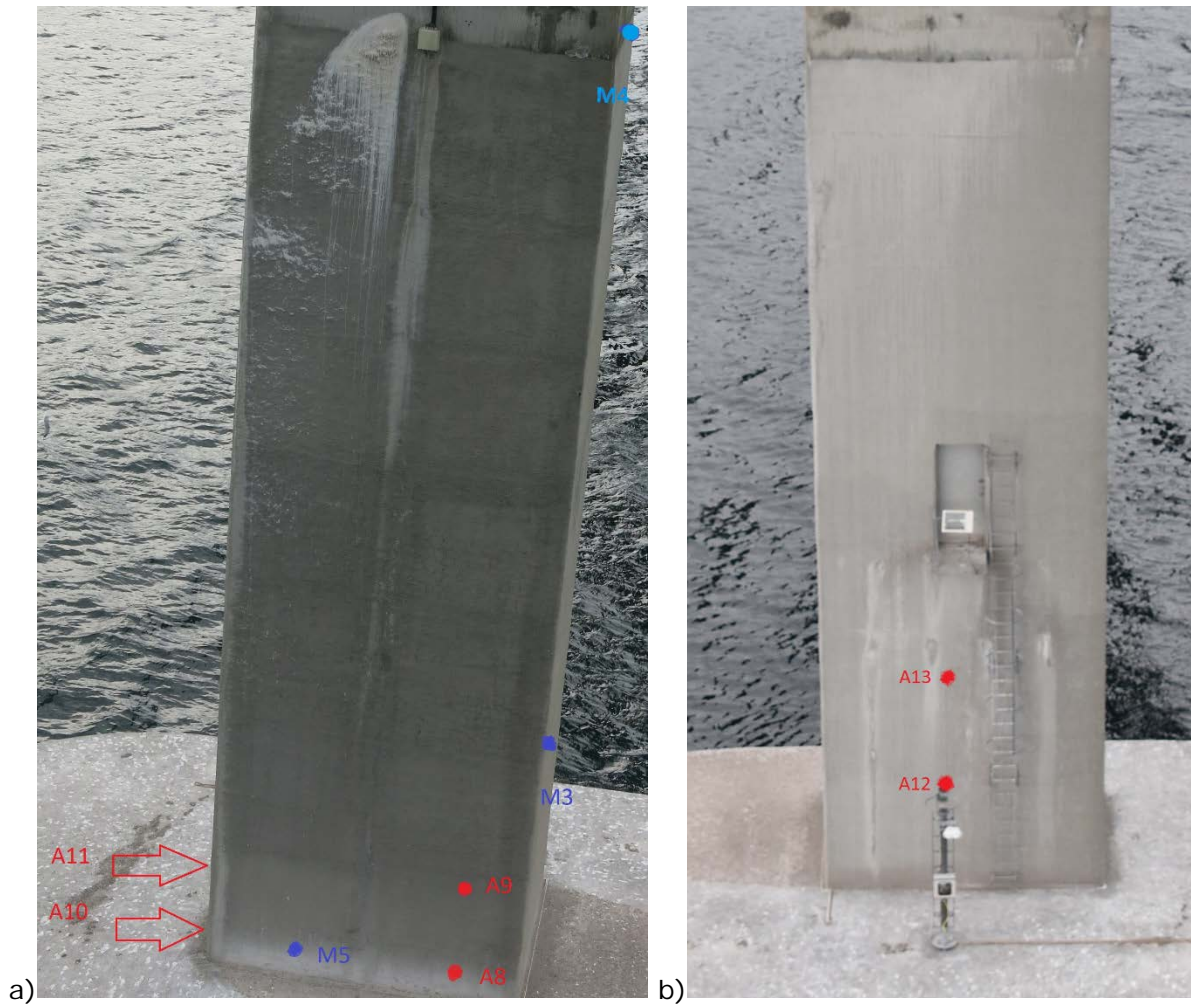


Figure 4-9 Placement of the cores from pillar 11. a) shows from southern, eastern and northern side, b) shows western side.

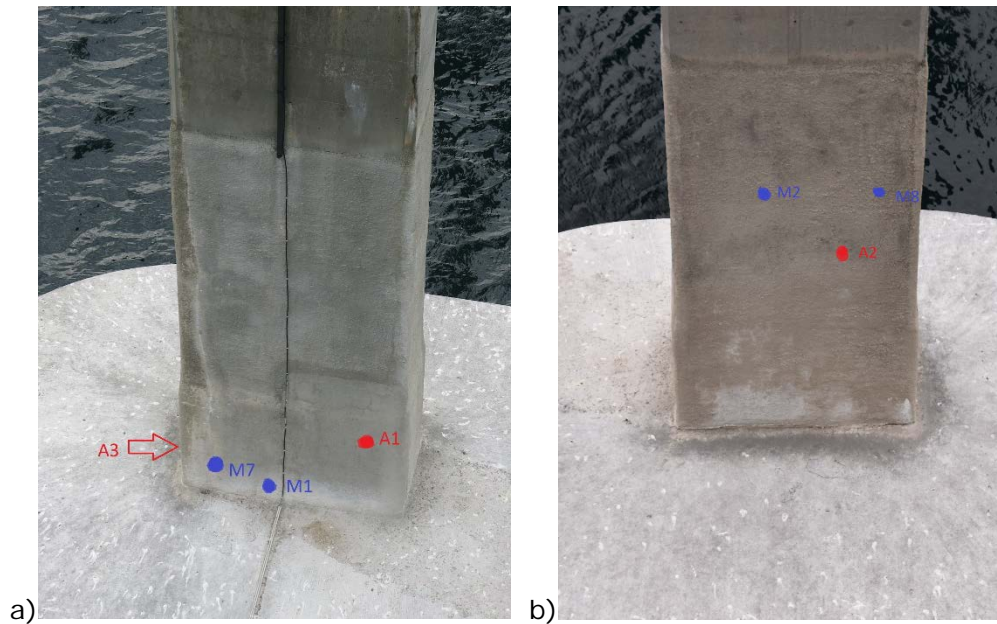


Figure 4-10 Placement of the cores taken from pillar 12, a) shows the southern and eastern side, b) shows the western side.

4.2.1 Chloride profiles

The chloride distribution in the concrete was analysed by chloride profiles. There are existing chloride profiles (dust samples) from before the CP was installed (Østvik 1990). The profiles are used to determine how the chloride levels have changed over time by comparing the status before the installation of the CP system and after 27 years with applied current. The chloride profiles allow a discussion on the transport mechanisms under applied current (ref. chapter 3.1).

4.2.1.1 Acquiring the data

The reference data are gathered from the report by Ringtek (Østvik 1990), the field research was performed 07.-14. February 1990. The location of the sampling was noted in the report. When taking cores for the current investigation (2018) it was strived to take the cores close to the original samples by Ringtek. Of course, the cores cannot be taken from the exact same point, as the repair mortar used to fill the holes from the first sample can contaminate the new samples. When planning where to drill for the new cores a minimum distance of 100mm in either vertical or horizontal direction was considered a minimum from where the original profiles were thought to be. This can cause some error when comparing new and old profiles, as the penetration of chlorides can vary by just moving a couple of centimetres to the side, up or down.

The second part that makes it difficult to decide a good location for drilling cores is that there have been made major repairs on the pillars when the CP was installed. This includes large areas of loose concrete replaced with fresh mortar/concrete underneath the CP-mortar.

Fortunately, during the project there was made good documentation of the process and the project leader had pictures of every single pillar from after the hydrodemolition and before the installation of the CP. This was taken into account when choosing the location for the cores.

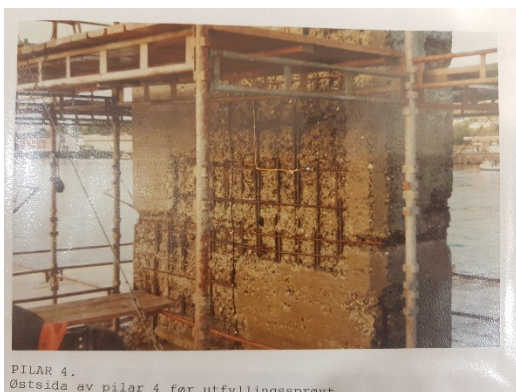


Figure 4-11 Example of picture of pillar 4 from after hydrodemolition

By studying the location of the different existing chloride profiles, depth of the samples and the images form when the concrete was removed, 13 locations for cores to be grinded for chloride samples was picked, the A series of the concrete cores.

Table 2 Placement of core samples A series

Core nr.	Pillar	compering sample	Placement on pillar (side, hight (m))	Placement comparing sample (side, hight (m))
A1	12	Sample nr. 12.3	East, 3.85	East, 3.80
A2	12	Sample nr. 12.7	West, 6.05	West, 6,00
A3	12	Sample nr. 12.4	South, 2.50	South, 2.50
A4	4	Sample nr. 4.1	East, 2.48	East, 2.55
A5	4	Sample nr. 4.2	East, 3.10	East, 3.25
A6	2	Sample nr. 2.2	East, 2.38	East, 2.38
A7	2	Sample nr. 2.1	West, 2.36	West, 2.36
A8	11	Sample nr. 11.1	East, 2.65	East, 2.40
A9	11	Sample nr. 11.3	East, 3.85	East, 3.80
A10	11	Sample nr. 11.7	South, 2.50	South, 2.40
A11	11	Sample nr. 11.9	South, 3.85	South, 3.80
A12	11	Sample nr. 11.11	West, 4.1	West, 4.00
A13	11	Sample nr. 11.10	West, 6,2	West, 6.00

By utilizing these pictures provided from the installation process, it was possible to avoid taking core samples with a lot of repair mortar. Only 1 (A1) of 13 cores had repair mortar beneath the CP-mortar.

Table 3 Core data for A series

Core nr.	Length of sample	Thickness of surface treatment	Thickness of CP-mortar	Thickness of repairmortar	Carbonated concrete?	Depth and size of rebar*	Other observations
A1		0-5mm	45mm	70mm	Not apparent	-	Repair-/CP-mortar sticks to underlying concrete
A2	205mm	0-3mm	29mm	-	-	75mm	CP-mortar lost adhesion when the core was extracted
A3	190mm	3-5mm	45mm	-	Not apparent		CP-mortar sticks to underlying concrete
A4		2-5mm	38-45mm	-	Not apparent	77mm 12mm	CP-mortar lost adhesion when the core was extracted
A5	160mm	1-7mm	36-44mm	-	-	80mm 25mm	CP-mortar lost adhesion when the core was extracted
A6	180mm	0,5mm	100mm	-	Yes, a few mm	150mm 12mm	CP-mortar sticks to underlying concrete
A7	170mm	0,5mm	60mm	-	-	100mm 12mm	CP-mortar sticks to underlying concrete
A8	200mm	1-10mm	27-35mm	-	-	-	CP-mortar sticks to underlying concrete
A9	120mm	0-5mm	20mm	-	Yes, a few mm	-	CP-mortar sticks to underlying concrete
A10	200mm	0,5mm	-	-	-	66mm 25mm	No CP or repairmortar in this core
A11	155mm	0,5mm	-	-	-	-	No CP or repairmortar in this core
A12	155mm	0,5mm	-	-	-	63mm 25mm	No CP or repairmortar in this core
A13	155mm	0,5-2mm	-	-	-	50mm 12mm	No CP or repairmortar in this core

*coverdepth is with Repair-/CP-mortar and not original coverdepth, only the first rebar from the core is noted here.

4.2.1.2 Drilling of cores.

The cores were drilled with a 75mm thickness as close as possible to the desired location. An expansion bolt was used to fasten the drill to the concrete structure and water was used to cool the drill. The cores were drilled to a depth that should be further than the original Ringtek samples and at least to the depth where reinforcement was expected to be located, generally about 120mm (45mm of CP-mortar + 75mm original to reinforcement), but deeper on the pillars with casted concrete.

4.2.1.3 Packing and shipping the cores.

Onsite, after the cores were extracted, the cores were studied, information thought to be relevant at the time was noted and pictures were taken. All cores were marked with an arrow pointing upwards. The cores were wrapped in many layers of cling foil to prevent the samples from drying out or being contaminated. They were marked with the core number and instructions for the lab. Afterwards the cores were put in two separate plastic containers for shipping, one for the A-series and one for the M-series.

The cores were then brought to SINTEF in Trondheim where they were put in storage in 5 °C. The cores were extracted on Wednesday (11th of July) and Thursday (12th of July) and put in cold storage at SINTEF on Sunday (15th of July) awaiting further investigation.

4.2.1.4 Chloride profiles

The chloride profiles from 1990 were taken with the Rapid Chloride Test which is still a reliable method. The method is described in newer handbooks (Vegvesenet 2016) and older handbooks (Vegvesenet 1997). RTC is described as not the most accurate method and the inaccuracy decreases with increased chloride content.

Chloride profiles for the cores taken in 2018 from the bridge were made by SINTEF, the cores were milled out in 5 mm layers on August the 14th 2018 and each layer was analysed with a Metrohm automatic titrator with silver electrode on September the 27th 2018, the method is further described in Appendix F and results are given in chapter 5.

4.2.1.5 Sources of error

There are several sources of error in the chloride profiles:

- With a rough surface on the outside of the CP-mortar varying up to 7-8mm in depth on a single core, the interface between the CP-mortar and the underlying surface may differ from what has been assumed when arranging the results. Additionally, the surface of the bridge concrete can vary depending on the method used to roughen the surface before applying the CP-mortar. Pillar 12 was sandblasted before applying the CP-mortar and the other pillars were hydrodemolished in small spots. For A1, which has repair mortar underneath the CP-mortar, it is uncertain how close to the original concrete surface the repair lies. In the results it is estimated that the repair mortar's surface is the same as the original bridge concrete.

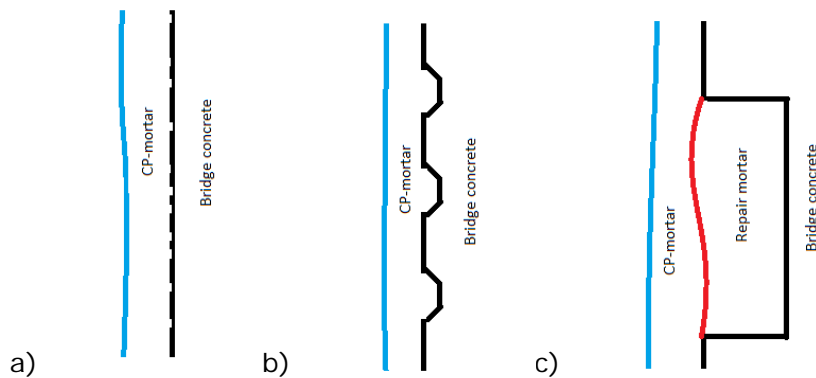


Figure 4-12 The interface between the different layers, figure a) show a sandblasted surface, figure b) shows a surface that has been hydro demolished in small spots and figure c) shows a completely repaired surface.

- The method used in 1990 may be less accurate than the method used now. Both regarding the accuracy of the testing method (RTC vs. titration) and extraction of the samples (dust samples vs. drilled cores). The exact depth of each layer may be inaccurate and there is a possibility for contamination for the dust samples taken in 1990.
- The cores are not taken in the same spot as the original samples. It was thought to be higher error if the cores where to contain reapplied mortar than if taking the sample 100 mm from where the original samples were.
- The effect of chlorides is generally more relevant to the chloride/cement ratio, rather than the chloride/concrete ratio. There is a difference in cement content between the CP-mortar, repair-mortar and bridge concrete. Usual amounts of cement for shotcrete can vary between 400kg and 580kg per m³ (Hagelia 2008). To illustrate the effect of different cement content on the results, Figure 4-13 shows the possible variation in the CP mortars cement content if it's compared to the cement content in the bridge concrete².
 - Note to Figure 4-13: The actual graph should be somewhere between the red and orange line. It was desired to use % cl of cement weight, but it proved difficult to obtain information about the mortar recipe that was used. This is partly because the company that delivered the mortar have been bought up several times, and the company where the factory is now didn't find records further back than 2013.
- Due to a rough surface, both between the shotcrete and the concrete and on the outside of the shotcrete, there is a possibility that the 0-point on the profiles is not exactly where the crossing between shotcrete and concrete is. This can result in some insecurity in the results.

² The same cement content was assumed as used by Multiconsult in 1990 when investigating the bridge (375 kg/m³).

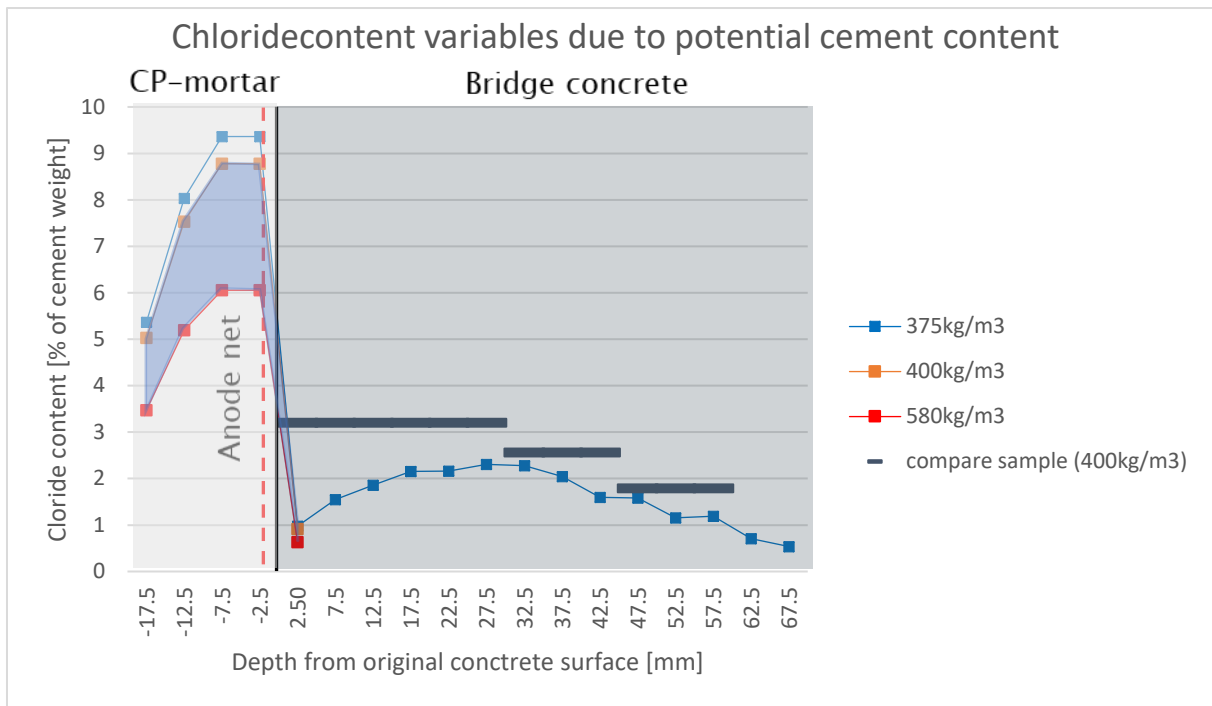


Figure 4-13 possible variation due to cement content of the mortar for core A9.

The chloride profile is shown with the exposed surface to the left and the original surface as the point of zero, indicated with a black vertical line.

4.2.2 μ -XRF scans and thin sections

The cores for the μ -XRF scans and preparation for thin sections are called the M-series. They were taken to investigate chloride distribution, scanings for other elements that can be relevant, freeze/thaw damage, porosity and cracks, ASR, hydroxide levels, acidification, sulphate attacks and carbonatization depths. The placements are show in Figure 4-7 through Figure 4-9 and Table 4. They were extracted the same way as the cores for the A series described in 4.2.1.2 and packed and stored as described in 4.2.1.3.

Investigation with the μ -XRF and the preparation of thin sections can be done form the same cores. After some time in storage the cores were inspected and studied to decide how they should be cut for the investigations. All cores were then accordingly cut in half using a saw. Then the cores were scanned for different elements and then thin sections were prepared from some of the cores.

To decide on locations for the cores different criteria interesting to study were set. Placements and purposes are given in Table 4 Placement and purpose of M-series. Table 4.

Table 4 Placement and purpose of M-series.

Core number.	Purpose of the core.	Other relevant observations	Placement of the core (pillar, side, height (m. above sea level)).
M1	Study the chloride ingress and the mortar of the pilot project in anode zone 2 (lower charge).	The core cracked in several parts when it was extracted	12, West, 7.35
M2	Study the chloride ingress and the mortar of the pilot project in anode zone 1 (higher charge).		12, East, 2.5
M3	Study the chloride ingress and the mortar of the main repair project in a zone with low charge.		11, North, 6.85
M4	Study the chloride ingress and the mortar of an area without any charge.		11, North, 18.55
M5	Study the chloride ingress and the mortar of the main repair project in a zone with high charge.		11, East, 2.5
M6	Study the chloride ingress and the mortar in more pillars.	A crack in the CP mortar going from the top of the mortar all the way down to the underlying concrete was discovered.	6, East, 4.5
M7	Study the chloride ingress and structure in an area that had sustained damage.		12, East, 2.85
M8	As core number 1 was massively cracked when extracted, it was decided onsite to take one more next to it.		12 West, 7.35

Table 5 Core data for the M series

Core nr.	Length of sample	Thickness of surface treatment	Thickness of CP-mortar	Thickness of repair mortar	Depth and size of rebar*	Carbonated concrete?	Other observations
M1	210mm	1-4mm	40-100mm	-	-	-	The core has broken in the concrete CP-mortar interface.
M2	220mm	5mm	45mm	-	-	Not apparent	CP-mortar sticks to underlying concrete
M3	150mm	2-5mm	14-18mm	-	96mm 12mm	Yes, a few mm	CP-mortar sticks to underlying concrete
M4	110mm	2-4mm	13-20mm	-	75mm 12mm	Yes, a few mm	CP-mortar sticks to underlying concrete
M5	90mm	0-5mm	14-20mm	-	85mm	-	The core has broken in the concrete CP-mortar interface.
M6	140mm	0-4mm	36-45mm	-	-	Yes, a few mm	CP-mortar sticks to underlying concrete
M7	180mm	5mm	50-57mm	-	-	Not apparent	CP-mortar sticks to underlying concrete
M8	200mm	2-5mm	40-70mm	-	90mm 25mm	Not apparent	The core has broken in the concrete CP-mortar interface.

*cover depth is with Repair-/CP-mortar and not original cover depth, only the first rebar from the core is noted here.

To determine where the cores should be divided to examine them, the cores were studied after resting for approximately four months in cold storage. To see effects and if the chlorides had behaved different around the reinforcement compared to elsewhere in the concrete, it was decided to cut the cores so that the reinforcement would be cut crosswise. This was also necessary to avoid damaging the cutting saw.

While studying the cores it was discovered that some of them had developed a white puss where the connection between repair mortar and ordinary concrete was. This might indicate that the concrete has dried somewhat out over the months. A crack was discovered in M6 seen in Figure 4-15 it was decided to cut through it as it could be of interest regarding the study of chloride ingress or other elements in the cracked mortar.

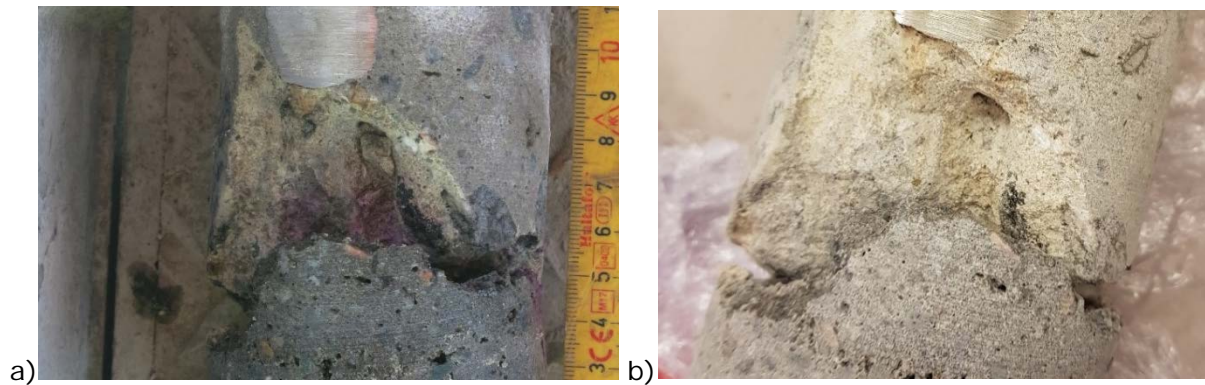


Figure 4-14 Delamination in core M8 a) from before wrapping, b) from after 4 months in storage.



Figure 4-15 Core M6 with a crack

4.2.2.1 μ -X-Ray Fluorescence scans

μ -XRF scans are used to determine the presence and amount of each different element at the surface of the cut concrete.

The ten following elements in addition to the chloride content of the concrete cores were mapped, the results of the investigations are given in chapter 5:

- Aluminium (Al)
- Calcium (Ca)
- Chloride (Cl)
- Iron (Fe)
- Potassium (K)
- Magnesium (Mg)
- Sodium (Na)
- Sulphur (S)
- Silicon (Si)
- Titanium (Ti)

The scanning of the cores was performed by Tobias Danner at SINTEF. Errors can occur in these scans: dust can settle on the surface of the concrete from other parts of the core. This can cause higher or lower readings of chemicals in areas where the contamination is.

4.2.2.2 Thin sections.

Thin sections can be used to investigate the following damages and characteristics of the concrete:

- ASR development
- Acidification around the anode
- Frost deterioration
- Sulphate attacks
- Hydroxide content
- Microcracks
- Carbonatization depth
- Capillary porosity

The left half of each core of M3, M4 and M5 (which is the opposite half of the cores that was investigated with μ -XRF scans) was sent to the Danish Technological Institute where the thin sections was made and analysed by Ulla Hjorth Jakobsen. The analyse was carried out according to ASTM C856 (Jakobsen 2019) further details of the investigations is given in Appendix B. Two sections from each core were investigated.

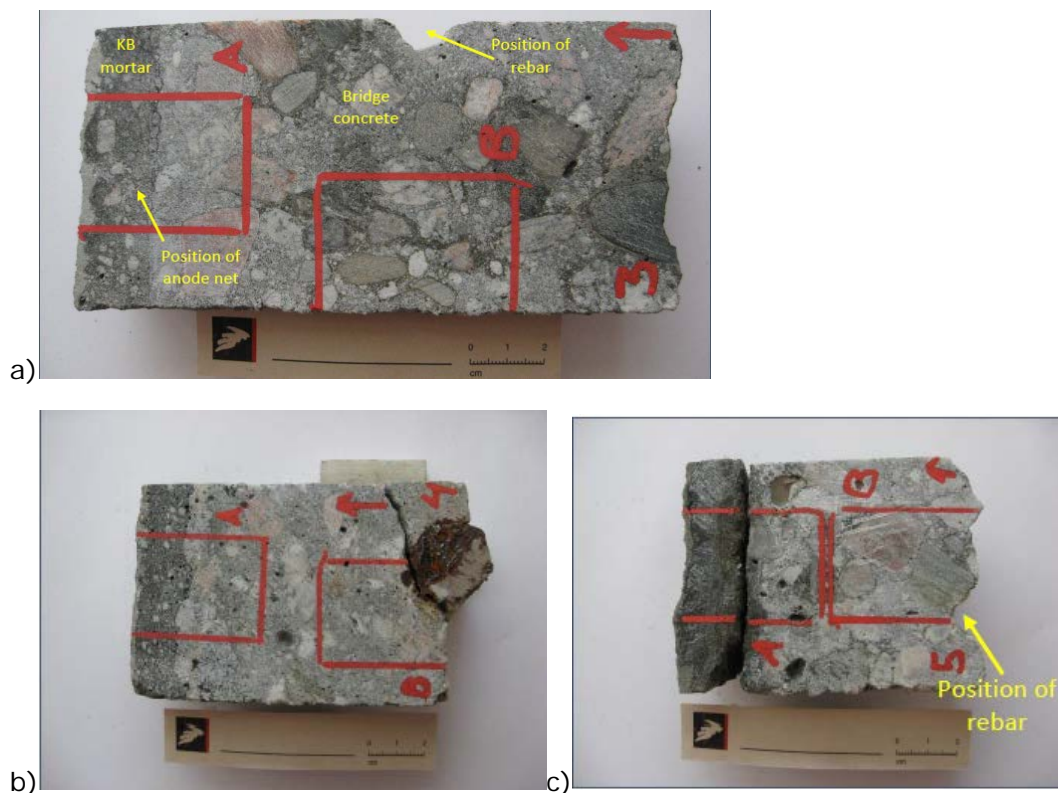


Figure 4-16 Placement of the thin section cuts: a)M3 b)M4 c)M5 (Jakobsen 2019)

4.2.3 Onsite inspection.

Besides drilling cores, a visual inspection of the pillars was performed while extracting the cores.

During a later inspection all the pillars was checked for delamination and visual defects, the results are given in 5.2.

5 Results from the investigations.

5.1 Current densities.

The current densities have varied some throughout the lifespan of the installation. The areas of the different zones on pillar 10 and 11 are:

Zone 1: $7\text{m} \cdot 9.4\text{m} = 65.8\text{m}^2$

Zone 2a and 2b: $4.5\text{m} \cdot 9.4\text{m} = 42.3\text{m}^2$

It is estimated that the surface of the reinforcement used as cathodes is about twice the size of the surface of the concrete.

The calculations give the current densities in Table 6.

Table 6 Current densities for pillar 11

Time\Zone	1	2a	2b
Jan 1993	6mA/m ²	11mA/m ²	NA
May 2011	28mA/m ²	42mA/m ²	35mA/m ²
Aug 2011	27mA/m ²	43mA/m ²	35mA/m ²
May 2018	NA	44mA/m ²	41mA/m ²

The current has increased over time and given that the assumption of reinforcement area is correct the current is more than twice what is recommended for CP for zone 2a and 2b.

This is however the pillar with the highest current for each zone and is probably one of the most exposed pillars on the bridge. Some of the pillars have had increased current, but most have still a low current applied.

5.2 Onsite inspection

In addition to the inspection performed when drilling the cores, a thorough inspection of Sortlandsbrua for delamination was performed later by Multiconsult. Here all the pillars and the CP-mortar was checked for delamination on September 3rd and 4th 2018. No areas with delamination was found (Fredheim 2018) except for a small area that was discovered while extracting the concrete cores Figure 5-1 and Figure 5-2. All results of the second inspection are given in Appendix F.

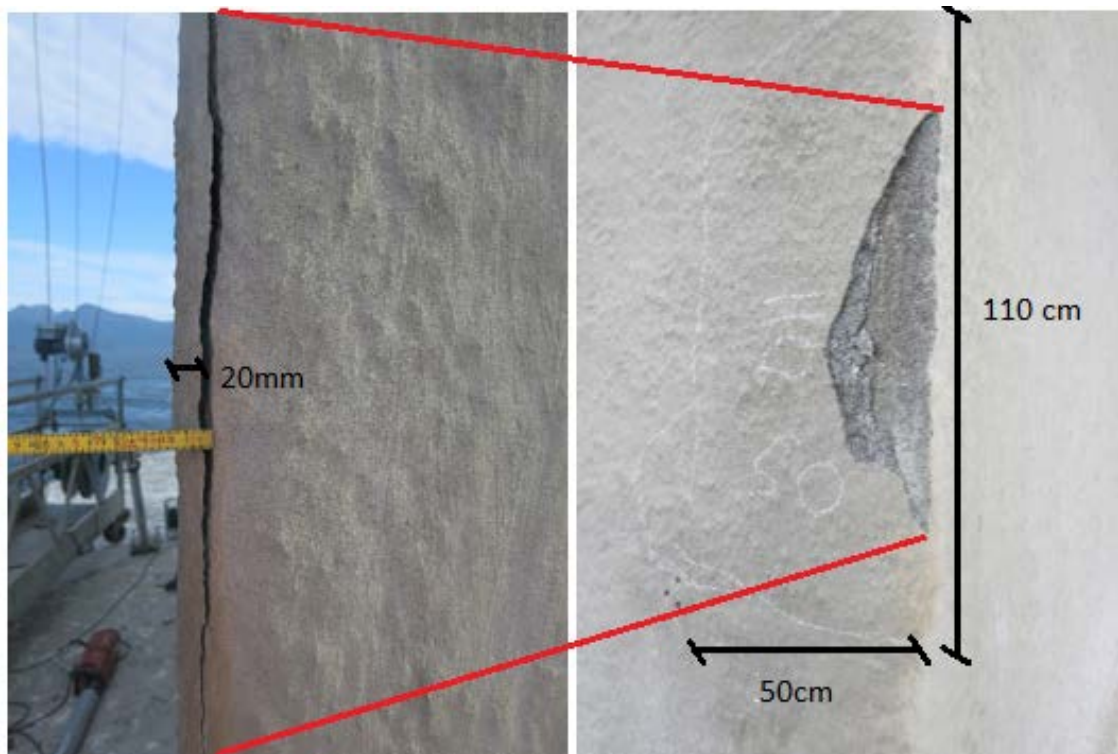


Figure 5-1 Delamination on pillar 11, north eastern corner. On the left the crack is shown before removing the delaminated mortar.



Figure 5-2 Delaminated area sprayed with phenolphthalein.

When sprayed with phenolphthalein most of the mortar turned purple, which indicates that the mortar is alkaline. However, there are spots in the mortar where the phenolphthalein did not turn purple, this is quite clear on the backside against the underlying concrete. As shown in both Figure 5-2 and Figure 5-3 there are areas where the concrete isn't alkaline. The clearest example is shown in Figure 5-2 where the loose mortar has been folded over and the back has been exposed. This is either due to air and carbon dioxide having had access to the backside of the CP-mortar or acidification of the mortar due to current from the CP. The probability of it being acidification increases when considering that the underlying concrete around where the folded mortar was gives a slight purple colour when sprayed, while the back of the folded bit and the areas exactly underneath shows no or far less purple.

The thickness of this area of shotcrete can be considered small (<20mm) see Figure 5-1, and a possible reason for the lack of bond could be the low thickness.



Figure 5-3 Highlighted acidic areas of the mortar from the freshly broken surface.

One pillar has damage that resembles ASR, pillar 17 (Figure 5-4) has crack pattern on the northern side, this is one of the pillars without CP and epoxy coated rebars instead. The observed damage is above the area that was repaired in 1990-1991. And there seem to be a small repair just above the steel edge that has been performed some time later. It cannot be said for sure that the cracking is caused by ASR without further investigations and thin section samples of this pillar.



Figure 5-4 Northern side of pillar 17

5.3 Results from cores.

5.3.1 Chloride results

Below, the graphs for each profile is shown with the comparing sample. The pillar, side and height from where the core is taken is described in the title of the graph behind the core name. The placements of the cores are shown in Table 2 and Figure 4-7 through Figure 4-10. Table 3 shows descriptions of each core from extraction. The cores were investigated by Ola Skjølvold at SINTEF, data and description of the investigations can be found in Appendix F.

Data for the chloride profiles form 1990 can be found in Appendix H.

Figure 5-5 through Figure 5-14 shows the chloride profiles gathered from the samples with CP installed. Both the samples taken in 2018 and the samples from 1990 are shown. Notably the scale on the sample from the eastern side are about 10 times larger than the scale of the sample from the western side.

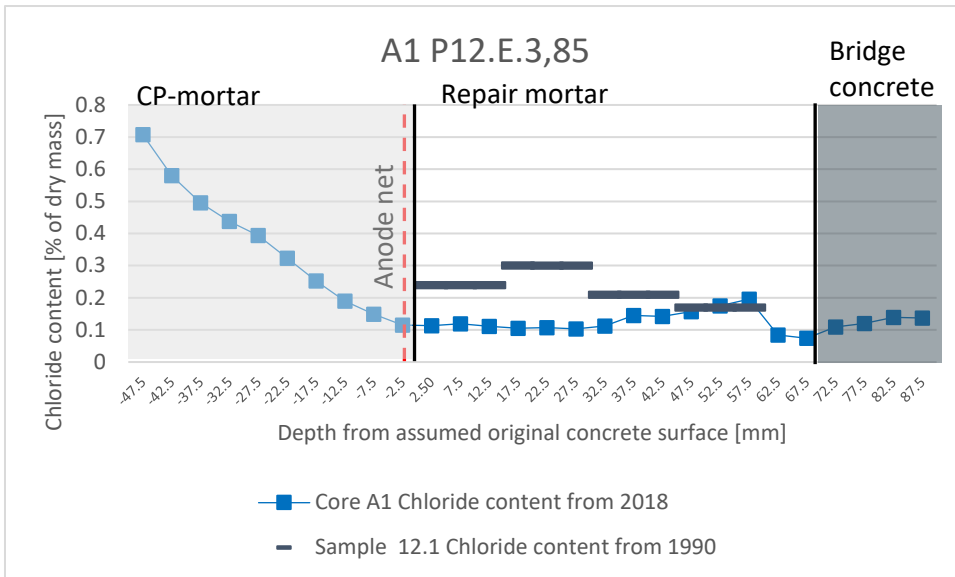


Figure 5-5 Chloride content core A1

The graph in Figure 5-5 shows high chloride ingress through the surface protection. This is not unexpected as surface protections usually doesn't last more than 10 years or so (Bertolini 2013). The ingress into the repair mortar is a bit unexpected. The original concrete where sample 12.1 was taken was removed when installing the CP and replaced with repair mortar. When the CP was installed the chloride content of the repair mortar should have been 0. There is a possibility that migrating ions have contributed to the higher point at 57.5mm compared to 62.5 and 67.5, but it is not expected as the rebars usually would be found at 30-40mm depth. However, it could be a rebar there, as there have been observed some rebars with an original cover depth of 88mm (Table 5). There was no rebar discovered in this sample.

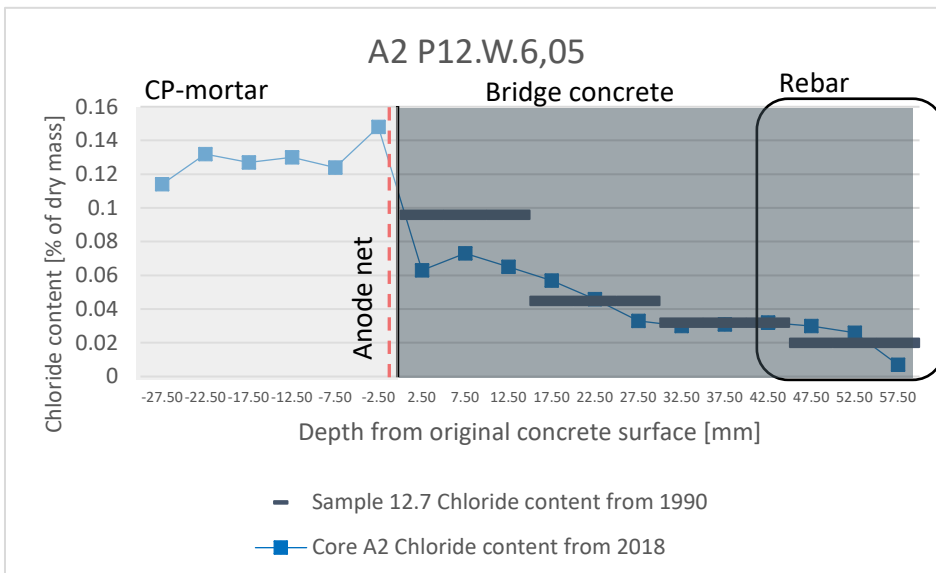


Figure 5-6 Chloride content core A2

In the graph in Figure 5-6 there is a clear drop in chloride content when moving from the CP-mortar into the bridge concrete. It seems that some chloride has moved into the CP-mortar. Even though the chloride content is low in this sample there has still been movement of the chlorides since the amount has lowered compared to sample 12.7.

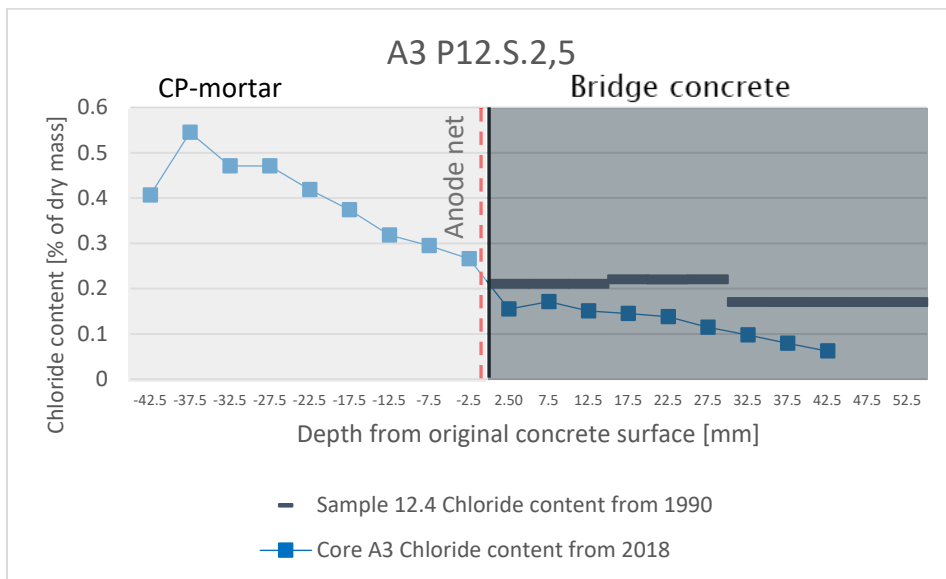


Figure 5-7 Chloride content core A3

Shown in Figure 5-7 there is a small drop in chloride content from the CP-mortar and into the bridge concrete. However, when considering the chloride content to cement ratio the difference is probably not that big. There seem to have been some movement of chlorides compared to sample 12.4, especially regarding the chloride content form 1990 further into the construction.

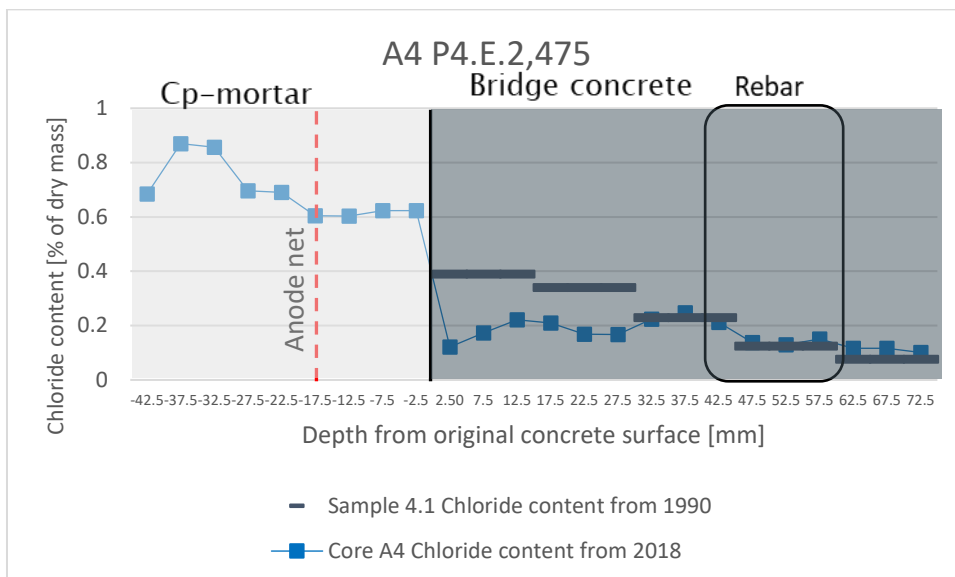


Figure 5-8 Chloride content core A4

The graph in Figure 5-8 shows a massive drop in chloride content when going from the CP mortar into the bridge concrete. There has been a great reduction in the outer 30mm of the bridge concrete. It seems that the chlorides in front of the rebars have been affected, but not the ones behind. Inaccuracies in measurements regarding the placement of the graph and rebar could result in that the small top slightly in front of the rebar, as it presumably should be on the front of the rebar.

It is interesting to note that the chloride content in the CP mortar is almost level from - 27.5 mm to -2.5 mm. There seem to be at max close to the surface and then a declining chloride graph to the anode net, then an almost flat line until the drop into the bridge concrete. Inside the CP-mortar it seems that the chlorides don't migrate towards the anode net but rather build up evenly throughout the mortar.

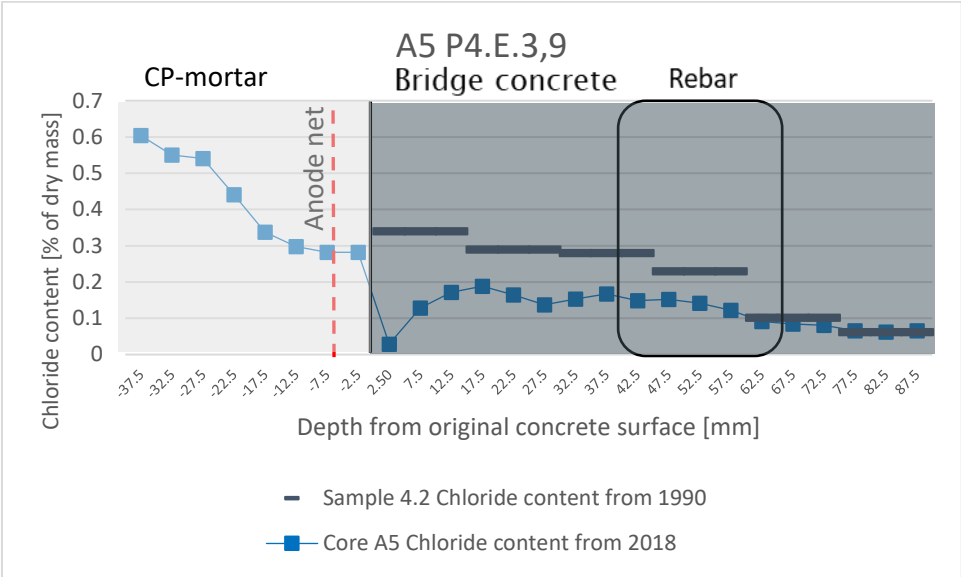


Figure 5-9 Chloride content core A5

The observations in Figure 5-9 of core A5 are similar to the ones from A4 and Figure 5-8. The area where the chlorides from the concrete has been removed is larger, even though the rebars are closer to the surface. The observed rebar in this sample is a main bar and there should be cross reinforcement and stirrups on the outside of the observed rebar if the core had cut through the stirrups.

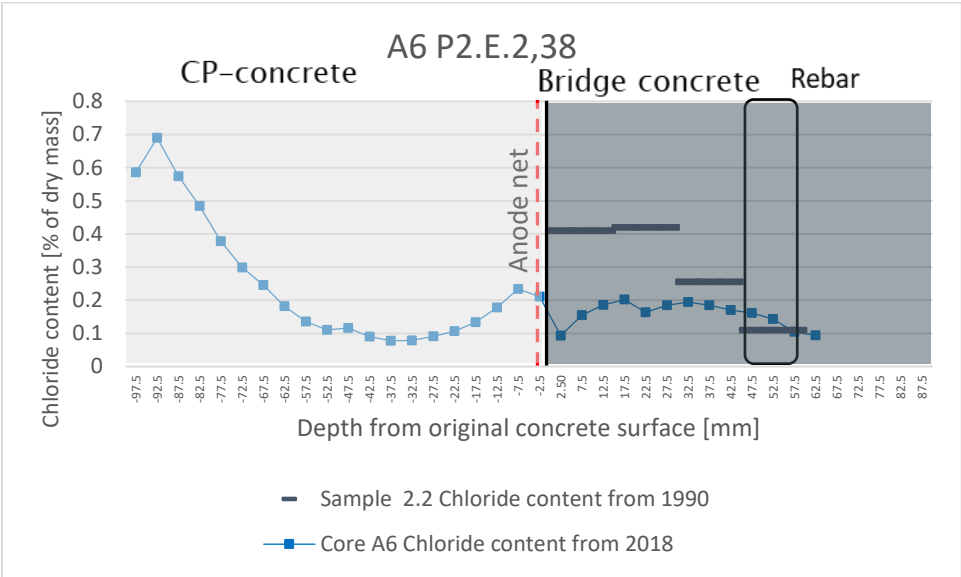


Figure 5-10 Chloride content core A6

The graph of A6 in Figure 5-10 shows a drop of chloride content in the outer most layer of the bridge concrete. The ingress from the outside and the ingress from the underlying concrete can be seen clearly. It is apparent that a lot of the chlorides have moved out of the bridge concrete and into the CP-concrete as the content is much lower in sample A6

than in sample 2.2. Most likely the chloride content at the rebars were similar in 1990 to the levels now. With such coarse levels it is difficult to determine where the line would go if the grindings were finer.

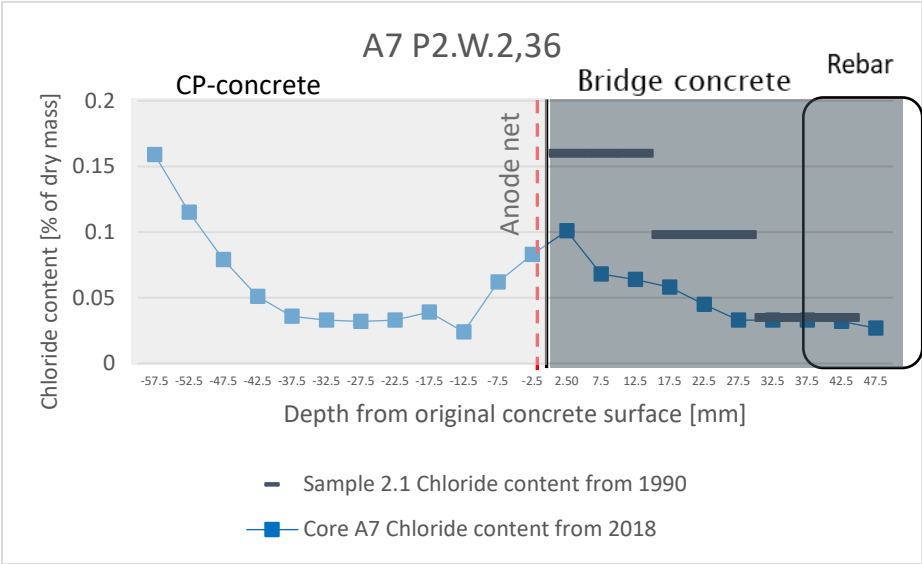


Figure 5-11 Chloride content core A7

Figure 5-11 shows the graph of A7 which is similar to A6, but the scale is much lower, because A7 is taken from the western side of pillar 2 and A6 from the eastern side. The chlorides that have moved from the bridge concrete have moved from the area more than 10mm in front of the rebars. The chloride peak is in the bridge concrete. This can be an error in where the graph is placed compared to how it is.

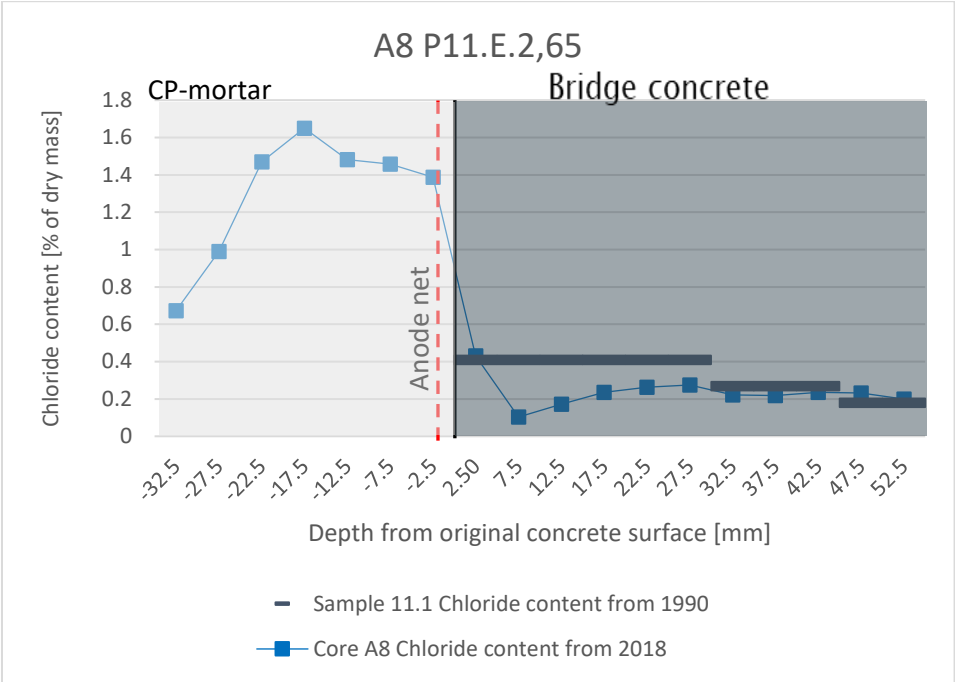


Figure 5-12 Chloride content core A8

Figure 5-12 shows a drop of chloride content from the CP-mortar to the bridge concrete in core A8 that is large. In comparison to the other graphs the drop here is not as steep,

as the point 2.5mm is higher than 7.5mm. This may be a result of the core breaking at the interface between the bridge concrete and CP-mortar that may have caused inaccuracy in measured layers compared to grinded levels.



Figure 5-13 core A8 broken at the CP-mortar and bridge concrete interface

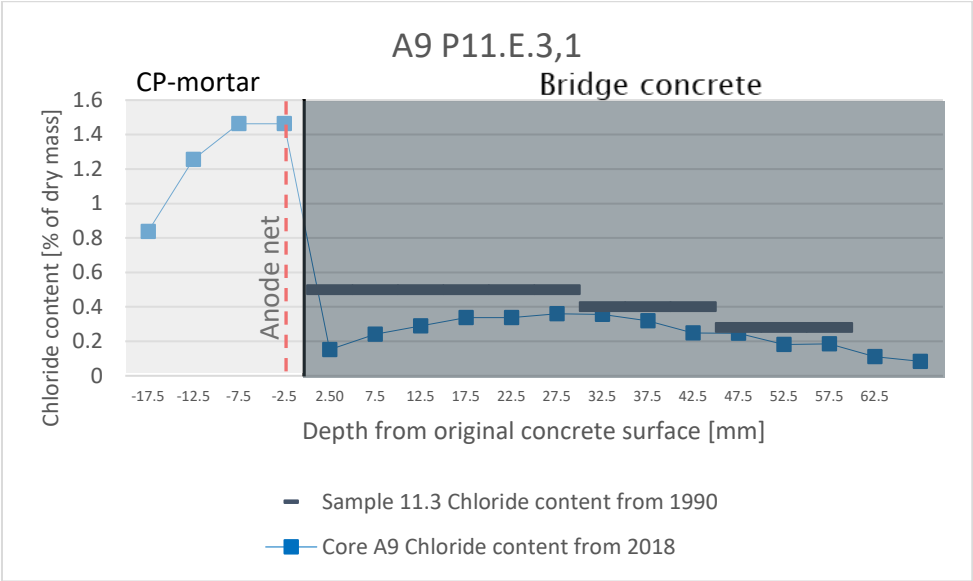


Figure 5-14 Chloride content core A9

The graph for core A9 is shown in Figure 5-14. The drop of chloride content is big when going from the CP-mortar to the bridge concrete. A significant amount of chloride has moved from the bridge concrete to the CP-mortar. It seems there have been little movement from the area where the reinforcement should be.

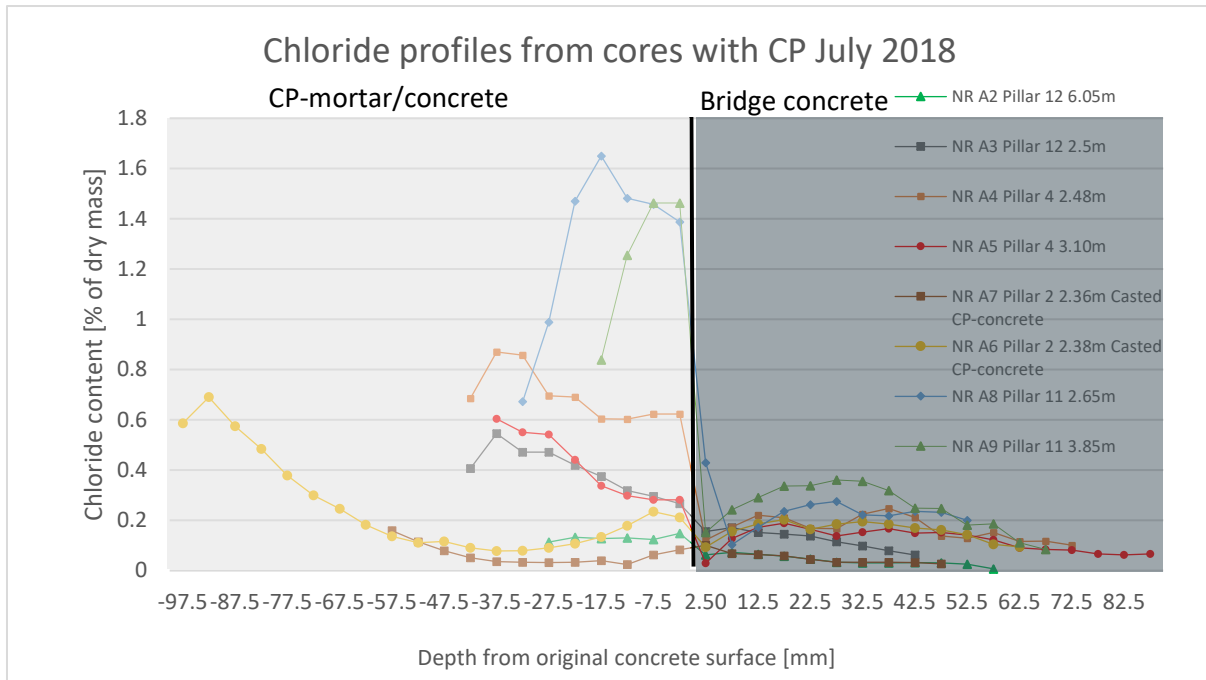


Figure 5-15 Chloride profiles grinded from the cores taken with CP-mortar in 2018

Generally, it seems all the cores with CP-mortar have the same trend of a big drop in chloride content when the bridge concrete starts. These graphs are very different from the graphs in Figure 3-3 and Figure 3-4 from the key in Oslo (Rodum and Lindland 2012). With migration as a contributing transport mechanism, it was expected that the chloride content would be higher in the CP-mortar than the bridge concrete (Figure 3-5), but not to the extent as seen in the graphs here.

Much of the chlorides in the CP-mortar must have entered from the outside. This is apparent from the cores with such a long distance that the fronts, from the inside and outside, haven't met yet (Figure 5-10 and Figure 5-11)

5.3.2 μ -XRF

μ -XRF scans were performed by Tobias Danner from SINTEF using a M4 Tornado from Bruker and formed into a report (Appendix E). For reference when scanning there are five discs containing different levels of chloride according to cement weight, the amount of chlorides increases from left to right and contain 0.0%, 0.4%, 1.2%, 1.8% and 3.0%. These reference discs are important to look at when studying the cores and especially when comparing different cores. Shown in Figure 5-16, at first glance it would seem that there are more chlorides in core M4, but when looking at the reference discs the levels are so high in M5 that the dark blue parts, which in M4 contain close to 0% chlorides, contain about 1,8% chlorides.

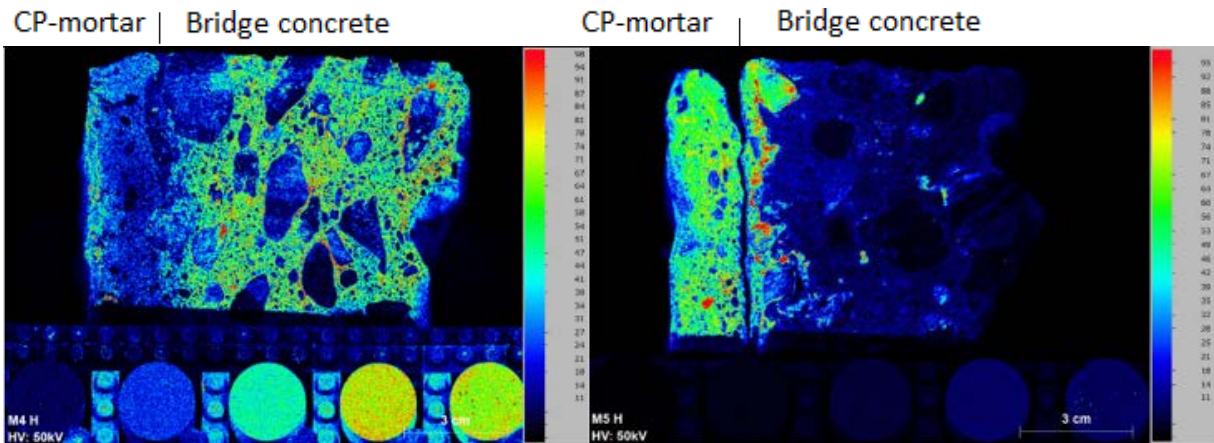


Figure 5-16 Core M4 and M5 with different levels of chloride ingress

Studying the chloride ingressions makes it apparent that core M2 and M7 (Figure 5-23 and Figure 5-24) both consists of repair mortar and not original bridge concrete. It could also have been assessed by the size of the aggregates, but it was not expected that the repair would had gone as deep as the cores, as they were 210mm and 180mm long respectively. The scans show that there is not much chlorides in the middle of the extracted cores. There is a lot of penetrated chlorides in the front of the CP-mortar, but towards the right side the amount starts to increase again. This must be chlorides from the original bridge concrete that has diffused into the repair mortar. The low levels of chloride are puzzling, as this core is taken from the eastern side of the pillar, it should not have been subjected to much rainwater or other effects to wash out chlorides, the surface protection may still be intact.

While studying the μ -XRF images from core M6, the crack discovered before cutting the core shown in Figure 4-15 became apparent and is clearly visible in Figure 5-17 in the bottom left corner. In the crack there was small amounts of chlorides compared to the surroundings. The crack can also be observed in the silica (Appendix E) and sulphur scans (Figure 5-27 d)), but all the other elements that was mapped show no signs of a crack.

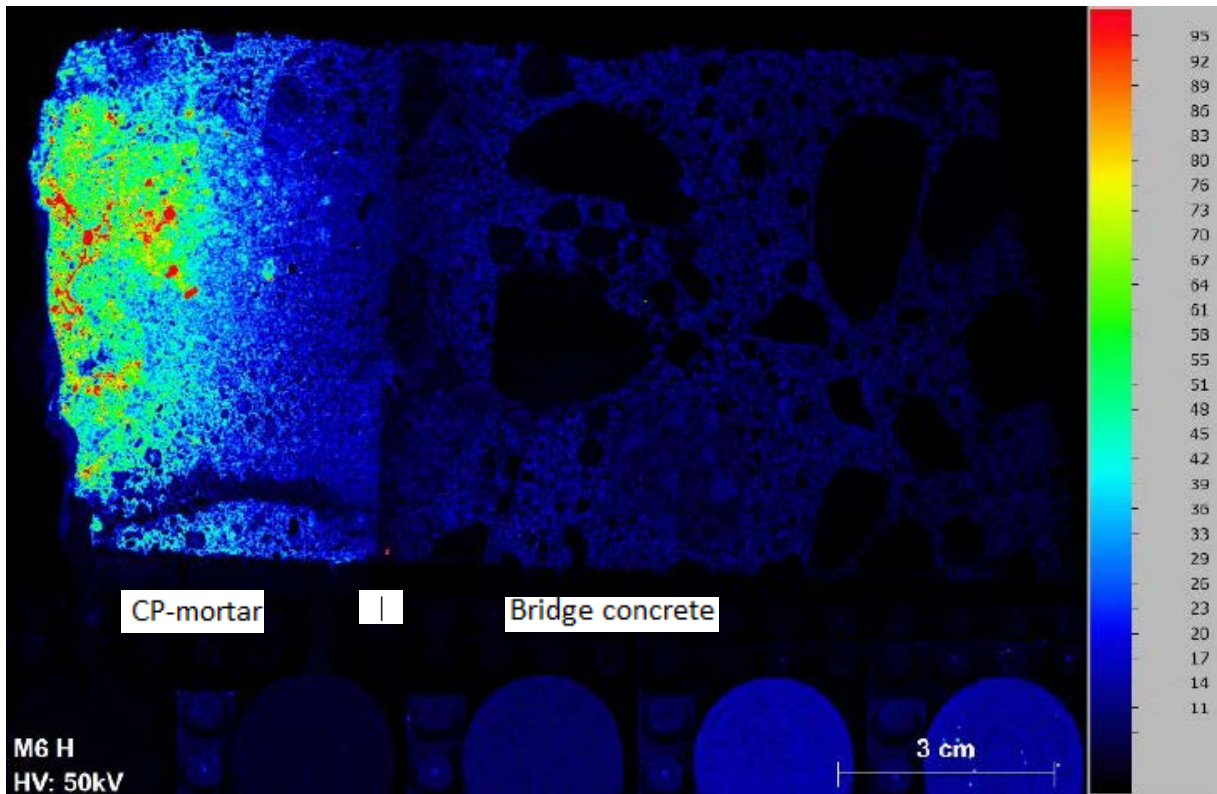


Figure 5-17 chloride mapping using μ -XRF scan on core M6

The cores taken from the western side of pillar 12, M1 and M8, does not show ingress ion at a high level when comparing to the reference discs.

M3 (Figure 5-20) shows high levels of chlorides on some aggregates inside the core and is possibly contamination from the cutting process (Danner 2018). There are three similar aggregates at about the same depth made out of the same material, two without chlorides and one with high concentrations of chlorides. This increases the possibility that the sample is contaminated in this area.

μ-XRF Results of chloride mapping from pillar 6.

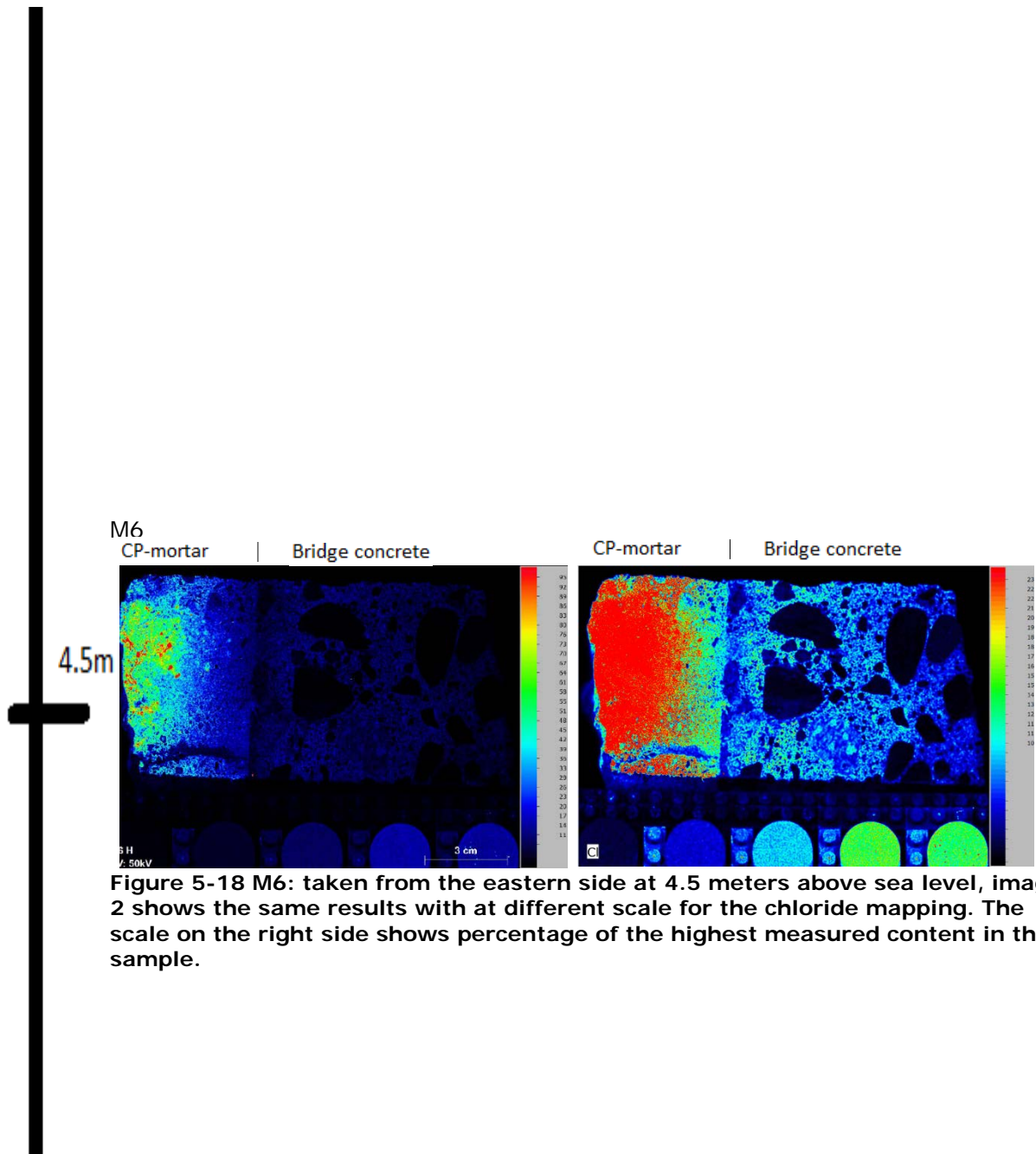


Figure 5-18 M6: taken from the eastern side at 4.5 meters above sea level, image 2 shows the same results with at different scale for the chloride mapping. The scale on the right side shows percentage of the highest measured content in the sample.

μ-XRF Results of chloride mapping from pillar 11.

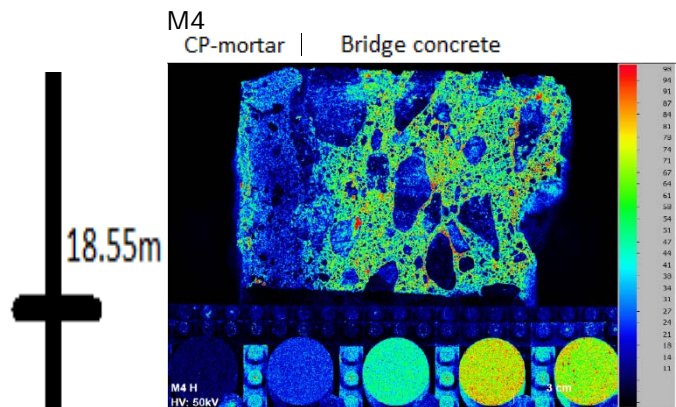


Figure 5-19 M4 taken from the Northern side at 18.55 Meters above sea level

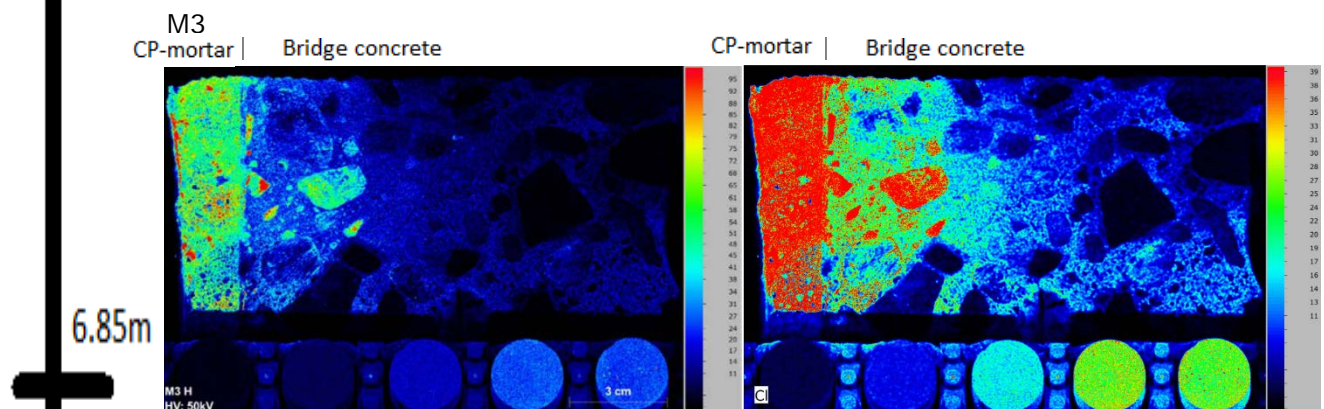


Figure 5-20 M3: taken form the northern side at 6,85 Meters above sea level, Image 2 shows the same results with at different scale for the chloride mapping. The scale on the right side shows percentage of the highest measured content in the sample.

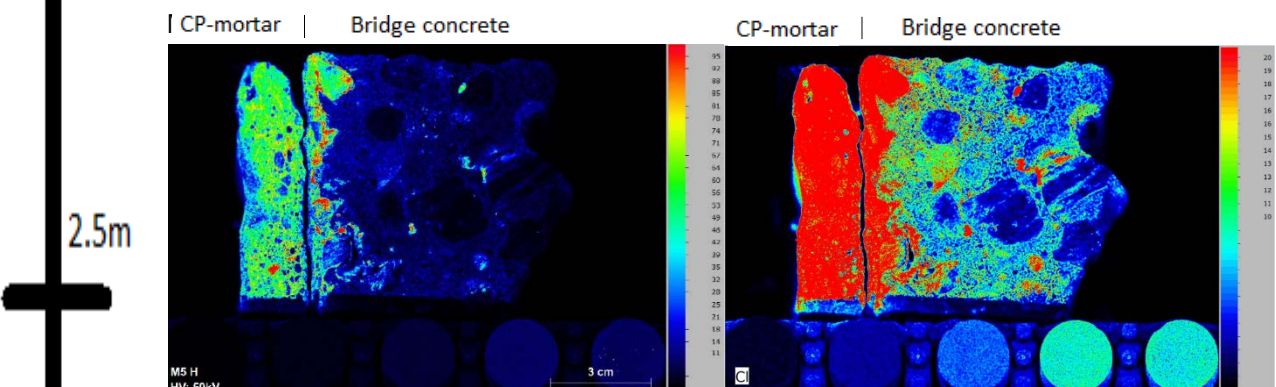


Figure 5-21 M5: taken from the eastern side at 2.5 meters above sea level, image 2 shows the same results with at different scale for the chloride mapping. The scale on the right side shows percentage of the highest measured content in the sample.

μ-XRF Results of chloride mapping from pillar 12.

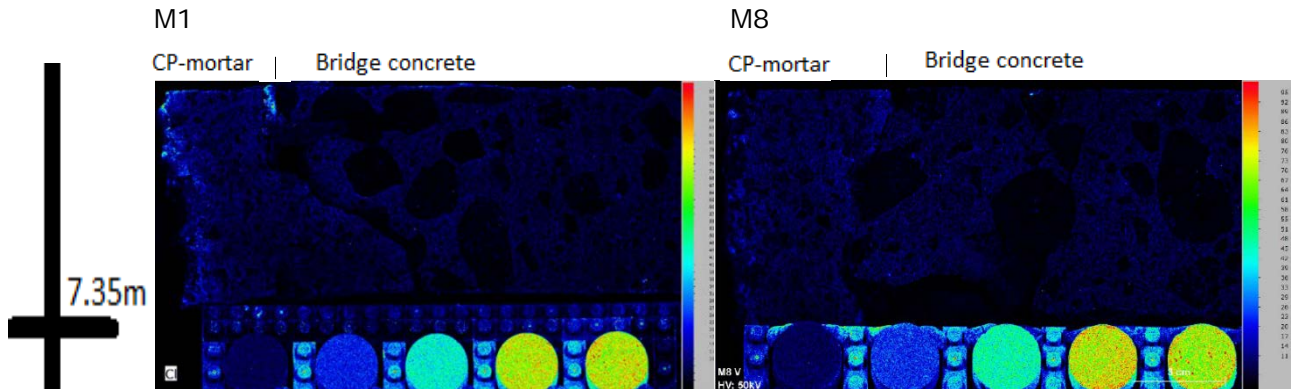


Figure 5-22 M1: taken from the western side at 7.35 meters above sea level.

M8: taken from the western side at 7.35 meters above sea level.

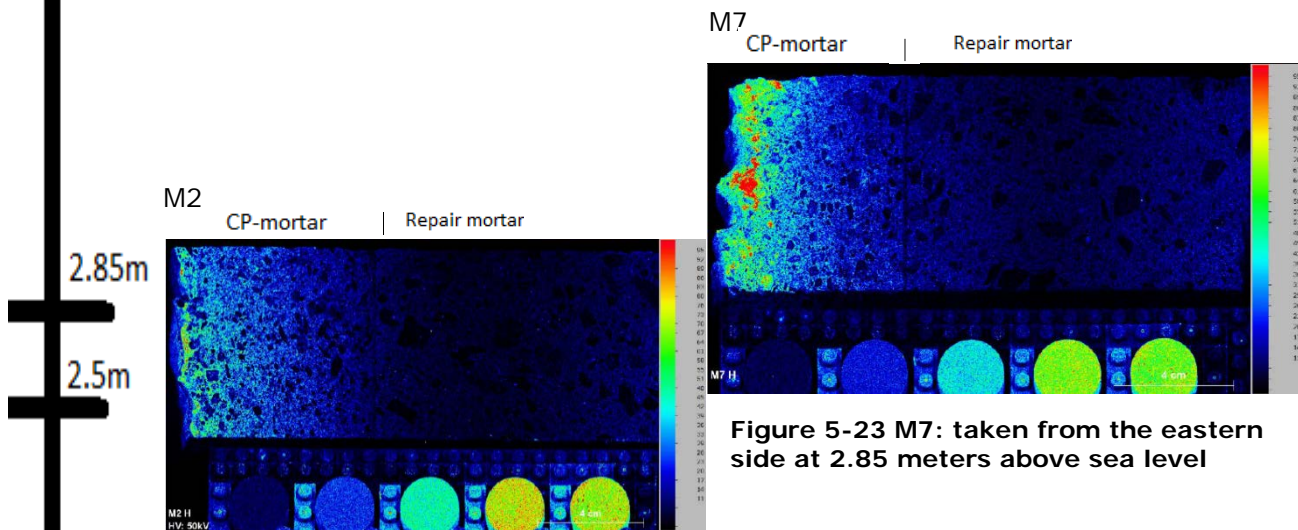


Figure 5-24 M2: taken from the eastern side

Figure 5-23 M7: taken from the eastern side at 2.85 meters above sea level

When studying the μ -XRF scans and the chloride profiles one can see that the surface protection has not worked well over 27 years. This could be expected, as summarized by Bertolini et al (Bertolini 2013), there is a lack of data available to predict the durability beyond a 10 year period under different exposure conditions for different surface protection systems. However, there are some cores where it seems that the surface protection has worked well over such a long period ref. core M1 (Figure 5-22), M2 (Figure 5-24), M8 (Figure 5-22) and especially M2. M1 and M8 are taken from the western side of pillar 11. This is a side with far smaller amounts of chloride ingress than the northern and eastern side, thus the small amount of chlorides here can simply be a result of less harsh exposure. M2 on the other hand is taken from the eastern side, this side have been heavily exposed to chloride ingress and by comparing to core M7 it is far less ingress in M2.

It is apparent that the chloride concentration varies within one layer (5mm thick regarding the chloride profiles 5.3.1) depending on aggregates and somewhat regarding the concentration in the cement paste. This can be seen in Figure 5-18, Figure 5-19, Figure 5-20 and Figure 5-21.

When an electric field is placed through concrete also Na^+ ions and K^+ ions migrate, they are expected to move towards the cathode (Andrade 1993, Siegwart, Lyness et al. 2003). To study this the μ -XRF scans for Na and K was studied for the cores with rebar in them.

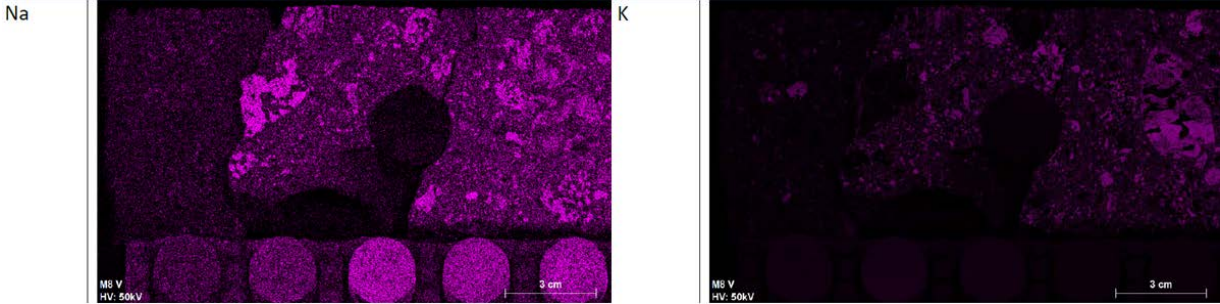


Figure 5-25 M8 μ -XRF scans for Na and K.

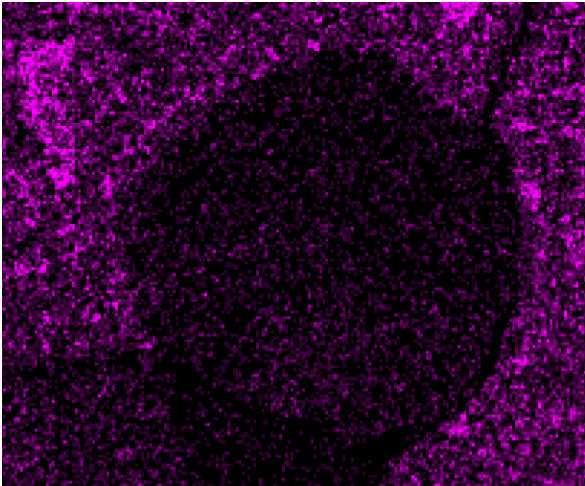


Figure 5-26 closeup of rebar imprint M8, shows a slight accumulation of sodium at the front of the rebar.

On M3 and M4 (Appendix E) there are not many signs of either sodium or potassium accumulation at the rebars. However, on core M8 there is a thin layer of dots surrounding

the rebar facing the anode net when scanning for sodium. These dots do not seem consistent with the spread of sodium through the rest of the core. There are aggregates with higher concentration of sodium throughout the core, but not much in the cement paste. If there has been any migration of sodium it is expected small amounts as they need to be dissolved in water to migrate (Andrade 1993). The accumulation of sodium can be an additional sign that migration is taking place even though there has been a low current working over time.

There is sulphur present in all the cores, especially in cores M3, M4, M5 and M6 Figure 5-27. As sulphates are present in sea water it is likely that the accumulations are from sea water since both the original concrete surface and the surface of the CP mortar has accumulation. The cores with sulphur accumulation do not have repair-mortar, the roughness of the sulphur in M4 Figure 5-27 b) may be a result of hydro demolishing of the surface for better bond for the CP-mortar.

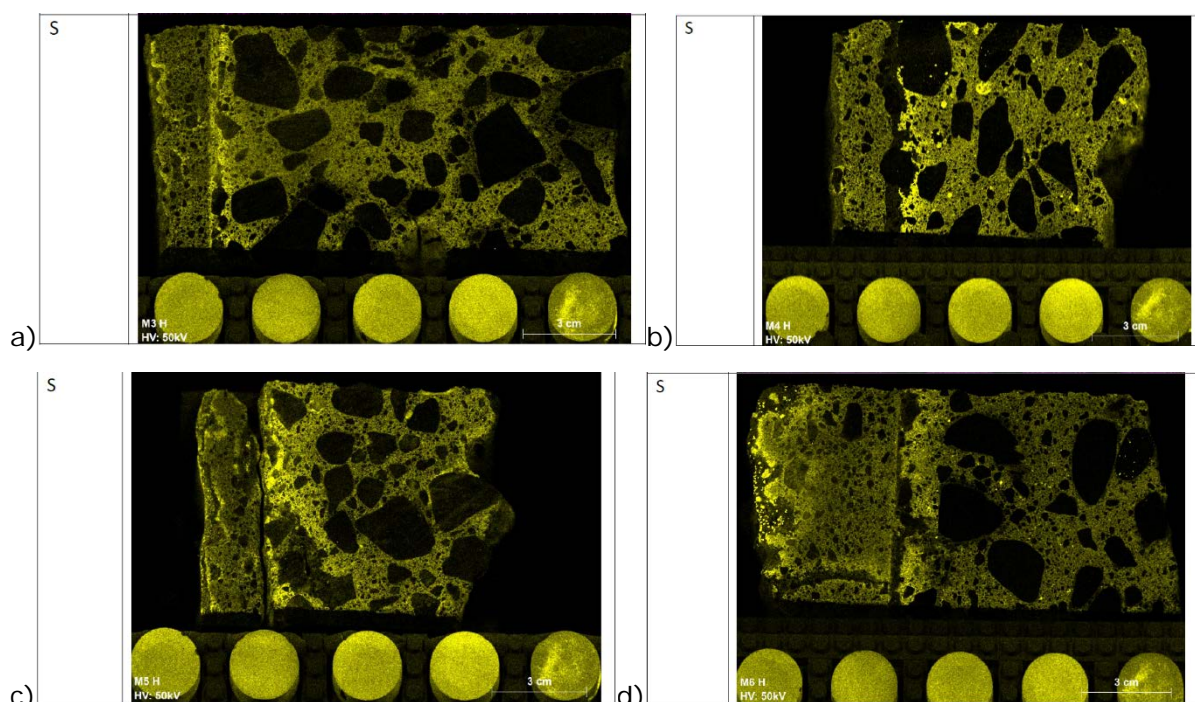


Figure 5-27 Sulphur scans of cores. a)M3 b)M4 c)M5 d)M6

5.3.3 Thin sections

Results from the thin sections investigations of core M3, M4 and M5 are shown in Appendix B.

5.3.3.1 Carbonatization

The results show generally a strip of carbonated concrete in the outer part of the bridge concrete, the thickness ranges between 0.6mm and 12mm (Jakobsen 2019). There is also a carbonated strip on the outside of the CP-mortar, this strip is between 0.2mm and 0.6 mm on M3 and M4 and between 0.6mm and 12mm on M5. There is carbonation on the backside of the CP-mortar on core M5 that indicates the CP-mortar had lost connection with the underlying concrete a long time ago. This could explain why the location of the chloride concentration differs in M5 compared to the rest of the cores,

Figure 5-21, where the concentration is higher in the CP-mortar than in the bridge concrete.

Core M3 is de-carbonated in the outer 0,4mm of the concrete.

5.3.3.2 Porosity and cracks

A significant difference was discovered in the CP-mortars, M5 had a higher capillary porosity than M3 and M4, but there were fewer air voids then in M3 and M4 (Jakobsen 2019). The different findings from each core is summarized in Table 7.

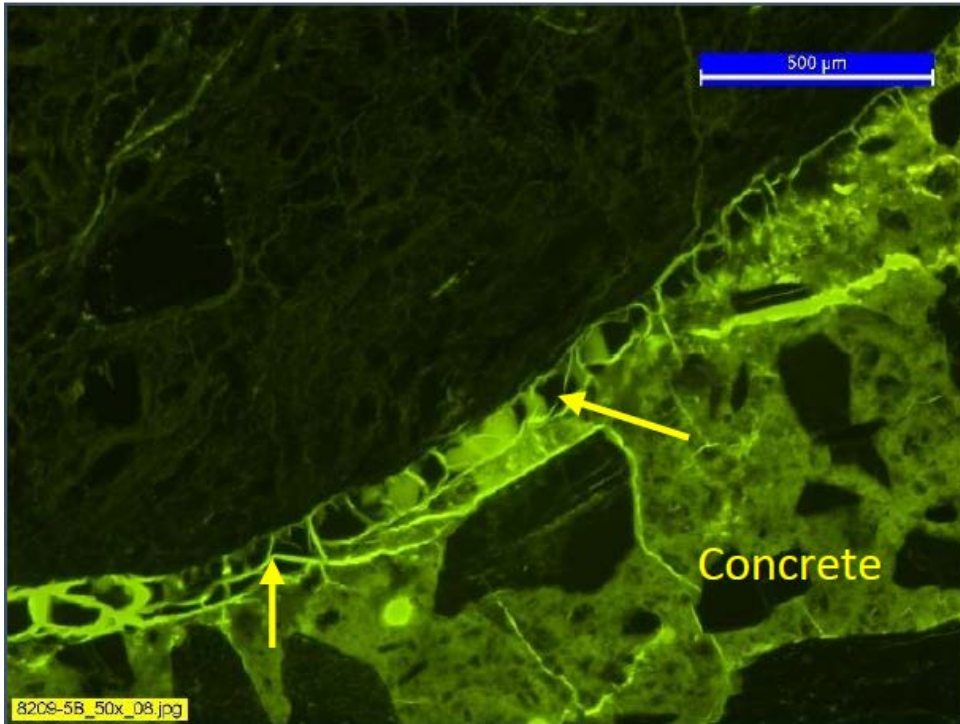
Table 7 Summary of observations from the thin section investigations (Jakobsen 2019)

Sample #	Anode powered	KB mortar				Concrete			
		Carbonation mm	Rel. porosity	Micro cracks	Air voids	Carbonation mm	Micro cracks	Corrosion product	ASR near rebar
M3V	Yes	0.2-0.6	Low	Medium	High	3-4 (10)	Many	No	No
M4V	No	0.6	Low	Low	High	6-12	Many	Yes	No
M5V	Yes	0.6-12	Medium	High	Low	6-12	Many	Yes	Yes

There are different amounts of microcracks in the different cores, in the samples with anode net it the cracks are mainly around the anode net or between the anode net and the concrete. The microcracks in M5 are different than in M3, some of the cracks move parallel to the surface and not across the mortar (Jakobsen 2019).

5.3.3.3 ASR

There is observed ASR near the rebar in M5 and not in the rest of the samples sent for thin section. In core M6 (Figure 5-29) it was discovered a crack which looks like ASR in one aggregate and moisture surrounding more aggregates (Figure 5-30), indicating that the aggregates are potentially reactive, but it is not necessarily damaging ASR.



Several cracks near an corroded rebar in the bottom of the core is filled with alkali silica gel. Her gel is present around an gneissic aggregate.

Figure 5-28 Documented ASR in M5 (Jakobsen 2019)

The cracks close to the rebar imprint form M5 are filled with alkali silica gel, this is the only spot with observed ASR from all the cores examined by thin section. There was not discovered ASR in the imprint of the rebar from M4 (Jakobsen 2019).



Figure 5-29 closeup of reactive aggregate in core M6.

A bit of yellow-brownish residue in a pore slightly below the right side of the cracked aggregate. This could be rust indicating that this point possibly was close to a rebar.



Figure 5-30 M6 showing several potential reactive aggregates, with surrounding moisture

5.3.3.4 Sulphate attacks.

There is discovered ettringite in the CP-mortar of all the samples. However, as there is not discovered much ettringite there might not be damage due to it.

There is sulphur present in all the samples, with high concentration towards the interface between CP-mortar and bridge concrete for many of them (Figure 5-27). Due to the conditions there is a possibility of thaumasite formation in the interface between the CP-mortar and the bridge concrete. Though there is silicon and calcium in thaumasite the amount of these elements is expected to appear at the same rate as the rest of the concrete. However, there is not discovered thaumasite in the air voids from the thin section investigations. To identify thaumasite in the paste different investigations have to be made, such as SEM-EDX (Jakobsen 2019).

5.3.3.5 Frost attack

There was not discovered any signs of frost attack in the CP-mortar or bridge concrete from the thin section investigation (Jakobsen 2019).

5.3.3.6 Hydroxide content

The concrete has a high content of hydroxide except from in front of the carbonated surface of the concrete (Jakobsen 2019), this could have been washed out before the CP was installed.

The CP mortar on the other hand seem to contain small amounts of hydroxides.

5.3.3.7 Acidification of the mortar

There does not seem to be damage in the mortar around the anode due to acidification in the sampled cores. However, there seem to be low calcium hydroxide content in the cores, especially M5.

6 Discussion

6.1 Chloride movement from original concrete to CP mortar.

There have been movement of the chlorides in the bridge concrete of Sortlandsbrua. All chloride profiles with CP-mortar applied directly to the bridge concrete taken in 2018 (A2-A9(Appendix F)) have less chloride content compared to the samples from approximately the same places taken in 1990 (Appendix H). This can be seen in Figure 5-6 through Figure 5-14 in chapter 5.3.1. Seen in Figure 6-1 and Figure 5-6 through Figure 5-14 there are drops in most of the chloride profiles when moving into the bridge concrete from the surface of the mortar. The chloride content then increases again further in to the bridge concrete before it decreases again. The outer most area of the bridge concrete seem to contain relatively small amounts of chlorides compared to the rest of both the CP-mortar and the bridge concrete.

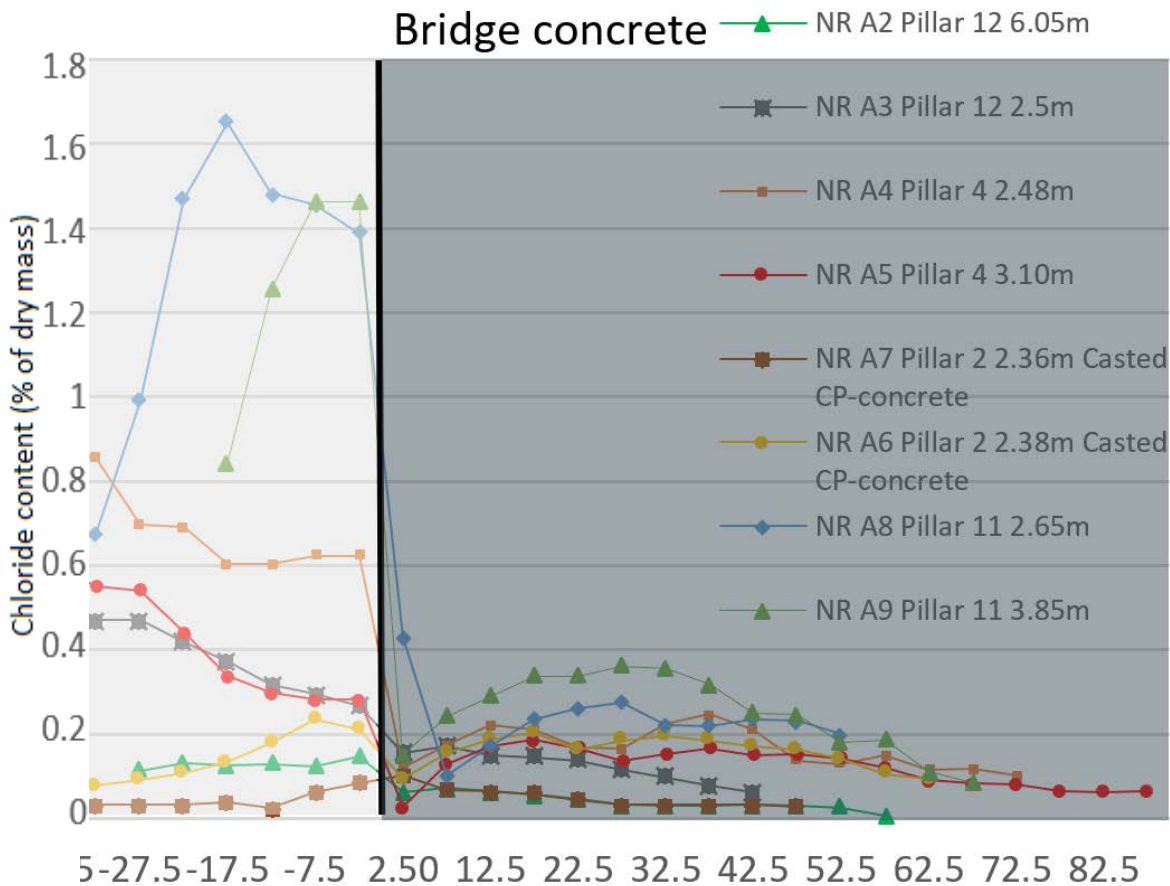


Figure 6-1 Drop in chloride content (close-up of Figure 5-15)

As diffusion would have worked towards evening out the chloride levels, as in Figure 3-4, it is apparent that migration also must have been working on the chlorides since diffusion would not remove chlorides from an area with lower levels to an area with higher chloride levels. The big difference between the chloride levels in the CP-mortar and the bridge concrete can't be made by diffusion. It was expected that migration and diffusion in combination would lead to a graph as proposed in Figure 3-5. This is however not the

case for the collected samples. Except A7 (from 2.36m at the eastern side of pillar 2 with casted concrete) (Figure 5-11) which seem to be more like the profiles from the quay in Oslo (Rodum and Lindland 2012) after 5 years (Figure 3-3).

There seem to be close to no chlorides left in the outer parts if the bridge concrete for some of the samples. A possible reason is that the concrete is carbonated in the 0.2-12 outer mm (Jakobsen 2019). Carbonated concrete can't bind as much chlorides as uncarbonated concrete (Bertolini 2013). Since the bound chlorides in the outer most layers of the concrete dissolves into the pores relatively fast there can potentially be a lower total chloride content in this area. Due to the applied electrical field the free chloride has possibly migrated into the CP-mortar and stayed there. Then, because of small amounts of free chlorides in the pore solution towards the surface of the bridge concrete, chlorides may have started to defuse towards the outside of the concrete.

Several of the μ -XRF scans show similar tendencies as the grinded chloride profiles. This is easiest to see in the rescaled version of M6 (Figure 5-18). Where the area adjacent to the CP-mortar has low chloride content, while the levels increase further into the concrete before decreasing again.

There are high amounts of chlorides in the CP mortar for most of the cores. The amount seems to depend on which side of the pillar the core is taken from. This accounts for both the cores from the A-series and the M-series. Since there are mostly higher concentrations towards the surface of the CP-mortar it seems that the surface protection has failed somewhere in the past 27 years and there have been ingressions from the outside. The ingressions from the outside is apparent in the graphs for A6 (Figure 5-10) and A7 (Figure 5-11) which has casted concrete around the anode net.

The μ -XRF scan for chlorides of M5 (Figure 5-21) show different results than the rest of the scans and the chloride profiles. There are accumulated chlorides in the outer part of the bridge concrete and in the CP-mortar, the concentration is somewhat higher in parts of the bridge concrete. This ingressions into the bridge concrete is likely due to the delamination of the CP-mortar and sea water saturating the gap. The core is from an area 2.5 meters above sea level, so waves and spray should easily have reached the area providing chloride rich moisture. When the water dries up the chlorides remain, and the concentration increases. However, the part of the bridge concrete where the concentration is highest is also the part that is carbonated. And since the carbonated concrete can't contain many bound chlorides it is puzzling that the chlorides haven't moved out of this strip as suggested earlier. There is a possibility that there has been some sort of electric contact between the bridge concrete and the CP-mortar. This could have caused some migration countering the diffusion wanting to move the chlorides further into the concrete. Since there haven't been direct connection between the bridge concrete and the CP-mortar the chlorides haven't moved into the CP-mortar from the carbonated concrete.

M4 (Figure 5-19), which hadn't any current passing through it, does not show the same accumulation of chlorides in the CP-mortar as other cores and chloride profiles. There has been some penetration of the surface protection, but the inner part of the CP-mortar has almost no chlorides in it compared to the bridge mortar. This also indicates that the other cores have had migration as major contributor to the changed chloride levels since diffusion have been working on the chlorides in this core, and there have not been much movement due to it.

There has not been observed distinct difference in the chloride content surrounding the rebars compared to the rest of the mortar in the cores scanned with μ -XRF. However, there were only 4 of the scanned cores where reinforcement was discovered, and the reinforcement were either on the edge of the core or the concrete didn't have much chlorides in it. There is not enough data to say anything about the movement of chlorides close to the rebars due to the current from the CP.

6.1.1 Consequences of chloride movement.

There are several potential consequences of the changes in chloride levels:

- Increased potential for frost damage with higher chloride content in CP-mortar.
- Potential harmful environment for the anode net.
- Better conditions for the reinforcement in the concrete.
- Lower current needed to sustain protection of the reinforcement.

There is a probability that the increased chloride content decreases the frost resistance due to the increased number of freeze/thaw cycles that will occur. However, there was not observed frost damage in the thin section samples (microcracks in the surface of the CP mortar would have indicated possible frost damage). One explanation for not having observed frost damage may be the dense mortar with few capillary pores but many other voids (Jakobsen 2019) that can absorb the expansion from the freezing water.

In general chlorides have a negative influence on passive metals (Liu, Alfantazi et al. 2015). The increased level of chlorides surrounding the titanium anode could potentially be harmful. However, these the subject is not well studied for titanium (anode in alkaline chloride rich electrolyte). As chlorides may be decrease the corrosion rate for titanium in acidic environments (Liu, Alfantazi et al. 2015) the effect of increased chloride content could also be positive.

The chloride content at the reinforcement is somewhat lower compared to the samples taken in 1990. Lowered chloride content is mainly observed to a depth of 35mm in the bridge concrete. The reinforcement normally has a cover depth of 40mm or more, consequently the amount of chlorides around most of the reinforcement have not decreased over the last 27 years and re-passivation in case of ending the CP cannot be expected. However, the most exposed reinforcement (reinforcement with 30-40mm of cover depth) has lowered chloride levels surrounding it. Accordingly, the reinforcement with the smallest cover depth and most need of protection does now have a less harmful conditions surrounding it.

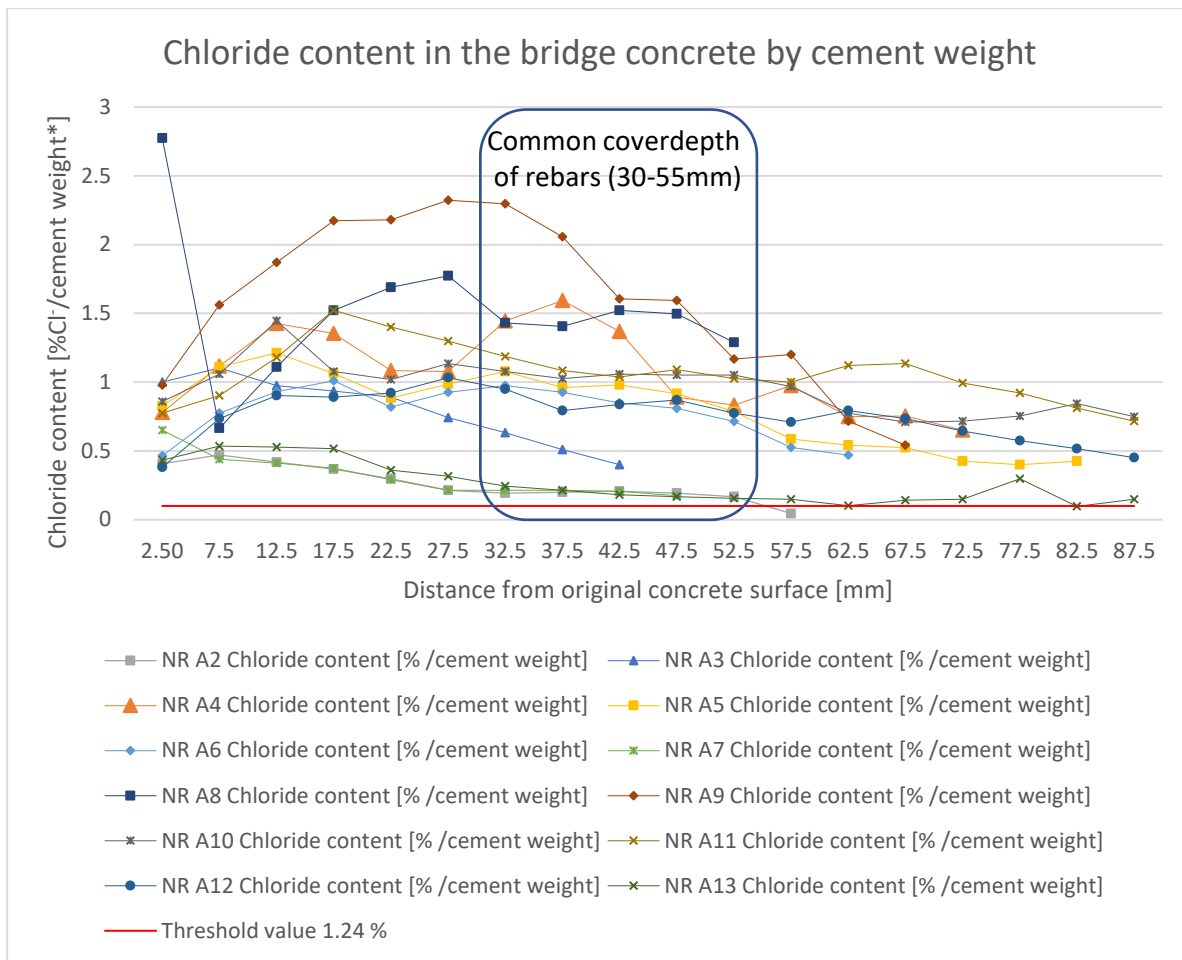


Figure 6-2 Chloride levels by cement weight compared to threshold value for steady corrosion.

*Cement weight is calculated from the same ratio as used in chapter 4.2.1.5 and Figure 4-13.

Even though the chloride levels are lowered at the reinforcement it is not lowered to a point where it is certain that corrosion will stop propagation 0.1% (Figure 2-8) (Bertolini 2013) for any of the rebars. For the values below the red line in Figure 6-2 corrosion will stop without CP. However, local concentrations might be higher as there can be variations within the layer grinded for each point in the graph (5.3.2). The chloride levels have seemingly not been lowered to a point where the concrete can be considered healed.

The observed reduction in chlorides content is not enough to be able to turn off the current as suspected in chapter 3.3. To be able to turn off the current, all the chloride levels must be below common threshold level depicted in Figure 6-2 and Figure 2-8. It is recommended to further monitor the installation and reduce the current if the criteria given in 4.1.5 for CP can be met with then new current. This allows for less stress on the anodes and can possible prolong the lifetime of the installation.

6.2 Observed damagemechanisms

6.2.1 Microstructure in the CP mortar

The development of micro cracks in the CP-mortar seem to differ from the two cores, M3 that has been applied to the mortar as summarized in Table 7. M3 has medium amounts of cracks while M5 have a much higher number of micro cracks (Jakobsen 2019). M4 which is from the area without current have the smallest number of micro cracks. Since M3 have had higher amounts of current running through than M5 the total charge does not seem to influence the amount of microcrack to a large extent, but the composition of the concrete and the delamination in M5 may have influenced the development. This seem to correspond with polders findings where it seemed that the number of microcracks was more related to composition than current densities (Polder 1996).

M5 has some cracks moving somewhat parallel to the surface, this could be because of the cap between the CP-mortar and the bridge concrete. The current moving across the mortar could cause cracks in the direction it is moving. However, the micro cracks in the CP-mortar could also just be there because of the net. There are no samples where there is a net and there haven't been any current passing through the net for comparing to see if there would have been microcracks in the CP mortar if there hadn't been current there. However, the expected cause for the development of the microcracks is gas development due to the current. From the samples taken for this thesis it can't be determined whether the current has caused the cracks, or the presence of the net has caused the cracks by adding a surface inside the mortar that can cause shrinkage.

Microcracks may make the mortar more susceptible for other damaging mechanisms and make it easier for ions to pass through the mortar if they are saturated with water. And can be a reason for the high movement of chlorides into the CP-mortar.

6.2.2 ASR

Regarding the finds of ASR near the rebars on M5 it is highly likely that the current and increased amount of hydroxyl ions have contributed to the development of ASR. All the cores are from the same pillar and there have not been observed ASR other places than adjacent to the rebar in M5. This is contradictory to the literature which states that currents for CP-installations are too small to provoke ASR (Bertolini 2013). However, this installation has been working for more than 27 years and, which is a long time compared to other investigations. The charge has also been slightly higher than what is recommended for CP, so the results may differ. The area from where the core (M5) was extracted may have had better access to water because of the delamination than other parts of the structure and the close vicinity to the sea. This may have made it easier for ASR to develop in this area.

Pillar 17 (Figure 5-4) has a crack pattern which shows signs of ASR. A possible reason for ASR in this pillar may be different components in the aggregates compared to pillar 11. It should be tested to see if ASR is the reason for the crack development and the components of the mortar should also be investigated. The reinforcement in the pillar seem to be attacked by corrosion and could be the reason for the crack pattern.

If the hydroxyl ions produced by of the current is the cause of the ASR it does not seem to affect the structure much for now, the amount is small, and it is possible that it will take several decades before more noticeable damage evolves.

6.2.3 Acidification

There have not been confirmed deterioration of mortar due to acidification of the mortar next to the anode. The area discovered on pillar 11 with delamination could have been acidified. But without thin section investigation of the mortar the cause of the low pH cannot be determined. Another plausible explanation for the difference in outcome of the phenolphthalein, shown in Figure 5-3, is that both the surfaces had carbonated and the surface of the bridge concrete had started to de-carbonize, as discovered in M3 (Jakobsen 2019).

The CP-mortar has been depleted of hydroxyl molecules as seen in the thin section samples (5.3.3.6) (Jakobsen 2019), this is probably due to the effects of the current of the CP installation. It can be assumed that the pH has been lowered in the CP-mortar because of this. However, no signs of acidification were visible. The pH had not dropped to such a low level that it showed when using phenolphthalein.

6.2.4 Delamination

The delamination of CP-mortar discovered in the investigation can be devastating for the local effect of the CP. When the anode net and mortar lose connection to the bridge concrete the electrolytic contact between the anode and the cathode is broken. If the gap is saturated electrolytic contact may be sustained, but it will easily break if the gap dries. The cause of the observed delamination from pillar 11 (Figure 5-1) is unknown, however it is probable that the initiation of the delamination is due to shrinkage tension and bad cohesion to the underlying concrete. The shotcrete was thin in this area, approximately 20mm, and close to a corner which may have increased the shrinkage tension. The probable propagation of the damage is that a crack started due to shrinkage tensions and evolved due to tension from freezing water in the crack.

There is a probability that there are areas with delamination that was not discovered during these investigations. One of the sampled cores (M5 Figure 5-21) has delamination, it was not certain that the area had been delaminated before the thin section investigation observed carbonatization at the bottom of the mortar. This proves that detecting all the delaminated areas can be difficult without destructive investigations and there can be more areas where the mortar has delaminated that was not discovered.

6.2.5 Carbonatization

It seems that most of the concrete is carbonated at the surface, this is expected and usual with exposed concrete. The depth seems to vary some over the three samples for thin section investigation (5.3.3.1). This could be because of differences in concrete quality (w/c ratio) and porosity. Carbonated concrete usually won't do much damage unless it reaches the reinforcement. However, it is suggested that carbonated concrete has an effect on chloride movement. As the carbonated strip in the concrete seem to correspond with the low points in the chloride graphs (Figure 5-15). The presumable positive effect of the carbonated concrete is contrary to Ihekwaba, Hope and Hansson's experiment which showed less extraction of chlorides from carbonated concrete than none carbonated concrete (Ihekwaba, Hope et al. 1996).

The thickness of the carbonated concrete (<12mm) could be a reason for the difference in results. As Ihekwaba, Hope and Hansson had thicker layers of carbonated concrete average of 30mm.

De-carbonatization has been observed on the surface of the carbonated concrete in core M3 (Jakobsen 2019). The reason might be that there seem to be some more sodium content in M3 compared to M5 (Appendix E), since sodium is one of the metals used in re-alkalization projects (Bertolini 2013) the relatively low forced current may have resulted in some re-alkalization.

6.2.6 Sulfate attacks

Ettringite has been discovered through the thin sections while thaumasite has not been discovered. However, it seems that ettringite has not caused any problems, since the ettringite that was found was inside voids and there doesn't seem to be cracks that has developed due to it.

The potential damage of ettringite and thaumasite can make room for other damage mechanisms, especially frost damage. Alone they would probably not do much damage but combined with other mechanism they can cause delamination of the CP-mortar from the bridge concrete.

6.3 Assessments of the CP installation on Sortlandsbrua

The CP on Sortlandsbrua seems to be working sufficiently today. There are not many areas where the CP-mortar is delaminated and most of the reference electrodes are still giving data that supports a working installation (Appendix D). The damaging corrosion seem to have stopped or slowed sufficiently down, there are no signs of active corrosion in the areas protected by CP. However, there are areas without CP where it seems that the damage is evolving, especially pillar 17 (Figure 5-4). It is possible that some of the other parts of the bridge need repair soon.

There does not seem to be much difference between the areas where the CP was installed in shotcrete and where it was in casted concrete. Both methods seem to have worked fine, however, the risks of delamination and other damages seem to be higher with shotcrete than casted concrete. However, there are few pillars with casted concrete, and the quantity of the observations can't give a definite conclusion of the effect and risks with the different repair methods.

It is important to follow up the system, especially because optimising the current level will prolong the lifetime of the anode net and the installation. Even though it requires resources to follow up and tune the system, the cost will quickly be made up for if large repairs can be postponed.

There are no signs that indicate that the CP system on Sortlandsbrua will fail soon. However, it is difficult to predict the remaining service life of the installation. And as some of the zones have relatively high current in order to protect the reinforcement (Table 6) (Figure 4-5), it must be expected that the installation will fail on some of the pillars after a while. By monitoring the charge and installation the CP-system can continue to function as long as the anodes are still intact inside the CP-mortar. The current should be turned as low as possible while still achieving sufficient protection.

The need of increased current can derive from different reasons. The increased number of microcracks or areas with delamination can have caused increased resistance or there could be other deteriorations of the CP-mortar that was not discovered from the extracted samples. However, it is expected that the current needs to be increased throughout the lifespan of the installation, and since the chloride levels have not

decreased to a level that would suggest far less need of polarization to achieve passivity (Figure 2-8) it can't be expected that the current can be lower than the original current needed for protection.

6.4 Ensure good result for CP systems over time.

When applying shotcrete, the underlying surface should to be hydrodemolished in small areas to give a course surface. This is recommended after experiences from other CP installations (Grefstad 2005). The thickness of the shotcrete should be about 40mm and it is necessary to avoid areas with less than 20mm thickness. This allows for shotcrete with less chance of delaminating and sustaining electroconductive connection between the anode and the cathode.

Frost resistant CP-mortar is recommended to avoid frost damage in the mortar due to potential high chloride content. If surface protection is used it should still be used frost resistant CP-mortar as the lifetime and effect of the surface protection is uncertain.

Based on the results of this thesis, a good effect of the CP system has been achieved both with shotcrete and casted concrete. If the method with shotcrete is done correctly the level of protection will be the same as with casted concrete. Therefore, it is preferable to use shotcrete since it is easier to install and costs and weighs less.

CP-systems must be maintained and the current must be controlled to prevent damage due to high currents and over protection. The system must be followed up with proper intervals depending on the level of protection needed and certainty of achieved protection.

Because of the potential damages from high local currents it should be strived for even distribution of the current. Accordingly, titanium nets are preferable to titanium bonds or titanium rods in order to achieve long service life for the installation, as nets is the alternative that provide the most even distribution of current.

7 Conclusions

There are several conclusions that can be made from the results of the investigations. Some are the observations by them self, others are the mechanisms for the effect that can be concluded:

1. Chlorides have been extracted from the bridge concrete as a long-term effect of the CP installation on the bridge. But not to a level where corrosion is certain to not occur at the reinforcement.
2. There has been development of microcracks in the mortar surrounding the anode net. The development of the microcracks seem to be caused by gas development due to the current.
3. There have been observed migration due to the current in the CP-system. The changes in chloride distribution has also caused diffusion to move chlorides from the bridge concrete towards the CP-mortar.
4. ASR has been discovered at a rebar. The hydroxyl ions caused by the current from the CP-system is probably the cause of the development, as there is not ASR discovered anywhere else in the concrete.
5. Delamination of the CP-mortar is observed at Sortlandsbrua to some extent. However, as there are few observations and not particularly large areas, the delamination does not seem to have significant impact on the functionality of the installation at the observed extent.
6. There seems to have been sufficient reduction of corrosion rate in the areas where the CP was installed to protect from further deterioration.
7. The current has been increased on some pillars to be able to sustain the polarization needed to protect the reinforcement.
8. If the repair is done properly and the installation is followed up and tuned, a service life of more than 30 years can be achieved from a CP installation.

8 Possible utilization of the results and further investigations.

The results can be used for the following:

- Address the risk of high chloride content in CP-mortar when developing new mortars or deciding on which to use in a project.
- Evaluate Sortlandsbrua and better the management of the CP system.
- Evaluate what method that should be used for protecting a marine bridge with CP depending on the desired service life of the repair.

The findings in this thesis may be useful, but most of the investigations do not have enough data to determine cause or rule out other possibilities. Therefore, the following points should be investigated further:

- The effect of carbonated concrete on chloride movement should be investigated further for situations with low charge or thin strips with carbonated concrete. Carbonated concrete seems to influence the migration of chlorides and allows for more chlorides to exit the bridge concrete. Which is contradictory to the findings of Ihekweba, Hope and Hansson (Ihekweba, Hope et al. 1996) There should be a comparison to uncarbonated concrete as well.
- The discovery of ASR next to the rebars on M5 should be investigated further. It is recommended to also check the other pillars for possible ASR (especially pillar 17, Figure 5-4). ASR developed due to CP has not been observed before, and it can possibly have devastating consequences if the development gets high enough to cause loss of bond between the concrete and the reinforcement.
- The cause of the microcracks and widespread on the installation should be investigated further.
- The effect of a chloride rich alkaline electrolyte should be investigated for titanium as an anode. It is important to know if the presence of chlorides around the anode will affect how long the service life will be.

References

- AAS-JAKOBSEN, D. I. A. (1975). Statistiske beregninger for Sortlandsbrua del 2: Hovedspenn, DR. ING A. AAS-JAKOBSEN.
- Abdalkader, A. (2014). Thaumasite sulfate attack in cement mortars exposed to sulfate and chloride and implications to rebar corrosion, University of Sheffield.
- Al-Amoudi, O. S. B., M. Maslehuddin, A. Lashari and A. A. Almusallam (2003). "Effectiveness of corrosion inhibitors in contaminated concrete." Cement and Concrete Composites **25**(4-5): 439-449.
- Alonso, C., C. Andrade, M. Castellote and P. Castro (2000). "Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized OPC mortar." Cement and Concrete research **30**(7): 1047-1055.
- Andrade, C. (1993). "Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements." Cement and concrete research **23**(3): 724-742.
- as, C. (1991). Driftsmanual for KB-installasjon: 20.
- Bernt Kristiansen, J. L., Trond Østmoen (1998). Betongrehabilitering, Metoder og utførelse, BA forlaget.
- Bertolini, L. e. a. (2013). Corrosion of steel in concrete : prevention, diagnosis, repair. Corrosion of Steel in Concrete - Prevention Diagnosis Repair. L. Bertolini. Weinheim, Germany, Wiley-VCH.
- bruavdeling, V. (1992). "Sortland bru Nordland fylke Reparasjon med Katodisk beskyttelse."
- CEN (2016). NS-EN ISO 12696. Cathodic protection of steel in concrete
- Chen, C.-c., J.-h. Chen, C.-g. Chao and W. C. Say (2005). "Electrochemical characteristics of surface of titanium formed by electrolytic polishing and anodizing." Journal of materials science **40**(15): 4053-4059.
- Danner, T. (2018). Test report. µ-XRF investigation of concrete cores from Sortland Bridge, Norway, NTNU: 36.
- Elsener, B., M. Molina and H. Böhni (1993). "The electrochemical removal of chlorides from reinforced concrete." Corrosion Science **35**(5-8): 1563-1570.
- Flannery, K. V. (1976). "The early Mesoamerican house." The early Mesoamerican village: 16-24.
- Fredheim, L. H. (2018). Bru nr. 18-1633 Sortlandsbrua, Multiconsult: 29.
- Grefstad, K. A. (2005). Cathodic protection applied on Norwegian concrete bridges. Experiences and recommendations 16.
- Hagelia, P. (2007). Idealised sketch of the reaction Zones. 11th Euroseminar on Microscopy Applide to Building Materials. Porto, Portugal.
- Hagelia, P. (2008). Deteriation Mechanisms and durability of sprayed concrete in Norwegian tunnels. Teknologidagene 2008. Lillehammer, Norway, Norwegian public Roads administration: 43.
- Ihekwa, N., B. Hope and C. Hansson (1996). "Carbonation and electrochemical chloride extraction from concrete." Cement and concrete Research **26**(7): 1095-1107.
- Jakobsen, U. H. (2019). Microscopy of concrete with Ti -anodes, Sortlandsbrua.
- Kristiansen, B., J. Lindland, T. Østmoen and B. A. n. Kompetanseutvikling i (1998). Betongrehabilitering : metoder og utførelse. Oslo, BA forl.
- Lindland, J. (2017). Betongrehabilitering reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll.
- Liu, J., A. Alfantazi and E. Asselin (2015). "Effects of Temperature and sulfate on the pitting corrosion of titanium in high-temperature chloride solutions." Journal of The Electrochemical Society **162**(4): C189-C196.
- Ma, F.-Y. (2012). Corrosive effects of chlorides on metals. Pitting corrosion, InTechOpen.
- Malmgren, L., E. Nordlund and S. Rolund (2005). "Adhesion strength and shrinkage of shotcrete." Tunnelling and underground space technology **20**(1): 33-48.

McCafferty, E. (2010). Introduction to Corrosion Science. New York, NY, Springer New York : Imprint: Springer.

Polder, R. B. (1996). "Electrochemical chloride removal from concrete prisms containing chloride penetrated from sea water." Construction and Building Materials **10**(1): 83-88.

Polder, R. B. and A. W. M. v. d. Hondel (2002). "Laboratory investigation of electrochemical chloride extraction from concrete with penetrated chloride."

Rodum, E. R. a. J. L. S. and a. s. Lindland (2012). R&D project Quay Sjursøya - Chloride retarding surface treatment of concrete. Vegvesen.no: 80.

Shamsudin, S. R. (2011). "How to Explain Potentiodynamic Polarization Curve & its Relation to Passivation of Behaviour of Metals." Retrieved 03.19.2019, 2019, from <http://srizam-expro.blogspot.com/2011/03/how-to-explain-potentiodynamic.html>.

Siegwart, M., J. F. Lyness and B. J. McFarland (2003). "Change of pore size in concrete due to electrochemical chloride extraction and possible implications for the migration of ions." Cement and Concrete Research **33**(8): 1211-1221.

Suryavanshi, A. and R. N. Swamy (1996). "Stability of Friedel's salt in carbonated concrete structural elements." Cement and Concrete Research **26**(5): 729-741.

Vegvesenet (1997). HB 014 Laboratorieundersøkelser, Vegvesenet.

Vegvesenet (2016). R210 Laboratorieundersøkelser, Vegvesenet.

Vegvesenet. (2018). "Brutus." Retrieved 30.10.2018, 2018, from <https://www.vegvesen.no/brutus/brutus/sok/byggverk>.

Velloso, V., C. Aguiar, A. Muci Vazquez, A. Laurent Marie Robin and M. Justino Ribeiro Barboza (2017). Corrosion behavior analysis of plasma-Assited PVD coated Ti-6Al-4V alloy in 2 M NaOH solution.

Wang, Y., S. Nanukuttan, Y. Bai and P. Basheer (2017). "Influence of combined carbonation and chloride ingress regimes on rate of ingress and redistribution of chlorides in concretes." Construction and Building Materials **140**: 173-183.

Østvik, J. M. (1990). Sortlandsbrua, Tilstandskontroll av søyler 1990, Ringtek: 20+.

Appendix

Appendix A Contract for writing master thesis

Avtale om gjennomføring av masteroppgave i Veg og Jernbane

Denne avtalen bekrefter at tema for oppgaven er godkjent og at student og veileder er kjent med gjeldende retningslinjer for masteroppgaven og vilkår for veiledningsforholdet.

Frist for å levere signert avtale er 15. august. Signert avtale sendes i original til studiekoordinator.

1. Studentens personalia

Etternavn, Fornavn Bruaas, Tarjei Karlsen	Fødselsdato 27.11.1990
E-post T-Bruaas@hotmail.com	Telefon 41447749
Ansatt hos Statens vegvesen	
Studieretning Veg og jernbane	Spesialisering (veg/jernbane) Veg

2. Finnes det tilleggsavtale?

Ja <input checked="" type="checkbox"/>	Nei <input type="checkbox"/>
Hvis ja, hvilke? Det skal utarbeides en Vegvesenrapport i ettertid av hovedoppgaven for FOU-programmet bedre bruvedlikehold.	

3. Masteroppgaven

Oppgavens (foreløpige) tittel Hvordan sikre god utførelse på katodiske anlegg?	
Oppgavetekst/Problembeskrivelse (kort) Med bruk av katodisk anlegg på Sortlandsbru og eventuelle andre anlegg som case, skal effekten av katodisk beskyttelse på betongbruer over lengre tid vurderes. Det skal sees på hvordan kloridinnholdet er blitt påvirket av det katodiske anlegget og om mørtelen, som er brukt rundt anodenettet, er påvirket av strømmen. Det skal sammenliknes mellom tre forskjellige metoder for påføring av katodisk beskyttelse, slik at man kan se om metoden for påføring av mørtel har betydning for hvordan kvaliteten på anlegget er i ettertid.	
Hovedveileder ved NTNU Mette Rica Geiker	Lokal veileder Roy Antonsen
Merknader	

4. Underskrift

Student: Jeg erklærer herved at jeg har satt meg inn i gjeldende bestemmelser for mastergradsstudiet og at jeg oppfyller kravene for adgang til å påbegynne oppgaven.

Partene er gjort kjent med avtalens vilkår, samt gjeldende retningslinjer for masteroppgaven.

Trondheim 9. aug 2018  

Sted og dato Sign hovedveileder Sign student

Vilkår for masteravtalen

Ansvarsforhold, rettigheter og plikter

Studenten har hovedansvaret for framdrift og innhold i oppgaven, og for det endelige produktet som leveres. Veiledning tar hovedsakelig utgangspunkt i skriftlig materiale fra studenten.

Det er studentens ansvar å

- avtale første veiledningstidspunkt
evt. foreta risikovurdering av prosjektarbeidet i samråd med veileder i tråd med NTNUs retningslinjer for dette
- avklare med veileder hvor ofte og hvordan veiledning skal finne sted og utarbeide en fremdriftsplan for arbeidet i samråd med veileder
- gi veileder nødvendig skriftlig materiale i rimelig tid for veiledning skal finne sted
- holde veileder/instituttet orientert om fremdriften i arbeidet med masteroppgaven
- søke om endringer i avtalen på eget skjema iht. NTNUs studieforskrift, og utfyllende bestemmelser
- skriftlig melde fra til veileder og institutt dersom han/ hun avbryter studiet

Det er hovedveileders ansvar å

- fylle ut avtaleskjema sammen med studenten
- avklare forventninger om veiledningsforholdet og hvordan veiledning skal foregå.
- orientere studenten om aktuelle forskningsetiske retningslinjer,
<http://www.ntnu.no/etikkportalen>
- sørge for at det søkes om nødvendige godkjenninger (etikk, personvern hensyn)
- gi råd om formulering og avgrensing av tema og problemstilling, herunder sørge for at oppgaven er formulert og tilrettelagt slik at studenten skal kunne avslutte arbeidet og levere besvarelsen innen tidsfristen
- påse at studenten evt. foretar risikovurdering av prosjektet iht. NTNUs retningslinjer for dette
- gi hjelp til orientering i faglitteraturen
- vurdere metodiske fremgangsmåter og kvaliteter
- drøfte resultater og tolking av disse - drøfte opplegg for den skriftlige utformingen av masteroppgaven
- holde seg orientert om progresjon i studentens arbeid
- sammen med studenten holde oversikt over studentens framdrift
- følge opp studenten i forhold til framdriftsplanen, og kontakte studenten dersom det er behov for det

Det er studieprogramleders ansvar å

- sørge for at studentene får informasjon om mulige masteroppgaver og veiledere innenfor studieprogrammet, og om hvordan studenten skal gå fram for å finne en veileder.
- sørge for at studenten får oppnevnt veileder(e).
- sørge for at denne avtalen blir inngått
- informere om veiledernes rolle som arbeidsansvarlig for studenten og hva dette betyr i forhold til HMS og gjennomføring av risikovurdering
- vurdere, eventuelt å oppnevne en ny veileder dersom studenten og/eller veileder ber seg løst fra veilederavtalen. På dette grunnlaget kan begge parter be om å bli løst fra veiledningsavtalen, og studenten kan be om å få oppnevnt en ny veileder. studieprogramleder har ansvaret for å oppnevne ny veileder.
- gi studenten beskjed når veiledningsforholdet opphører
- informere veiledere om ansvaret for å ivareta forskningsetiske forhold, personvern hensyn og veiledningsetiske hensyn. For etiske retningslinjer i veiledningsforholdet, se <https://www.uio.no/om/regelverk/etiske-retningslinjer/etiske-retningslinjer-veiledere.html>

Hva avtalen omfatter

Denne avtalen regulerer først og fremst veiledningsforholdet og innebærer at rett til veiledning opphører etter avtalens utløp dersom ikke annet er avtalt.

Masterstudiet og arbeidet med masteroppgaven er regulert av Universitets- og høgskoleloven, NTNUs studieforskrift og gjeldende studieplan for masterprogrammet. Det følgende er eksempler på forhold som ikke omfattes av denne avtalen:

- Permisjoner (NTNUs studieforskrift, § 7)
- Deltidsstudier (NTNUs studieforskrift, § 8)
- Sensur og klagerett (NTNUs studieforskrift, § 42)
- Gjentak av masteroppgaven (NTNUs studieforskrift, § 31)

Veiledning

- Veiledning er obligatorisk.
- Veiledningstid: Kandidaten har krav på inntil 30 timer veiledning, dette inkluderer for- og etterarbeid for veileder.

Innlevering

- Innleveringsfrist: **15. mai 2019**
- Oppgaven skal leveres til trykking i DAIM, og oppgavene blir sendt til NTNU fra trykkeriet
- Innleveringsskjema må signeres og sendes til NTNU videre før oppgaven blir sendt til sensurering. Masteroppgaven regnes ikke som levert før dette skjemaet er sendt inn.

Appendix B Thin section report (Ulla Hjorth Jakobsen 2019. Danish Technological institute)

Note, the title says Zn anodes, it is actually Ti anodes. There is mentioned that there is an anode present in all cores. Core M4 does not have an anode in the mortar.



**DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE**

Gregersensvej
DK-2630 Taastrup
Tel. +45 72 20 20 00
Fax +45 72 20 20 19

info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

NTNU, Trondheim

Microscopy of concrete with Zn-anodes, Sortlandsbrua

Performed for:

Tarjei Karlsen Bruaas & Mette Geiker
Department of Structural Engineering
Faculty of Engineering Science and Technology
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
NO-7491 Trondheim
Norway

Performed by:

Ulla Hjorth Jakobsen
Danish Technological Institute
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Denmark

Project no.: 857528
Date: March 7, 2019

Content

1. Introduction	1
1.1 Scope of Analysis	Error! Bookmark not defined.
2. Result.....	2
3. Analytical Methods	5
3.1 Petrography	5

Attached: Photo documentation

1. Introduction

The following report is prepared on the request of Tarjei Karlsen Bruaas & Mette Geiker, NTNU, Trondheim, Norway.

Three half cores from Sortlandsbrua were February 2019, received for petrographic analysis.

Details regarding the cores were supplied by NTNU and found below (in Norwegian):

Aim

Undersøke for skader rundt anodenett, for å bedre forståelsen av konsekvensene av påtrykt strøm over flere år i katodisk beskyttelse (KB) anlegg.

Analyses

Ved undersøkelse av tynnslipene bes, om mulig, følgende vurdert:

- Forsuring i nærheten av anodenett. Gjelder KB-mørtel i hovedsak, men også brubetong der anodenettet ligger inntil/nært brubetongen i (prøve M5).
- Observeres frostskafer i KB-mørtel?
- Observeres ASR?
- Kapillærporøsitet i KB-mørtel og brubetong.

Samples

Kjernehalvdele som skal undersøkes er M3.V, M4.V og M5.V. Informasjon om lengde og posisjon av anodenett og armering er gitt i Tabell 1.

Tabell 1 Lengde og posisjon av anodenett og armering i kjerner. Posisjon av slip er også angitt.

Information	Kjerne M3.V	Kjerne M4.V	Kjerne M5.V
Orientering plan, skåren flate	Vertikal, (venstre del)	Horizontal (øvre del)	Vertikal, (venstre del)
Længde	155 m	Ca. 110 mm	Ca. 90 mm
Tykkelse av KB mørtel	18-19 mm	16-17 mm	Ca. 20 mm
Anodenet, avstand fra overflate	Ca. 15 mm	-	Ca. 18 mm
Armering, avstand fra overflate	Ca. 82 mm	Ca. 76 mm	Ca. 90 mm (avtrykk på endeflate)
Posisjon av slip A, avstand fra overflate (spørsmål/analyse a og b)	0 – ca. 40 mm	0 – ca. 40 mm	0 – ca. 40 mm
Posisjon av slip B, avstand fra overflate	For og bak armering	For og bak armering	Ved armering

Det ytterste laget med mørtel er KB-mørtel resten av kjernene er opprinnelig brubetong. Kjerne M5 mistet heft mellom KB-mørtelen og underliggende betong da kjernen ble tatt ut fra konstruksjonen.

Kjerne M3 og M5 har anodenett av titan henholdsvis ca. 3-4 mm fra brubetongen og 1-2 mm fra brubetongen. Dette er områdene som er relevant for eventuelle forsuringsskader.

M4 er fra ett område der titannettet er avsluttet og det har dermed ikke har vært strøm igjennom det området.

2. Result

The following observations are obtained during the petrographic analysis of the concrete from Sortlandsbrua:

All examined cores contains from above a thin, porous, cement-based plaster; under this an approximately 15mm thick KB mortar, and in the bottom a bridge concrete. An anode-net is observed in the bottom of all KB mortars. There is good adherence between the materials in cores M3V and M4V; whereas the KB mortar of core M5V has debonded the concrete surface. Presence of carbonation in the bottom of the KB mortar indicates that the fracture was present before coring. Reinforcement with a cover of app. 95mm (measured from the plaster surface) are present in all cores. Rusty appearance is seen at the upper surface of the reinforcement in core M3V; in core M4V the corrosion is more intense. Rust is not visually (macroscopic) observed near the imprint of the reinforcement in core M5V.

The microstructure of the KB mortar is not similar in the 3 samples (Figure 1). In samples M3V and M4V the paste appears with a very dark green color in fluorescent light mode, indicating that the apparent capillary porosity is very low. Contrary the capillary porosity is distinctly higher in sample M5V. In this sample also, the air content of the KB mortar is different from the two other samples; it is low and only few rounded voids are present. In sample M3V and M4V a high number of small irregular shaped voids are present in the KB mortar. Micro-cracks are abundant in sample M5V and to a certain extent also in sample M3V. Almost none of these cracks are observed in sample M4V, the sample where the anode net was disrupted (Figure 1). Vertical fine cracks are seen traversing through the KB mortar in all samples.

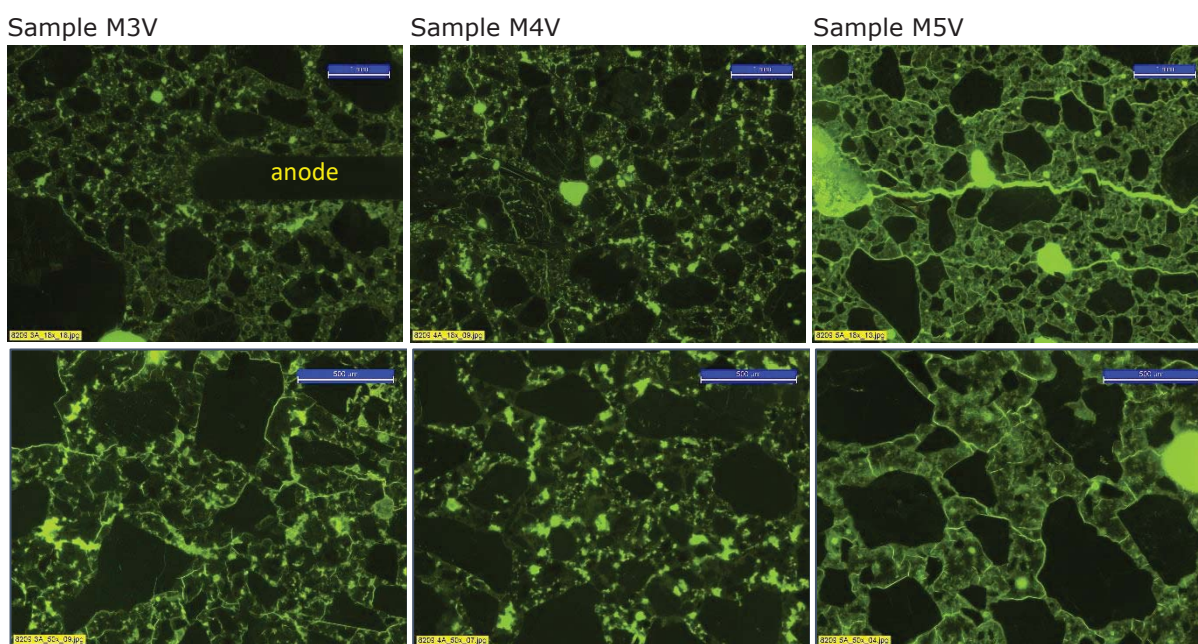


Figure 1: Typical appearance of the KB mortar seen in 16x and 50x in fluorescent light. The paste in M3V and M4V appears rather dark green with a high number of irregular shaped voids. Contrary the paste in sample M5V is lighter green and with only few, and rounded voids. A high number of micro-cracks are present in sample M3V and M5V; almost none in sample M4V.

The composition of the KB mortar appears alike, with sand consisting of crushed granitic rock and a rather coarse-grained Portland cement, having especially in sample M3V and M4V, relative many closely spaced and only partially hydrated, cement grains.

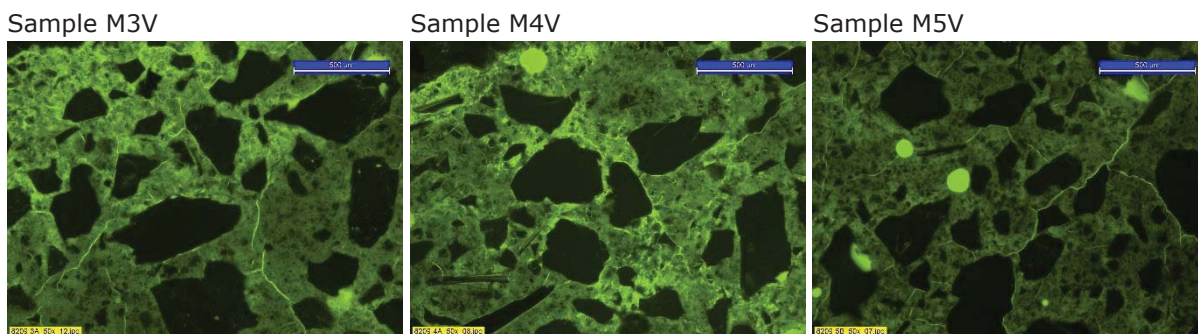


Figure 2: Typical appearance of the concrete seen in fluorescent light.

The bridge concrete of the samples is similar in composition and they all contain a coarse-grained, well hydrated Portland cement and crushed granitic material. The capillary porosity varies a bit in each sample from an apparent estimated w/c ratio from 0.50-0.60 (Figure 2). A relatively high number of micro-cracks are seen in all concrete, typically oriented vertical to the aggregate surfaces.

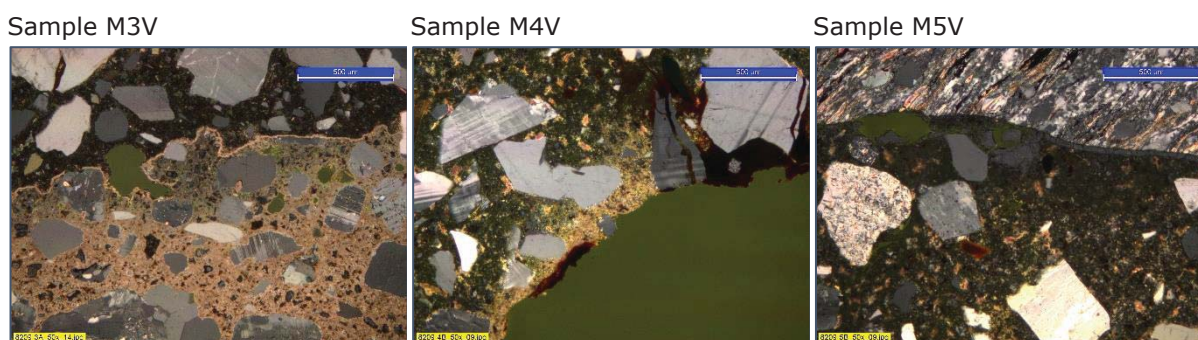


Figure 3: Observations in the bridge concrete. De-carbonation of the carbonated surface is observed in sample M3V. Carbonated paste as well as rusty material is observed in the imprint of sample M4V, and alkali silica gel is present in cracks around the area of a rebar in sample M5V.

The outer surfaces of all concrete are intensively carbonated (Figure 3 and Table 1). In sample M3V, though, the carbonated concrete surface is somehow slightly de-carbonated (Figure 3). The surface of the KB mortar is less carbonated, but similar for all carbonated paste areas the capillary porosity is very low.

Sample #	Anode powered	KB mortar				Concrete			
		Carbonation mm	Rel. porosity	Micro cracks	Air voids	Carbonation mm	Micro cracks	Corrosion product	ASR near rebar
M3V	Yes	0.2-0.6	Low	Medium	High	3-4 (10)	Many	No	No
M4V	No	0.6	Low	Low	High	6-12	Many	Yes	No
M5V	Yes	0.6-12	Medium	High	Low	6-12	Many	Yes	Yes

Table 1: Summary of observations.

No imprint from the rebar was included from sample M3V in the thin sections.

In sample M4V, the paste around the rebar and the paste of the bottom of the section (bottom of core) was carbonated. Rusty material was observed lining the imprint and in several cracks related to the corroded rebar (Figure 3).

A small amount of rust was also seen at the imprint of the rebar in sample M5V but not in cracks close to the imprint. Alkali silica gel is however, in sample M5V observed in cracks close to the

rebar as well as around a gneissic/mylonitic aggregate particle positioned close to the rebar (Figure 3).

Details observed during the analysis are attached.

Conclusion

The following conclusions are solely based on the observations obtained in the material after having been in service for a while. No work is available showing how the different material appeared when emplaced in the structure.

- No obvious sign of de-calcification was observed in the KB mortar. However, the KB paste appeared in all cores, and especially core M5V, very black in X-polarized light indicating a low content of calcium hydroxide.
- In the concrete the surfaces are intensively carbonated, except a weak de-carbonation is observed in the outer 0,4mm of core M3V. The cause of this is not clear.
- The KB mortar is distinctly micro-cracked in the two samples, which has been powered up. Whether these observations are related e.g. self desiccation or to the powered system, is however, not clear.
- No sign after freeze/thaw damage is observed in any of the materials in the cores.
- Alkali silica gel is observed near the rebar of core M5V.
- The capillary porosity of the KB mortar of M3V and M4V is very low, in M5V somewhat higher.
- In the concrete the apparent v/c ratio is estimated to 0.5-0.6.

March 7, 2019



Ulla Hjorth Jakobsen
Phone: +45 7220 2198
Email: uhj@teknologisk.dk

3. Analytical Methods

3.1 Petrography

The microscopic analysis is carried out according to ASTM C856 "Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete". The samples are for documentation photographed when received.

The microscopic examination is performed on 6 fluorescent impregnated thin sections, two from each core. One section is placed at the surface including the outer 45mm, one section deeper into the core around the rebars.

The thin section is made by vacuum impregnating a slice of the sample with an epoxy resin containing a fluorescent dye. Subsequently, the impregnated slice is mounted on a glass plate, and ground to a thickness of 0.020 mm (20 µm). Finally, the section is covered by a cover glass. The thin section is then examined in a polarizing optical microscope using transmitted light, crossed polarized light, and blue transmitted light with a yellow blocking filter (fluorescent mode).

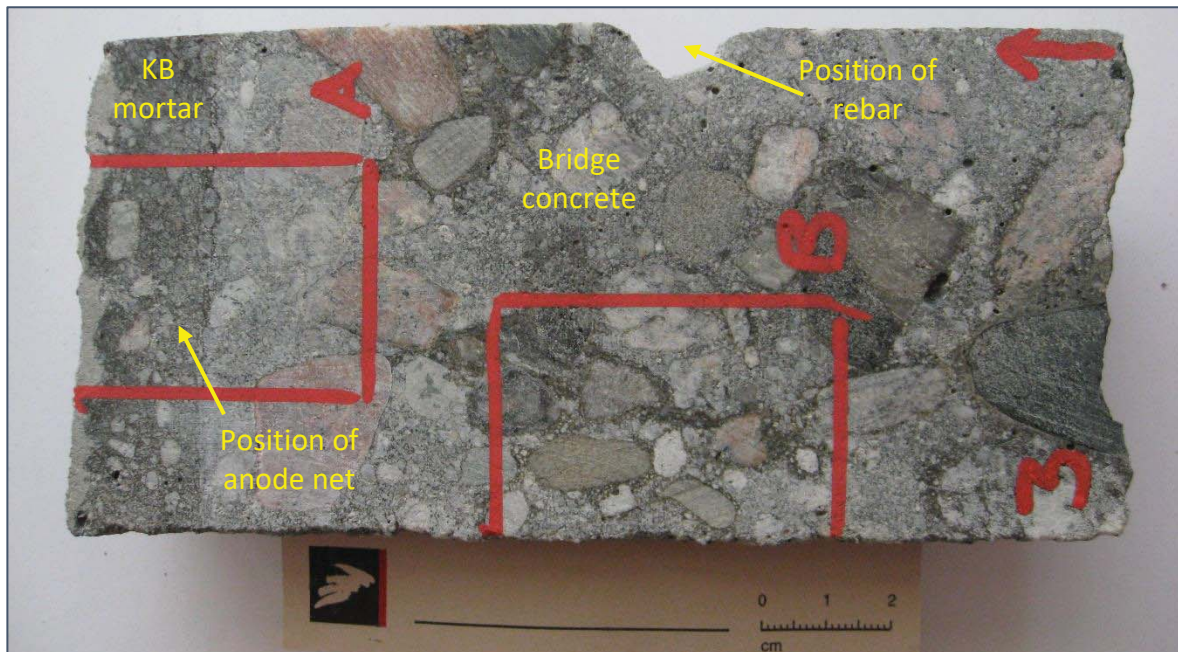
The vacuum impregnation of the sample with epoxy causes all voids and cavities in the sample to be filled with fluorescent epoxy. By transmitting fluorescent light through the thin section in the microscope, the fluorescent epoxy in the various porosities will emit yellow light that makes voids, cavities and cracks easy to identify. The fluorescent epoxy also impregnates the capillary pores in the hardened cement paste causing a dense cement paste, with low water to cement ratio to appear darker green while a more porous cement paste with a high water to cement ratio appears lighter green. By this, the water to cement ratio (w/c) of the concrete is estimated, by comparing to known references, with an accuracy of ± 0.02 .

The table below gives definitions of petrographic terms with may be used in the text.

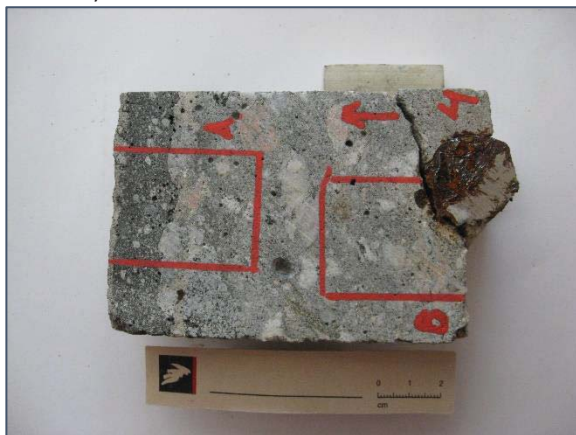
Terms	Definition
Micro cracks	Cracks that are less than 0.01 mm wide
Fine cracks	Cracks that are between 0.01 and 0.1 mm wide
Coarse cracks	Cracks that are more than 0.1 mm wide
Adhesion cracks	Half-moon shaped cracks (defects) along the paste/aggregate interface. The cracks mirror the aggregate surfaces. Forms in non-hardened concrete often as a result of bleeding
Totally carbonated	All calcium hydroxide, and all CSH phases are carbonated
Partly carbonated	All calcium hydroxide is carbonated but partly un-hydrated cement grains remain non-carbonated
Hadley Holes	Term describing holes or imprints after former cement grains, now hydrated. When viewed in fluorescent light they appear bright yellow (holes) with the shape of former alite grains. These features are especially distinct in the cement paste of rapid hardening cement

Macro-description – Photo documentation

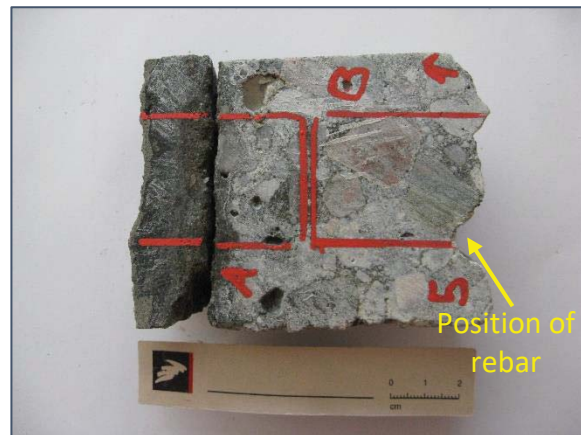
Project No. 857528 **Sample No.:** M3, M4, M5



Core M3: Powered anode. Rusty appearance is seen on the upper surface of the rebar (on the other side of the core).



Core M4: No power on anode. Highly corroded rebar is seen in the bottom of the core. Cracks with rust is present around the rebar.



Core M5: Powered anode. Core is fractured between KB mortar and concrete.

Above the received half cores with position of thin sections marked. The cores are similar, with a thin plaster on the surface, under this a dark KB mortar and then a grey concrete. The titanium anode grid is placed near the bottom of the KB mortar.

Petrographic Analysis

Project No. 857528 **Sample No.:** M3V **Section #:** 8209-3A, 3B **Size:** 45x30mm

The thin sections include from the surface a gray 1-4mm thick cement-based plaster, under this an approximate 18mm thick dark, blackish KB mortar and then a normal concrete. Section B, only contains concrete.

Plaster

The surface of the core (plaster) appears rather uneven, but intact. The plaster appears applied in two layers. The plaster contains Portland cement. The paste, which has a porous paste, is somewhat carbonated and appears rather opaline. Some rounded air voids are present. Few fine cracks traverse the plaster layer.

The plaster is applied to a very rough KB mortar surface, on which a thin clear primer as well as some larger encapsulated air voids are seen. The layers have a good adherence.

KB mortar

The rough mortar surface is unevenly carbonated to depths of 0.2-0.6mm. On the surface itself small calcite crystals are present.

The mortar consists of a rather coarse-grained Portland cement with a relative low degree of hydration. The paste appears rather black with in general a relative low amount of calcium hydroxide (CH), though in the area close to an anode the amount of CH appears even lower.

The mortar is rich in small very irregular voids, in which ettringite and calcium hydroxide-like phases are observed. The phases have a different morphology compared to what normally observed in cementitious material.

In fluorescent light mode the paste appears very dark green indicating that the capillary porosity is very low, and a high number of small, micro-cracks are present in the paste. The abundance of these cracks is however most intense near the observed anode. The anode is observed 3mm from the bottom of the KB mortar, in one side of the section. The paste under the anode is more porous than the paste on top of the anode.

One fine crack traverses the KB mortar; from top to bottom; the paste along the crack is carbonated. The KB mortar is applied to a slightly uneven, but intact concrete surface.

Concrete

Small calcite crystals are present along the concrete surface.

The concrete, except the upper 0,4mm, is extensively carbonated to 3-4mm, and to 10mm along coarse aggregates. The carbonated paste appears rather dense when viewed in fluorescent light mode.

The paste contains a very coarse-grained Portland cement which has a high degree of hydration. The calcium hydroxide amount of the paste is in generally abundant and distinct, except in front of the extensive carbonated surface.

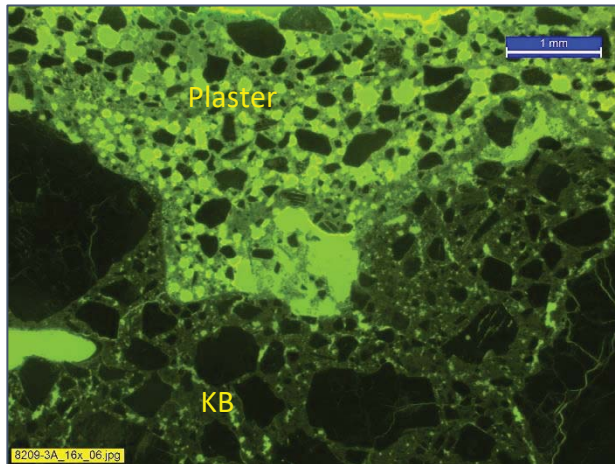
The general capillary porosity of the paste is equivalent to an apparent w/c ratio of 0.5-0.6, but it appears to decrease towards the surface.

Some plastic-like cracks (surface parallel bundles) are present in the concrete and the paste contains a large number of micro-cracks oriented perpendicular to the aggregate surfaces. The air content is low.

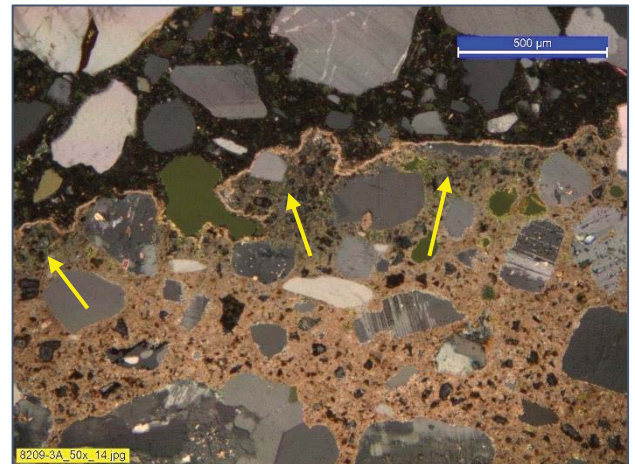
The aggregate of all layers in the core is crushed granitic material; from pure quartz, feldspar and mica, to gneissic or more granitic pieces.

Microanalysis - photodocumentation

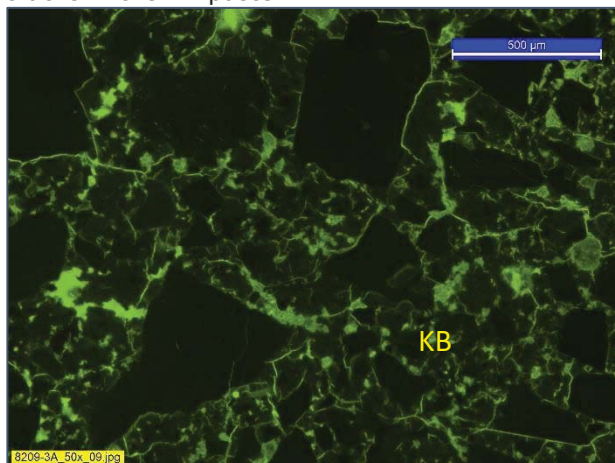
Project No. 857528 Sample No.: M3V Section #: 8209-3A, 3B Size: 45x30mm



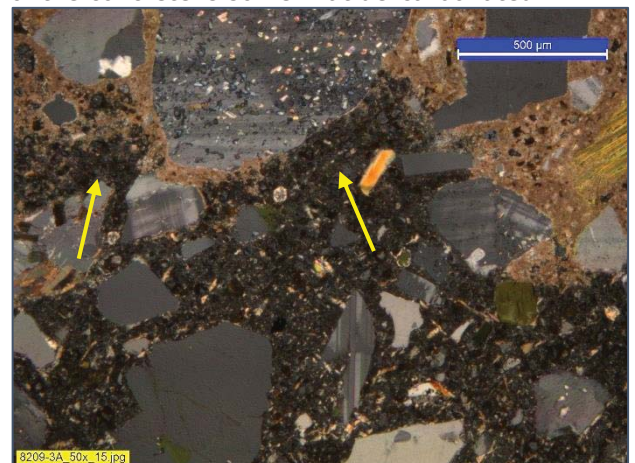
Interface between relative porous plaster and dense KB mortar, in an area with few micro-cracks in the KB paste.



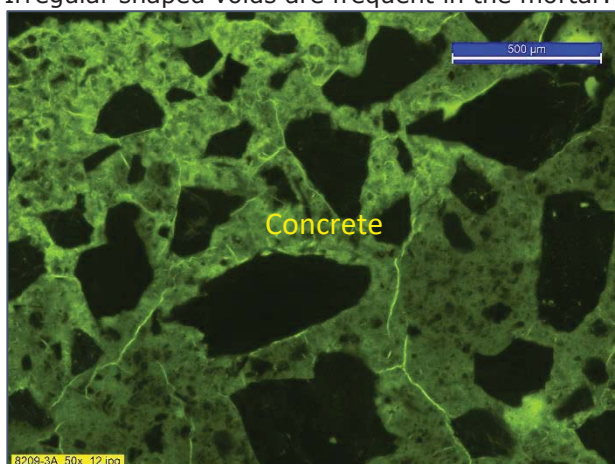
Interface between KB mortar and the carbonated, very uneven concrete surface. The upper 0,4mm of the concrete is somewhat de-carbonated.



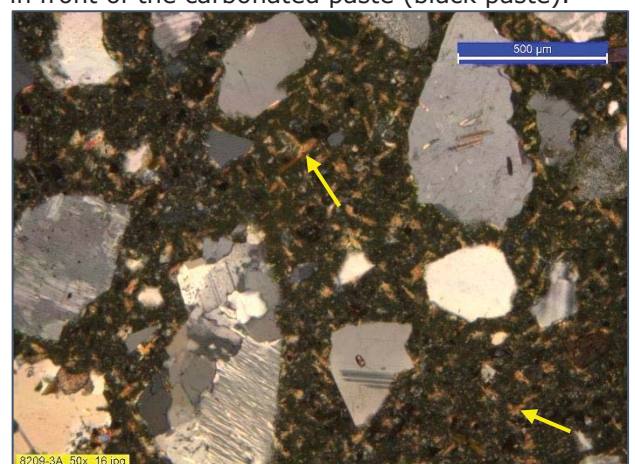
Generally, the paste of the KB mortar is highly dense and typically contains a lot of micro-cracks. Irregular shaped voids are frequent in the mortar.



Interface between carbonated and non-carbonated paste in the concrete. CH is depleted in front of the carbonated paste (black paste).



The paste of the concrete has a much higher capillary porosity compared to the KB paste. Micro-cracks are abundant. Fluorescent light mode.



General appearance of the paste of the concrete. A high amount of large calcium hydroxide phases (orange) are present.

Petrographic Analysis

Project No. 857528 **Sample No.:** M4V **Section #:** 8209-4A, 4B **Size:** 45x30mm

The thin sections include from the surface a gray 1-3mm thick cement-based plaster, under this an approximate 15mm thick dark, blackish KB mortar and then a normal concrete. Section B, only contains concrete.

Plaster

The surface of the core (plaster) appears rather uneven, but intact. The plaster appears applied in one layer. The plaster contains Portland cement. The paste, which has a porous paste, is somewhat carbonated and appears rather opaline. Some rounded air voids are present. Few fine cracks traverse the plaster layer.

The plaster is applied to a very rough KB mortar surface, on which a thin clear primer as well as some larger encapsulated air voids are seen. The layers have a good adherence.

KB mortar

The rough mortar surface is unevenly carbonated to depths of 0.6mm. On the surface itself small calcite crystals are present.

The mortar consists of a rather coarse-grained Portland cement with a relative low degree of hydration. The paste appears rather black with in general a relative low amount of calcium hydroxide (CH).

The mortar is rich in small very irregular voids, in which ettringite and calcium hydroxide-like phases are observed. The phases have a different morphology compared to what normally observed in cementitious material.

In fluorescent light mode the paste appears very dark green indicating that the capillary porosity is very low. Few cracks are present in the paste.

One fine crack traverses the KB mortar; from top to bottom; the paste along the crack is carbonated.

The KB mortar is applied to a slightly uneven, but intact concrete surface. A high number of encapsulated air voids are present at the interface.

Concrete

Small calcite crystals are present along the concrete surface.

The concrete is extensively carbonated to 6-12mm. The carbonated paste appears rather dense when viewed in fluorescent light mode.

The paste contains a very coarse-grained Portland cement which has a high degree of hydration. The calcium hydroxide amount of the paste is in generally abundant and distinct, except in front of the extensive carbonated surface.

The general capillary porosity of the paste is equivalent to an apparent w/c ratio of 0.5-0.60, but it appears to decrease towards the surface.

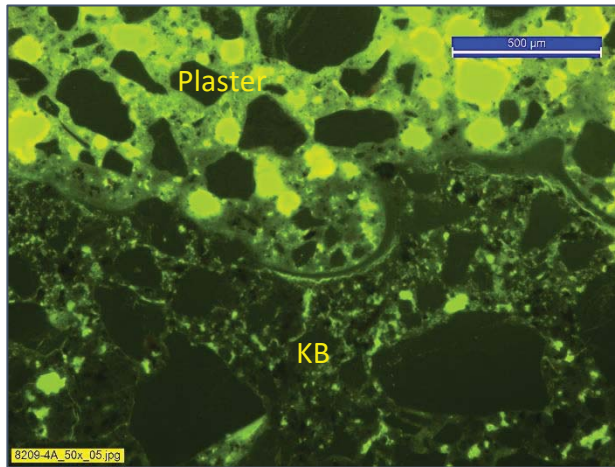
Some plastic-like cracks (surface parallel bundles) are present in the concrete and the paste contains a large number of micro-cracks oriented perpendicular to the aggregate surfaces. The air content is low.

An imprint after a rebar is observed in the bottom of section-B. The paste around the rebar as well as the fracture zone is carbonated. Rust is observed at the imprint and in cracks in the area near the rebar. Paste around rust-filled cracks are somewhat leached.

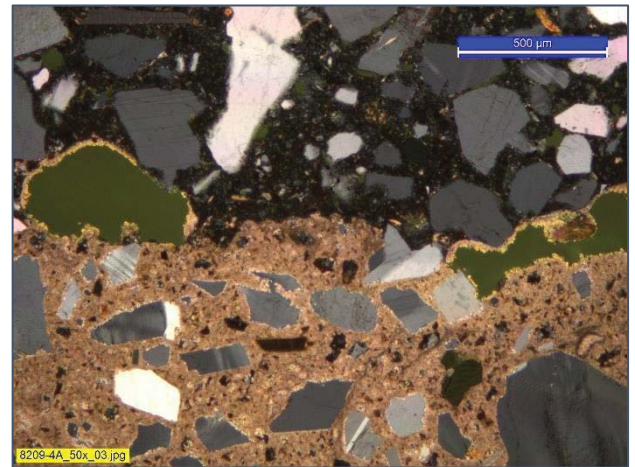
The aggregate of all layers in the core is crushed granitic material; from pure quartz, feldspar and mica, to gneissic or more granitic pieces.

Microanalysis - photodocumentation

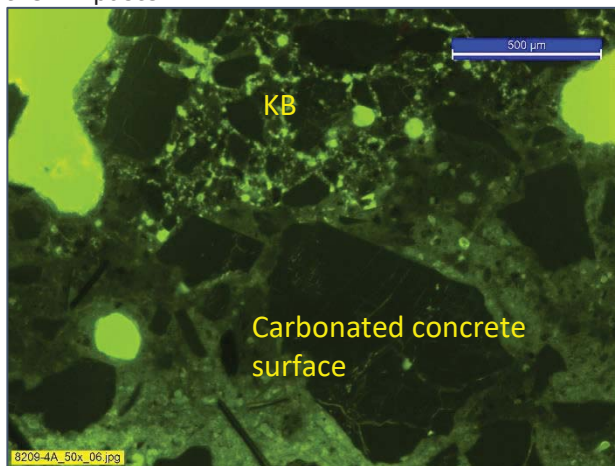
Project No. 857528 Sample No.: M4V Section #: 8209-4A, 4B Size: 45x30mm



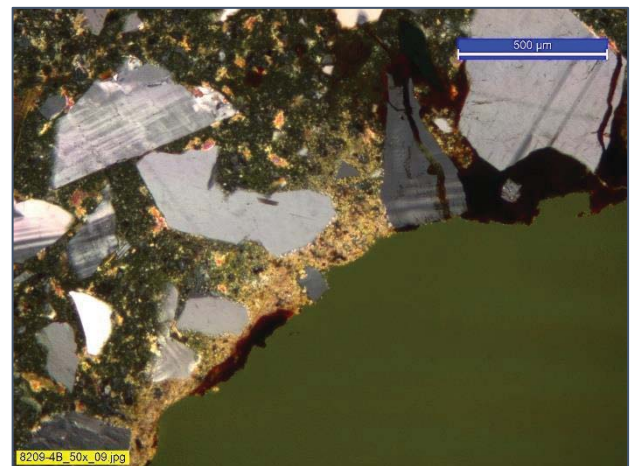
Interface between relative porous plaster and dense KB mortar. Few micro-cracks are seen in the KB paste.



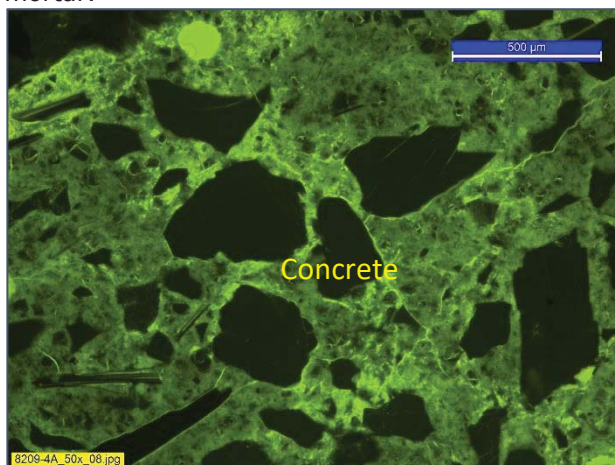
Interface between KB mortar and the intensely carbonated, very uneven concrete surface.



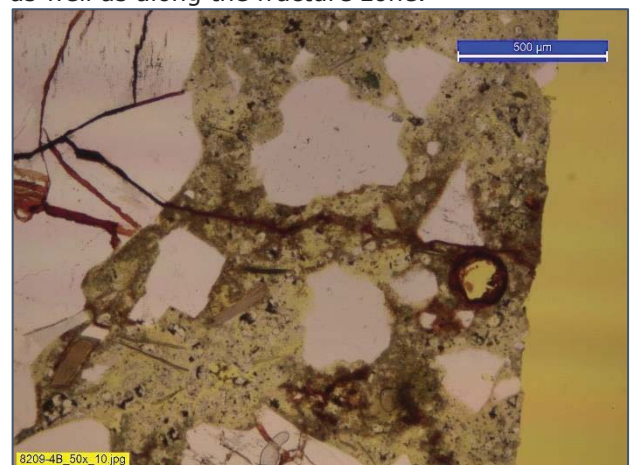
Interface between KB mortar and concrete. Irregular shaped voids are frequent in the KB mortar.



Bottom of section -B with rust lining imprint after rebar. Carbonated paste is seen along the imprint as well as along the fracture zone.



The paste of the concrete has a much higher capillary porosity compared to the KB paste. Micro-cracks are abundant. Fluorescent light mode.



Cracks close to the rebar is more or less filled with rust. The paste in this area appears somewhat leached.

Petrographic Analysis

Project No. 857528 **Sample No.:** M5V **Section #:** 8209-5A, 5B **Size:** 45x30mm

The thin sections include from the surface a gray 1-3mm thick cement-based plaster, under this an approximate 15mm thick dark, blackish KB mortar and then a normal concrete. Section B, only contains concrete.

Plaster

The surface of the core (plaster) appears rather uneven, but intact. The plaster appears applied in two layers. The plaster contains Portland cement. The paste, which has a porous paste, is somewhat carbonated and appears rather opaline. Some rounded air voids are present.

The plaster is applied to a very rough KB mortar surface, on which a thin clear primer as well as some larger encapsulated air voids are seen. The layers have a good adherence.

KB mortar

The rough mortar surface is unevenly carbonated to depths of 0.6-12mm. On the surface itself small calcite crystals are present.

The mortar consists of a rather coarse-grained Portland cement with a relative low degree of hydration. The paste appears rather black with in general a relative low amount of calcium hydroxide (CH).

The mortar contains relatively few, rounded voids, in which ettringite and calcium hydroxide-like phases are observed. The phases have a different morphology compared to what normally observed in cementitious material.

In fluorescent light mode the paste appears medium green indicating that the capillary porosity is higher than what is seen in sample M3 and M4. The paste contains a very high number of small, micro-cracks throughout.

In one half of section -A, near the bottom of the KB mortar, a rather large porous area is seen. This area appears with a blurred shine. Several slightly surface parallel cracks are running from this area and out in the surrounding paste.

Several fine cracks traverse the KB mortar; from top to bottom; the paste along the crack is intensely carbonated.

The KB mortar is applied to a slightly uneven, but intact concrete surface; however, the core is fractured into two along most of this interface.

Concrete

Small calcite crystals are present along the concrete surface.

The concrete is extensively carbonated to 6-12mm. The carbonated paste appears rather dense when viewed in fluorescent light mode.

The paste contains a very coarse-grained Portland cement which has a high degree of hydration. The calcium hydroxide amount of the paste is in generally abundant and distinct, except in front of the extensive carbonated surface.

The general capillary porosity of the paste is equivalent to an apparent w/c ratio of 0.5-0.6, but it appears to decrease towards the surface.

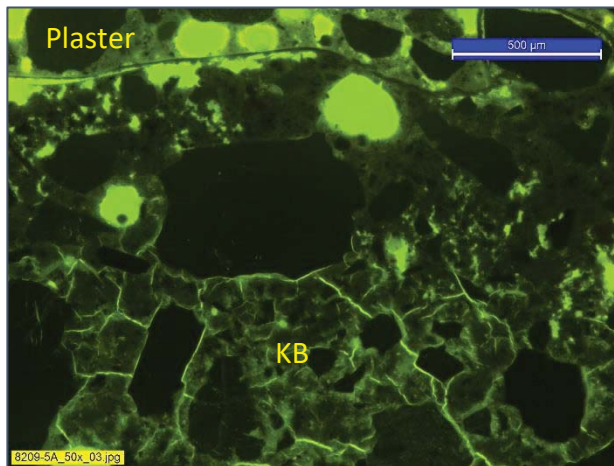
Some plastic-like cracks are present in the concrete and the paste contains a large number of micro-cracks oriented perpendicular to the aggregate surfaces. The air content is low.

An imprint after a rebar is observed in the bottom of section-B. A thin layers of rust is observed at the imprint; rust is not seen in cracks near the rebar. Several cracks are observed near the imprint, these cracks are filled with alkali silica gel. The reacted particle seems to be a gneissic/mylonitic rock.

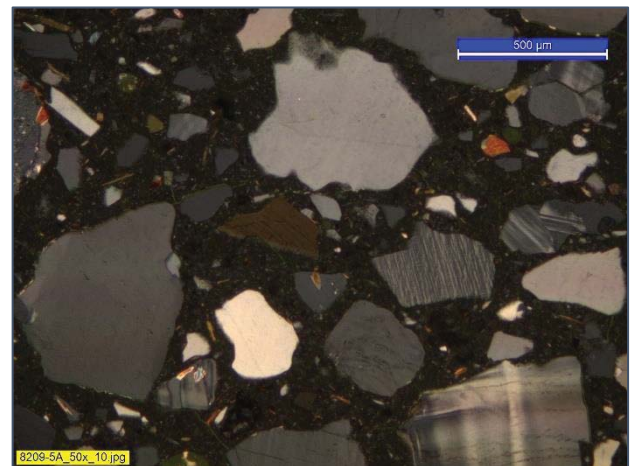
The aggregate of all layers in the core is crushed granitic material; from pure quartz, feldspar and mica, to gneissic or more granitic pieces.

Microanalysis - photodocumentation

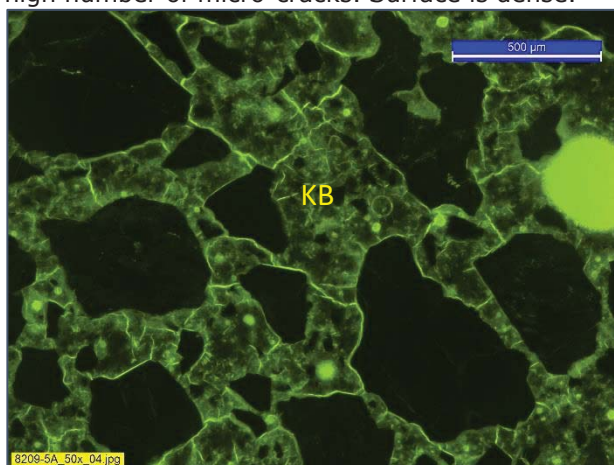
Project No. 857528 Sample No.: M5V Section #: 8209-5A, 5B Size: 45x30mm



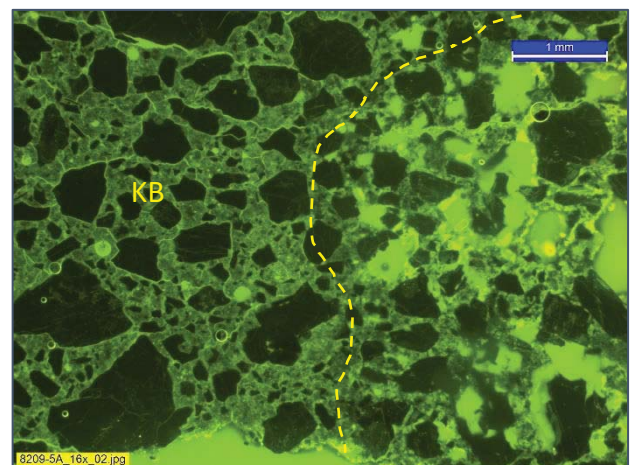
Interface between relative porous plaster and dense KB mortar. The KB paste contains a very high number of micro-cracks. Surface is dense.



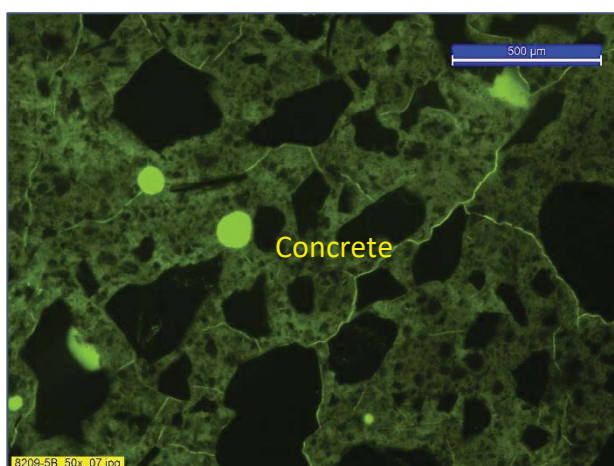
The paste of the KB mortar appears black without any presence of calcium hydroxide.



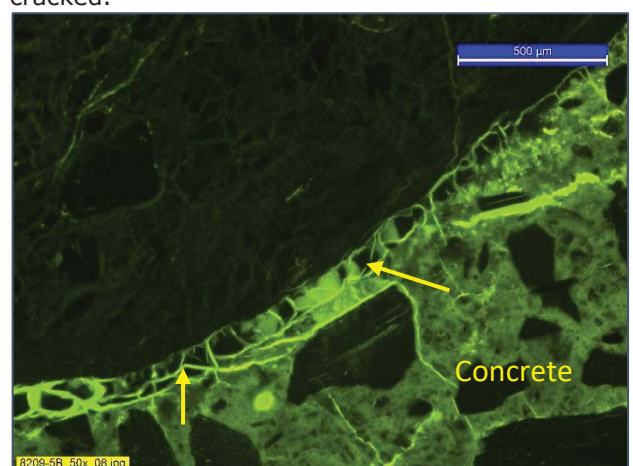
Generally, the paste of the KB mortar is dense and typically contains a lot of micro-cracks.



Porous area in the KB mortar (to the right), positioned near an anode. The dense paste is cracked.



The paste of the concrete has a capillary porosity apparently like the KB paste. Micro-cracks are abundant. Fluorescent light mode.



Several cracks near an corroded rebar in the bottom of the core is filled with alkali silica gel. Her gel is present around an gneissic aggregate.

Appendix C Questions and answers about the thin section report.

Spørsmål for utdyping av tynnsliprapporten om kjernene fra Sortlandsbrua.

1. Det er tegn på ASR i kjernene, Figur 1 og Figur 2 viser antydning til ASR rundt flere av tilslagskornene. Det er flere kjerner som har lik fukt antydning rundt flere at tilslagene. Kan det være ASR i tynnslipene utenom rundt armeringen som ikke er oppdaget? **Det er meget almindeligt at tilslag som er potensielt reaktive, og som pludselig bliver eksponeret for fugt kan bløde! Men det betyder ikke nødvendigvis at der er tale om skadelig ASR. Du må kigge efter revner i tilslaget og følge disse ud i pastaen.**

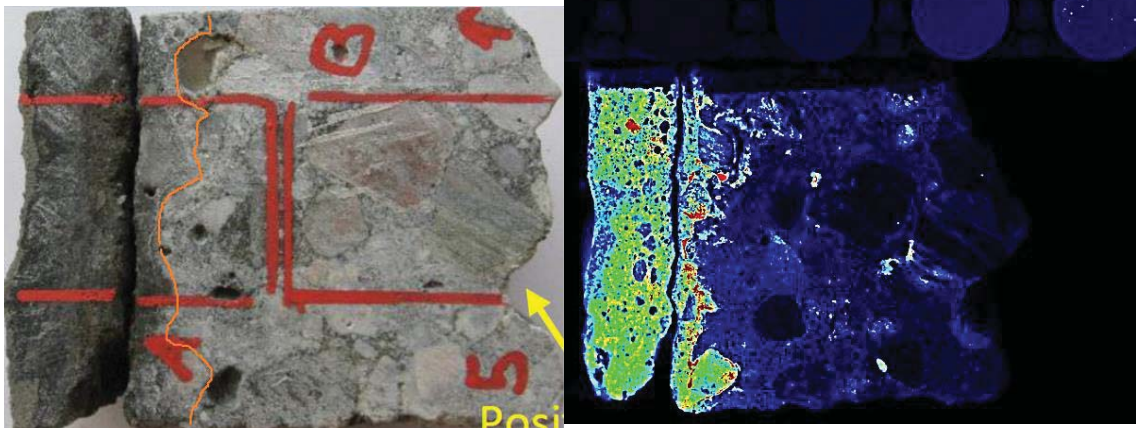


Figur 1 M3 etter 5 måneder pakket i plast på kjøll. Fukt rundt flere tilslag som antageligvis er ASR.



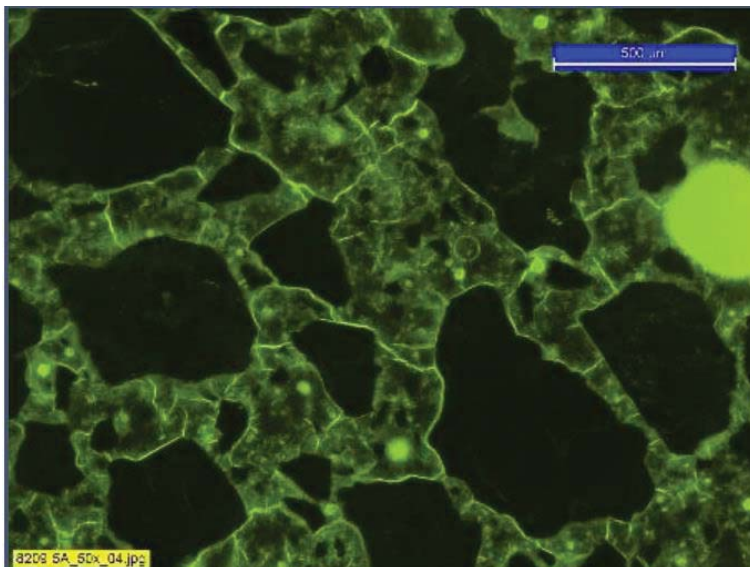
Figur 2 sprukket tilslag med tilsynelatende ASR rundt (dette bildet er av kjerne M6 som ikke ble sendt inn til tynnslip). **Ligner ASR men revnen går undersliggt på tværs af bjergartensstruktur. Kan du se revner ud i pasta?**

2. Det er en front med en hvit linje i betongen i M5, denne linjen ligner på μ -xrf skanningen for klorider. Det er antageligvis trukket klorider inn i dette laget fra utsiden, muligens som følge av at sprekken kan ha vært fylt opp av vann. Kan det være at det er reparasjons betong eller KB-mørtel i laget innenfor sprekken? **Nei, det er betong, dog ses ganske lidt mørtel rester på betonoverfladen, men dette kan ikke forklare dit profil. Din revne er hovedsaglit et vedhæftningsslip mellem mørtel og betong. Tror defektet er af en vis alder, derfor nok det store kloridindhold.** Med tanke på mengden klorider er det annerledes enn slik brubetongen er utsatt enn i de andre kjernene.



Figur 3 Front i M5 kan sees i μ -xrf skannen for klorider.

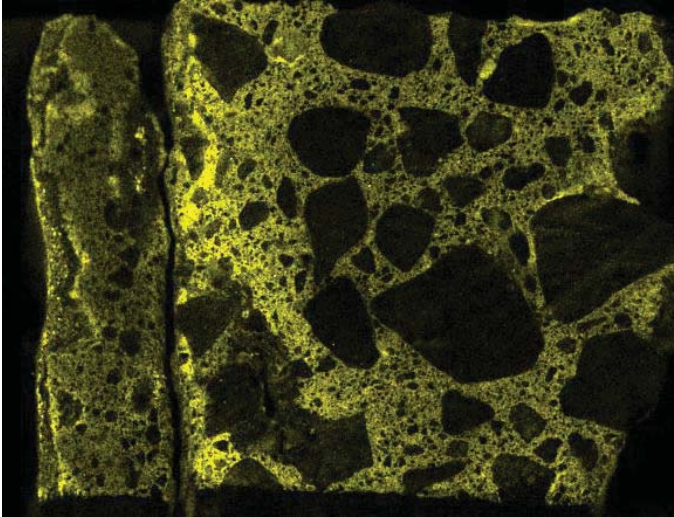
3. Kan det være frostskafer som vises i bildet her fra Figur 1 i rapporten? **Nei, frostskafer ser ikke sådan ud; disse revner er mikrorevner (<10 μ m bredde) orienteret vinkelret på tilslagskornenes overfladen – typisk for selvudtørringssvind). Frostrevner er grovere og generelt orienteret parallelt med overfladen.**



Figur 4 mulig frostskafe fra figur 1.

4. Det er en del svovel i ytterkanten av betongen, ikke unormale mengder, men kan være nok for thaumasittdannelse eller etringitt **Det kan man ikke lige tolke, der er andre faktorer**

såsom carbonat som bestemmer om det dannes. Jeg har ikke med optisk mikroskopi kunne konstatere tilstedeværelse af thaumasit; normal kan jeg se thaumasit i luftporer men hvis det skal identifiseres i pasta behøves SEM-EDX. Kan det være små tilfeller av thaumasittdannelse i nærheten av overgangen mellom KB-mørtel og brubetong? Om det har vært tilstrekkelig med vanntilgang skal det kunne være mulig da temperaturene som brua står i ofte er i området der thaumasitt dannes.



Figur 5 svovelskann av M5

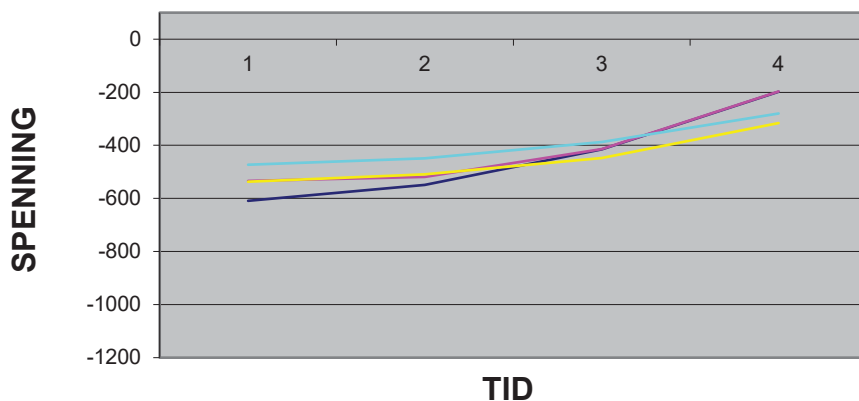
Appendix D Depolarizations from Sortlandsbrua 1990-2018

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 1			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP -2 °c	NEDBØR
			VIND Bris
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,34 1,92	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		IR	DEPOL. TID						
				OFF	DROP		10m	30m	4T	24T			
	1	V	-609	-549	-60				-415		-313		-198
	1	Ø	-534	-519	-15				-414		-314		-197
	2A	Ø	-537	-509	-28				-448		-383		-316
	2B	V	-473	-449	-24				-388		-331		-280

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
 INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
 IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
 DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

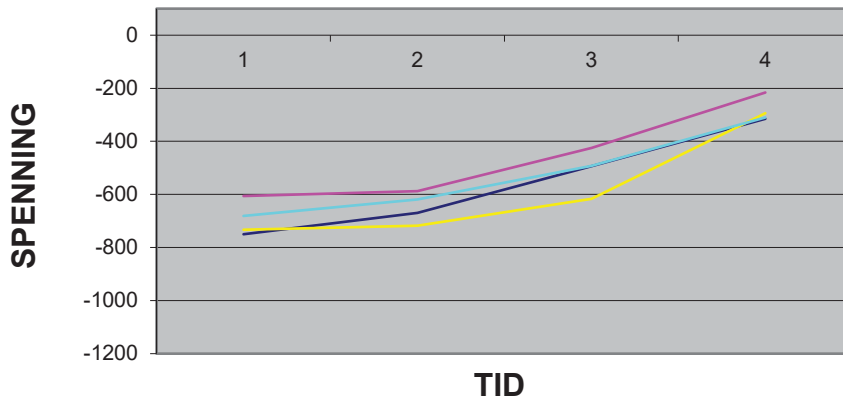
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 2			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		bris	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,40 2,02		

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-750	-670	-80			-493		-399		-315
	1	Ø	-606	-588	-18			-425		-318		-216
	1	V	-733	-718	-15			-617		-469		-294
	2B	V	-681	-619	-62			-492		-403		-310

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

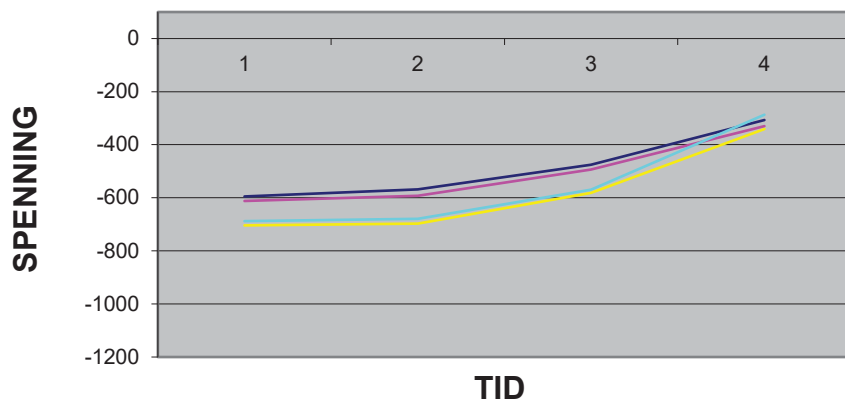
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 3			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
			VIND
			Bris
			SOL
			Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,40 1,98	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	1	Ø	-595	-568	-27			-476	-398	-307	
	2A	Ø	-612	-592	-20			-493	-416	-330	
	2B	V	-704	-697	-7			-582	-469	-341	
	1	V	-688	-679	-9			-570	-413	-287	

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

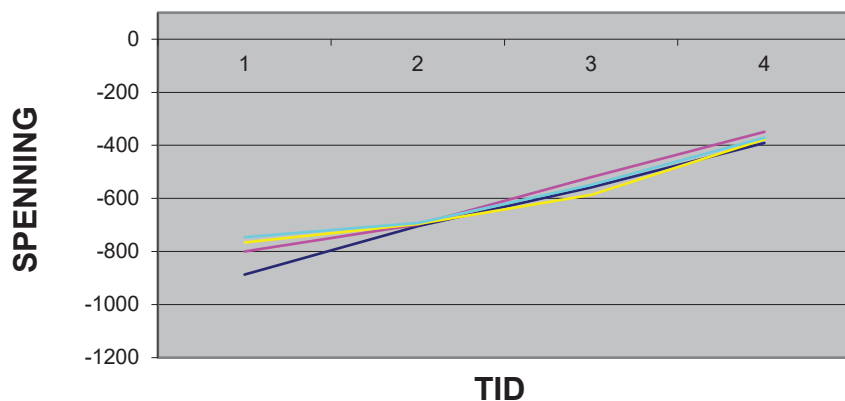
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 4			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,47 2,19	- 1,02	- 1,01

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-887	-704	-183			-559		-479		-391
	2B	V	-800	-698	-102			-520		-435		-349
	1	Ø	-766	-696	-70			-587		-494		-377
	1	V	-746	-692	-54			-549		-444		-371

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

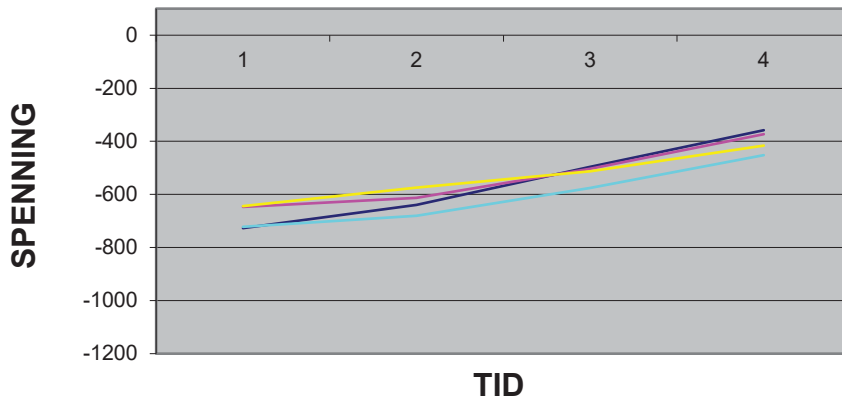
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993
PILAR I AKSE : 5		UTFØRT T.FJELLHEIM
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	NEDBØR	VIND
-2 °c	Nei	Bris
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,47 2,08	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-727	-639	-88			-496	-431		-358
	2A	V	-647	-613	-34			-503	-429		-373
	1	Ø	-644	-574	-70			-513	-456		-416
	1	V	-722	-680	-42			-576	-493		-452

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

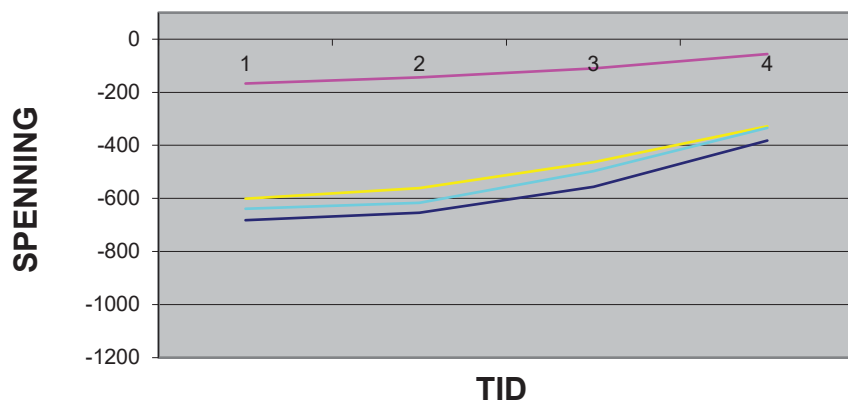
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 6			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP -2 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,47 1,92	- 0,68	- 0,68

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-682	-654	-28			-556		-459		-382
	1	Ø	-167	-144	-23			-110		-82		-56
	1	V	-601	-561	-40			-464		-328		-328
	2B	V	-639	-616	-23			-497		-421		-334

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

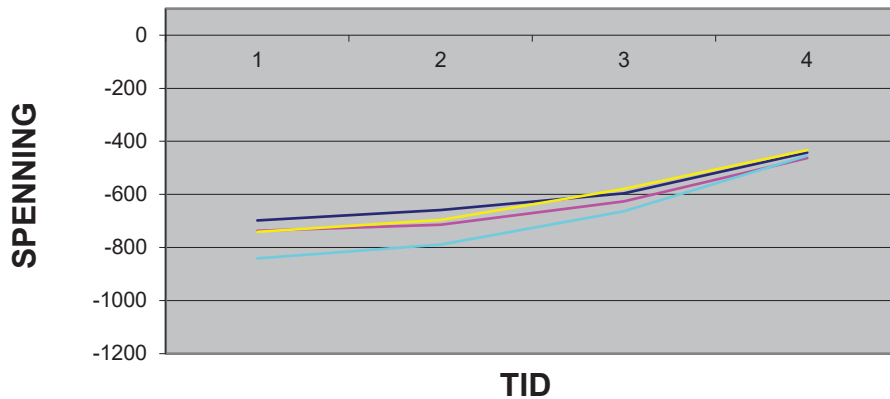
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 7			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,66 2,21	- 0,43	- 0,43

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	1	Ø	-698	-659	-39			-596		-518		-442
	1	V	-737	-714	-23			-626		-547		-463
	2A	Ø	-741	-696	-45			-579		-520		-433
	2B	V	-841	-789	-52			-664		-549		-454

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

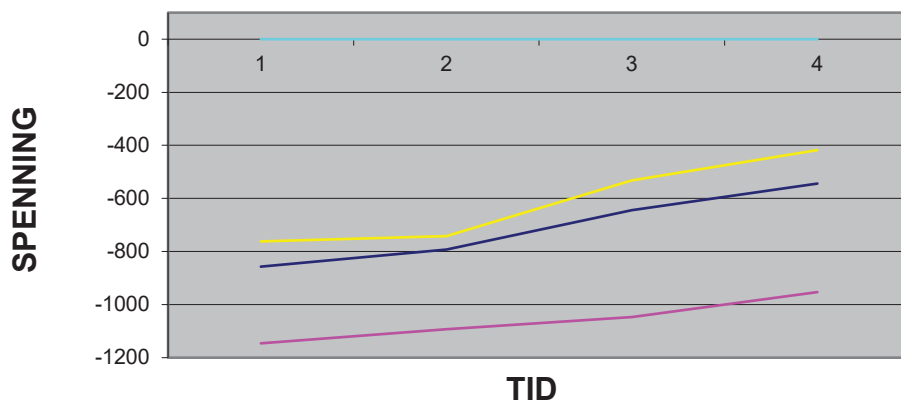
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 8			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,66 2,48	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		IR	DEPOL. TID					
				OFF	DROP		10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-857	-793	-64			-705		-644		-544
	2B	V	-1146	-1093	-53			-1085		-1047		-953
	1	Ø	-762	-742	-20			-672		-532		-418
	1	V	-666	-619	-47			-492		-425		-365

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

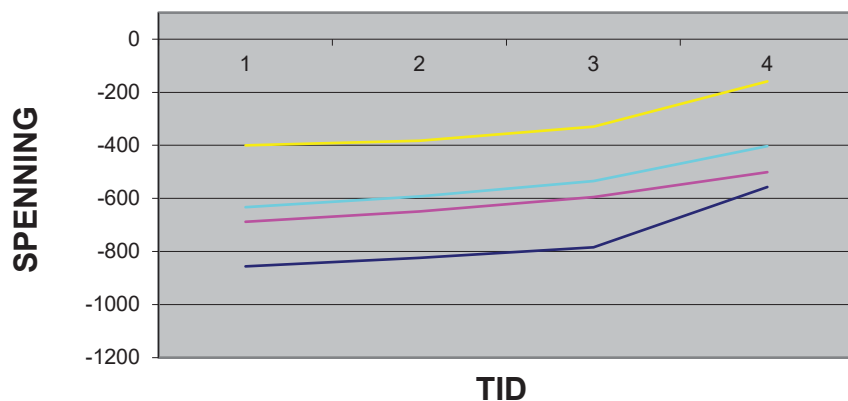
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 9			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,96 2,45		

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-856	-824	-32			-784		-710		-557
	2B	V	-688	-649	-39			-595		-553		-501
	1	Ø	-400	-383	-17			-330		-280		-159
	1	V	-633	-592	-41			-534		-474		-403

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

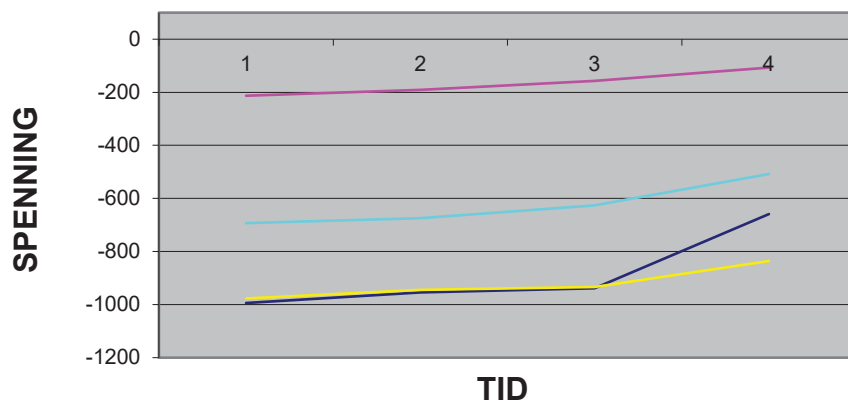
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 10			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	
	A V	A V	SONE 2B
			A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	- -	2,31 2,27	

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	1	N	-994	-954	-40			-939		-845		-659
	1	N	-213	-191	-22			-157		-126		-107
	2	Ø	-977	-944	-33			-934		-926		-836
	2	Ø	-693	-674	-19			-626		-554		-508

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

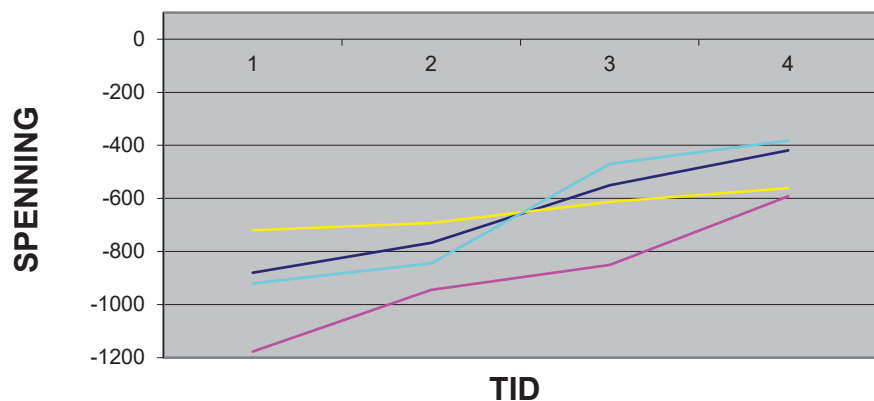
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 11			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,81 2,67	0,91 2,83	

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		IR	DEPOL. TID					
				OFF	DROP		10m	30m	4T	24T		
	1	N	-880	-767	-113			-550	-468		-419	
	2	Ø	-1177	-945	-232			-850	-717		-592	
	1	N	-720	-693	-27			-613	-592		-561	
	2	Ø	-920	-845	-75			-470	-318		-382	

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

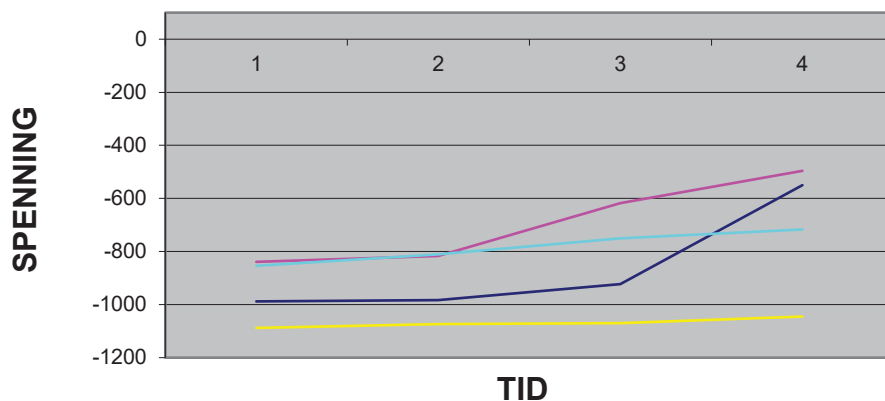
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 12			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP -2 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	1,14 2,73	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-988	-983	-5			-923		-788		-550
	2A	V	-839	-817	-22			-618		-548		-496
		Ø	-1088	-1073	-15			-1070		-1063		-1045
		V	-854	-811	-43			-750		-730		-717

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

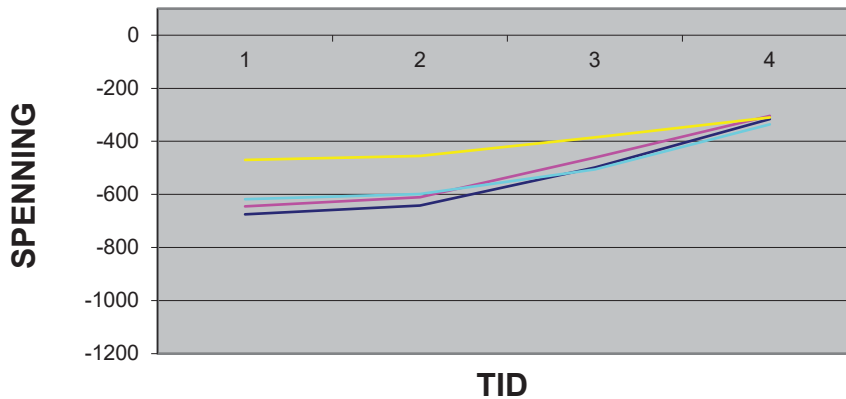
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 13			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,71 2,12	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-675	-642	-33			-498		-443		-316
	2B	V	-645	-610	-35			-461		-390		-304
		Ø	-470	-455	-15			-385		-348		-310
		V	-618	-599	-19			-506		-422		-336

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

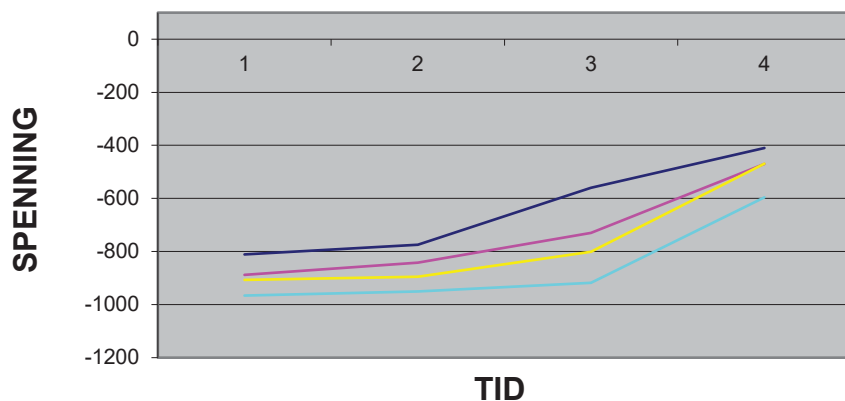
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 14			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,69 2,45	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-811	-775	-36			-560		-488		-410
	2B	V	-888	-842	-46			-730		-616		-470
		Ø	-907	-895	-12			-801		-653		-469
		V	-966	-951	-15			-918		-843		-596

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

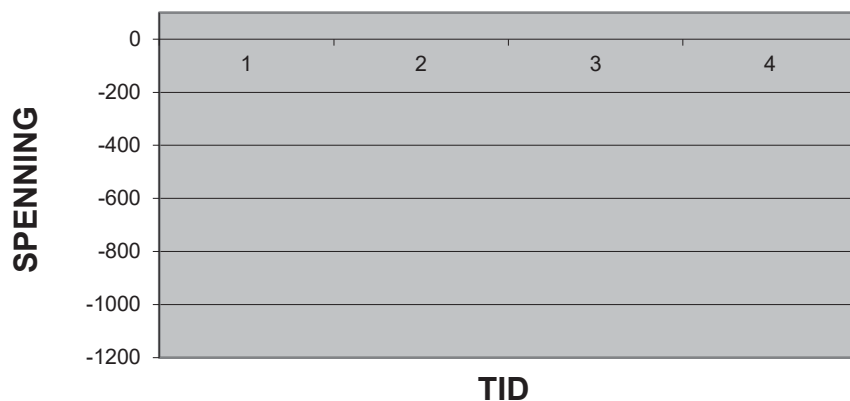
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE :	15	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	NEDBØR	VIND
-2 °c	Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	- -	- -
		SONE 2B
		A V

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
		Ø	-359		-359							
		V	-247		-247							
		Ø	-274		-274							
		V	-326		-326							

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

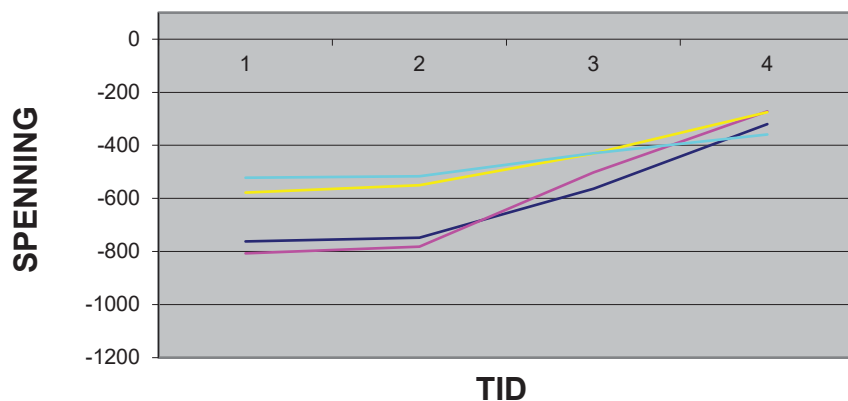
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 16			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,42 2,00	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-762	-748	-14			-563	-429		-320	
	2A	V	-807	-782	-25			-502	-377		-272	
	1	Ø	-578	-550	-28			-431	-358		-275	
	1	V	-522	-516	-6			-430	-394		-359	

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

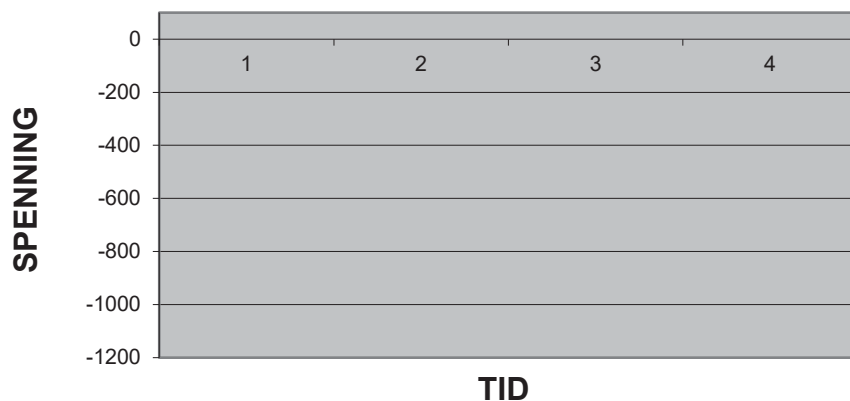
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993				
		UTFØRT T.FJELLHEIM				
PILAR I AKSE : 17						
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR			
		-2 °c	Nei			
		VIND	SOL			
		Nei	Nei			
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1		SONE 2A		SONE 2B	
	A	V	A	V	A	V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE		-	-	-	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
		Ø	-377		-377							
		V	-369		-369							
		Ø	-377		-377							
		V	-443		-443							

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

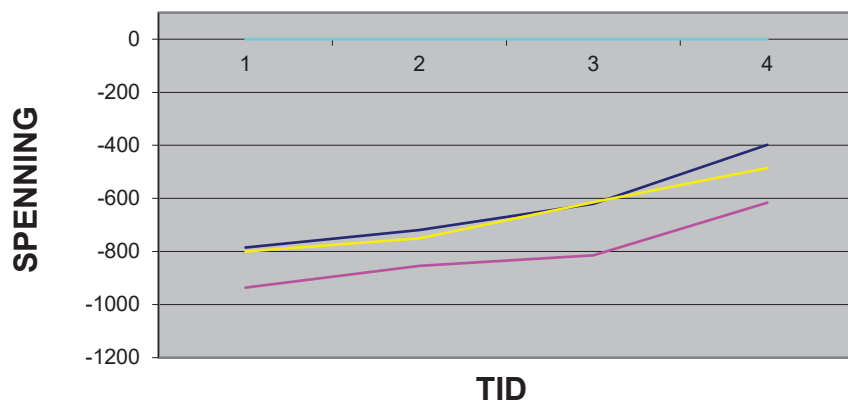
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 18			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,39 2,02	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID							
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T				
	1	Ø	-785	-719	-66			-620		-514		-398	
	2A	Ø	-936	-854	-82			-814		-749		-616	
	2B	V	-800	-750	-50			-614		-555		-485	
	1	Ø	defekt	defekt	defekt	defekt	defekt	defekt	defekt	defekt	defekt	defekt	

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

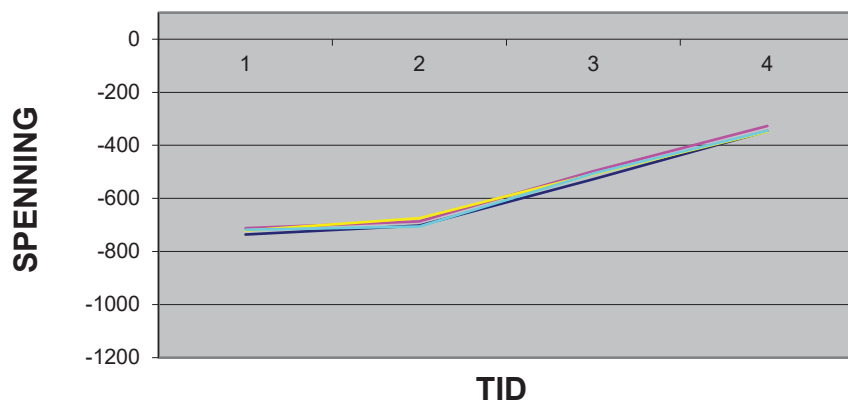
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 19			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,39 1,99	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-736	-702	-34			-527		-441		-346
	2B	V	-712	-686	-26			-497		-416		-327
	1	V	-721	-675	-46			-508		-421		-348
	1	Ø	-718	-706	-12			-506		-418		-345

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

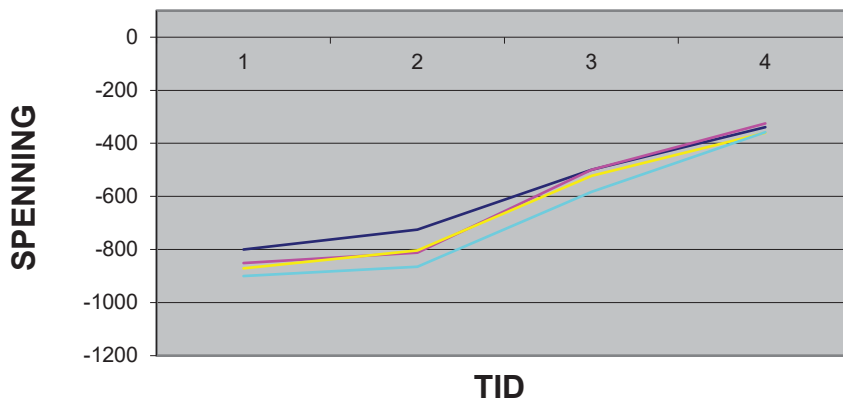
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 07.01.1993	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 20			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		-2 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,3 2,11		-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-800	-725	-75			-499		-423		-339
	2B	V	-851	-812	-39			-499		-414		-325
	1	Ø	-871	-803	-68			-522		-448		-360
	1	V	-900	-865	-35			-583		-471		-358

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

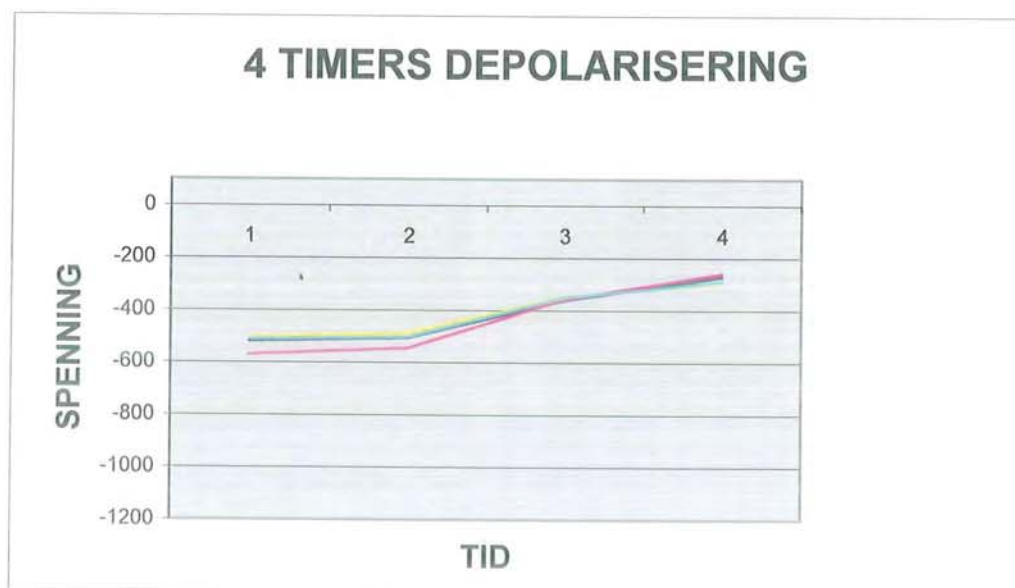
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011		UTFØRT TH.FJELLHEIM			
PILAR I AKSE : 1											
VÆRFORHOLD VED MÅLING				TEMP 8 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS		SOL NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V				
			0,1 1,3		0,1 1,3		0,1 1,3				

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER											
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T		
						10m	30m	4T						
	2A	Ø	-519	-505	-14	-458	-427			-361				-272
	2B	V	-570	-544	-26	-471	-433			-357				-260
	1	Ø	-505	-488	-17	-436	-405			-349				-293
	1	V	-512	-502	-10	-442	-410			-350				-290



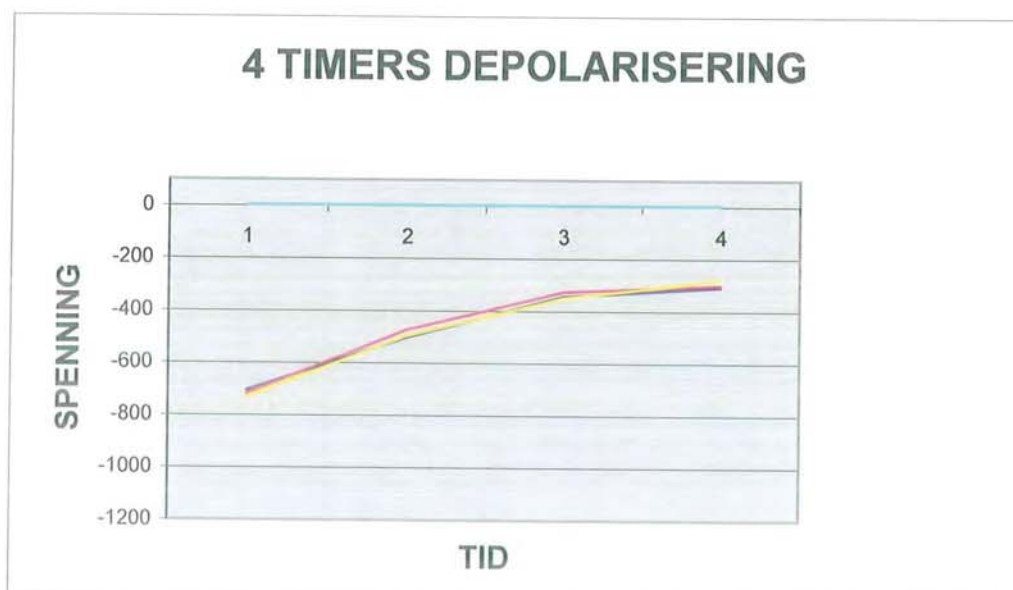
FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS
 VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA									
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011			
PILAR I AKSE : 19						UTFØRT TH.FJELLHEIM			
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP	NEDBØR	VIND	SOL	
					8 C	NEI	BRIS	NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1		SONE 2A			SONE 2B	
			A	V	A	V	A	V	
			0,4	2,02	0,35	1,77	0,35	1,8	

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m		4T				
	2A	Ø	-706	-502	-204	-449	-389		-344				-307
	2B	V	-718	-472	-246	-431	-375		-325				-300
	1	V	-732	-495	-237	-470	-413		-350				-280
	1	Ø	2	2		2	2		2				2



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS
 VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE

DATO 20.05.2011

UTFØRT TH.FJELLHEIM

PILAR I AKSE : 18

VÆRFORHOLD VED MÅLING

TEMP
8 C

NEDBØR
NEI

VIND
BRIS

SOL
NEI

DRIFTSTRØM OG
DRIFTSPENNING

SONE 1
A V

SONE 2A
A V

SONE 2B
A V

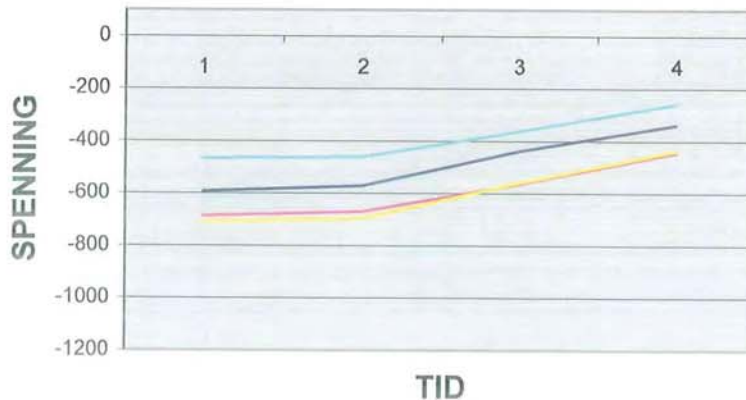
0,2 1,52

0,2 1,34

0,2 1,54

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m	4T					
	1	Ø	-594	-572	-22	-544	-511		-439				-339
	2A	Ø	-688	-670	-18	-645	-625		-565				-444
	2B	V	-710	-696	-14	-664	-634		-561				-438
	1	Ø	-468	-461	-7	-440	-418		-363				-259

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.

INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.

IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF

DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62, BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE

DATO 20.05.2011

UTFØRT TH.FJELLHEIM

PILAR I AKSE : 17

VÆRFORHOLD VED MÅLING

TEMP

8 C

NEDBØR

NEI

VIND

BRIS

SOL

NEI

DRIFTSTRØM OG

DRIFTSPENNING

SONE 1

A

V

SONE 2A

A

V

SONE 2B

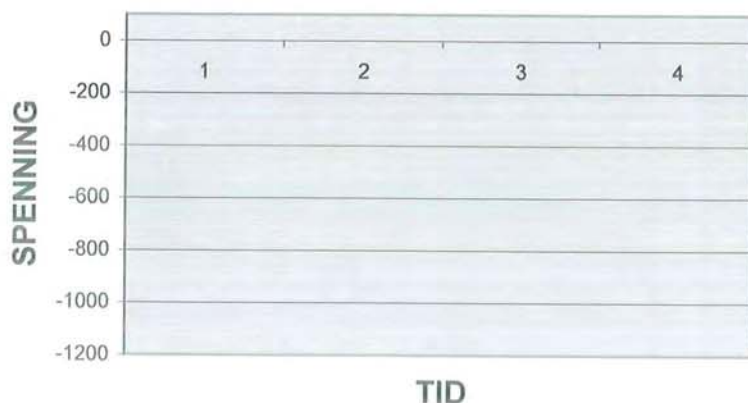
A

V

ingen katodisk beskyttelse

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER												
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID									
						10m	30m	4T			24T				
		Ø	-360												
		V	-295												
		Ø	-390												
		Ø	-238												

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.

INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.

IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF

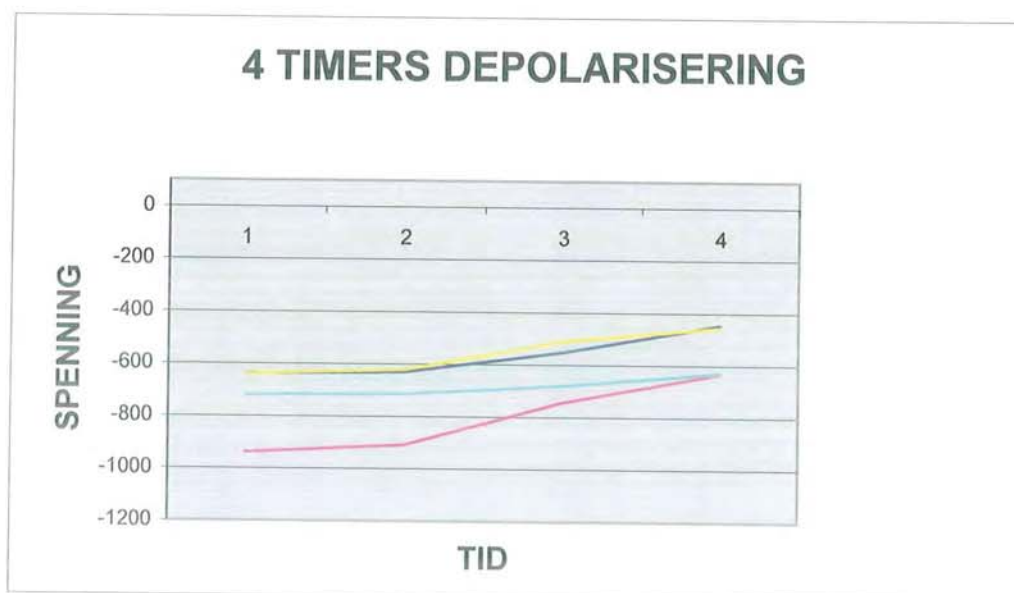
DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62, BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA						
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE				DATO 20.05.2011		
PILAR I AKSE : 16				UTFØRT TH.FJELLHEIM		
VÆRFORHOLD VED MÅLING			TEMP 8 C	NEDBØR NEI	VIND BRIS	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V	
			0,4 2,15		0,4 1,97	
					SONE 2B A V	
					0,4 2,13	

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						
						10m	30m		4T		24T	
	2A	Ø	-639	-630	-9	-616	-601		-552			-447
	2A	V	-939	-909	-30	-849	-814		-744			-632
	1	Ø	-640	-621	-19	-586	-558		-510			-455
	1	V	-721	-715	-6	-705	-696		-680			-630



FORKLARING TIL MÅLING

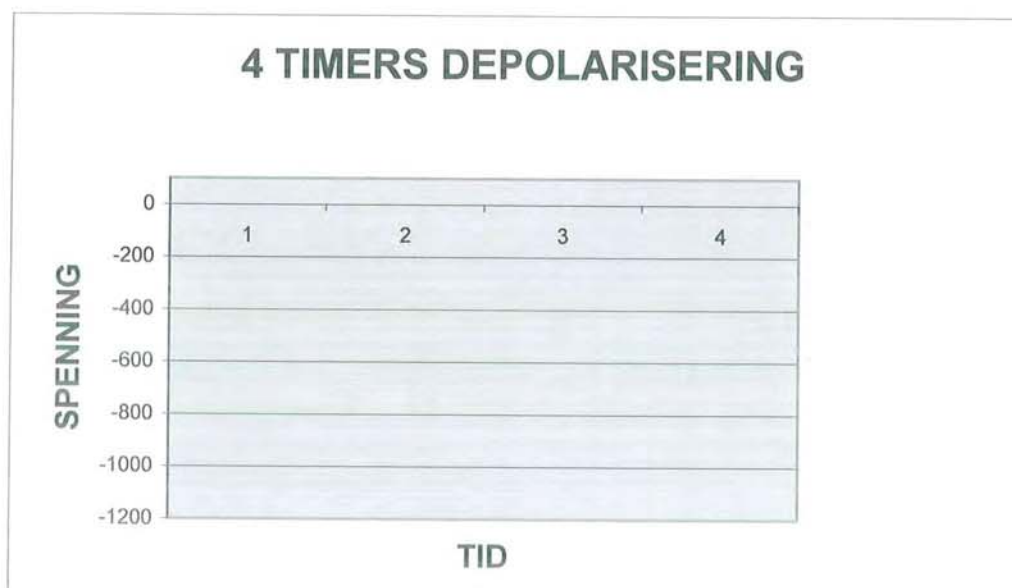
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011					
PILAR I AKSE : 15						UTFØRT TH.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING				TEMP 8 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS		SOL NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V				
ingen katodisk beskyttelse											

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m		4T				
		Ø	-355										
		V	-257										
		Ø	-253										
		V	-282										



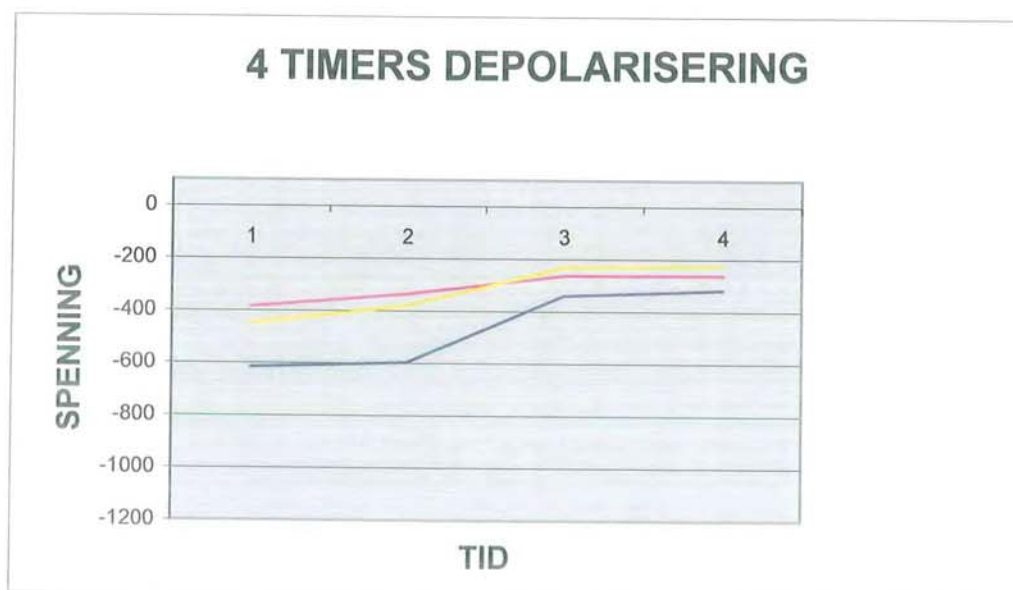
FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS
 VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA									
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011			
PILAR I AKSE : 14						UTFØRT TH.FJELLHEIM			
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP 8 C		NEDBØR NEI	VIND BRIS	SOL NEI
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V		
			0,6 1,32		0,6 1,38		0,6 1,34		

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID					24T	
						10m	30m		4T			
	2A	Ø	-616	-597	-19	-461	-402		-340			-318
	2B	V	-384	-335	-49	-304	-285		-263			-261
	1	Ø	-449	-381	-68	-317	-271		-233			-225
def	1	V			0							



FORKLARING TIL MÅLING

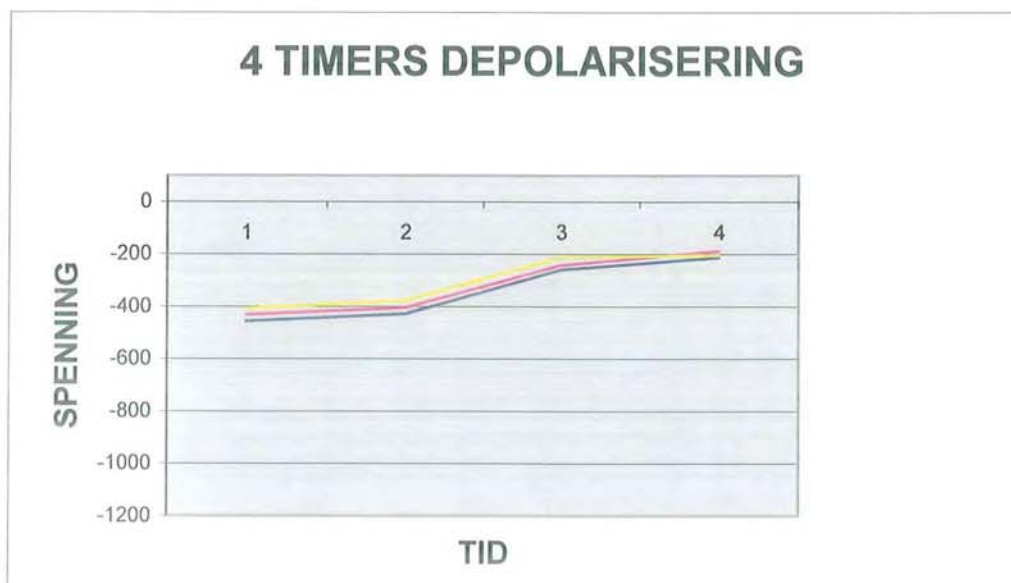
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA									
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE							DATO 20.05.2011		UTFØRT TH.FJELLHEIM
PILAR I AKSE : 13									
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP 8 C		NEDBØR NEI	VIND BRIS	SOL NEI
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V		
			0,7 1,48		0,7 1,41		0,7 1,39		

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID					24T	
						10m	30m	4T				
	2A	Ø	-457	-428	-29	-369	-320		-260			-213
	2B	V	-432	-405	-27	-364	-311		-243			-189
	1	Ø	-408	-377	-31	-288	-247		-212			-204
def	1	V			0							



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
 INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
 IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
 DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE

DATO 20.05.2011

UTFØRT TH.FJELLHEIM

PILAR I AKSE : 12

VÆRFORHOLD VED MÅLING

TEMP
8 C

NEDBØR
NEI

VIND
BRIS

SOL
NEI

DRIFTSTRØM OG
DRIFTSPENNING

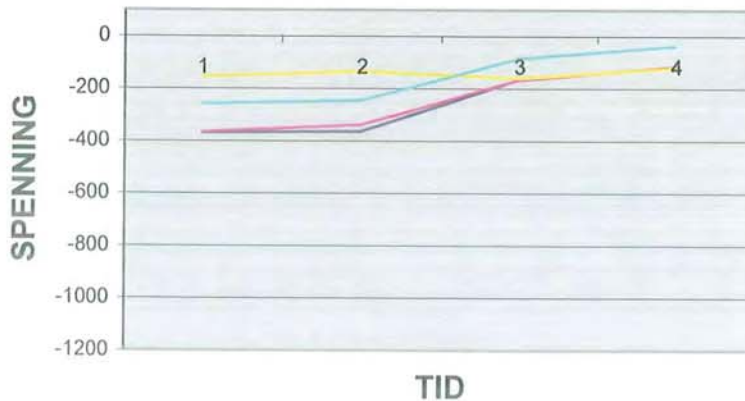
SONE 1
A V
0,9 1,43

SONE 2A
A V
0,9 1,52

SONE 2B
A V
0,9 1,65

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID					24T	
						10m	30m	4T				
	2A	Ø	-370	-363	-7	-295	-235		-165			-117
	2A	V	-366	-338	-28	-319	-249		-166			-117
	1	Ø	-155	-135	-20	-178	-173		-161			-120
	1	V	-260	-246	-14	-217	-159		-86			-38

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.

INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.

IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF

DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

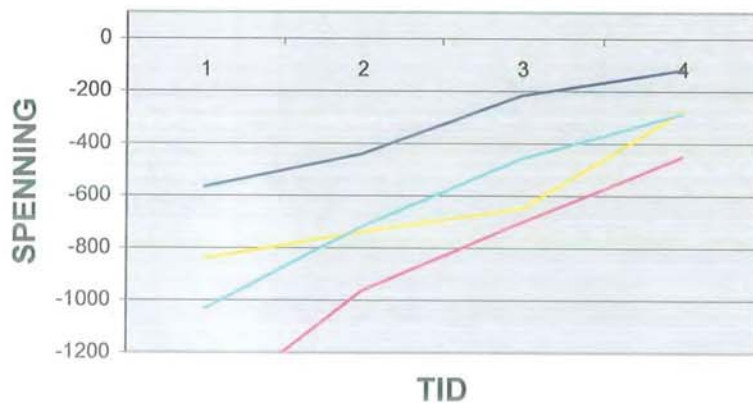
VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MALESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 20.05.2011	
PILAR I AKSE : 11		UTFØRT TH.FJELLHEIM	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 8 C	NEDBØR NEI
		VIND BRIS	SOL NEI
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
	3,7 1,3	3,59 1,3	3 1,33

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						
						10m	30m	4T	24T			
	1	N	-567	-440	-127	-378	-323	-217				-119
	2	Ø	-1434	-964	-470	-859	-809	-702				-452
	1	N	-840	-738	-102	-757	-729	-648				-277
	2	Ø	-1033	-718	-315	-603	-569	-458				-286

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

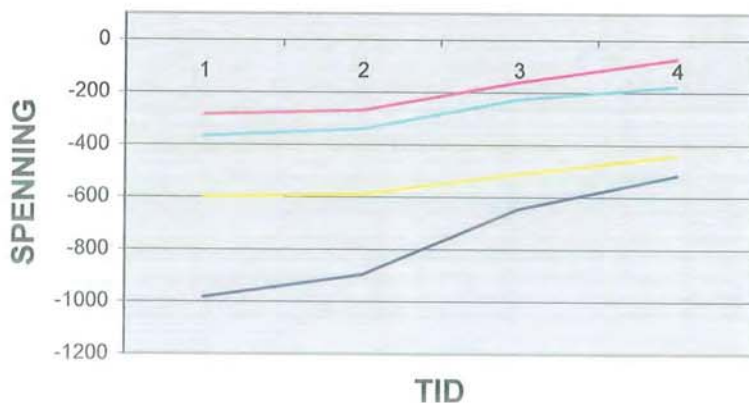
VESTERÅLSGT 62, BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 20.05.2011					
PILAR I AKSE : 10		UTFØRT TH.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 8 C	NEDBØR NEI				
		VIND BRIS	SOL NEI				
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1		SONE 2A		SONE 2B		
	A	V	A	V	A	V	
		0,2	2,2	0,51	1,95	0,93	3,75

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m		4T				
	1	N	-984	-897	-87	-805	-733		-645				-517
	1	N	-285	-268	-17	-230	-194		-161				-72
	2	Ø	-600	-590	-10	-580	-554		-511				-440
	2	Ø	-368	-340	-28	-299	-264		-227				-178

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

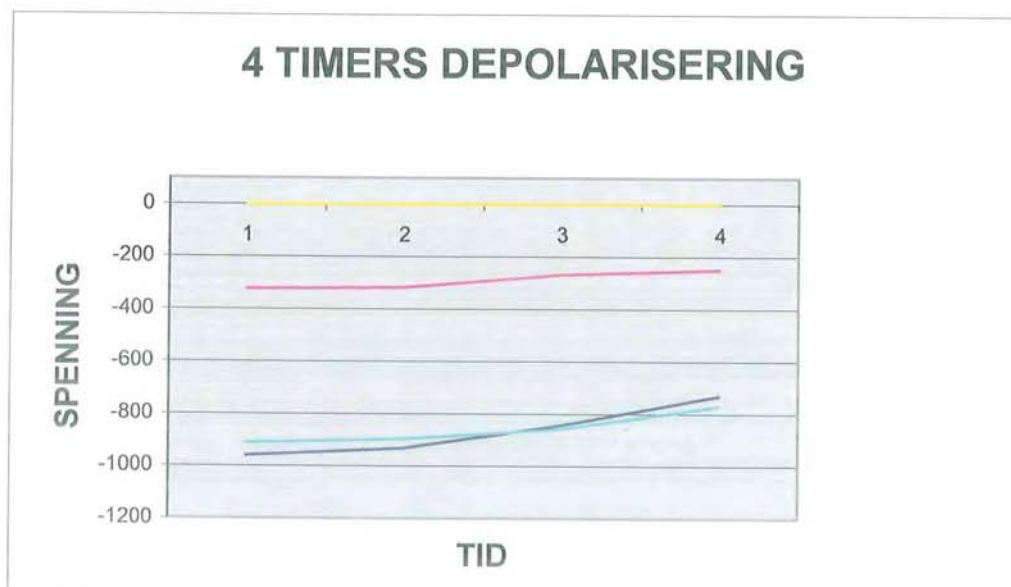
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62, BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011					
PILAR I AKSE : 9						UTFØRT TH.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING				TEMP 8 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS		SOL NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1		SONE 2A			SONE 2B			
			A V		A V			A V			
			0,8 2,18		0,8 2,28			0,8 2,26			

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID							
						10m	30m	4T			24T		
	2A	Ø	-960	-932	-28	-909	-885		-844				-731
	2B	V	-324	-318	-6	-318	-291		-269				-250
	1	Ø	-2	-2	0	-2	-2		-2				-2
	1	V	-911	-897	-14	-891	-883		-859				-772



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS
 VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE

DATO 20.05.2011

UTFØRT TH.FJELLHEIM

PILAR I AKSE : 8

VÆRFORHOLD VED MÅLING

TEMP

8 C

NEDBØR

NEI

VIND

BRIS

SOL

NEI

DRIFTSTRØM OG
DRIFTSPENNING

SONE 1
A V

0,4 2,04

SONE 2A
A V

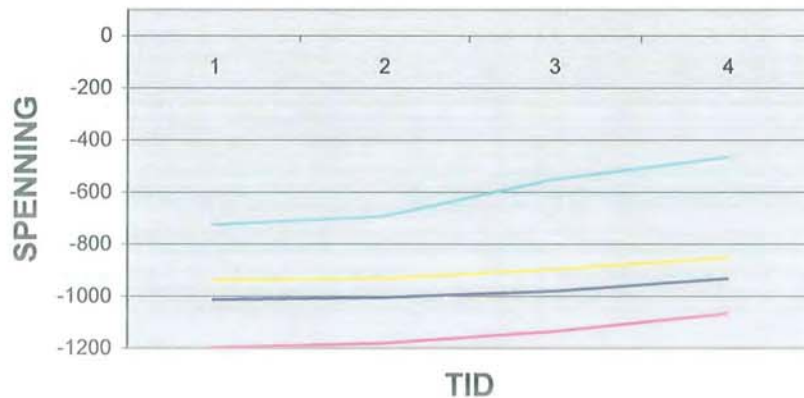
0,4 2,14

SONE 2B
A V

0,4 2,14

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						
						10m	30m	4T			24T	
	2A	Ø	-1014	-1006	-8	-999	-993		-981			-933
	2B	V	-1199	-1182	-17	-1175	-1162		-1136			-1067
	1	Ø	-939	-933	-6	-926	-913		-897			-851
	1	V	-726	-694	-32	-646	-598		-551			-466

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.

INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.

IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF

DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE

DATO 20.05.2011

UTFØRT TH.FJELLHEIM

PILAR I AKSE : 7

VÆRFORHOLD VED MÅLING

TEMP

8 C

NEDBØR

NEI

VIND

BRIS

SOL

NEI

DRIFTSTRØM OG

DRIFTSPENNING

SONE 1

A

V

SONE 2A

A

V

SONE 2B

A

V

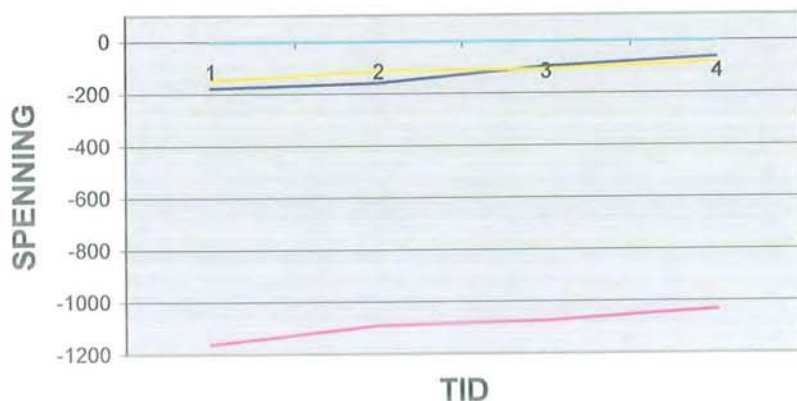
0,54 1,5

0,5 1,6

0,5 1,6

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						
						10m	30m	4T	24T			
	1	Ø	-178	-160	-18	-164	-144	-98			-63	
	1	V	-1162	-1090	-72	-1096	-1088	-1074			-1033	
	2A	Ø	-150	-114	-36	-132	-119	-108			-83	
	2B	V	-2	-2	0	-2	-2	-2			-2	

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.

INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.

IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF

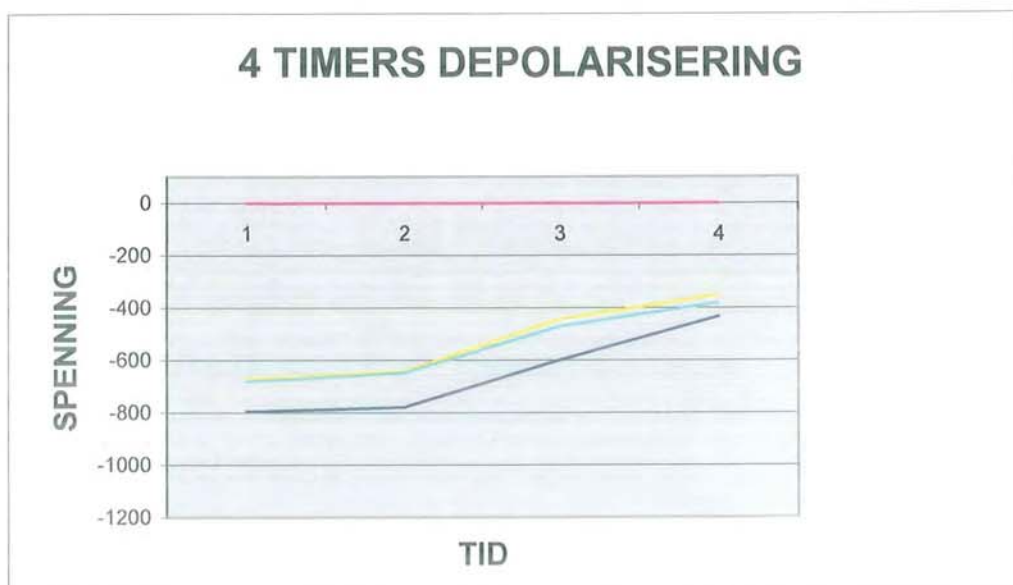
DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011					
						UTFØRT TH.FJELLHEIM					
PILAR I AKSE :				6							
VÆRFORHOLD VED MÅLING				TEMP 8 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS		SOL NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V				
			0,5 1,79		0,5 1,9		0,5 1,8				

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m		4T				
	2A	Ø	-797	-779	-18	-754	-700		-599				-435
	1	Ø	-2	-2	0	-2	-2		-2				-2
	1	V	-672	-642	-30	-586	-514		-444				-351
	2B	V	-681	-648	-33	-608	-533		-471				-383



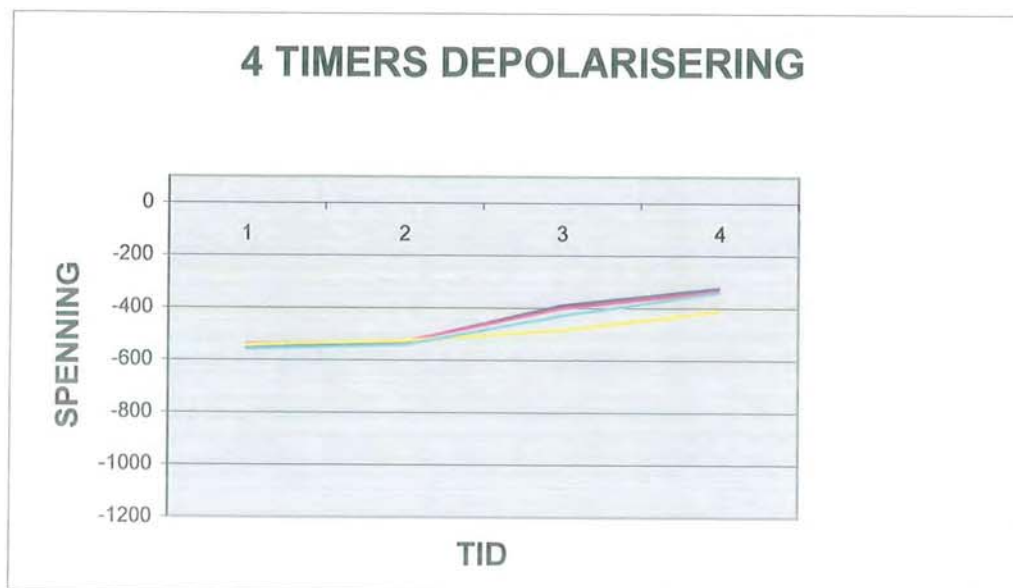
FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS			
VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20			

SORTLANDS BRUA									
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011			
PILAR I AKSE : 5						UTFØRT TH.FJELLHEIM			
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP	NEDBØR	VIND	SOL	
					8 C	NEI	BRIS	NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1		SONE 2A			SONE 2B	
			A	V	A	V	A	V	
			0,2	1,5	0,2	1,5	0,2	1,5	

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m	4T					
	2A	Ø	-557	-532	-25	-485	-434		-390				-324
	2A	V	-539	-530	-9	-496	-445		-401				-337
	1	Ø	-543	-526	-17	-525	-509		-484				-413
	1	V	-559	-542	-17	-517	-478		-429				-341

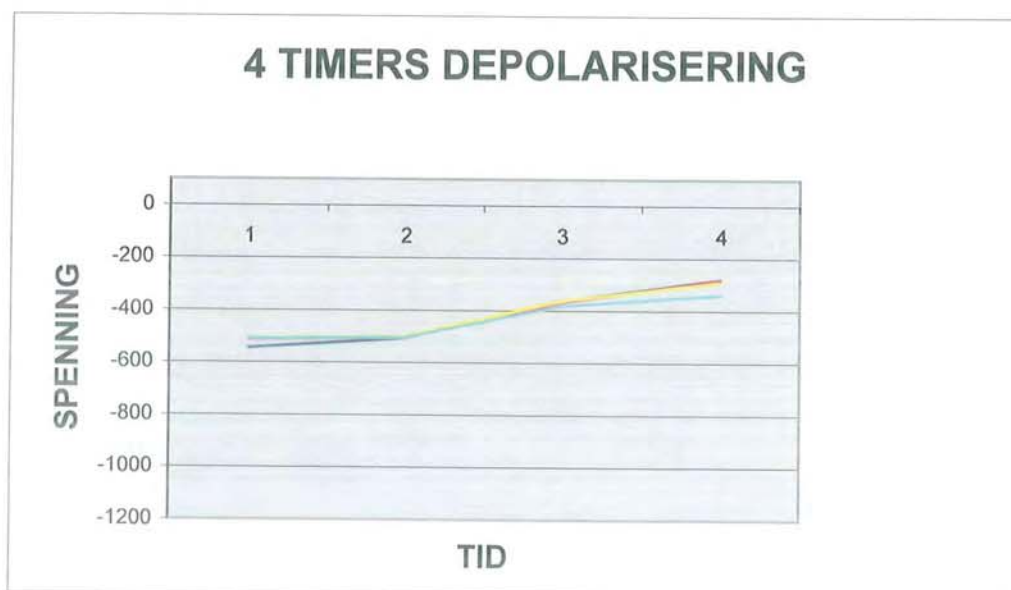


FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

SORTLANDS BRUA									
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011			
PILAR I AKSE : 4						UTFØRT TH.FJELLHEIM			
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP	NEDBØR	VIND	SOL	
					8 C	NEI	BRIS	NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1		SONE 2A			SONE 2B	
			A	V	A	V	A	V	
			0,8	1,19	0,8	1,22	0,8	1,2	

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID					
						10m	30m	4T		24T	
	2A	Ø	-546	-506	-40	-465	-419		-364		-280
	2B	V	-514	-505	-9	-476	-429		-369		-283
	1	Ø	-510	-500	-10	-469	-419		-362		-290
	1	V	-512	-504	-8	-470	-420		-382		-340



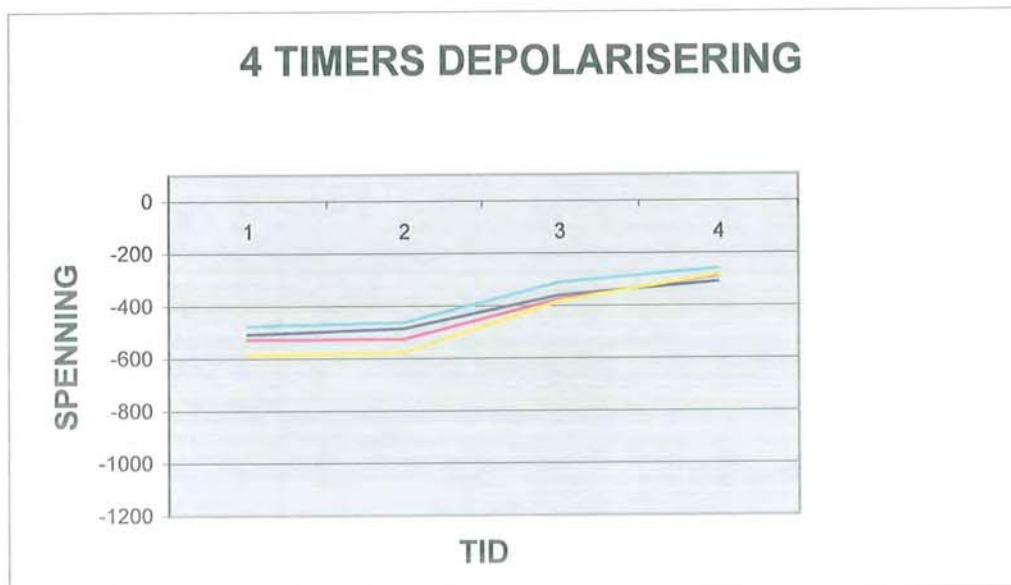
FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS
 VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011					
						UTFØRT TH.FJELLHEIM					
PILAR I AKSE :			3								
VÆRFORHOLD VED MÅLING				TEMP 8 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS		SOL NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V			SONE 2B A V			
			0,1 1,3		0,1 1,3			0,1 1,3			

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER											
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T		
						10m	30m		4T					
	1	Ø	-508	-486	-22	-468	-410							-310
	2A	Ø	-529	-526	-3	-501	-444							-289
	2B	V	-586	-577	-9	-541	-467							-283
	1	V	-476	-463	-13	-425	-365							-260

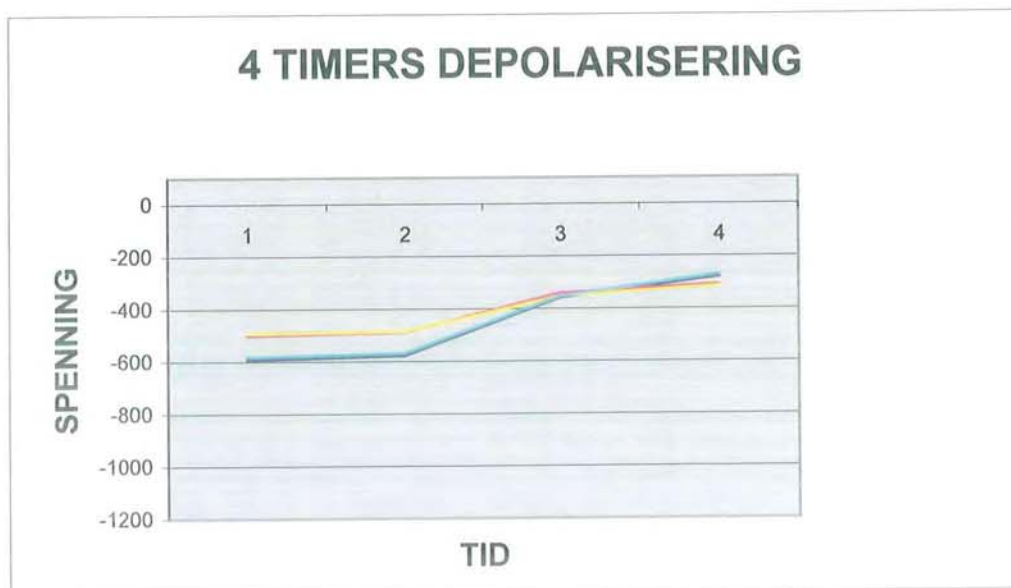


FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

SORTLANDS BRUA										
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE							DATO 20.05.2011			
							UTFØRT TH.FJELLHEIM			
PILAR I AKSE :		2								
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP 8 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS	SOL NEI
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V			SONE 2B A V		
			0,2 1,4		0,2 1,5			0,2 1,4		

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID							
						10m	30m	4T	24T				
	2A	Ø	-593	-578	-15	-525	-435		-359				-280
	1	Ø	-501	-488	-13	-449	-386		-342				-308
	1	V	-493	-486	-7	-448	-395		-353				-315
	2B	V	-584	-569	-15	-516	-430		-354				-270



FORKLARING TIL MÅLING

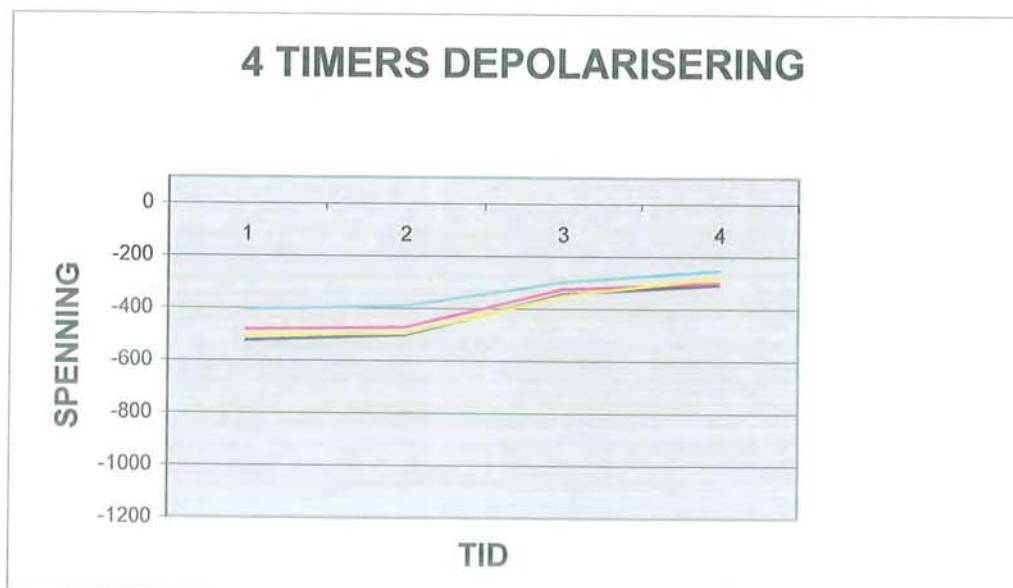
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62, BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA									
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 20.05.2011			
PILAR I AKSE : 1						UTFØRT TH.FJELLHEIM			
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP 8 C		NEDBØR NEI	VIND BRIS	SOL NEI
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V		
			1,7 1,5		1,7 1,6		1,7 1,6		

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m	4T					
	1	V	-524	-502	-22	-449	-389		-344				-307
	1	Ø	-482	-472	-10	-431	-375		-325				-300
	2A	Ø	-505	-495	-10	-470	-413		-350				-280
	2B	V	-406	-390	-16	-397	-338		-299				-253



FORKLARING TIL MÅLING

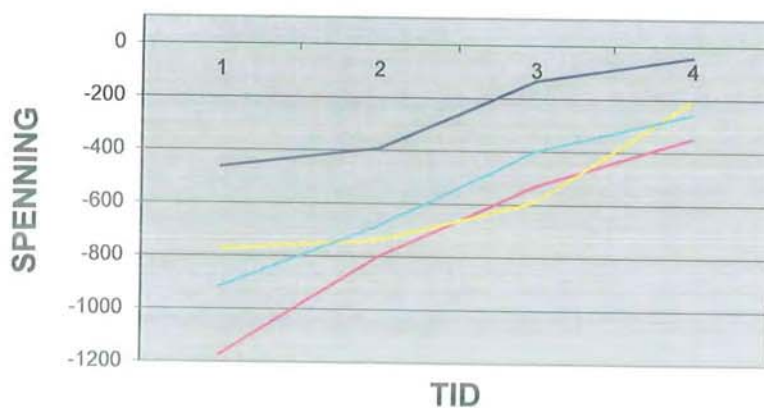
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS
 VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA									
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 26.08.2011			
PILAR I AKSE : 11						UTFØRT TH.FJELLHEIM			
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP	NEDBØR	VIND	SOL	
					13 C	NEI	BRIS	NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1		SONE 2A			SONE 2B	
			A	V	A	V	A	V	
			3,6	1,3	3,6	0,8	3	0,82	

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						
						10m	30m	4T	24T			
	1	N	-465	-392	-73	-330	-261		-134			-44
	2	Ø	-1174	-800	-374	733	-690		-530			-348
	1	N	-775	-738	-37	-699	-681		-590			-208
	2	Ø	-918	-685	-233	-588	-525		-399			-259

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

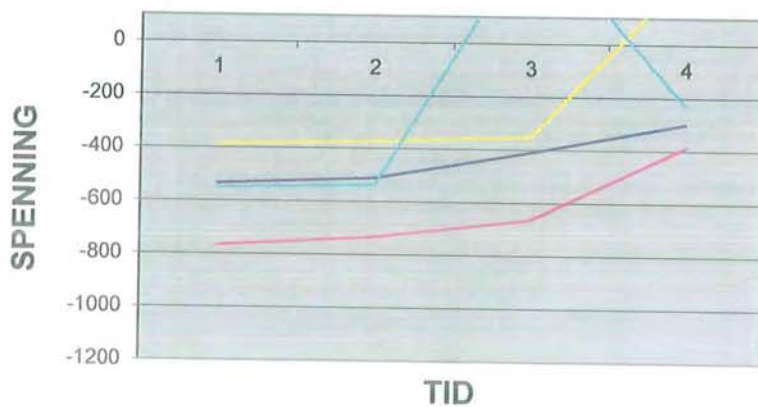
ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 26.08.2011					
PILAR I AKSE : 12						UTFØRT TH.FJELLHEIM					
VÆRFORHOLD VED MÅLING				TEMP 13 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS		SOL NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V				
			0,9 2,2		0,9 2,1		0,9 2,1				

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m	4T					
	2A	Ø	-535	-512	-23	-503	-500		-410				-301
	2A	V	-767	-734	-33	-712	-706		-665				-387
	1	Ø	-386	-372	-14	-345	-326		-352				256
	1	V	-551	-538	-13	-536	-532		430				-231

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

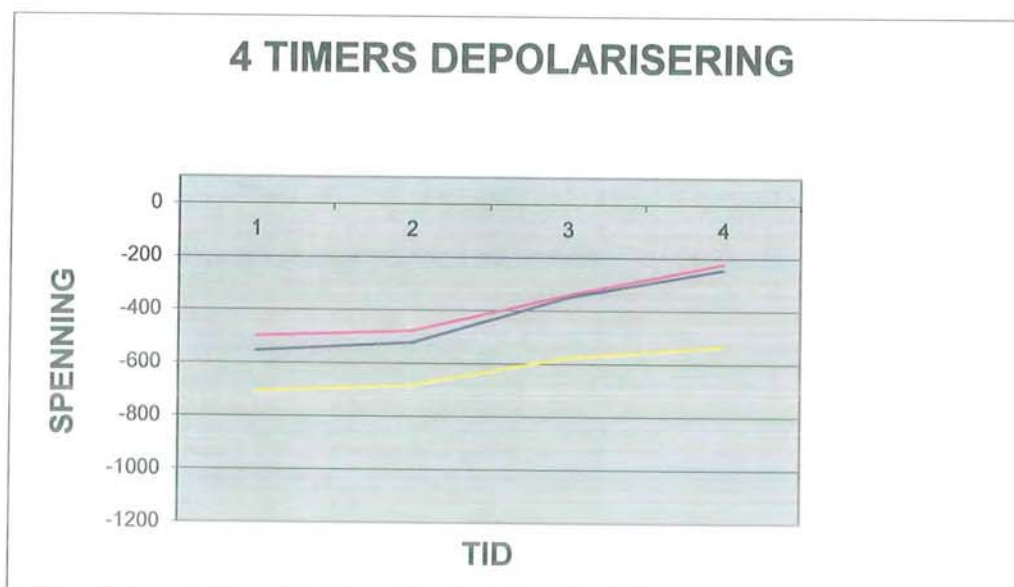
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA											
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 26.08.2011		UTFØRT TH.FJELLHEIM			
PILAR I AKSE : 13											
VÆRFORHOLD VED MÅLING				TEMP 13 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS		SOL NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V				
			0,7 1,59		0,7 1,63		0,7 1,69				

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID							
						10m	30m	4T			24T		
	2A	Ø	-555	-522	-33	-480	-433		-350				-245
	2B	V	-500	-478	-22	-455	-427		-340				-223
	1	Ø	-708	-682	-26	-641	-600		-577				-535
def	1	V			0								



FORKLARING TIL MÅLING

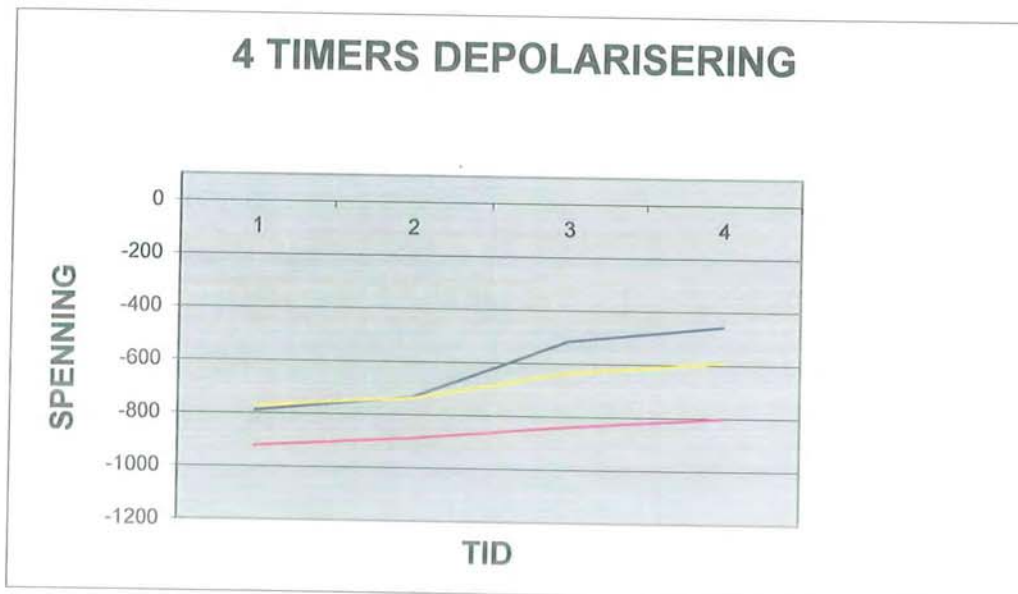
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA									
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 26.08.2011			
PILAR I AKSE : 14						UTFØRT TH.FJELLHEIM			
VÆRFORHOLD VED MÅLING					TEMP 13 C		NEDBØR NEI	VIND BRIS	SOL NEI
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING			SONE 1 A V		SONE 2A A V		SONE 2B A V		
			0,6 1,86		0,6 1,84		0,6 1,79		

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID						24T	
						10m	30m	4T					
	2A	Ø	-789	-734	-55	-682	-618	-515					-456
	2B	V	-922	-888	-34	-871	-855	-838					-801
	1	Ø	-771	-737	-34	-692	-663	-635					-591
def	1	V			0								



FORKLARING TIL MÅLING

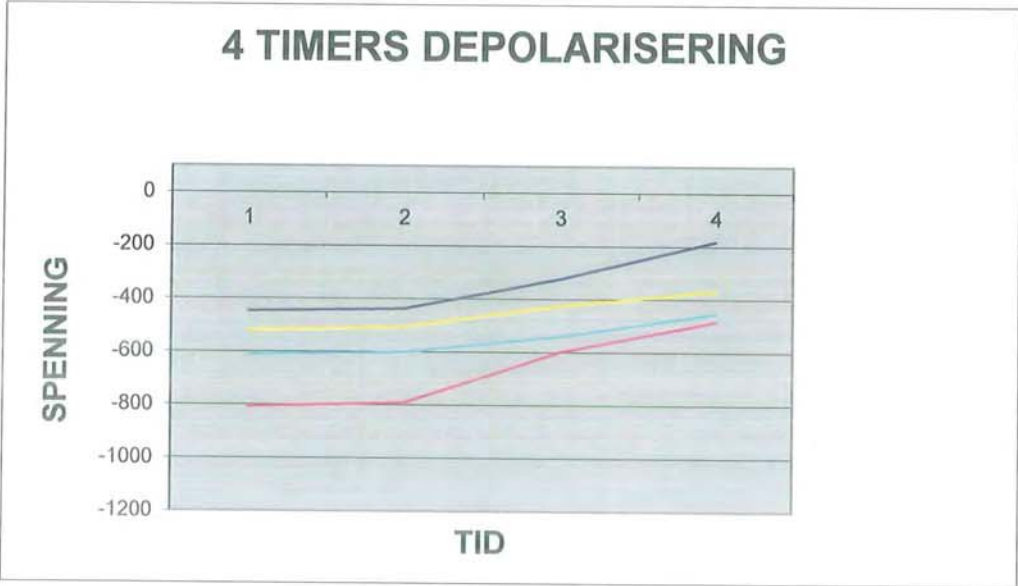
- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

VESTERÅLSGT 62 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20 Fax 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA													
MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE						DATO 28.08.2011							
PILAR I AKSE : 16						UTFØRT TH.FJELLHEIM							
VÆRFORHOLD VED MÅLING						TEMP 13 C		NEDBØR NEI		VIND BRIS		SOL NEI	
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING				SONE 1		SONE 2A		SONE 2B					
				A V		A V		A V					
				0,4 2		0,4 1,78		0,4 1,97					

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER										
NR.	SONE	PLASS	ON	INST OFF	IR DROP	DEPOL. TID							
						10m	30m	4T			24T		
	2A	Ø	-448	-438	-10	-413	-403		-324				-183
	2A	V	-808	-791	-17	717	-684		-598				-484
	1	Ø	-521	-506	-15	-483	-470		-425				-368
	1	V	-612	-602	-10	-592	-580		-541				-455



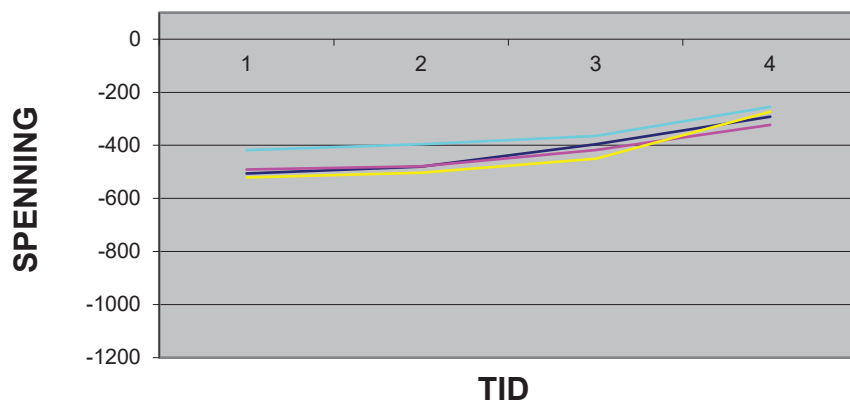
FORKLARING TIL MÅLING
 ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
 INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
 IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
 DEPOL. : Stigning i spenning inntil 4 timer

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018					
		UTFØRT T.FJELLHEIM					
PILAR I AKSE : 1							
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c	NEDBØR Nei				
		VIND Nei	SOL Nei				
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1		SONE 2A		SONE 2B		
	A	V	A	V	A	V	
INGEN KATODISK BESKYTTELSE		1,45	1,29	-	1,44	-	1,41

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	1	V	-506	-480	-26	-422	-396	-332	-292			
	1	Ø	-491	-479	-12	-439	-417	-363	-323			
	2A	Ø	-521	-503	-18	-473	-450	-367	-273			
	2B	V	-418	-396	-22	-379	-364	-311	-255			

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

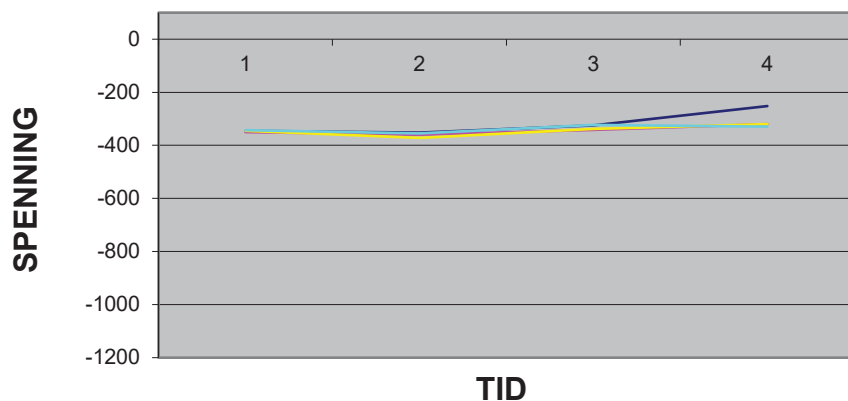
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 2			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,80 0,80	- 0,80	- 0,80

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-345	-352	7	-334	-325	-293	-252		
	1	Ø	-350	-360	10	-346	-342	-327	-320		
	1	V	-345	-372	27	-341	-338	-327	-320		
	2B	V	-343	-355	12	-332	-323	-286	-329		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

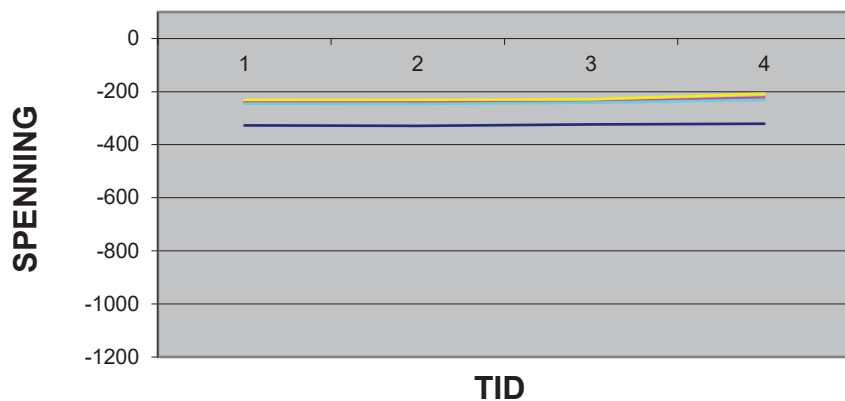
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 3			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,46 0,46	- 0,46	- 0,46

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	IR	DEPOL. TID					
						OFF	DROP	10m	30m	4T	24T
	1	Ø	-327	-329	2	-325	-324	-316	-321		
	2A	Ø	-240	-240	0	-239	-239	-233	-222		
	2B	V	-231	-231	0	-229	-228	-221	-208		
	1	V	-245	-246	1	-244	-242	-235	-231		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

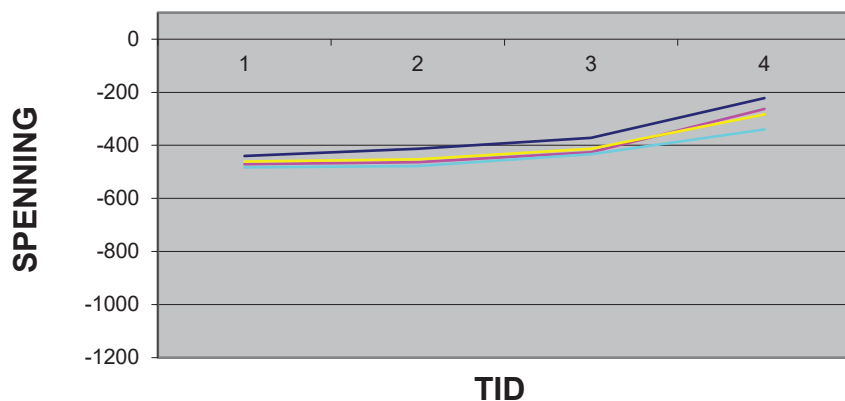
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 4			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP	NEDBØR
		10 °c	Nei
		VIND	SOL
		Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A	SONE 2B
	A V	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	1,05 1,00	- 1,02	- 1,01

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	IR	DEPOL. TID					
						OFF	DROP	10m	30m	4T	24T
	2A	Ø	-440	-413	-27	-384	-372	-315	-222		
	2B	V	-471	-463	-8	-441	-426	-362	-263		
	1	Ø	-461	-452	-9	-428	-413	-357	-283		
	1	V	-483	-478	-5	-450	-433	-380	-340		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

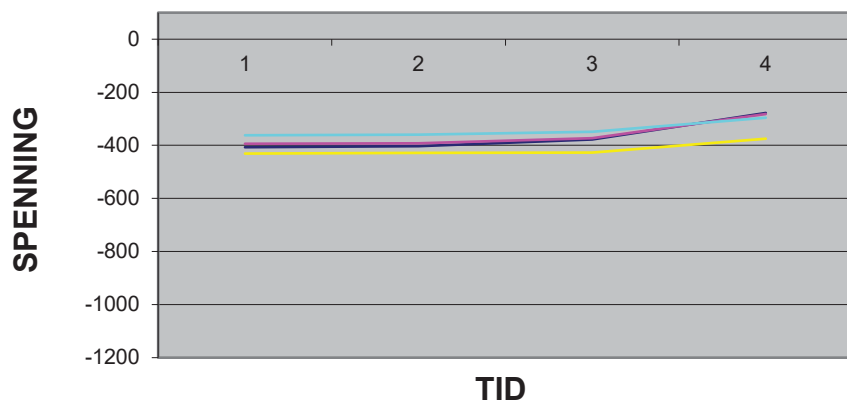
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018	
PILAR I AKSE : 5		UTFØRT T.FJELLHEIM	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,97 0,94	- 0,93	- 0,95

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-407	-403	-4	-382	-378	-338	-278		
	2A	V	-394	-392	-2	-382	-373	-336	-282		
	1	Ø	-431	-429	-2	-429	-427	-407	-375		
	1	V	-362	-360	-2	-354	-349	-324	-296		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

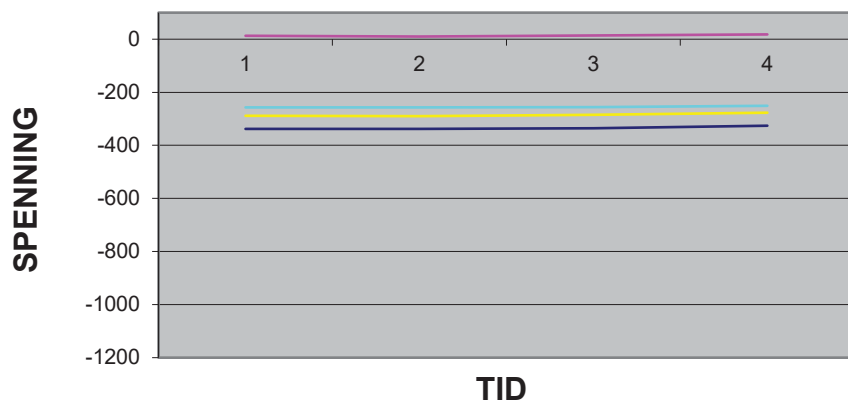
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE :	6	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
	TEMP	NEDBØR
	10 °c	Nei
	VIND	SOL
	Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,67 0,67	- 0,68
		- 0,68

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-338	-338	0	-337	-336	-329	-326		
	1	Ø	13	10	3	13	14	16	18		
	1	V	-288	-290	2	-286	-285	-279	-277		
	2B	V	-257	-257	0	-256	-256	-253	-251		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

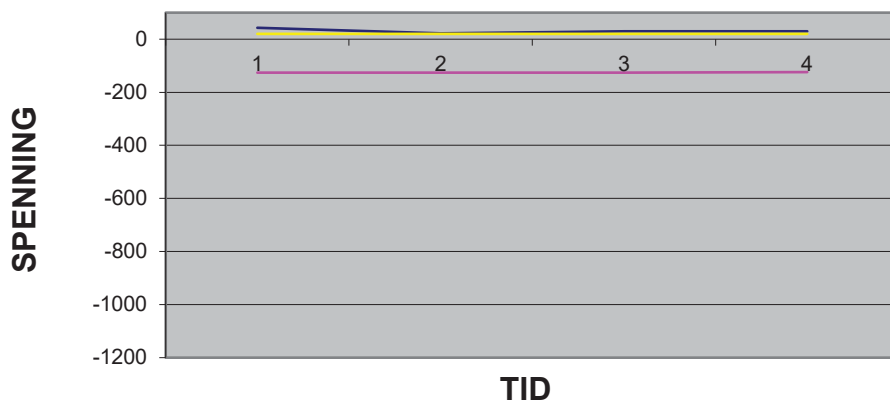
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 7			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,58 0,43	- 0,43	- 0,43

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		IR	DEPOL. TID				
				OFF	DROP		10m	30m	4T	24T	
	1	Ø	43	22	21		30	30	30	30	
	1	V	-126	-126	0		-126	-126	-126	-124	
	2A	Ø	20	20	0		20	20	20	20	
	2B	V	162	162	0		162	162	162	166	

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

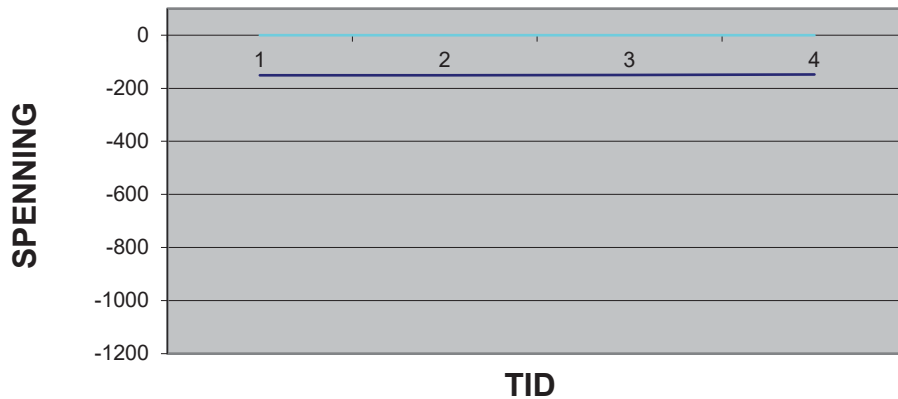
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 8			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,59 0,43	- 0,43	- 0,43

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		IR	DEPOL. TID					
				OFF	DROP		10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-151	-151	0	-150	-150	-149	-148			
	2B	V	198	198	0	197	197	196	195			
	1	Ø	216	216	0	216	218	212	207			
	1	V	-265	-264	-1	-264	-264	-259	-256			

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

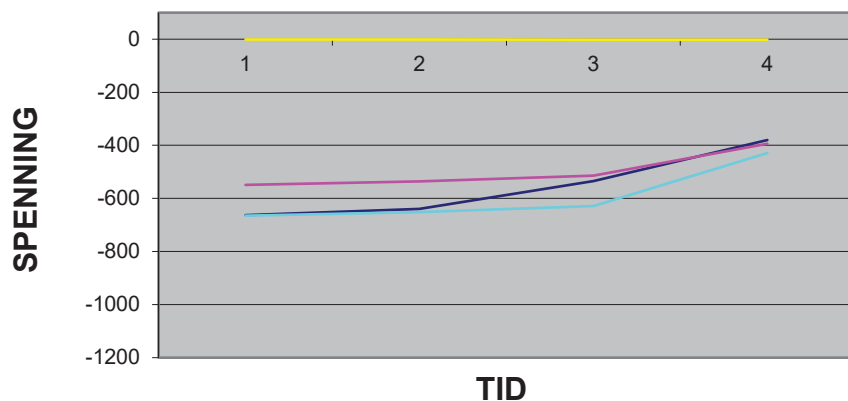
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
PILAR I AKSE : 9		UTFØRT T.FJELLHEIM
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	NEDBØR	VIND
10 °c	Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	2,79 2,53	- 1,71
		- 2,01

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-663	-639	-24	-554	-534	-464	-380		
	2B	V	-549	-536	-13	-522	-514	-472	-394		
	1	Ø	-1	-1	0	-2	-2	-2	-2		
	1	V	-665	-651	-14	-638	-629	-571	-429		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

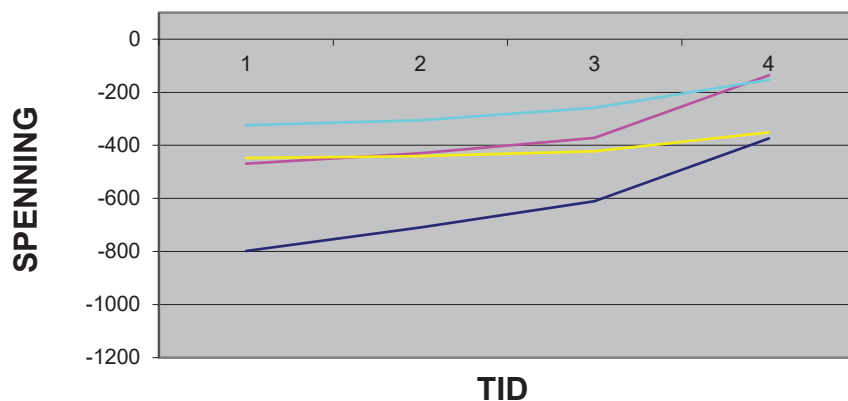
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE :	10	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei
		SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
		SONE 2B
		A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	- -	2,31 2,27
		3,37 3,00

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	1	N	-798	-709	-89	-634	-611	-504	-374			
	1	N	-469	-430	-39	-390	-372	-275	-136			
	2	Ø	-448	-441	-7	-429	-423	-390	-351			
	2	Ø	-324	-306	-18	-208	-258	-210	-153			

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

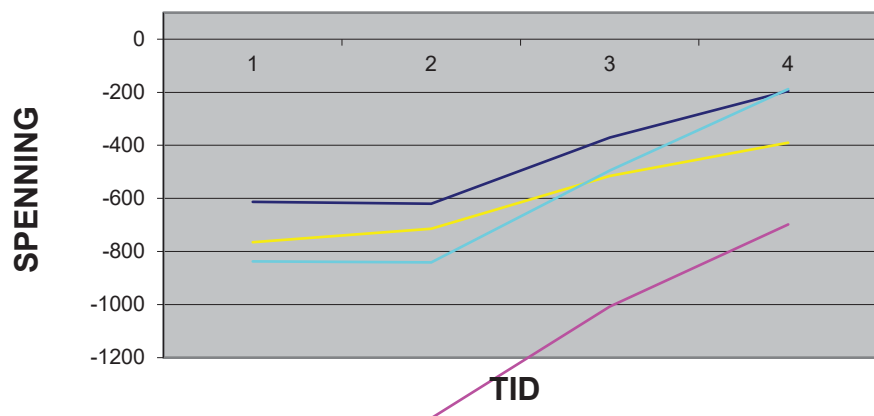
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
PILAR I AKSE : 11		UTFØRT T.FJELLHEIM
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	NEDBØR	VIND
10 °c	Nei	Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	- 0,79	3,72 0,79
		SONE 2B
		A V
		3,48 0,80

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER							
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	IR	DEPOL. TID				
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T	
	1	N	-613	-620	7	-408	-370	-252	-195	
	2	Ø	-1432	-1428	-4	-1024	-1007	-992	-698	
	1	N	-765	-714	-51	-584	-515	-455	-390	
	2	Ø	-837	-841	4	-495	-495	-318	-188	

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

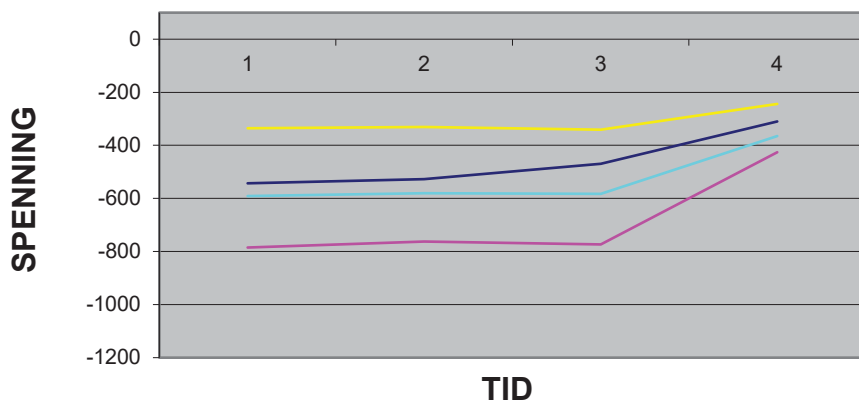
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 12			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	2,20 1,36	- 1,31	- 1,34

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		IR	DEPOL. TID				
				OFF	DROP		10m	30m	4T	24T	
	2A	Ø	-543	-527	-16	-496	-469	-404	-310		
	2A	V	-785	-762	-23	-785	-773	-690	-426		
		Ø	-336	-331	-5	-348	-341	-308	-244		
		V	-591	-580	-11	-594	-583	-519	-365		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

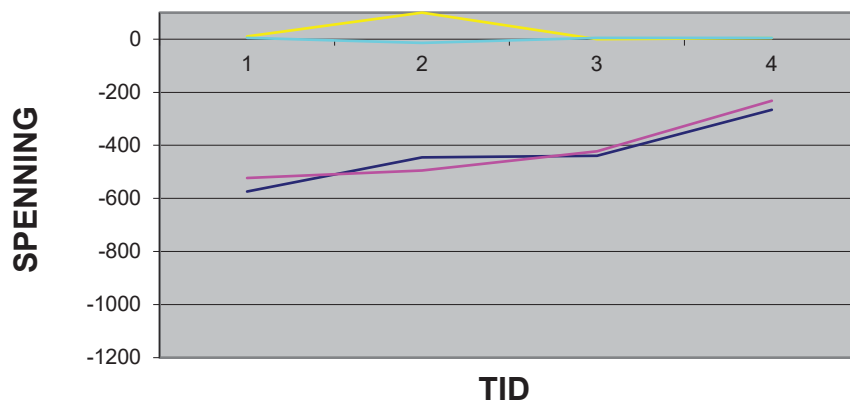
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018	
		UTFØRT T.FJELLHEIM	
PILAR I AKSE : 13			
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei	SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V	SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	2,11 0,46	- 0,46	- 0,46

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-574	-445	-129	-467	-439	-361	-266		
	2B	V	-523	-495	-28	-451	-423	-341	-232		
		Ø	10	100	-90	10	0	4	5		
		V	5	-14	19	10	5	5	5		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

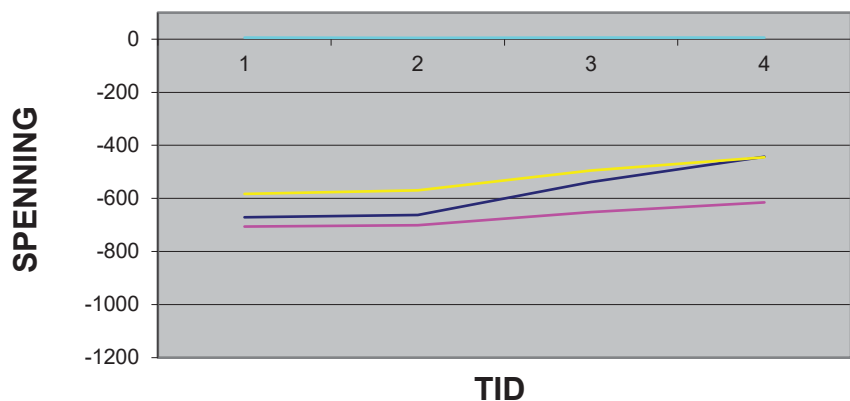
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE :	14	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei
		SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	2,03 1,79	- 1,64
		- 1,69

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	IR	DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-671	-662	-9	-564	-538	-471	-443		
	2B	V	-706	-701	-5	-654	-651	-637	-615		
		Ø	-583	-570	-13	-504	-495	-470	-445		
		V	6	5	1	6	6	6	6		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

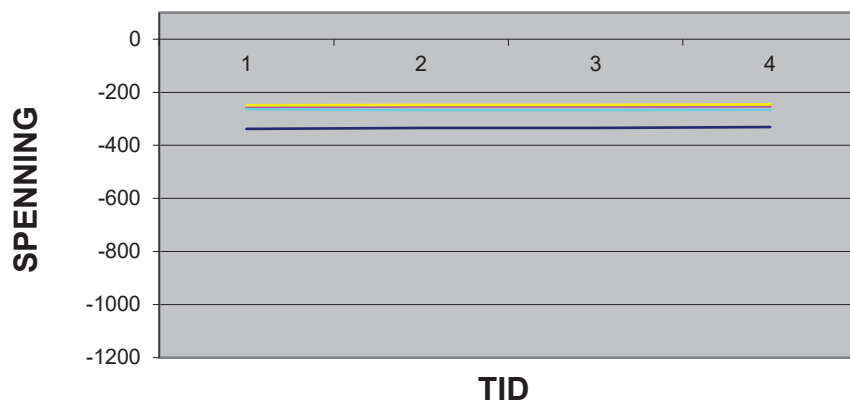
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE :	15	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei
		SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1 A V	SONE 2A A V
		SONE 2B A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	- -	- -

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST	IR	DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m		30m		4T		24T
		Ø	-338	-334	-4	-334		-334		-332		-331
		V	-256	-254	-2	-254		-254		-253		-253
		Ø	-249	-247	-2	-247		-247		-247		-246
		V	-264	-267	3	-267		-267		-267		-266

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

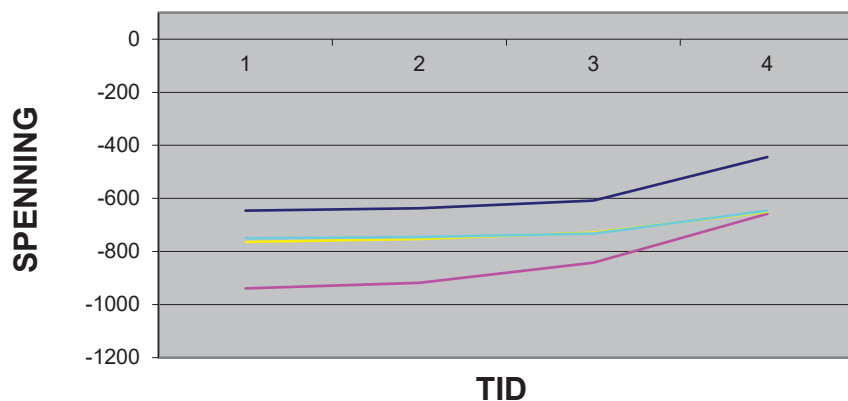
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE :	16	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei
		SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	2,21 1,58	- 1,68
		- 1,68

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	2A	Ø	-646	-637	-9	-619	-608	-555	-444			
	2A	V	-939	-918	-21	-860	-842	-774	-658			
	1	Ø	-764	-753	-11	-738	-729	-693	-650			
	1	V	-750	-746	-4	-737	-732	-715	-646			

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

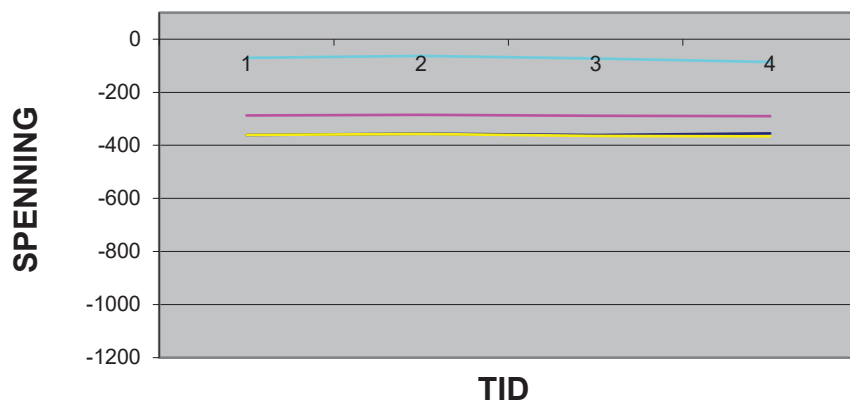
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018				
		UTFØRT T.FJELLHEIM				
PILAR I AKSE : 17						
VÆRFORHOLD VED MÅLING		TEMP 10 °c				
		NEDBØR Nei				
		VIND Nei				
		SOL Nei				
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1		SONE 2A		SONE 2B	
	A	V	A	V	A	V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE		-	-	-	-	-

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
		Ø	-361	-356	-5	-362	-361	-356	-355		
		V	-287	-285	-2	-289	-289	-289	-290		
		Ø	-361	-357	-4	-363	-364	-365	-366		
		V	-70	-63	-7	-72	-73	-75	-86		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

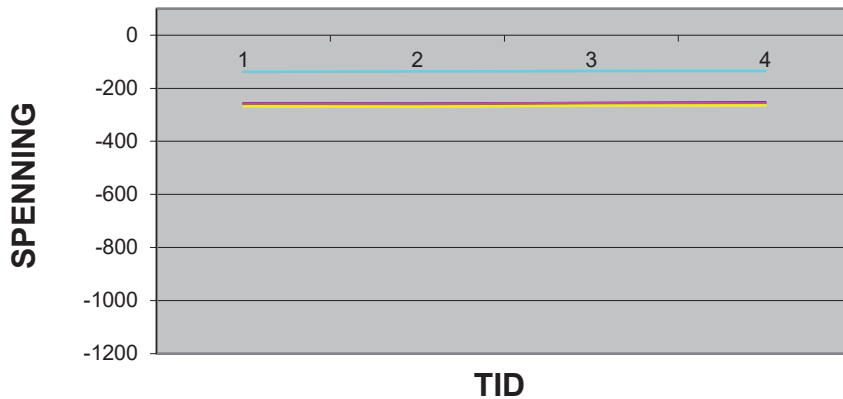
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE :	18	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei
		SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	0,64 1,61	- 1,54
		- 1,49

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID						
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T			
	1	Ø	-257	-258	1	-255	-256	-254	-253			
	2A	Ø	-258	-259	1	-256	-256	-255	-255			
	2B	V	-268	-270	2	-267	-266	-266	-265			
	1	Ø	-138	-137	-1	-136	-136	-135	-135			

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

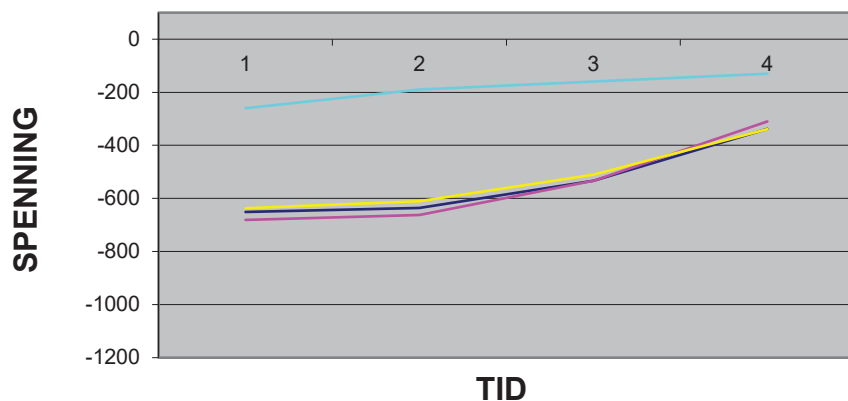
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE : 19		
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	NEDBØR	VIND
10 °c	Nei	Nei
SOL		
Nei		
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	1,98 1,78	- 1,78
		- 1,84

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER								
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		DEPOL. TID					
				OFF	DROP	10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-651	-636	-15	-560	-533	-446	-338		
	2B	V	-681	-662	-19	-567	-533	-426	-310		
	1	V	-637	-611	-26	-540	-511	-419	-339		
	1	Ø	-260	-190	-70	-170	-160	-120	-130		

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

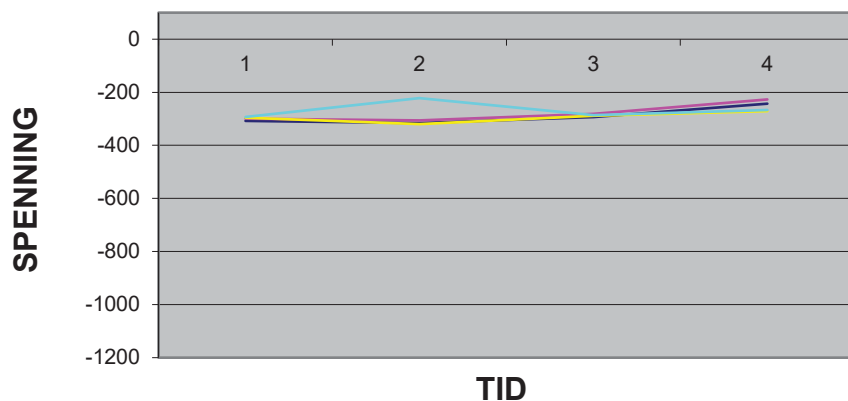
MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

SORTLANDS BRUA

MÅLESKJEMA I DRIFTSFASE		DATO 18.06.2018
		UTFØRT T.FJELLHEIM
PILAR I AKSE :	20	
VÆRFORHOLD VED MÅLING		
TEMP	10 °c	NEDBØR Nei
		VIND Nei
		SOL Nei
DRIFTSTRØM OG DRIFTSPENNING	SONE 1	SONE 2A
	A V	A V
		SONE 2B
		A V
INGEN KATODISK BESKYTTELSE	- -	0,87 3,30
		- 3,30

REF. ELEKTRODE			POTENSIALVERDIER									
NR.	SONE	PLASS	ON	INST		IR	DEPOL. TID					
				OFF	DROP		10m	30m	4T	24T		
	2A	Ø	-308	-316	8	-297	-293	-271	-243			
	2B	V	-300	-306	6	-286	-281	-257	-227			
	1	Ø	-296	-320	24	-290	-289	-279	-271			
	1	V	-293	-222	-71	-288	-286	-277	-267			

4 TIMERS DEPOLARISERING



FORKLARING TIL MÅLING

- ON : Potensiale med strømmen tilsluttet.
- INST.OFF : Potensialet direkte etter at strømmen er slått av.
- IR DROP : Differansen mellom ON og INST. OFF
- DEPOL : Stigning i spenning inntil 4 timer

ELEKTRO INSTALLASJON AS

MARKVEIEN 21 , BOKS 371, 8400 SORTLAND Tlf 76 11 06 20

Appendix E Test report, μ -XRF investigations
of concrete from Sortland Bridge, Norway
(Tobias Danner 2018. SINTEF)

Test report

μ-XRF investigations of concrete cores from Sortland Bridge, Norway

Project manager/author(s):

Tobias Danner

Date:

2018-12-03

Client(s):NTNU
Department of structural engineering
Richard Birkelandsvei 1a
7491 Trondheim**Client's reference:**

Mette Geiker

Project No:

102017920-6

Number of pages/Appendices:

39/0

Abstract:

SINTEF received 8 cut concrete cores in November 2018 with a diameter of 75 mm and different length. Some of the concrete cores were broken at different depth from the concrete surface. The concrete cores were marked M1-M8. μ-XRF elemental mapping was performed on one half of each concrete core.

Sampling of the specimens was done without SINTEF's contribution.

Equipment ID:	μ-XRF
----------------------	-------

Project manager/author:

Tobias Danner

*Signature***Checked by:**

Ola Skjøelsvold

*Signature***Report Nr:**

17920-6

Classification:

Restricted

1 General

SINTEF received 8 drilled concrete cores in November 2018 with a diameter of 75 mm and different length. Some of the concrete cores were broken at different depth from the concrete surface. The concrete cores were marked M1-M8. μ -XRF elemental mapping was performed on one half of each concrete core.

Sampling of the specimens was done without SINTEF's contribution.

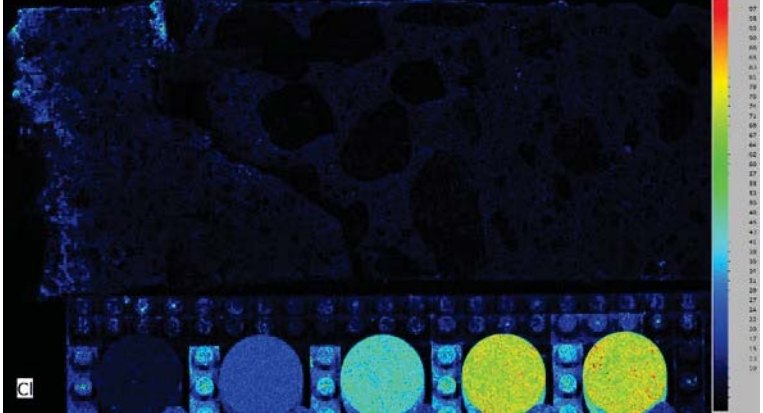
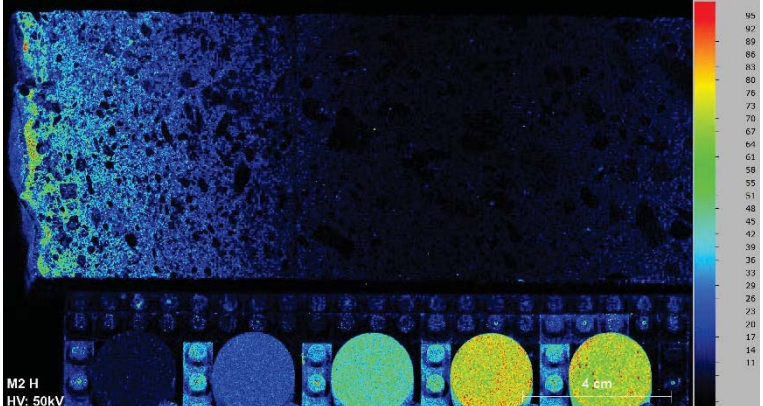
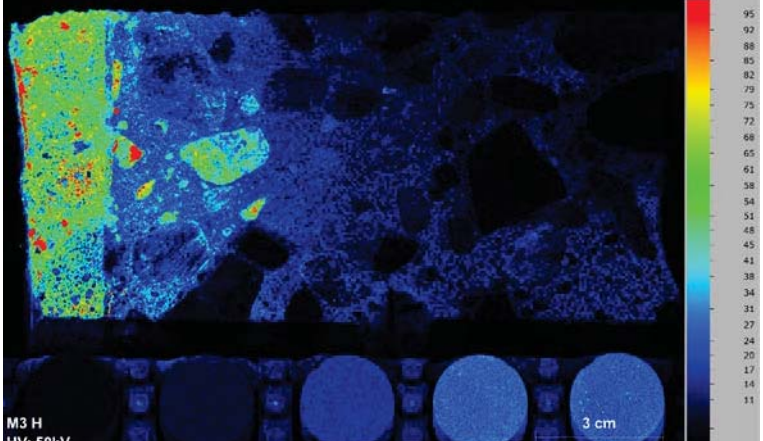
2 Testing

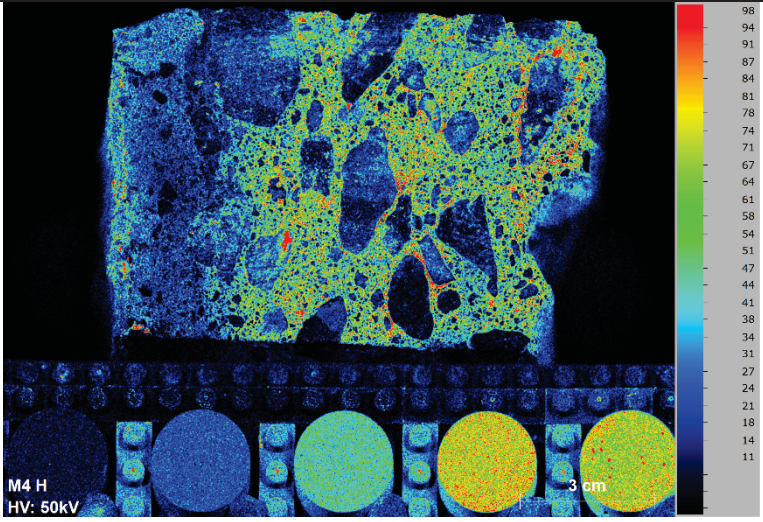
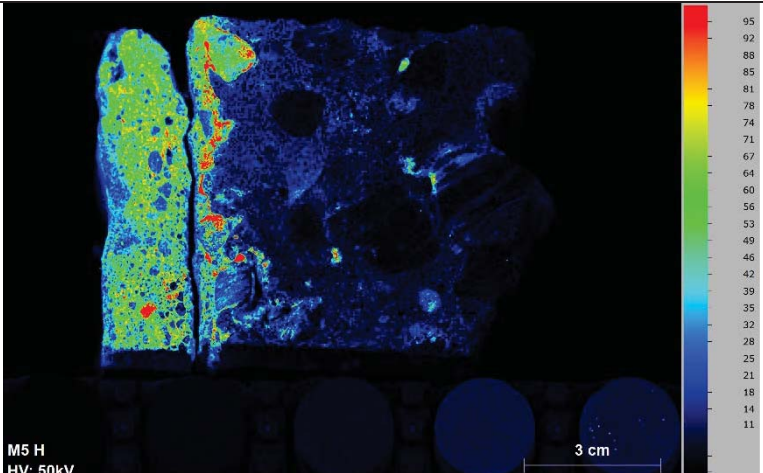
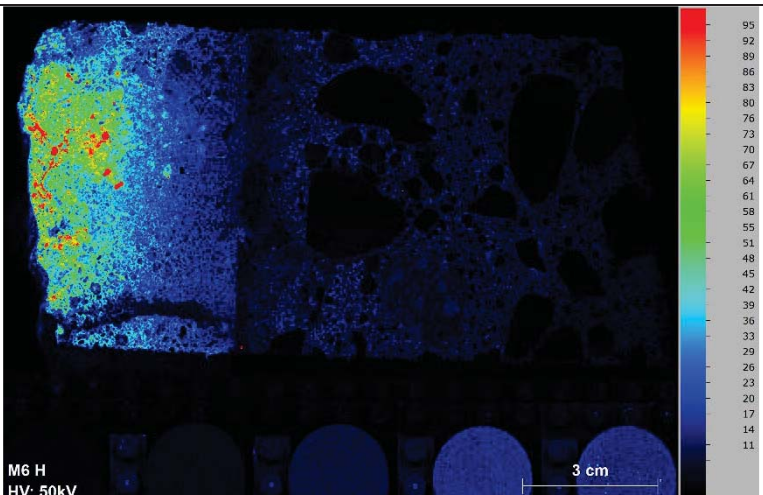
μ -XRF elemental mapping was performed on the flat cut surface of one half of each concrete core. In most cases the right side towards the top of the structure was used. Except for core M1 and M8, where the left side had to be used. These cores were broken, and the left side was more suitable for scanning.

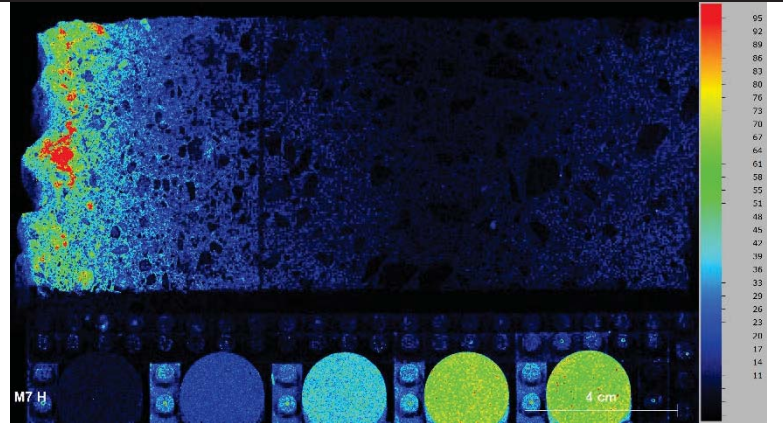
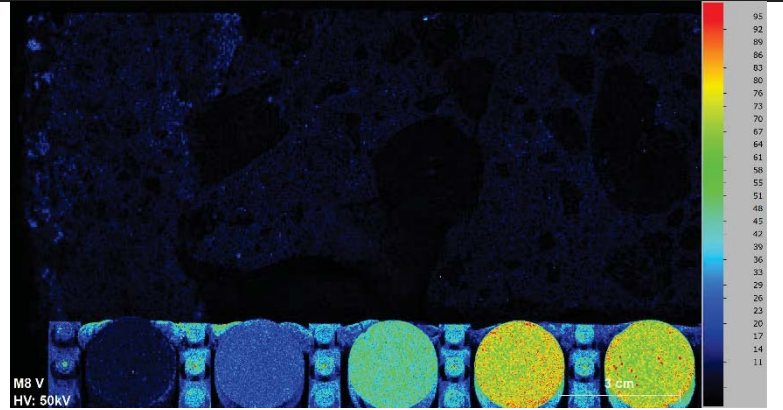
μ -XRF elemental mapping was performed with a M4 Tornado from Bruker. Measurements were acquired with 50 kV, 600 μ A and 2 SDD-EDS detectors for fast data collection. A distance of 80 μ m between each collected point was chosen with an acquisition time of 2.5 ms/pixel. All measurements were performed under vacuum at 20 mbar. All samples were measured with calibration samples aligned next to the concrete core. The calibration samples are cement paste samples with known chloride content. The chloride content of the calibration samples increases from left to the right with 0.0, 0.4, 1.2, 1.8 and 3.0 % chloride by weight of cement. In this way the chloride content in the cement paste of the concrete samples can be estimated.

3 Results


3.1 Chloride ingress

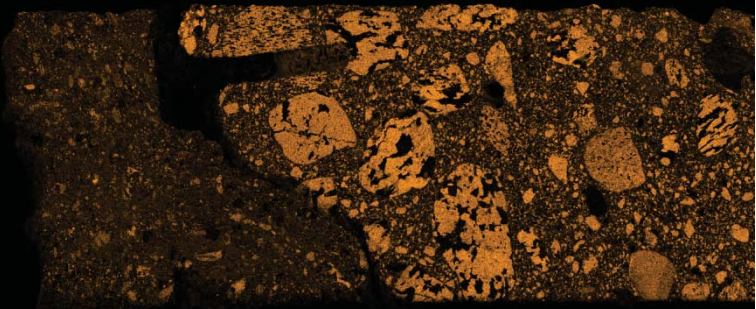

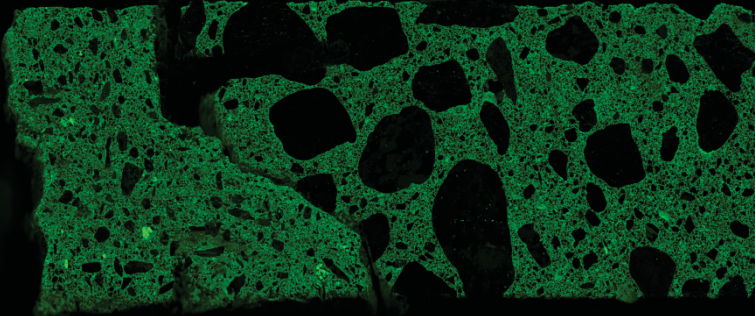

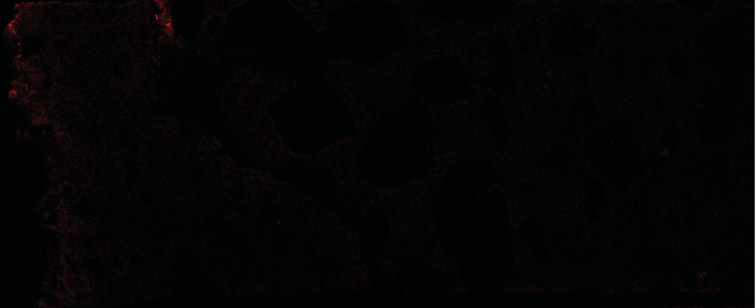
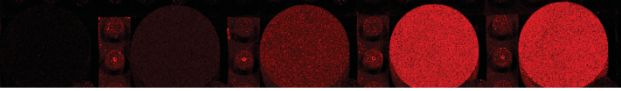
Core	Comment	Chloride ingress, normalized intensities
M1_V	<p>Broken at depth of a spacer.</p> <p>Very little chloride ingress in outermost 3 mm</p>	
M2_H	<p>Some chloride ingress in the first 2 cm of the mortar on top of the concrete.</p>	
M3_H	<p>Apparently high chloride ingress in the mortar on top of the concrete.</p> <p>Chloride contamination on aggregates, maybe from cutting process</p>	

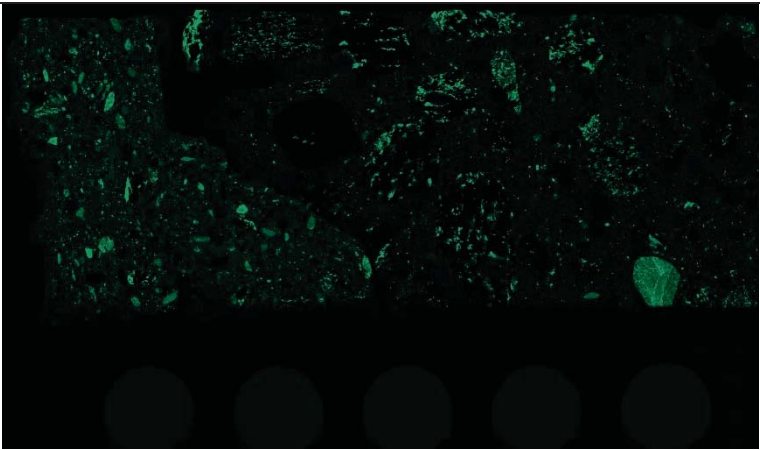
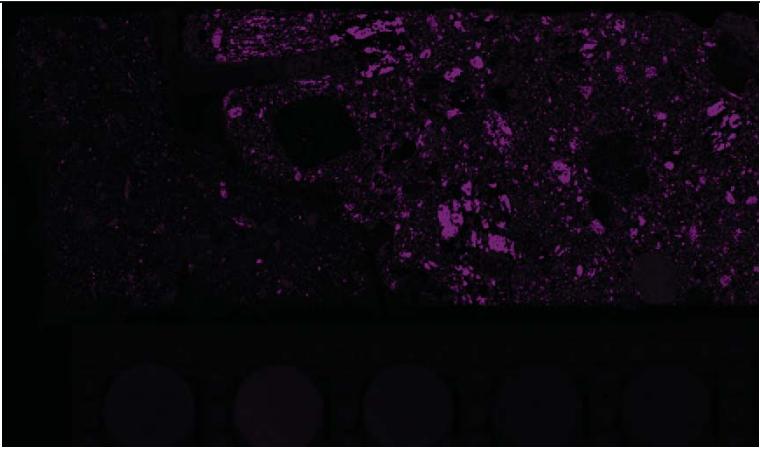
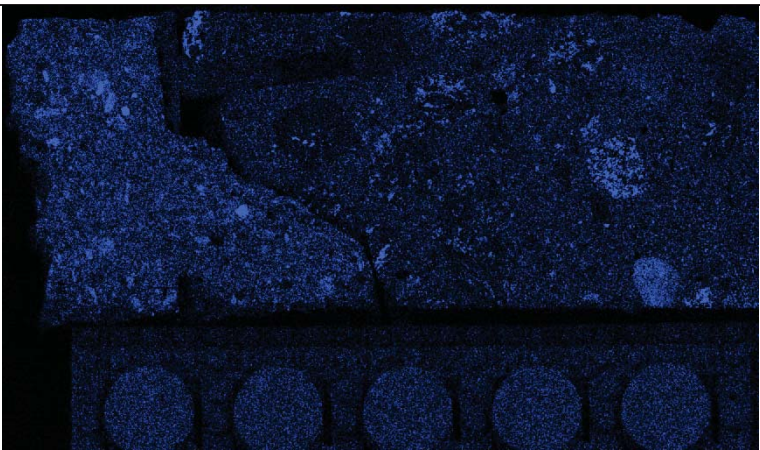
<p>M4_H</p>	<p>High chloride levels in the concrete underlying the mortar</p>	
<p>M5_H</p>	<p>Broken at the mortar-concrete interface. High chloride ingress in the mortar and first cm of the underlying concrete</p>	
<p>M6_H</p>	<p>Broken at the mortar-concrete interface. High chloride ingress in the centre of the mortar.</p>	

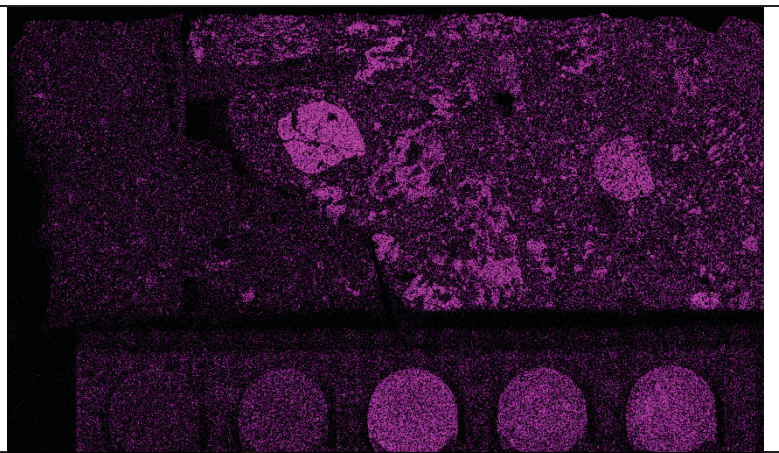
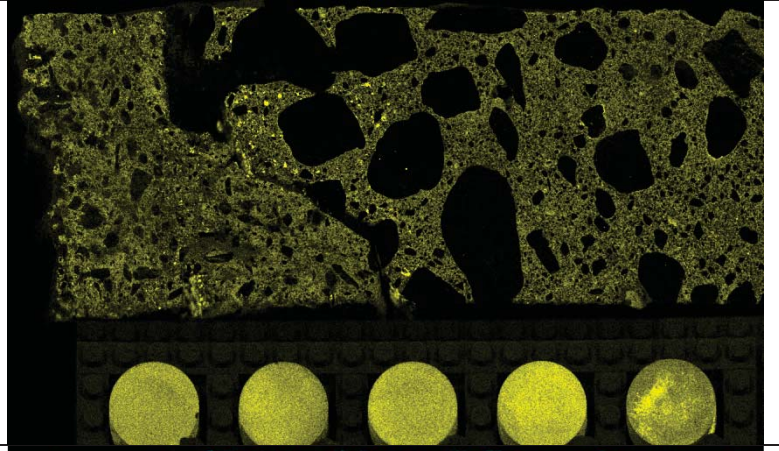
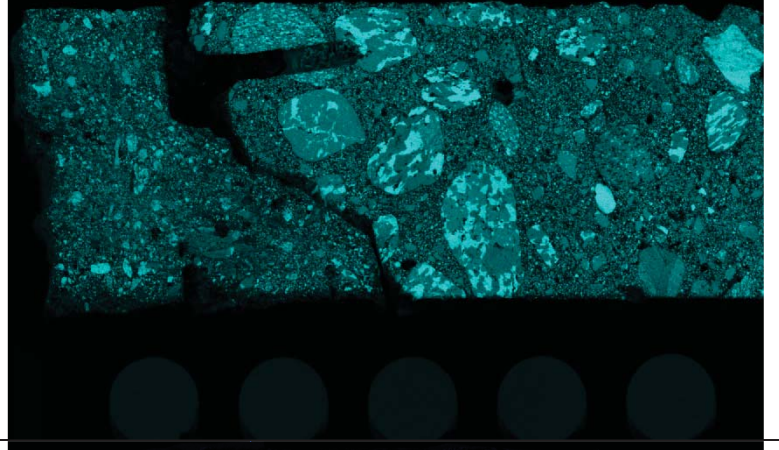

M7_H	High chloride ingress in the outermost 1 cm of the mortar overlying the concrete	
M8_V	Broken in several parts. Apparantly very low chloride ingress.	

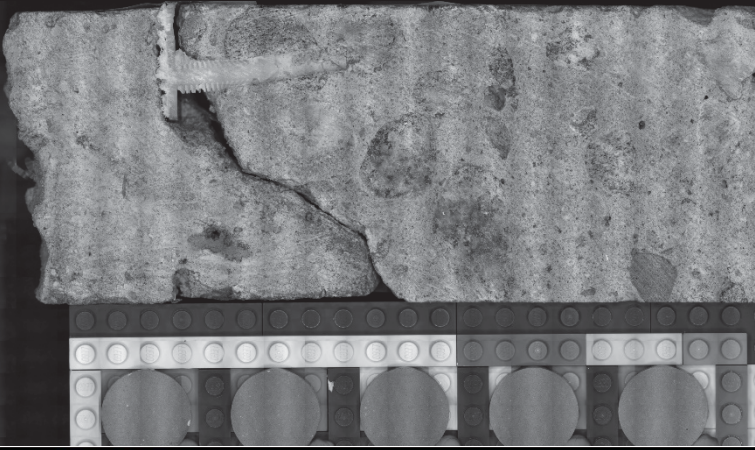
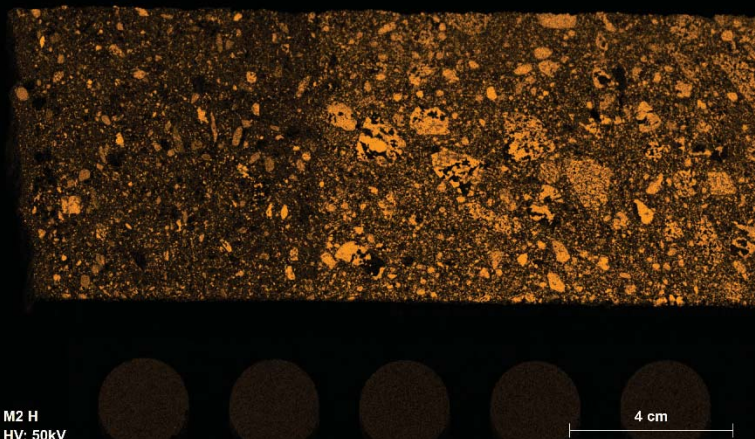
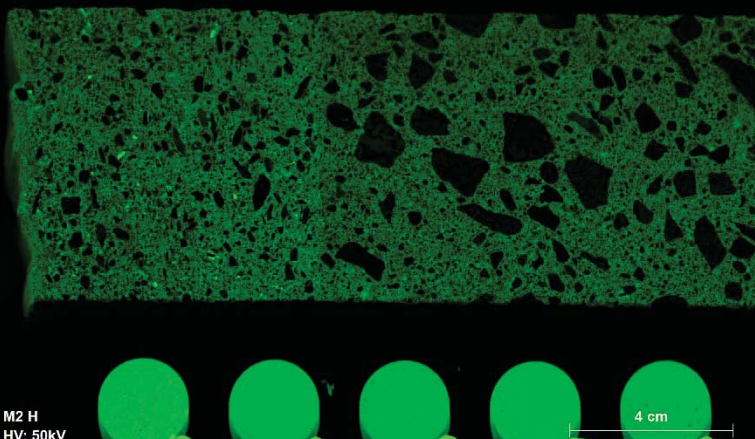
3.2 Elemental maps


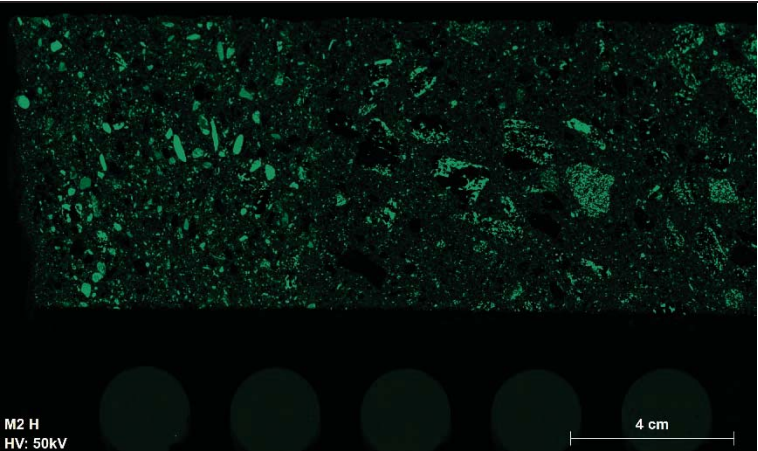
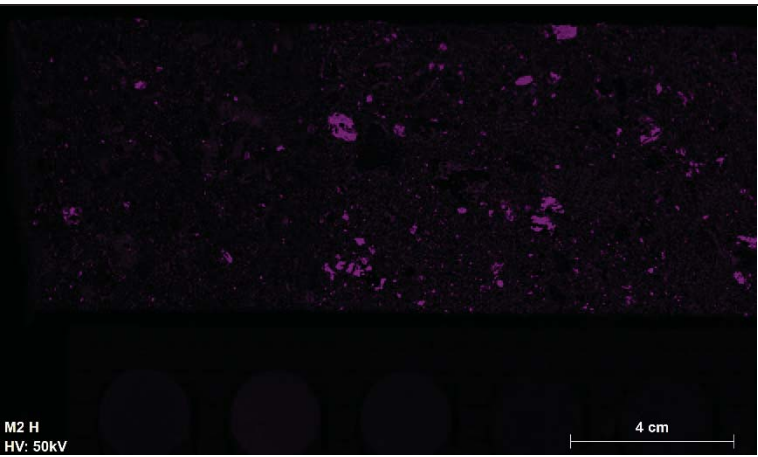
M1	
Element	Scanned Area
	

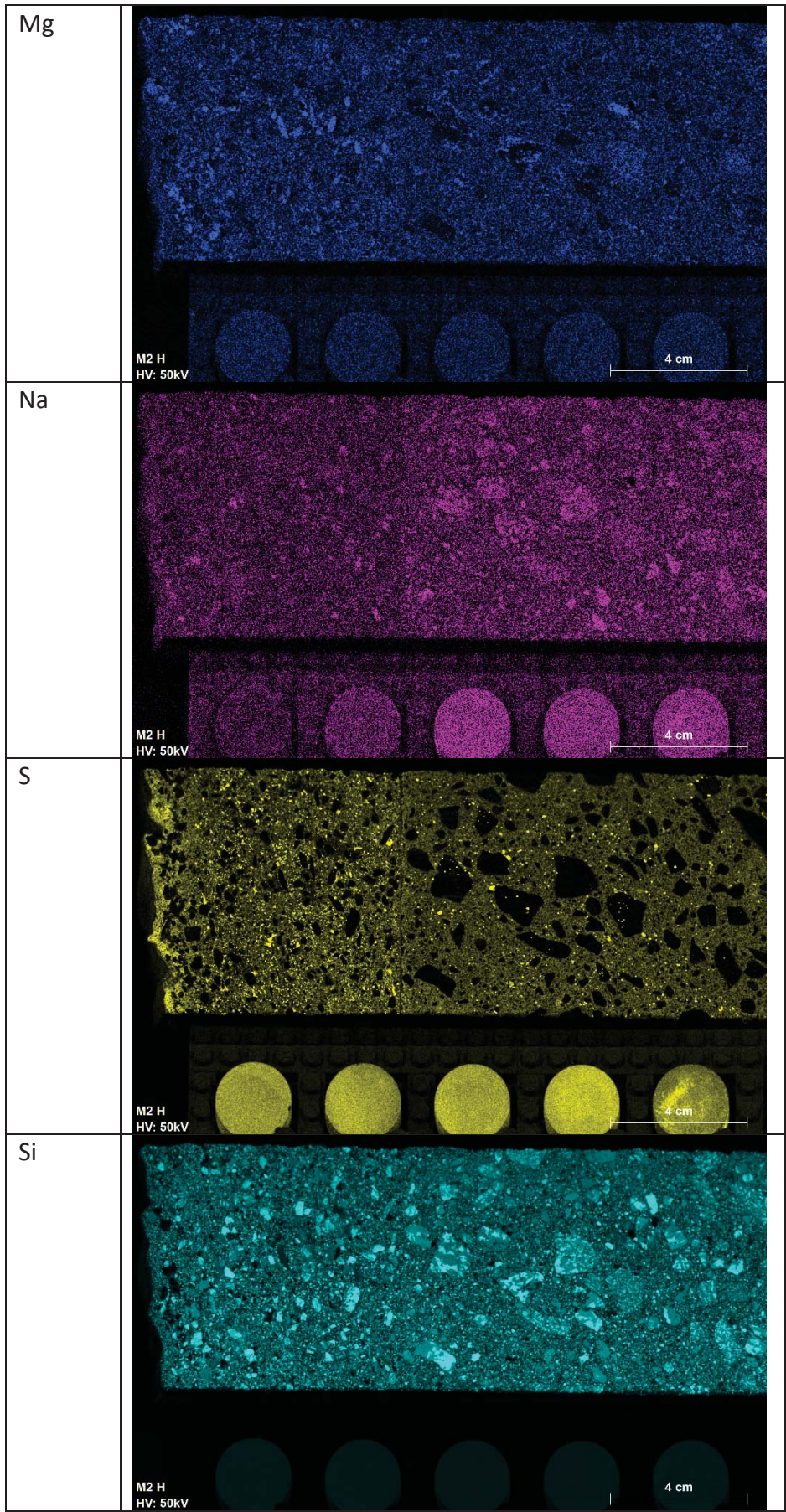
Al	 
Ca	 
Cl	 

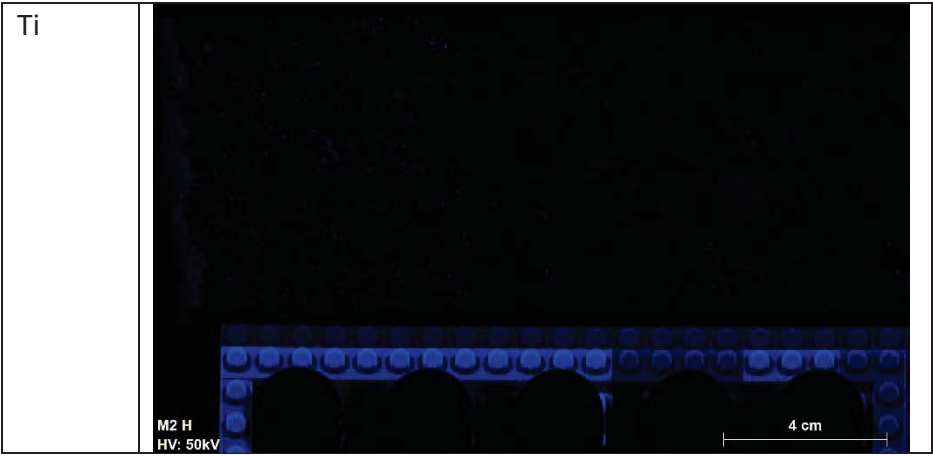
Fe	
K	
Mg	

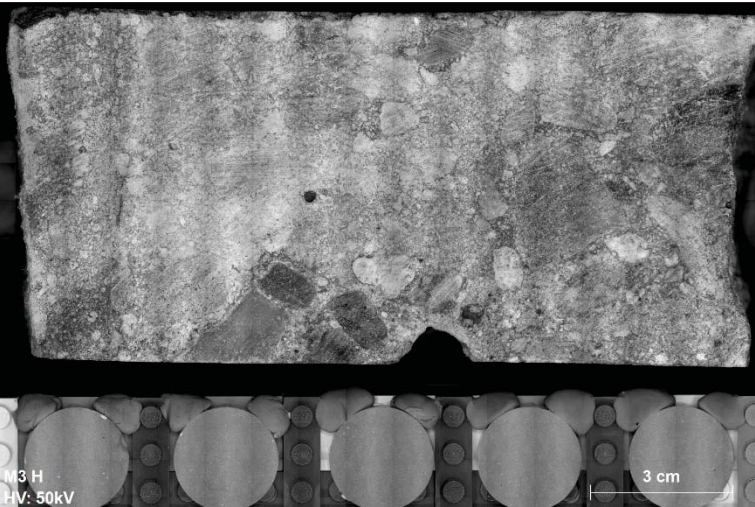
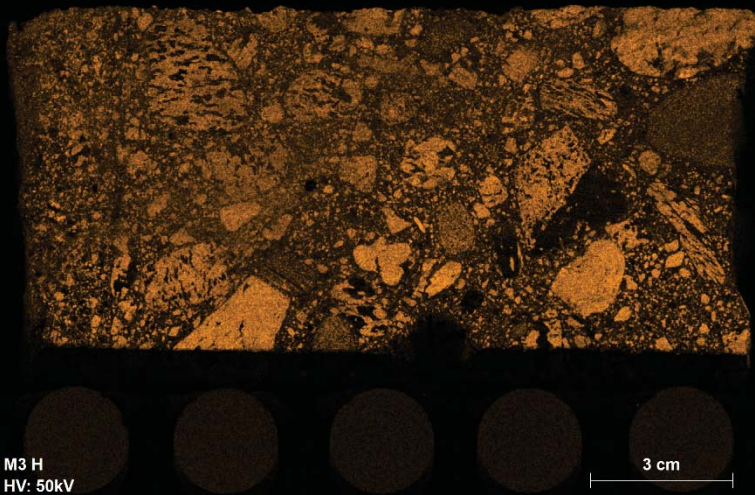
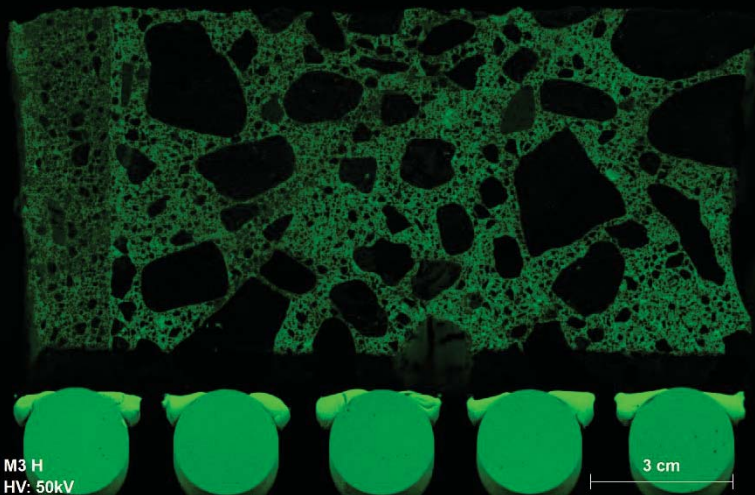
Na	
S	
Si	
Ti	

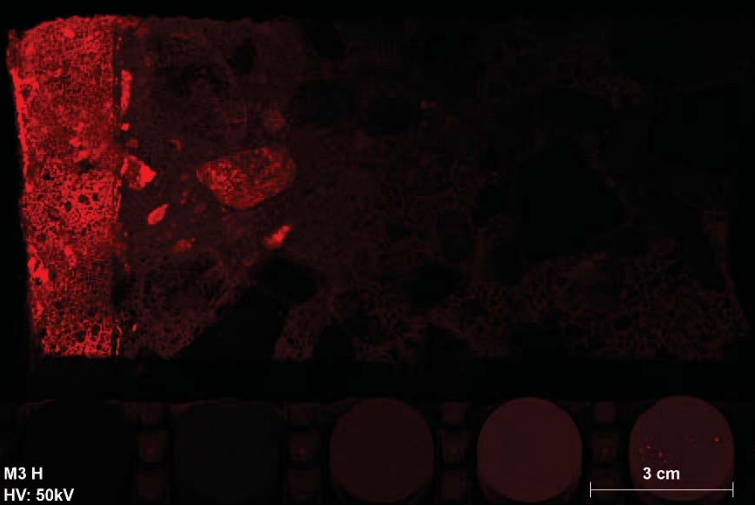
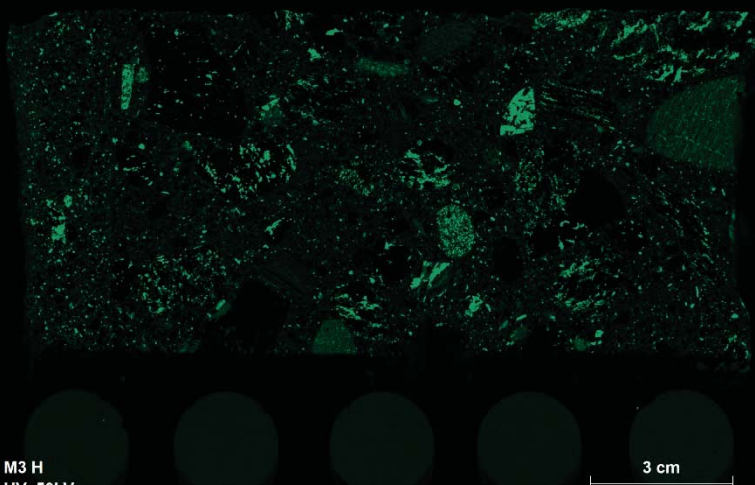
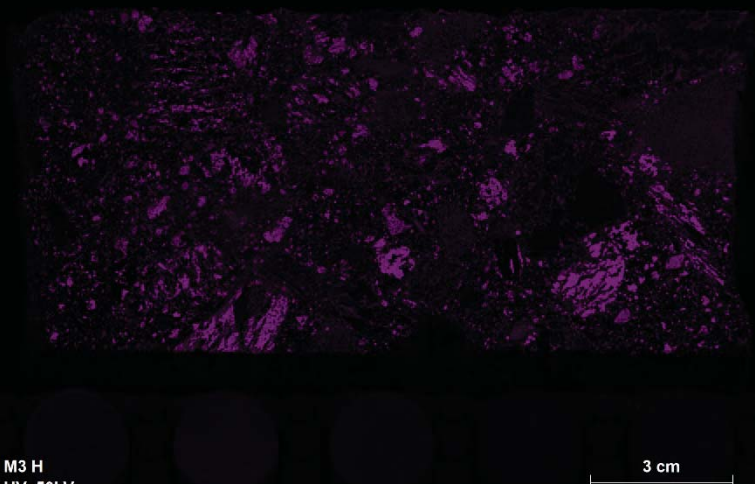
M2	
Element	Scanned Area
	
Al	 <p>M2 H HV: 50kV</p> <p>4 cm</p>
Ca	 <p>M2 H HV: 50kV</p> <p>4 cm</p>

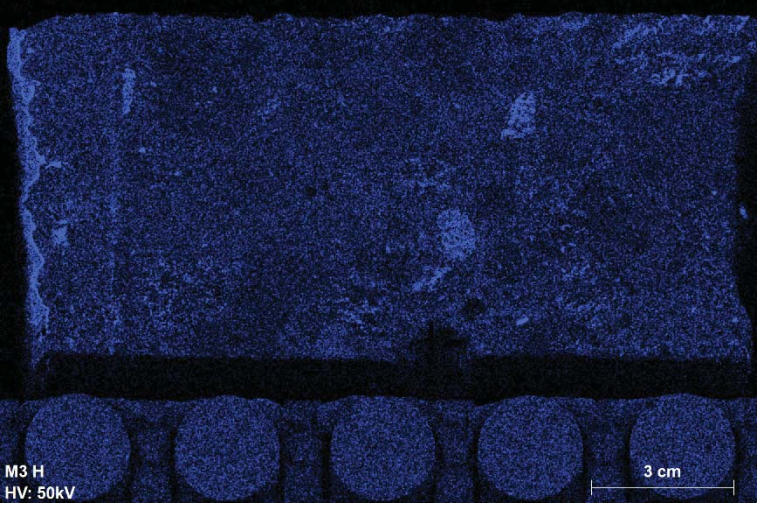
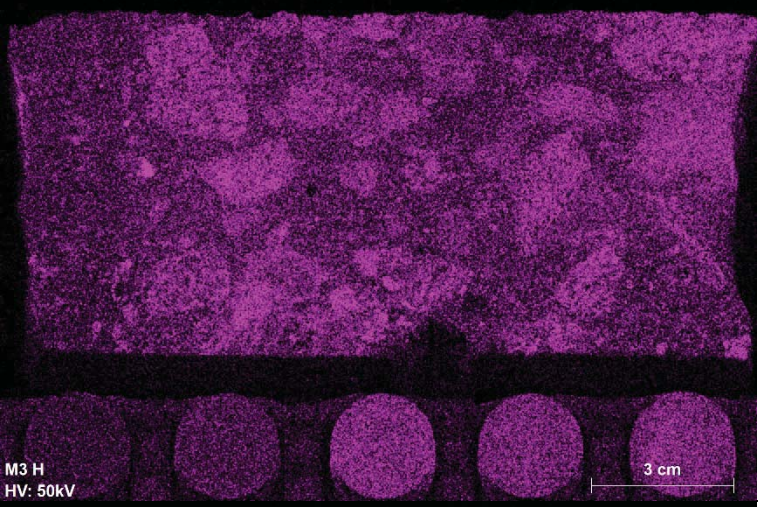
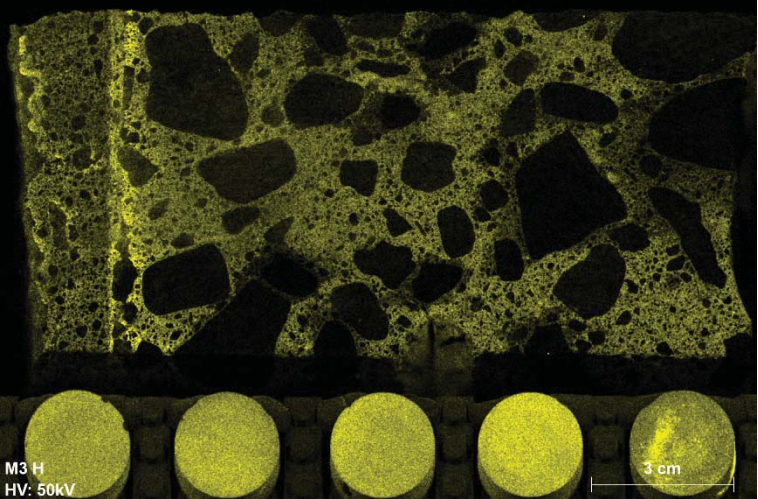
Cl	 <p>M2 H HV: 50kV</p> <p>4 cm</p>
Fe	 <p>M2 H HV: 50kV</p> <p>4 cm</p>
K	 <p>M2 H HV: 50kV</p> <p>4 cm</p>

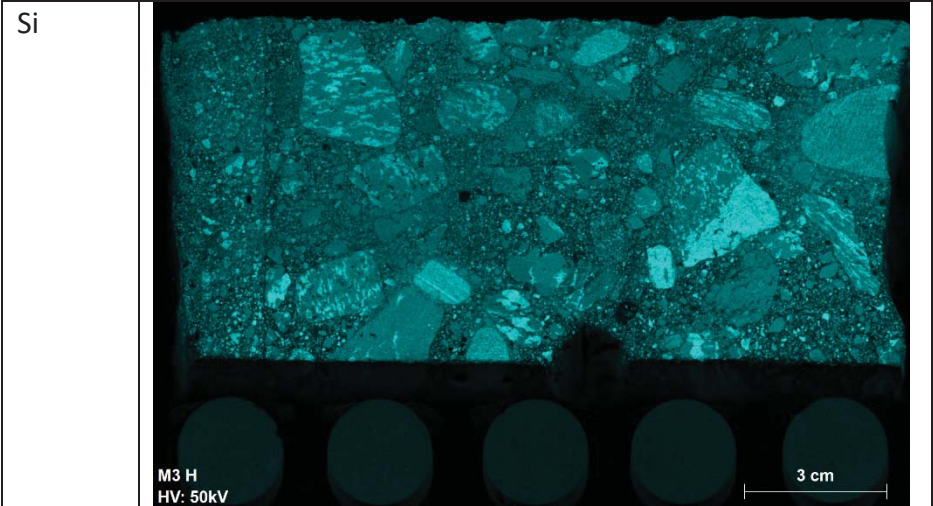


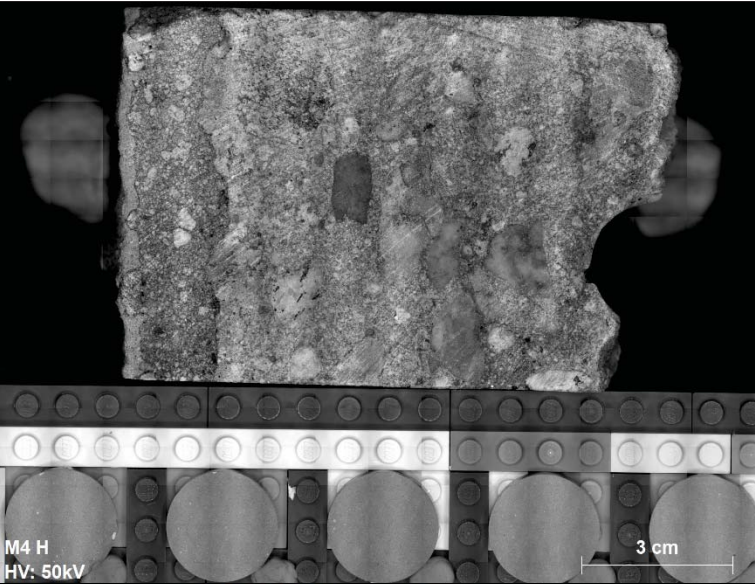
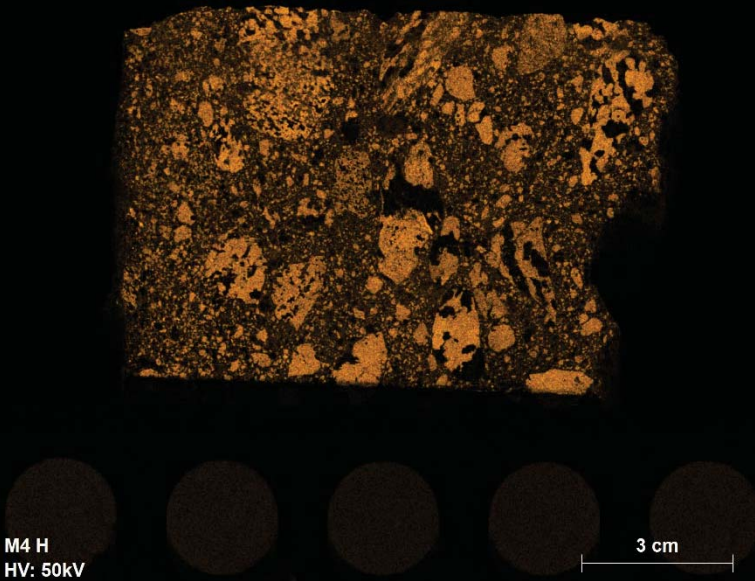


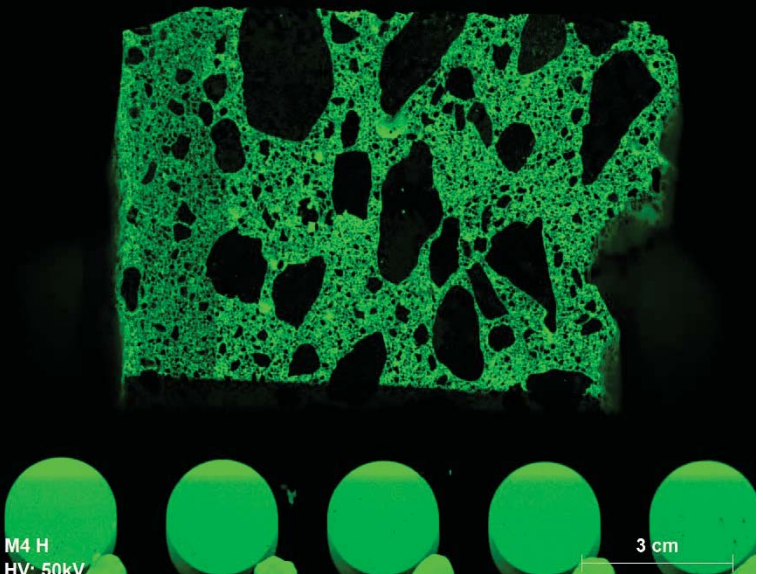
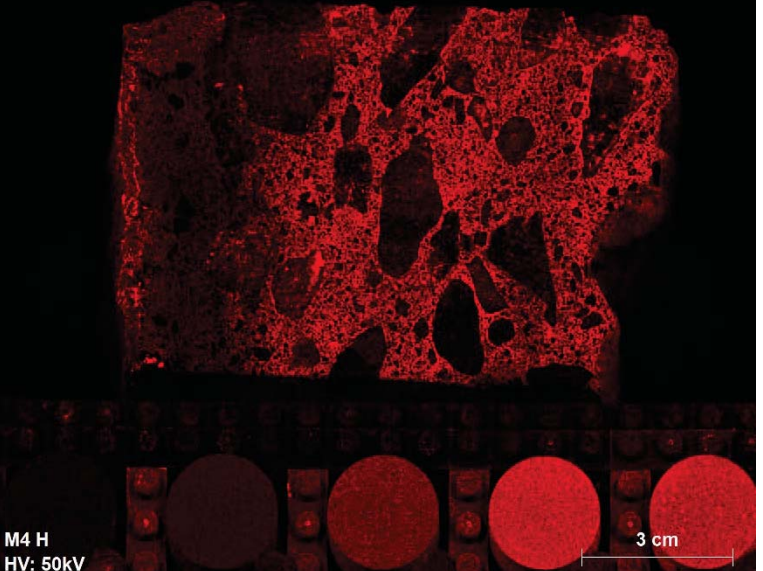
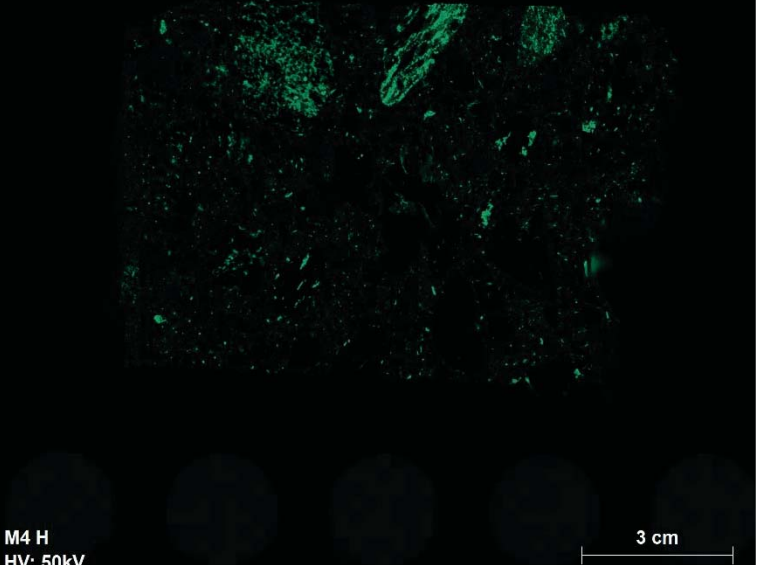
M3	
Element	Scanned Area
	
Al	
Ca	

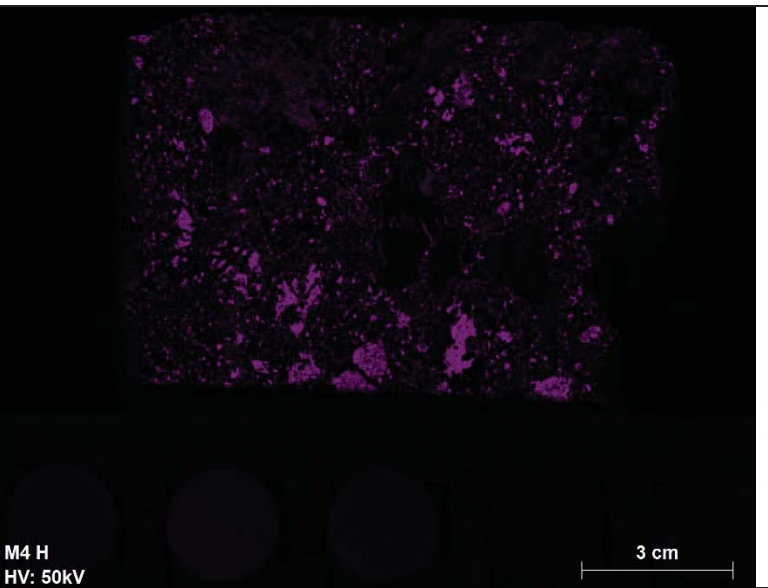
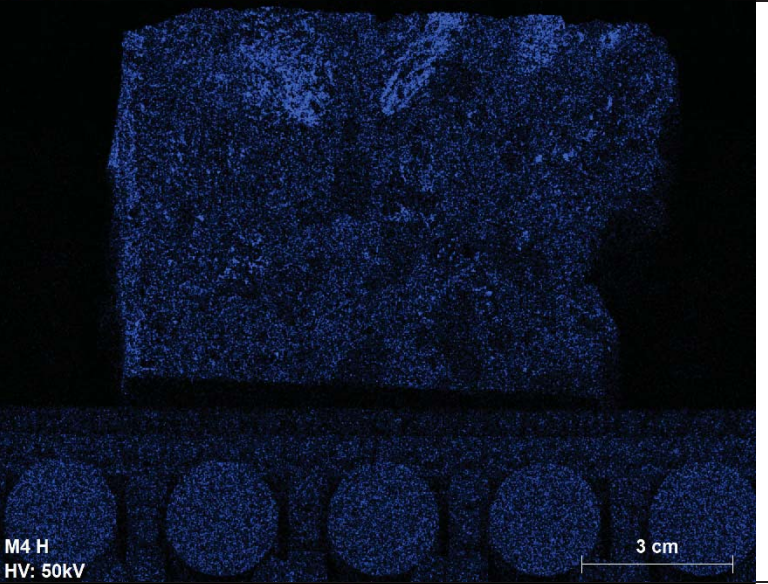
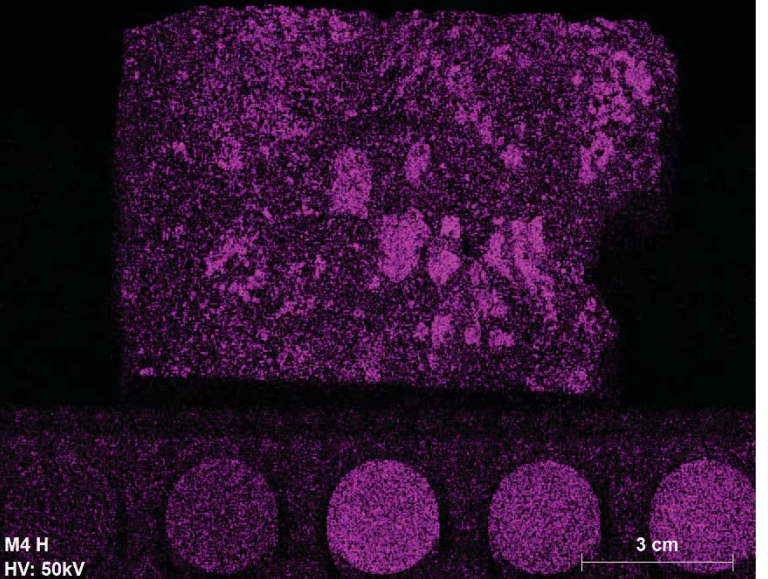
Cl	 <p>M3 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Fe	 <p>M3 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
K	 <p>M3 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>

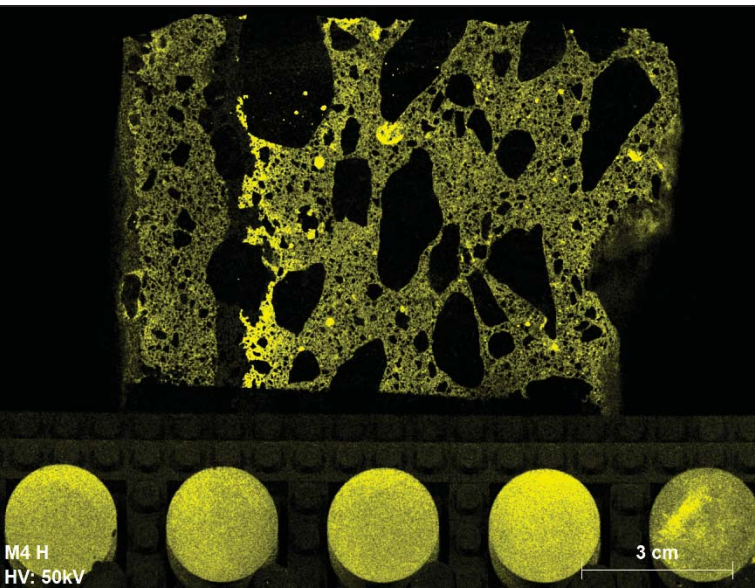
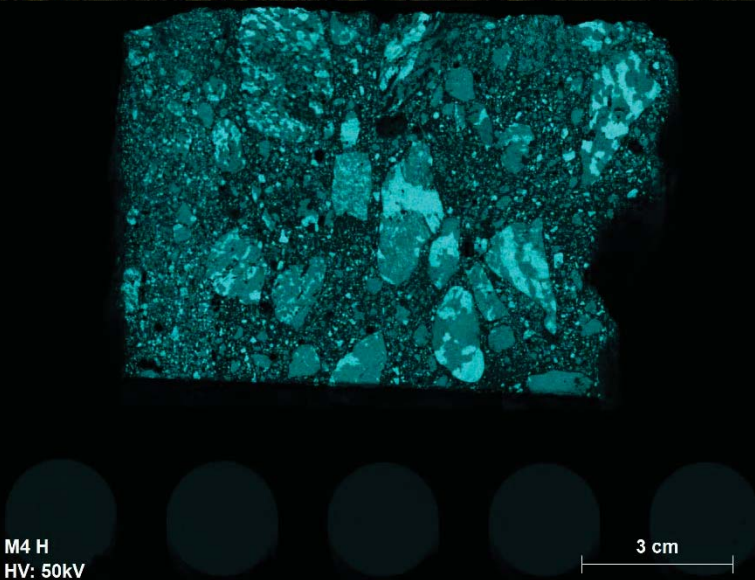
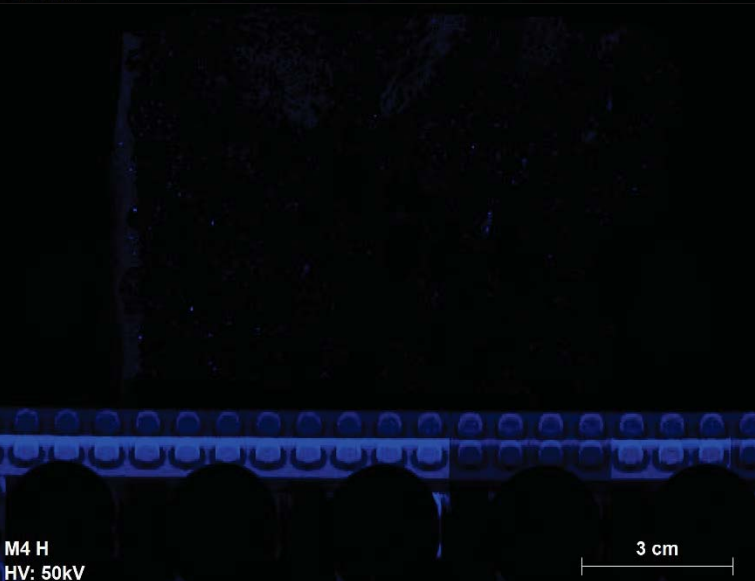
<p>Mg</p>	
<p>Na</p>	
<p>S</p>	

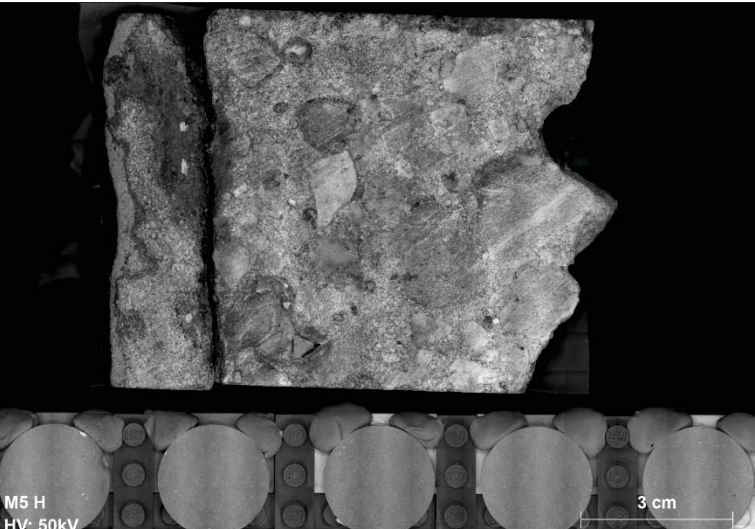
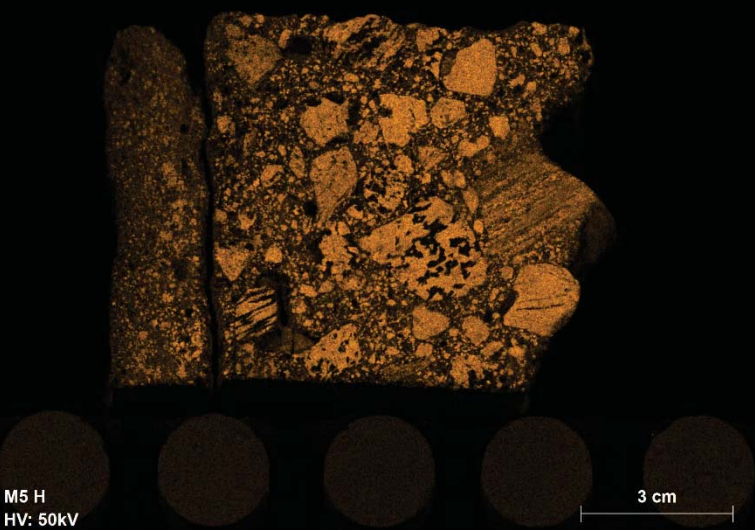
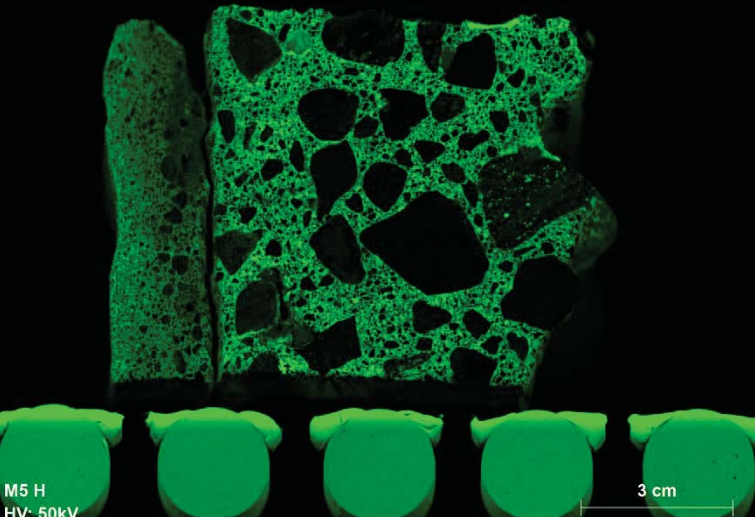


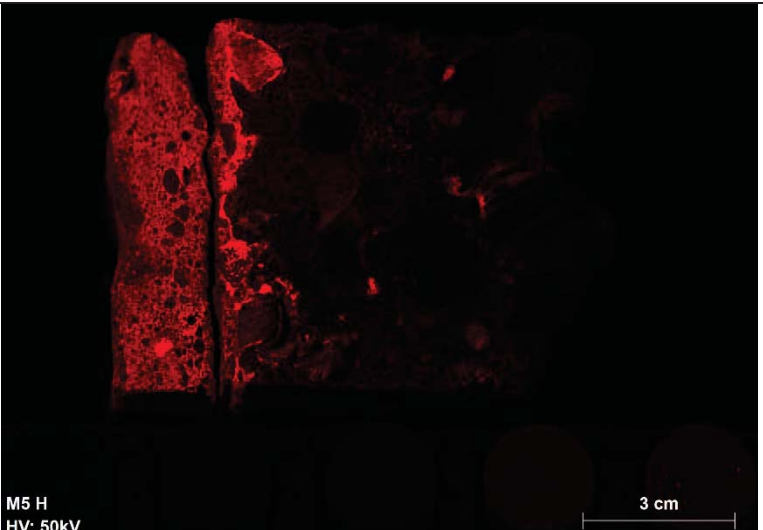
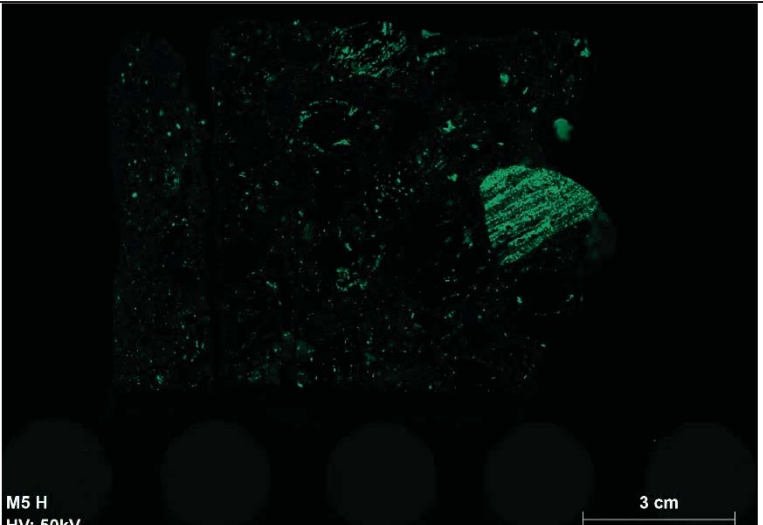
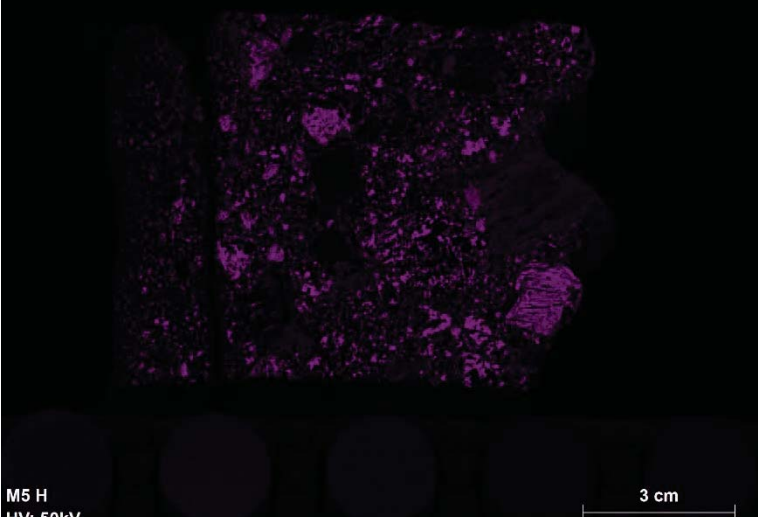
M4	
Element	Scanned Area
	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Al	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>

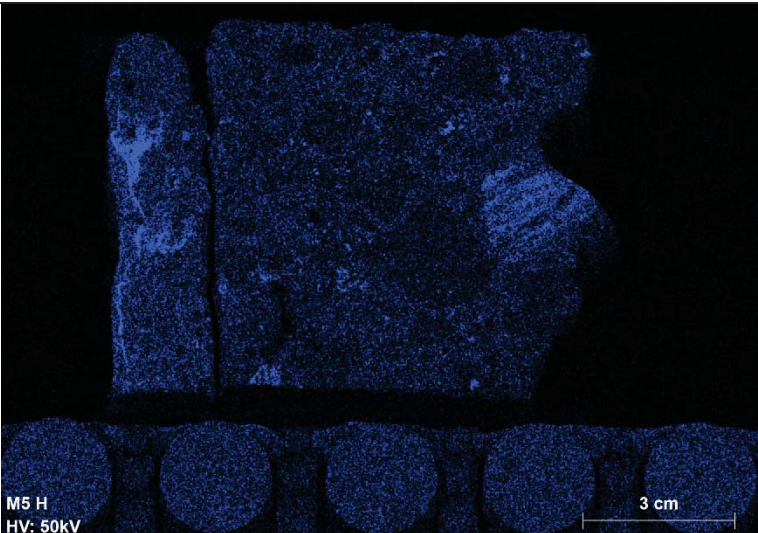
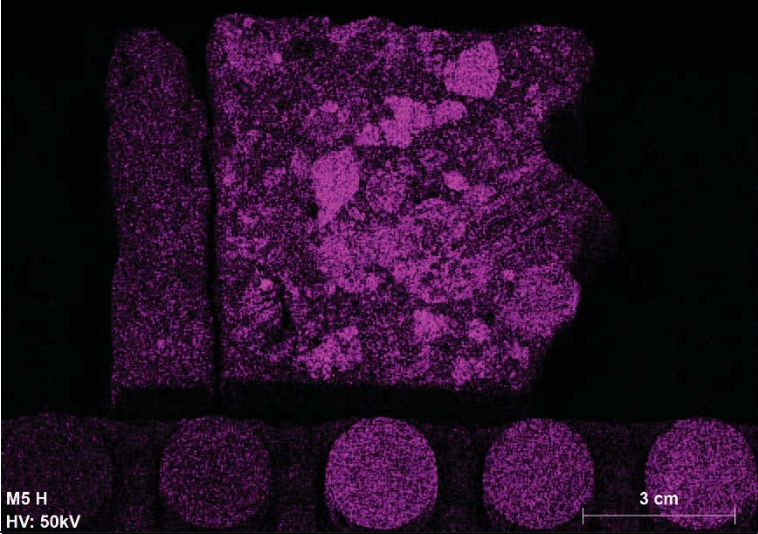
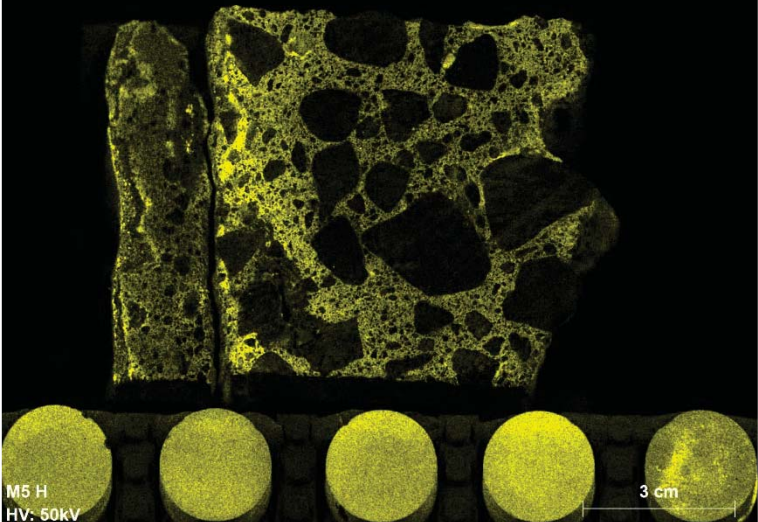
<p>Ca</p>	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
<p>Cl</p>	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
<p>Fe</p>	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>

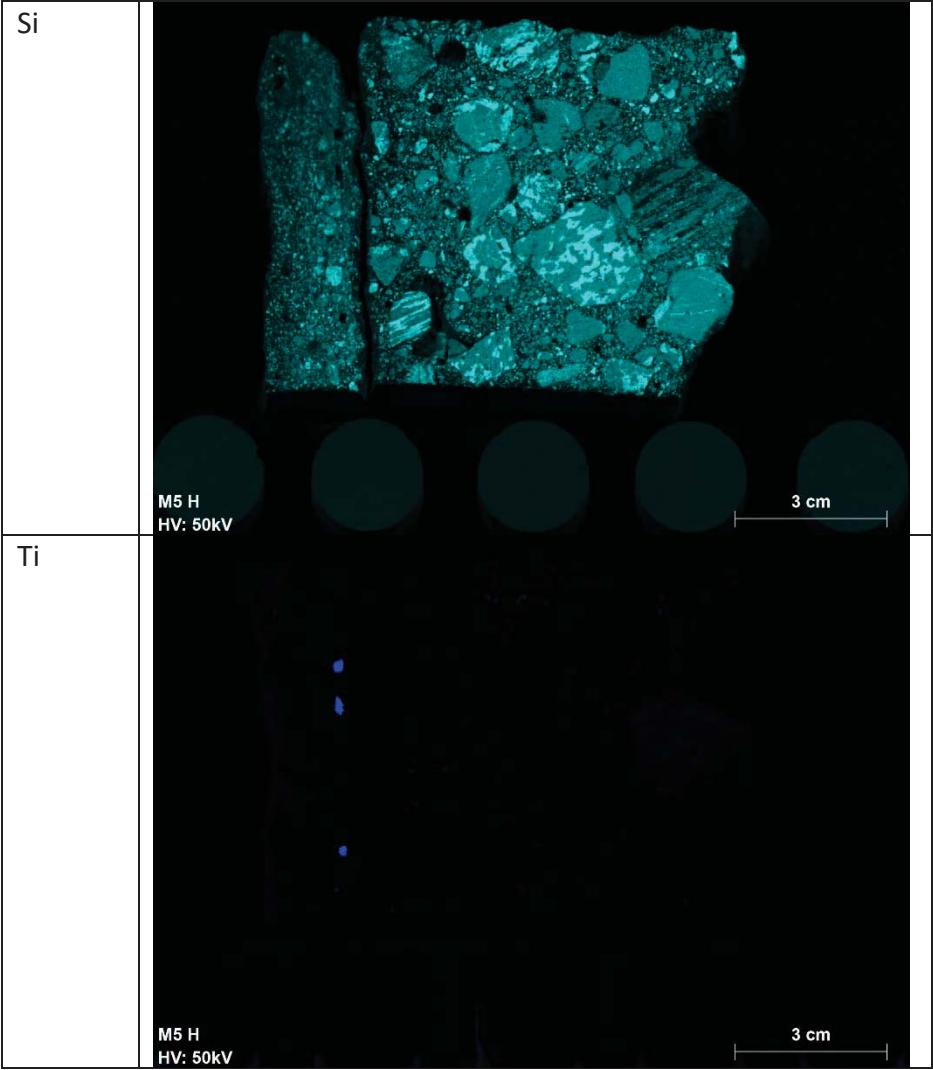
K	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Mg	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Na	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>


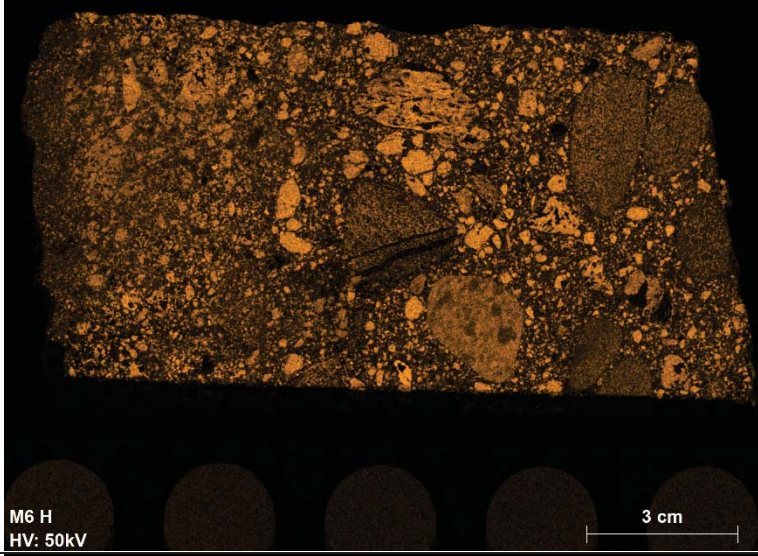
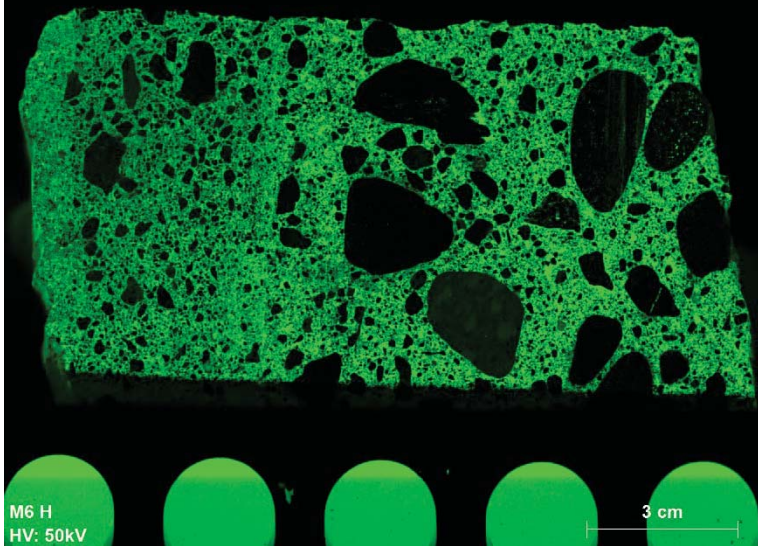
S	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Si	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Ti	 <p>M4 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>

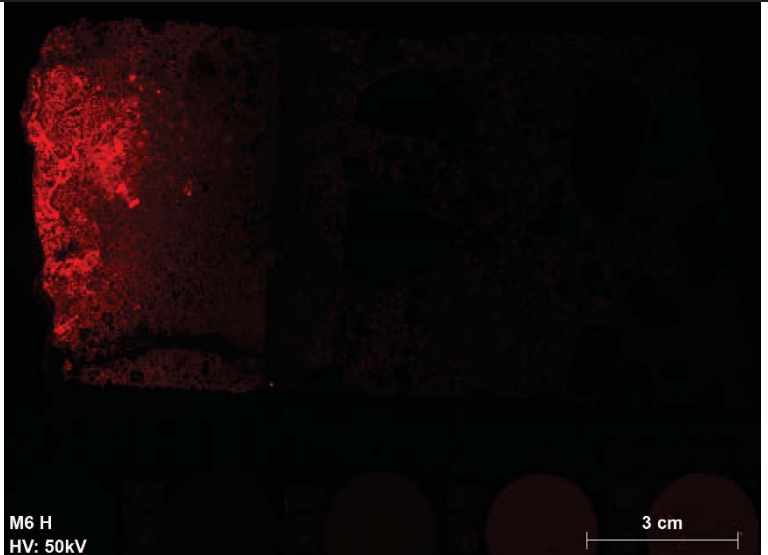
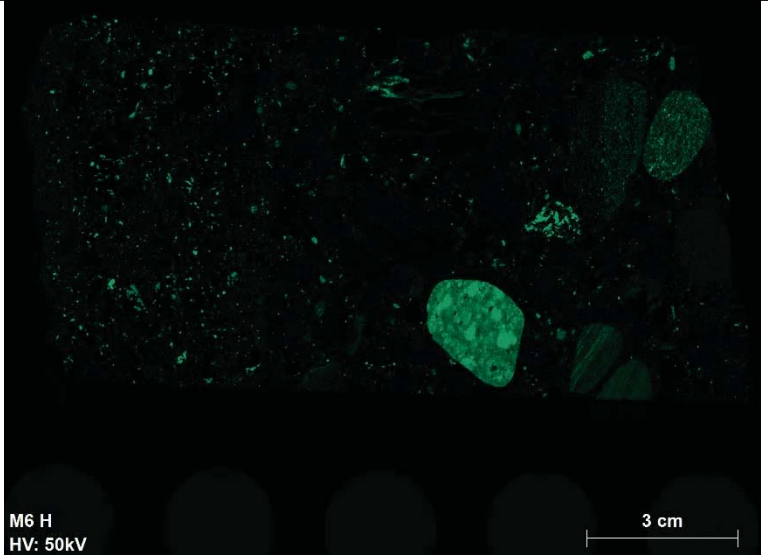
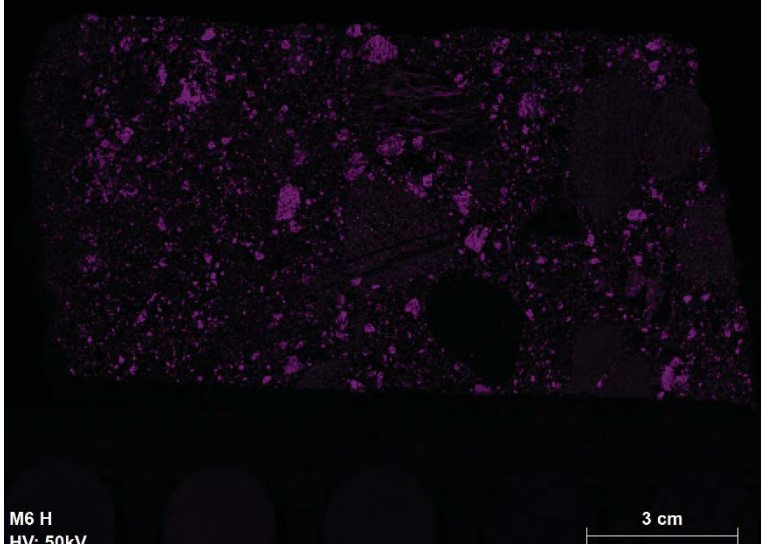
M5	
Element	Scanned Area
	
Al	
Ca	

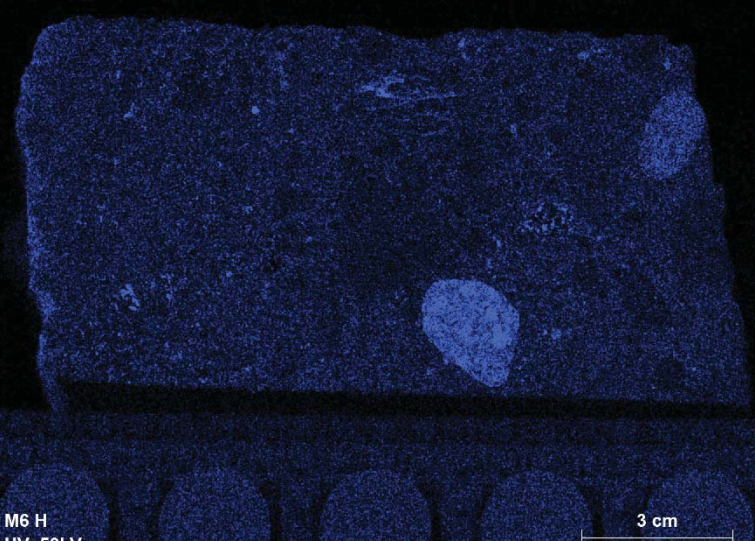
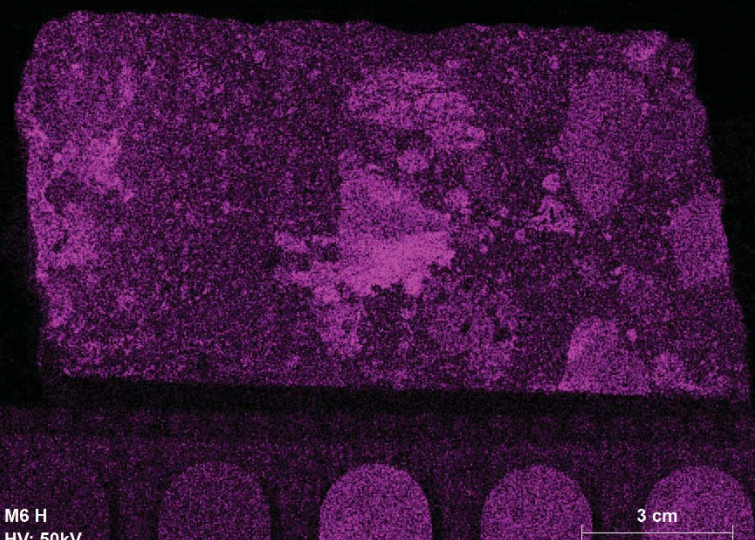
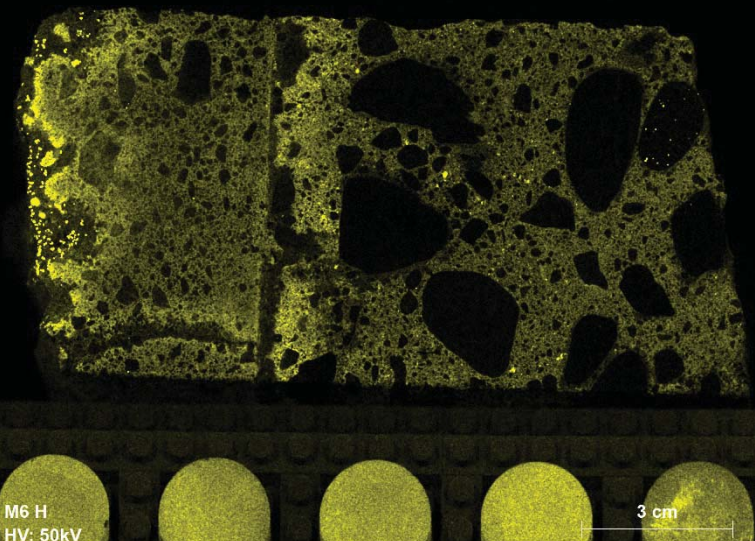
Cl	 <p>M5 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Fe	 <p>M5 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
K	 <p>M5 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>

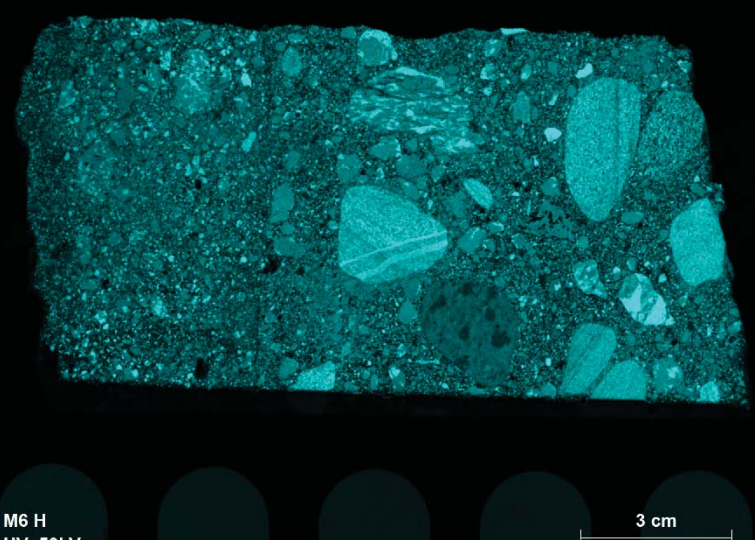
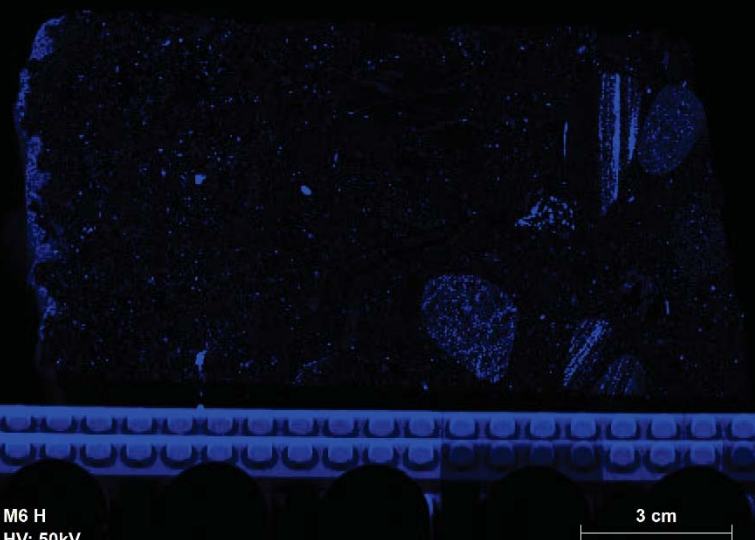
Mg	 <p>M5 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Na	 <p>M5 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
S	 <p>M5 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>

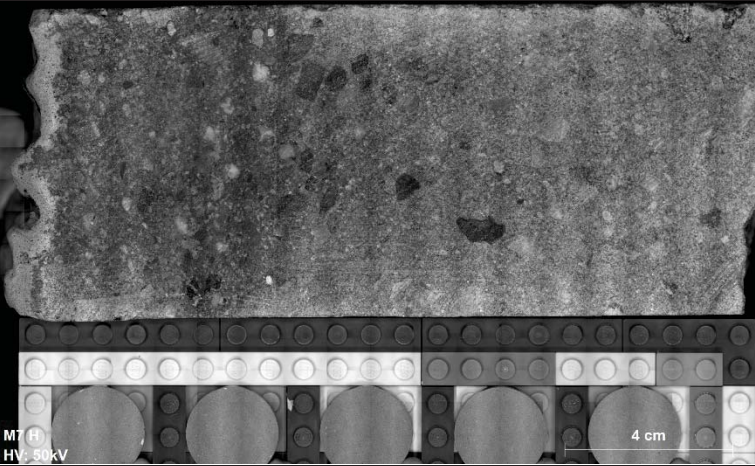
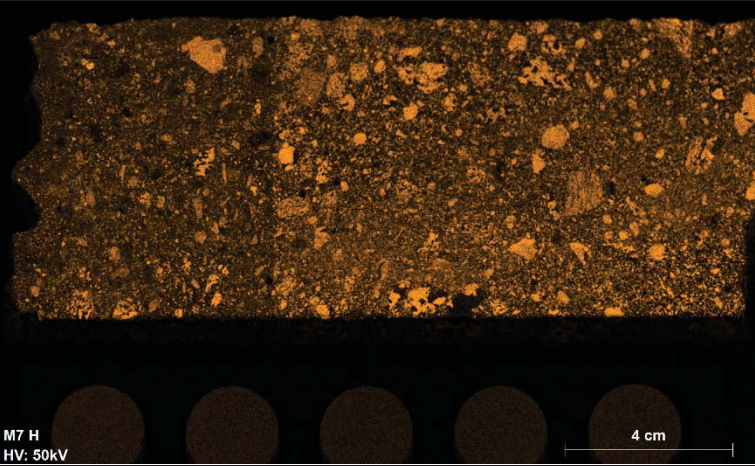
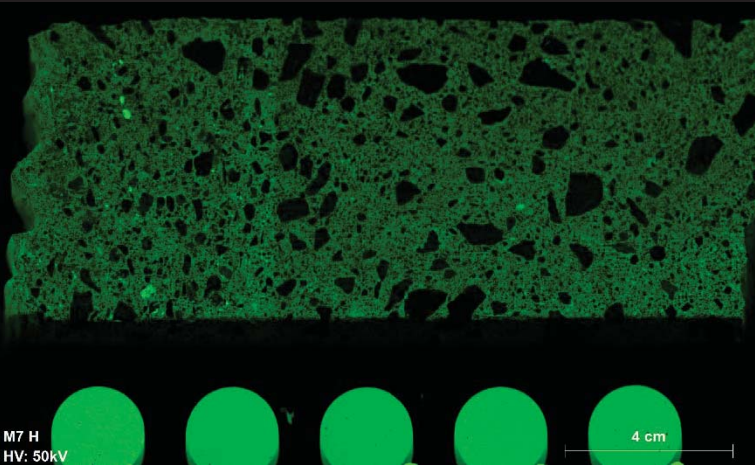



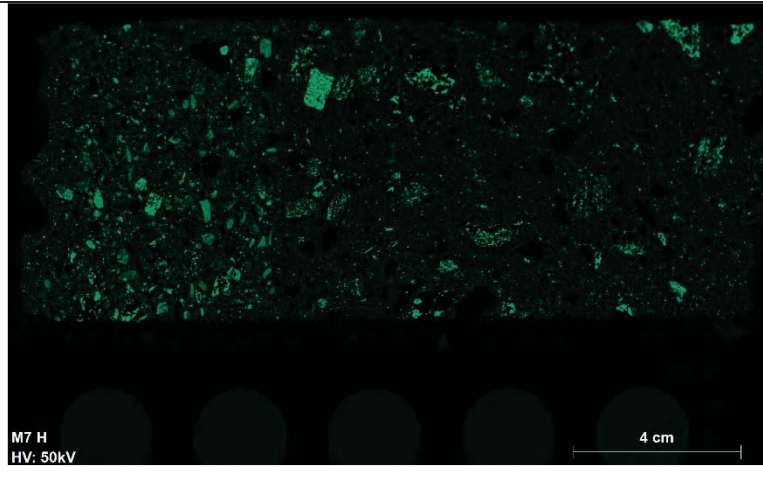
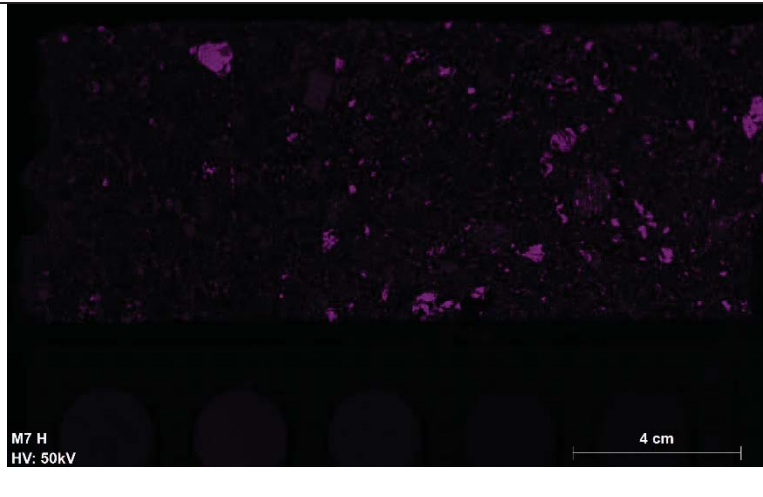
M6	
Element	Scanned Area
	
Al	
Ca	

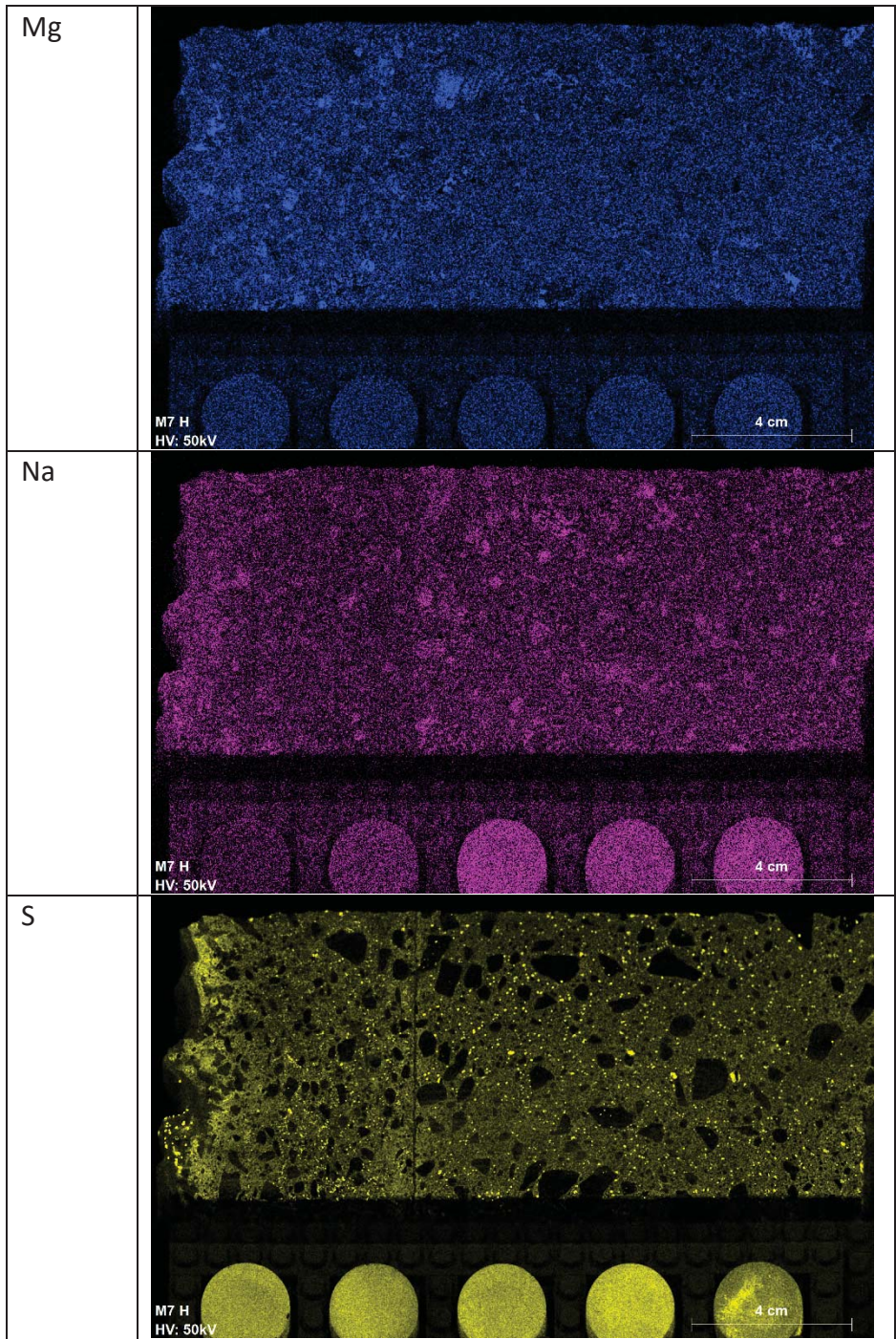
Cl	 <p>M6 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Fe	 <p>M6 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
K	 <p>M6 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>

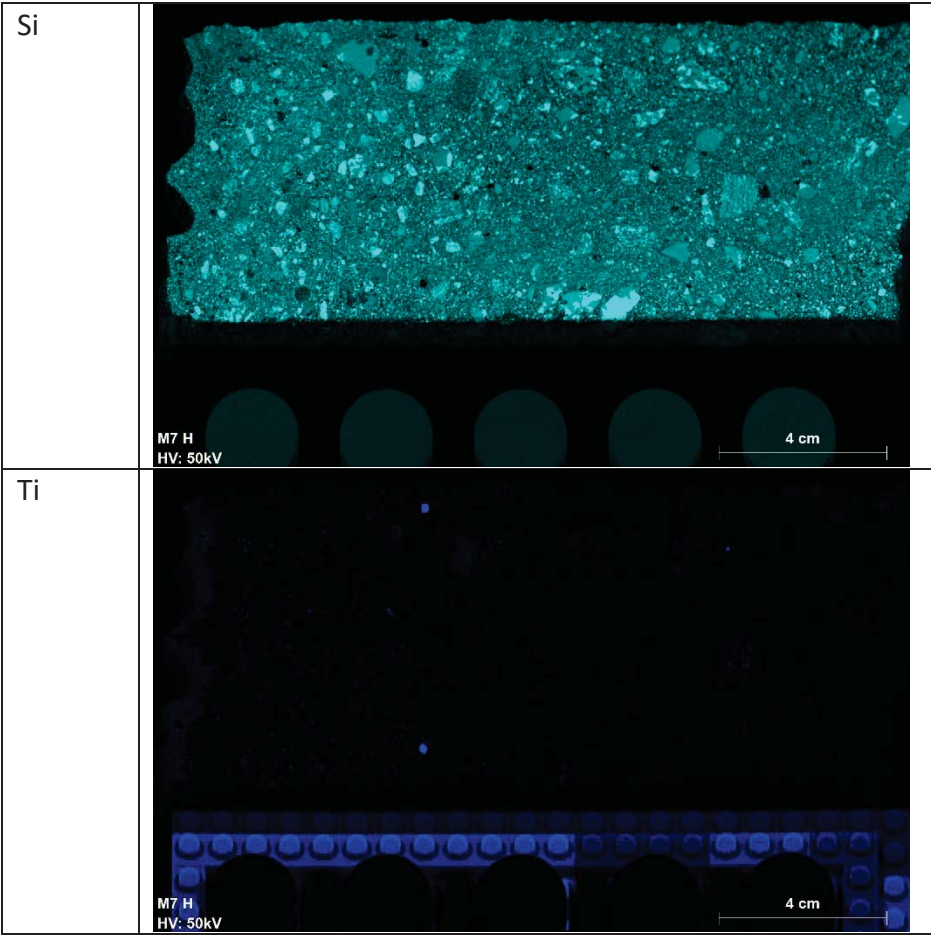
Mg	 <p>M6 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Na	 <p>M6 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
S	 <p>M6 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>

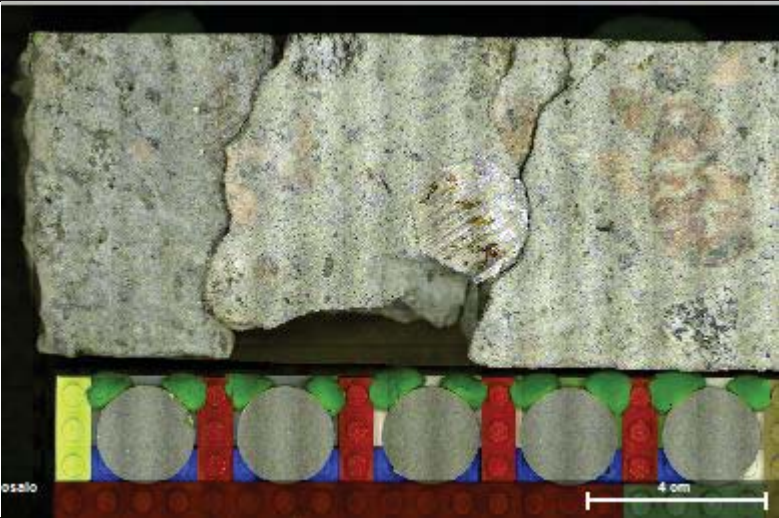
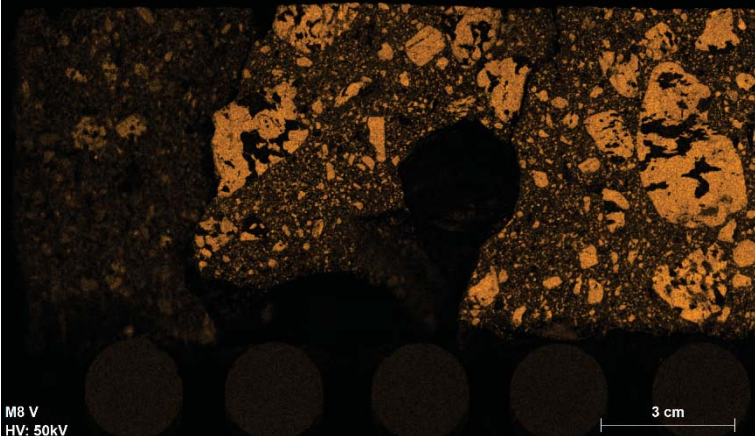
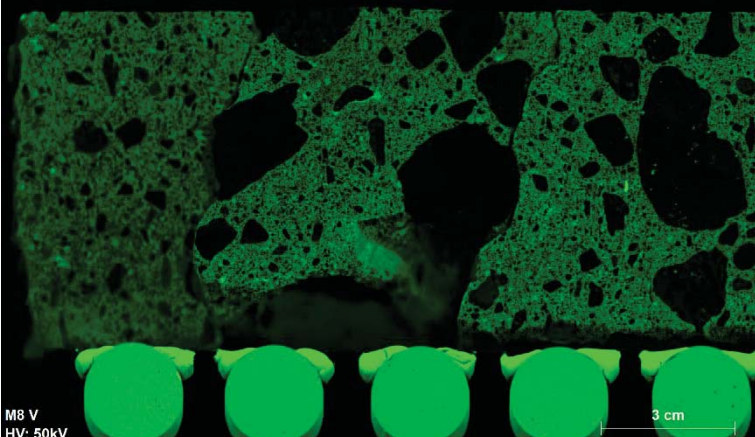
Si	 <p>M6 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Ti	 <p>M6 H HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>


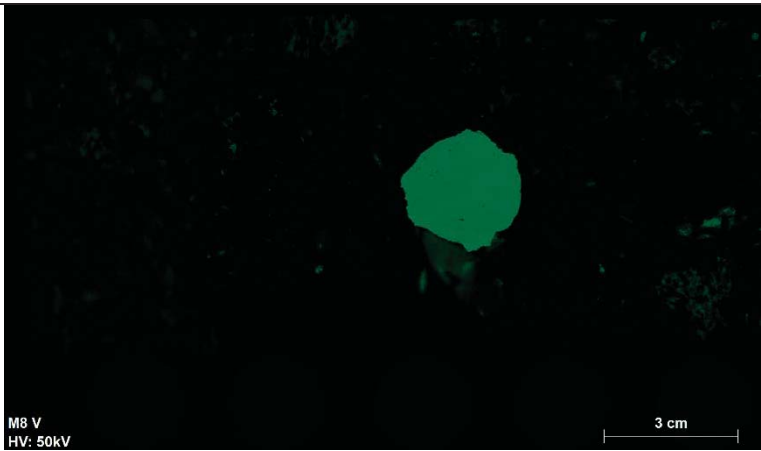
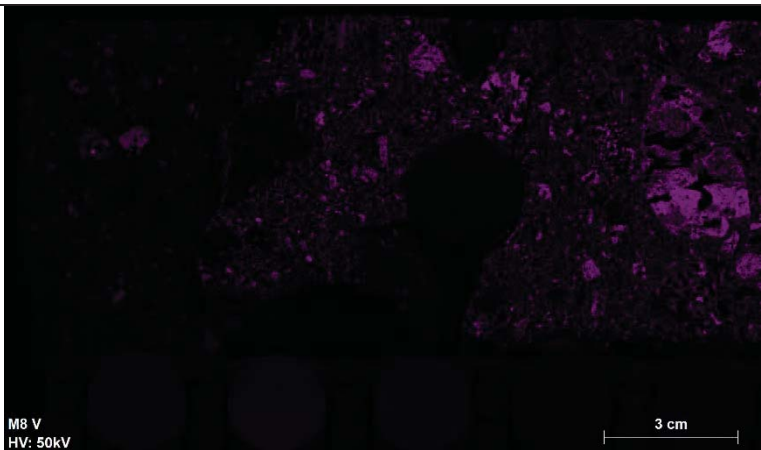
M7	
Element	Scanned Area
	
Al	
Ca	

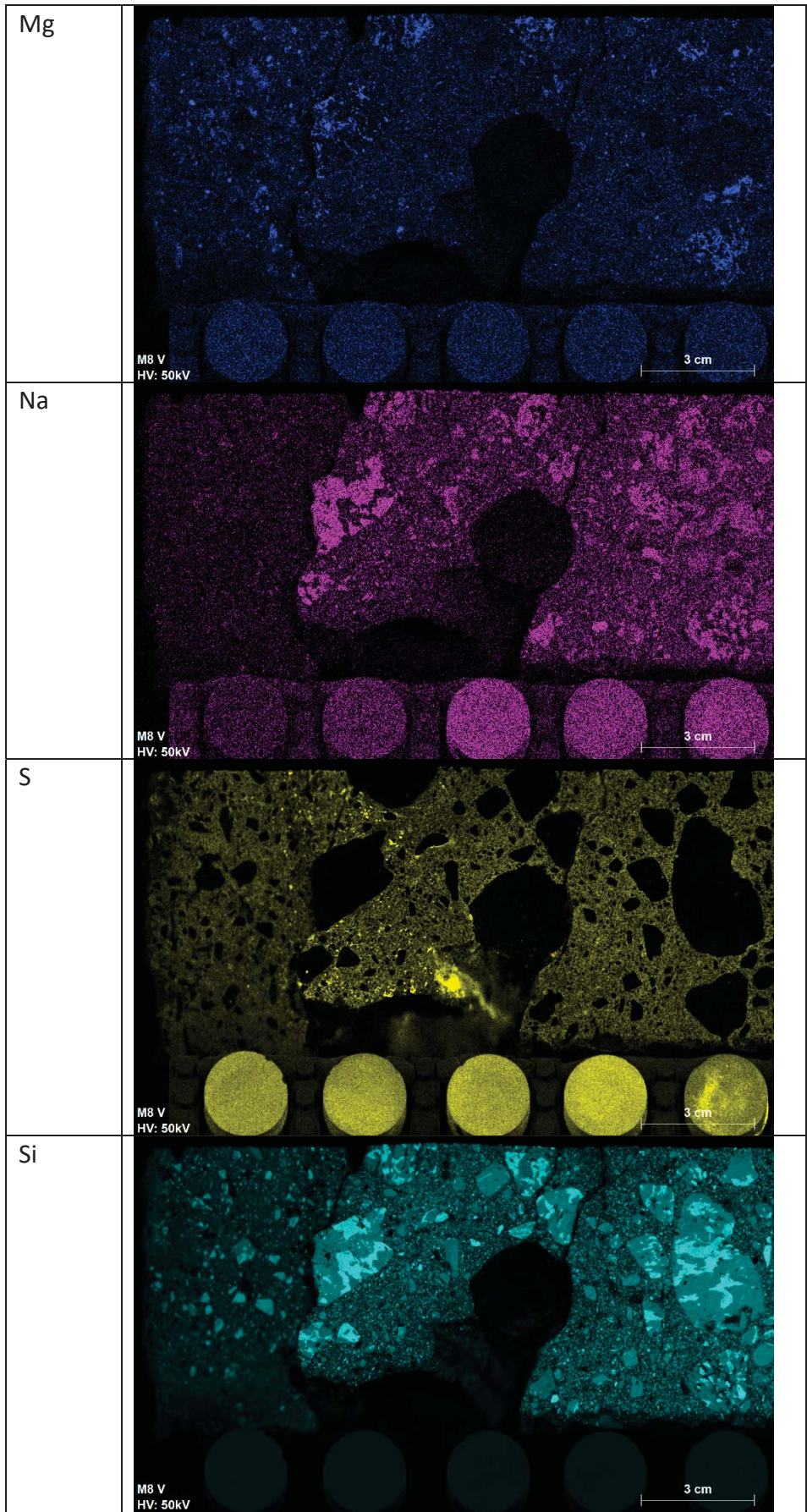
Cl	 <p>M7 H HV: 50kV</p> <p>4 cm</p>
Fe	 <p>M7 H HV: 50kV</p> <p>4 cm</p>
K	 <p>M7 H HV: 50kV</p> <p>4 cm</p>



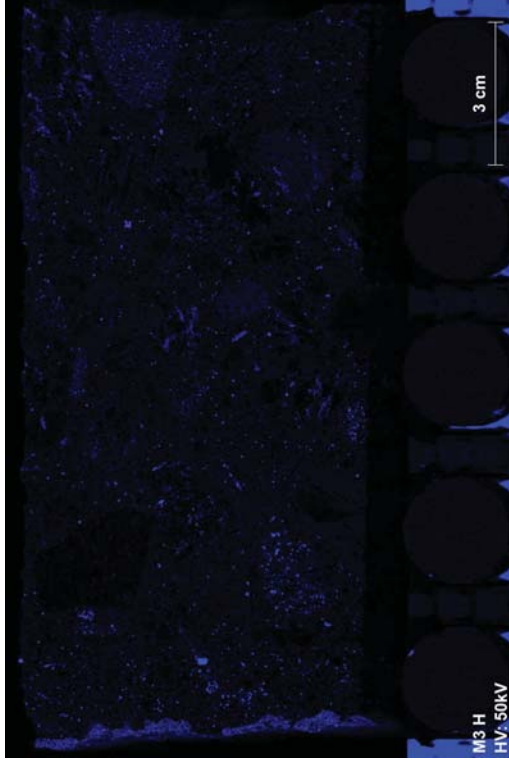


M8	
Element	Scanned Area
	
Al	 <p>M8 V HV: 50kV</p>
Ca	 <p>M8 V HV: 50kV</p>

Cl	 <p>M8 V HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
Fe	 <p>M8 V HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>
K	 <p>M8 V HV: 50kV</p> <p>3 cm</p>







Appendix F Prøvingsrapport, Kloridprofiler
for borkjerner Sortlandsbrua, (Ola
Skjølvold 2018, SINTEF)

SINTEF Byggforsk
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim

Besøksadresse:
Richard Birkelands veg 3
Trondheim
Sentralbord: 73593000

byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA



Sertifisert laboratorium U16

Prøvingsrapport

Kloridprofiler for borkjerner

Betonglaboratoriet

Prosjektleder/forfatter(e):

Ola Skjølvold

Dato:

2018-10-25

Oppdragsgiver(e):

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 6706 Etterstad
0609 OSLO

Oppdragsgivers referanse:

Karlø Hornbostel

Prosjektnummer:

102003039-192

Antall sider og vedlegg:

4 inkl 1 vedlegg

Prøving:

SINTEF mottok 2018-07-15

- 13 stk borkjerner med diameter 75 mm og lengde ca. 120-200 mm. Disse var merket hhv "NR 1A" – "NR 13A"
- 8 stk borkjerner med diameter 75 mm og lengde ca 100-200 mm. Disse var merket hhv "NR M1" – "NR M8" og oppbevares innpakket i plast ved SINTEF (ved 5 °C) inntil videre.

Borkjerner merket "NR 1A" – "NR 13A" ble frest i 5 mm sjikt inn til 90 mm. Alle freste sjikt ble analysert med hensyn på kloridinnhold. Detaljer vedr prøvingen og resultatene er gjengitt på side 2-4.

Utstys ID	B-258, B-247
------------------	--------------

Prosjektleder/forfatter:

Ola Skjølvold

Signatur

Kontrollert av:

Marit Haugen

Signatur

Rapportnr:

3039-192B

Gradering:

Fortrolig

1 Prøving

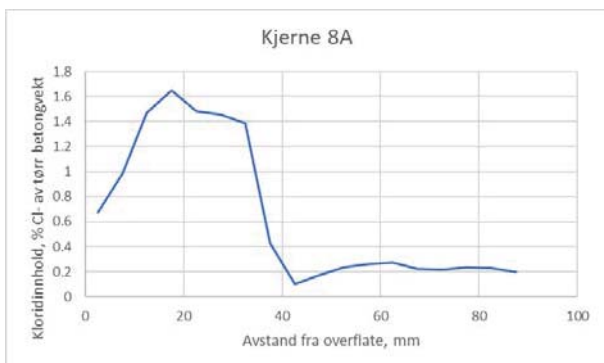
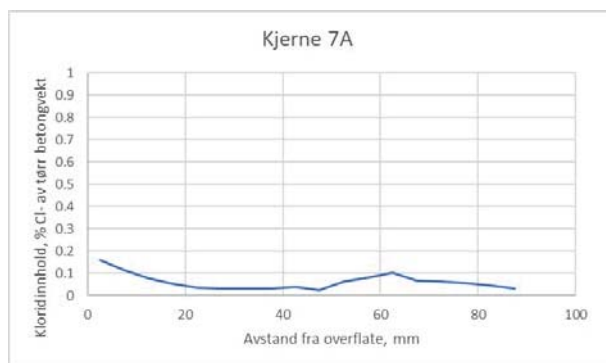
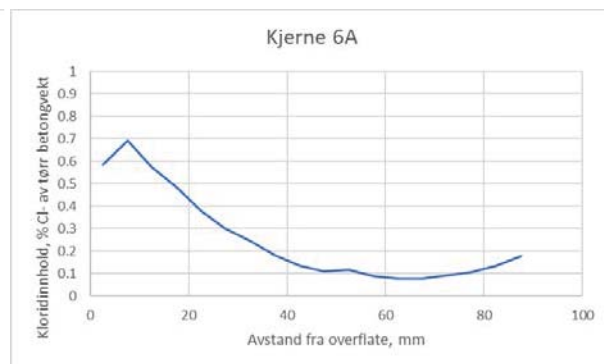
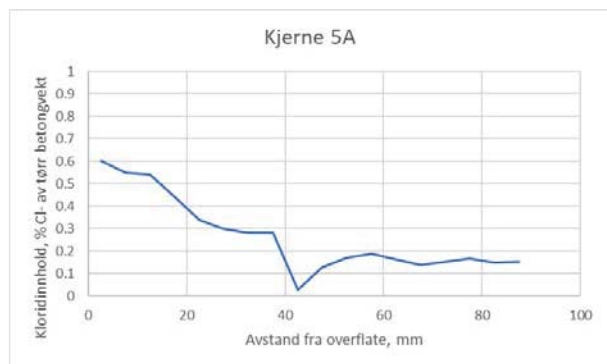
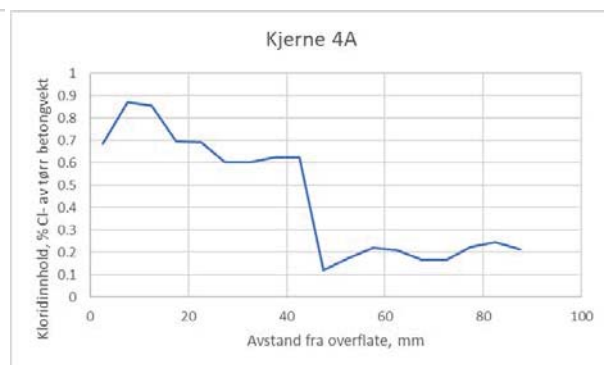
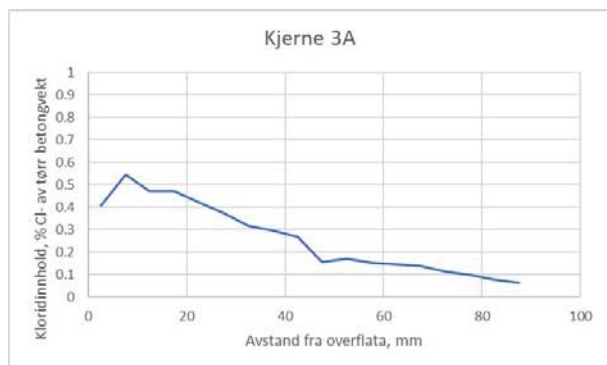
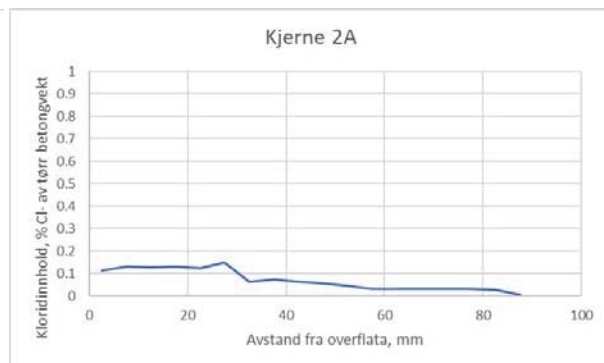
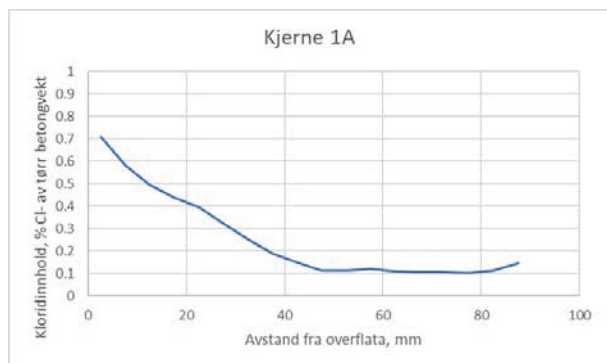
Borkjerner merket "NR 1A" – "NR 13A" ble frest i 5 mm sjikt inn til dybde 90 mm. Fresingen ble utført 2018-08-14--22. Kloridinnholdet i alle sjikt ble bestemt med Methrom automatisk titrator med sølvelektrode. Resultatet er oppgitt som % Cl⁻ av tørr betongvekt. Prøvingen ble utført 2018-09-27--10-22. Resultatene er gjengitt i Tabell 1-2 og framstilt grafisk i Vedlegg 1.

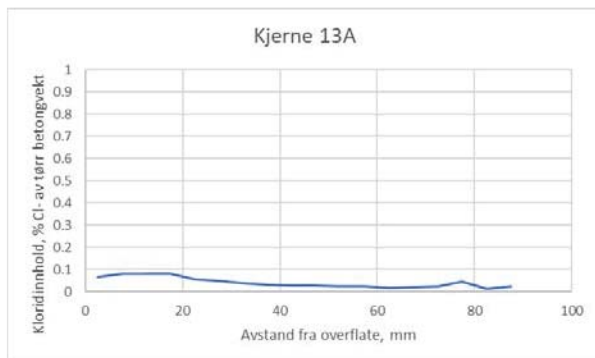
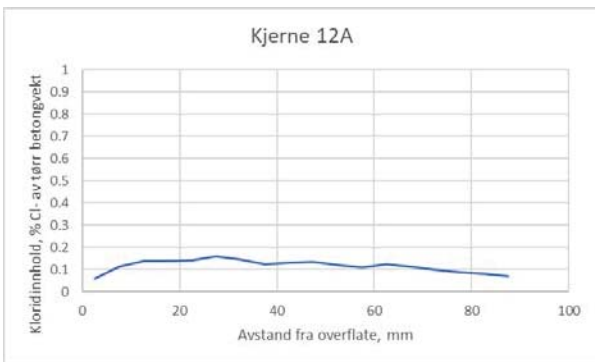
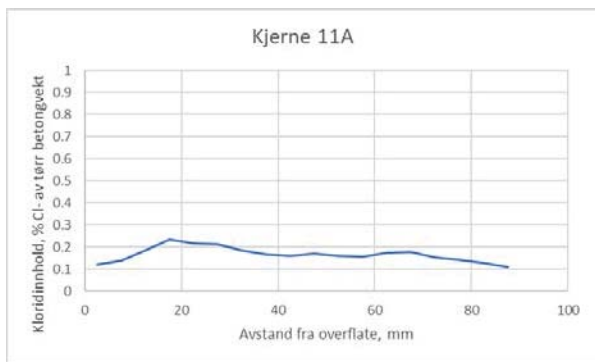
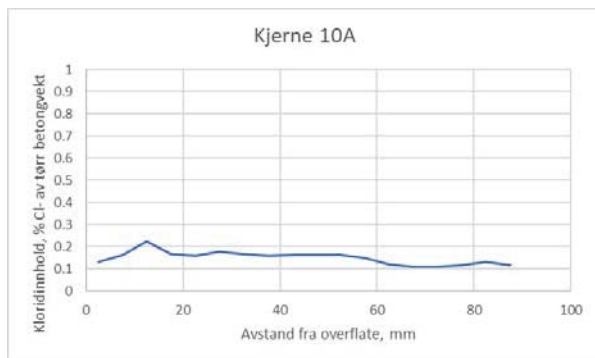
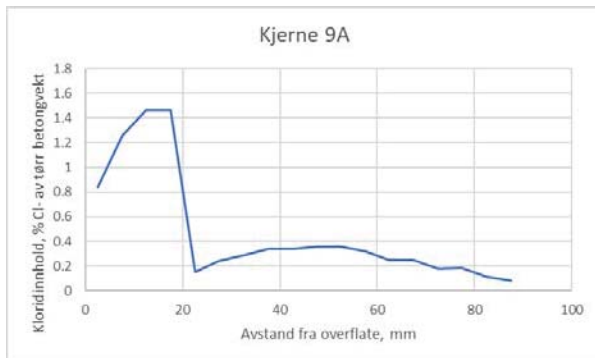
Tabell 1 Kloridprofiler for kjerner mrk 1A – 7A

Kjerne mrk	NR 1A	NR 2A	NR 3A	NR 4A	NR 5A	NR 6A	NR 7A
Sjikt, mm	Kloridinnhold, % Cl ⁻ av tørr betongvekt						
0-5 mm	0.708	0.114	0.407	0.685	0.604	0.586	0.159
5-10 mm	0.580	0.132	0.545	0.870	0.550	0.690	0.115
10-15 mm	0.496	0.127	0.471	0.857	0.541	0.574	0.079
15-20 mm	0.438	0.130	0.471	0.696	0.441	0.484	0.051
20-25 mm	0.394	0.124	0.419	0.691	0.338	0.378	0.036
25-30 mm	0.323	0.148	0.374	0.604	0.298	0.299	0.033
30-35 mm	0.253	0.063	0.318	0.603	0.282	0.246	0.032
35-40 mm	0.190	0.073	0.295	0.623	0.282	0.182	0.033
40-45 mm	0.149	0.065	0.266	0.623	0.029	0.136	0.039
45-50 mm	0.115	0.057	0.155	0.121	0.128	0.111	0.024
50-55 mm	0.113	0.046	0.171	0.173	0.172	0.116	0.062
55-60 mm	0.119	0.033	0.151	0.221	0.188	0.090	0.083
60-65 mm	0.111	0.030	0.145	0.210	0.165	0.078	0.101
65-70 mm	0.105	0.031	0.138	0.168	0.137	0.079	0.068
70-75 mm	0.107	0.032	0.115	0.167	0.153	0.091	0.064
75-80 mm	0.103	0.030	0.098	0.224	0.167	0.107	0.058
80-85 mm	0.112	0.026	0.079	0.247	0.149	0.134	0.045
85-90 mm	0.145	0.007	0.062	0.212	0.152	0.178	0.033

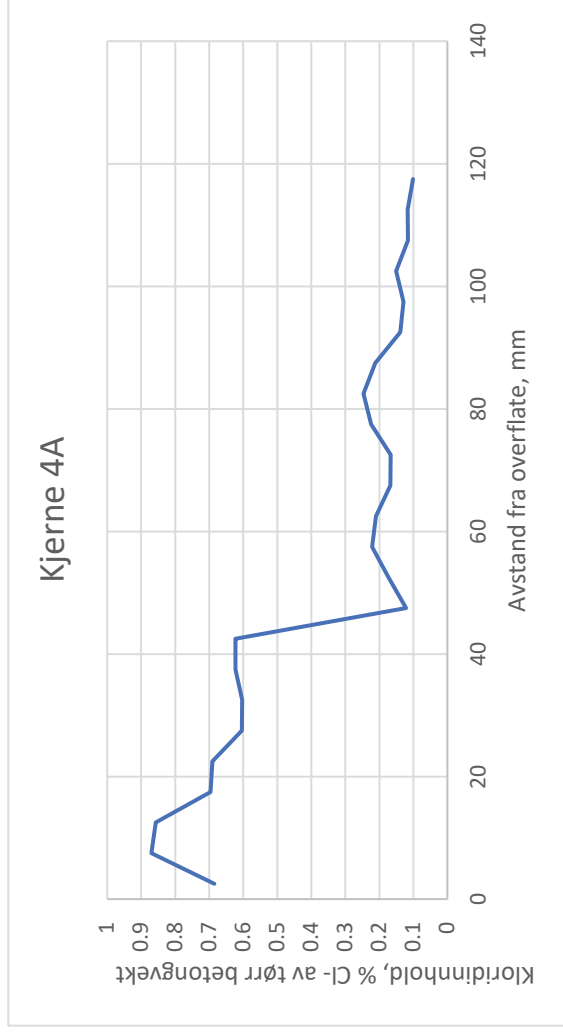
Tabell 2 Kloridprofiler for kjerner mrk 8A – 13A

Kjerne mrk	NR 8A	NR 9A	NR 10A	NR 11A	NR 12A	NR 13A
Sjikt, mm	Kloridinnhold, % Cl ⁻ av tørr betongvekt					
0-5 mm	0.673	0.838	0.133	0.120	0.059	0.067
5-10 mm	0.989	1.255	0.164	0.140	0.114	0.083
10-15 mm	1.470	1.463	0.224	0.183	0.140	0.082
15-20 mm	1.650	1.463	0.167	0.236	0.138	0.080
20-25 mm	1.482	0.152	0.158	0.217	0.143	0.056
25-30 mm	1.457	0.242	0.176	0.212	0.160	0.049
30-35 mm	1.387	0.290	0.167	0.184	0.147	0.038
35-40 mm	0.430	0.337	0.159	0.168	0.123	0.033
40-45 mm	0.103	0.338	0.164	0.161	0.130	0.028
45-50 mm	0.172	0.360	0.163	0.169	0.135	0.026
50-55 mm	0.236	0.356	0.163	0.159	0.120	0.024
55-60 mm	0.262	0.319	0.150	0.155	0.110	0.023
60-65 mm	0.275	0.249	0.120	0.174	0.123	0.016
65-70 mm	0.222	0.247	0.110	0.176	0.114	0.022
70-75 mm	0.218	0.181	0.111	0.154	0.100	0.023
75-80 mm	0.236	0.186	0.117	0.143	0.089	0.046
80-85 mm	0.232	0.111	0.131	0.126	0.080	0.015
85-90 mm	0.200	0.084	0.116	0.111	0.070	0.023

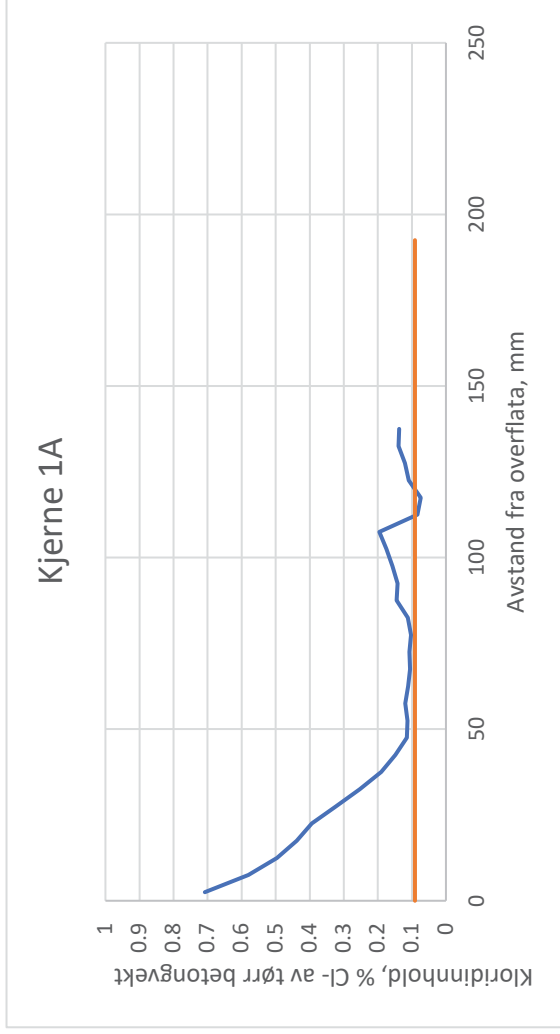


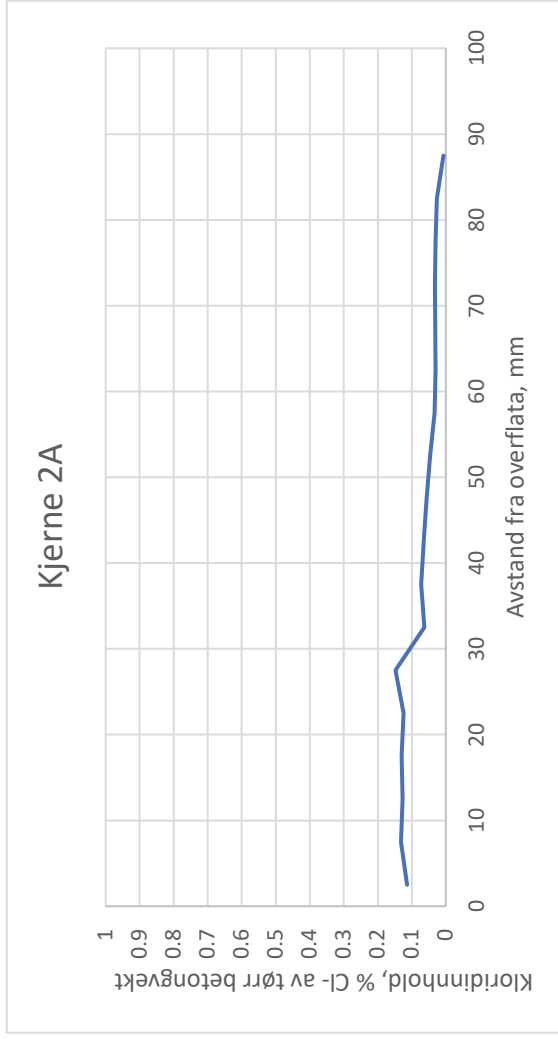


2.5	0.685
7.5	0.87
12.5	0.857
17.5	0.696
22.5	0.691
27.5	0.604
32.5	0.603
37.5	0.623
42.5	0.623
47.5	0.121
52.5	0.173
57.5	0.221
62.5	0.21
67.5	0.168
72.5	0.167
77.5	0.224
82.5	0.247
87.5	0.212
92.5	0.138
97.5	0.129
102.5	0.151
107.5	0.116
112.5	0.117
117.5	0.101



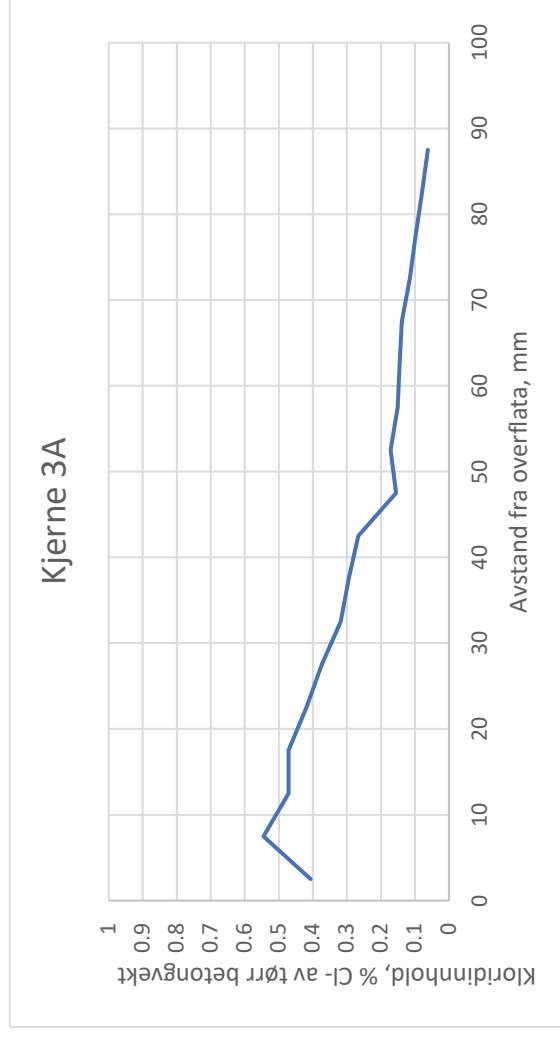
2.5 0.708
 7.5 0.58
 12.5 0.496
 17.5 0.438
 22.5 0.394
 27.5 0.323
 32.5 0.253
 37.5 0.19
 42.5 0.149
 47.5 0.115
 52.5 0.113
 57.5 0.119
 62.5 0.111
 67.5 0.105
 72.5 0.107
 77.5 0.103
 82.5 0.112
 87.5 0.145
 92.5 0.142
 97.5 0.157
 102.5 0.175
 107.5 0.196
 112.5 0.084
 117.5 0.074
 122.5 0.109
 127.5 0.12
 132.5 0.139
 137.5 0.137
 0 0.091
 192.5 0.091



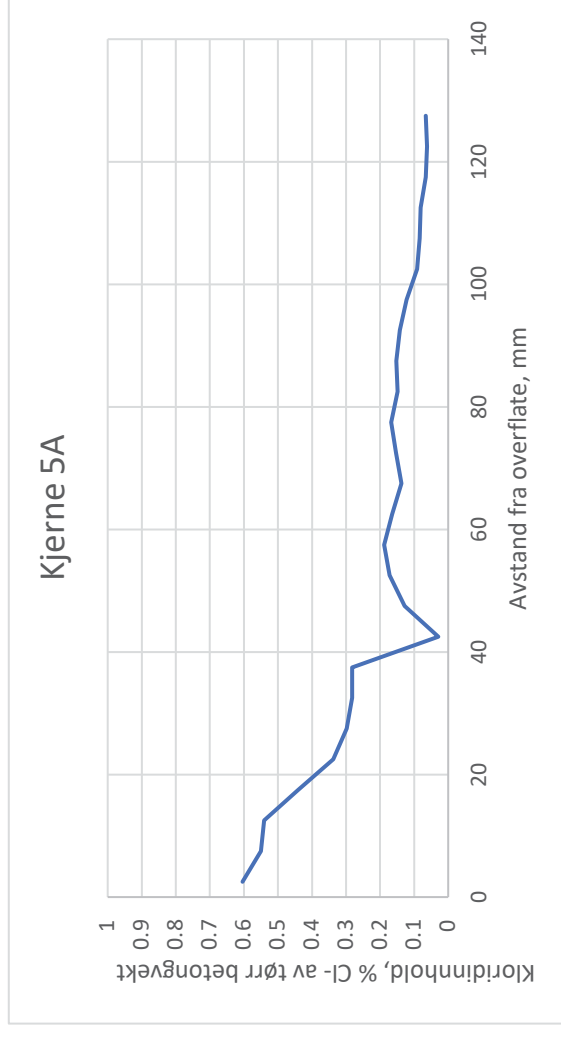


2.5	0.114
7.5	0.132
12.5	0.127
17.5	0.13
22.5	0.124
27.5	0.148
32.5	0.063
37.5	0.073
42.5	0.065
47.5	0.057
52.5	0.046
57.5	0.033
62.5	0.03
67.5	0.031
72.5	0.032
77.5	0.03
82.5	0.026
87.5	0.007

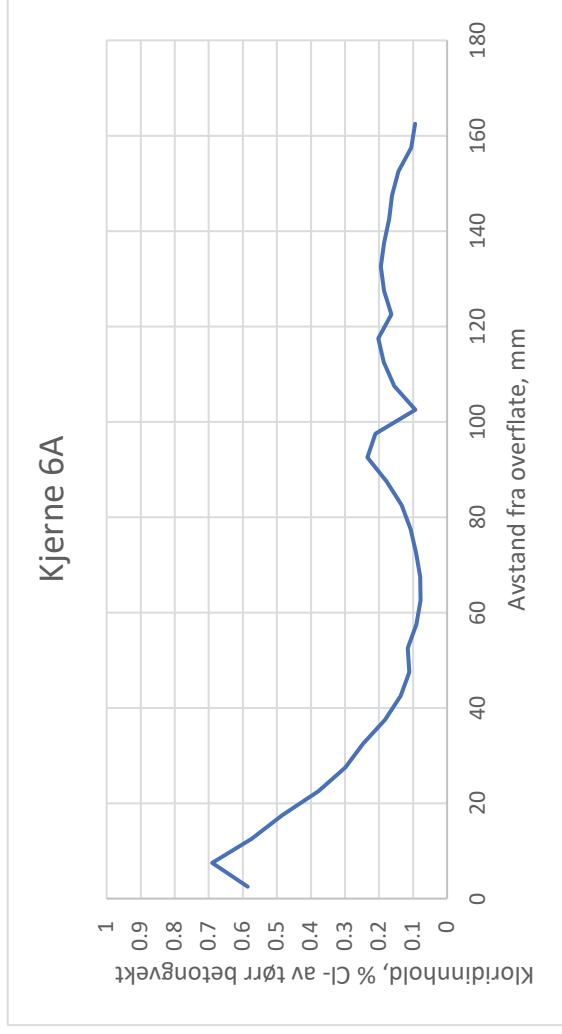
2.5	0.407
7.5	0.545
12.5	0.471
17.5	0.471
22.5	0.419
27.5	0.374
32.5	0.318
37.5	0.295
42.5	0.266
47.5	0.155
52.5	0.171
57.5	0.151
62.5	0.145
67.5	0.138
72.5	0.115
77.5	0.098
82.5	0.079
87.5	0.062

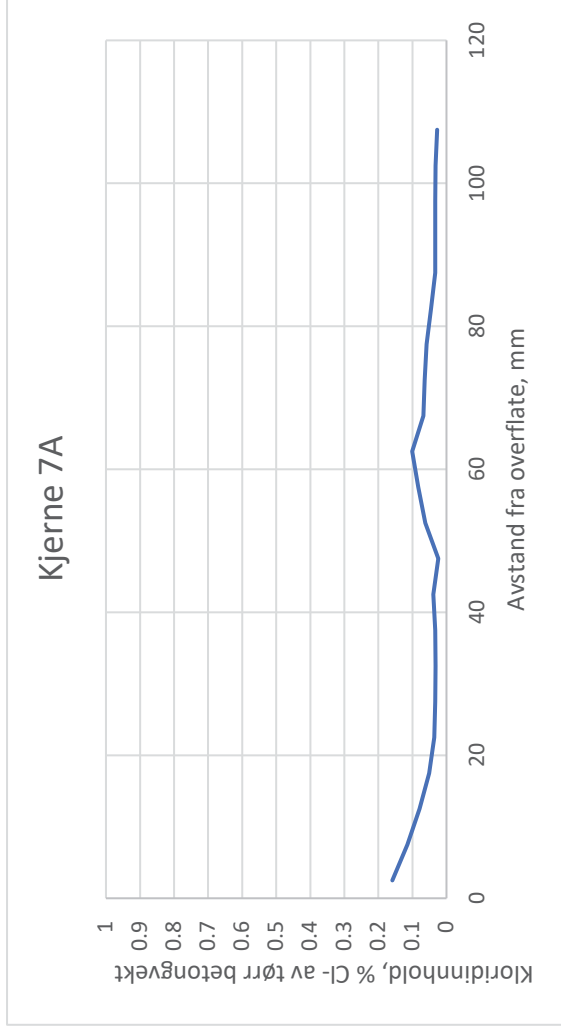


2.5	0.604
7.5	0.55
12.5	0.541
17.5	0.441
22.5	0.338
27.5	0.298
32.5	0.282
37.5	0.282
42.5	0.029
47.5	0.128
52.5	0.172
57.5	0.188
62.5	0.165
67.5	0.137
72.5	0.153
77.5	0.167
82.5	0.149
87.5	0.152
92.5	0.142
97.5	0.122
102.5	0.091
107.5	0.084
112.5	0.081
117.5	0.066
122.5	0.062
127.5	0.066



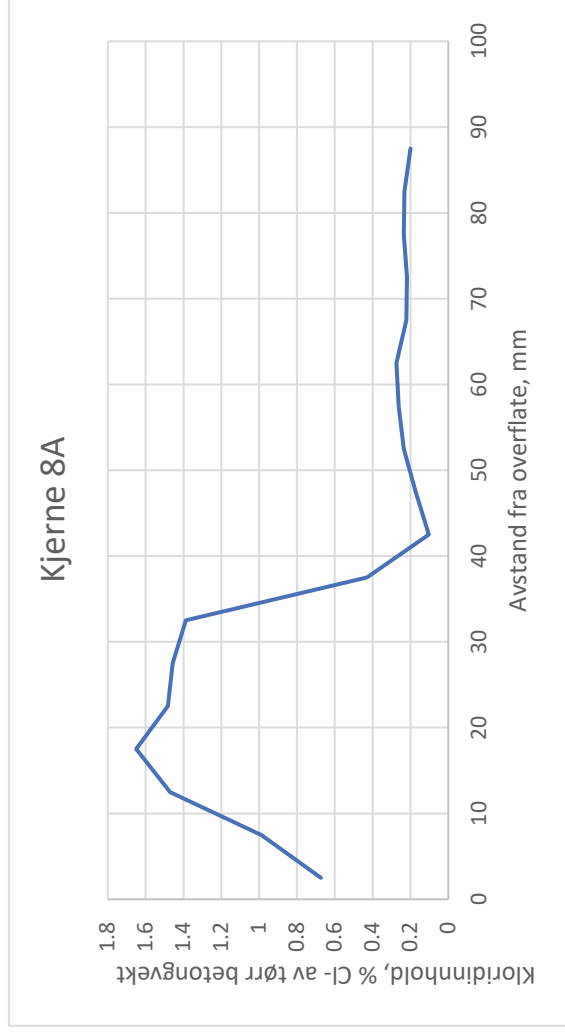
2.5 0.586
 7.5 0.69
 12.5 0.574
 17.5 0.484
 22.5 0.378
 27.5 0.299
 32.5 0.246
 37.5 0.182
 42.5 0.136
 47.5 0.111
 52.5 0.116
 57.5 0.09
 62.5 0.078
 67.5 0.079
 72.5 0.091
 77.5 0.107
 82.5 0.134
 87.5 0.178
 92.5 0.234
 97.5 0.211
 102.5 0.093
 107.5 0.155
 112.5 0.186
 117.5 0.202
 122.5 0.164
 127.5 0.185
 132.5 0.195
 137.5 0.185
 142.5 0.17
 147.5 0.162
 152.5 0.143
 157.5 0.105
 162.5 0.094

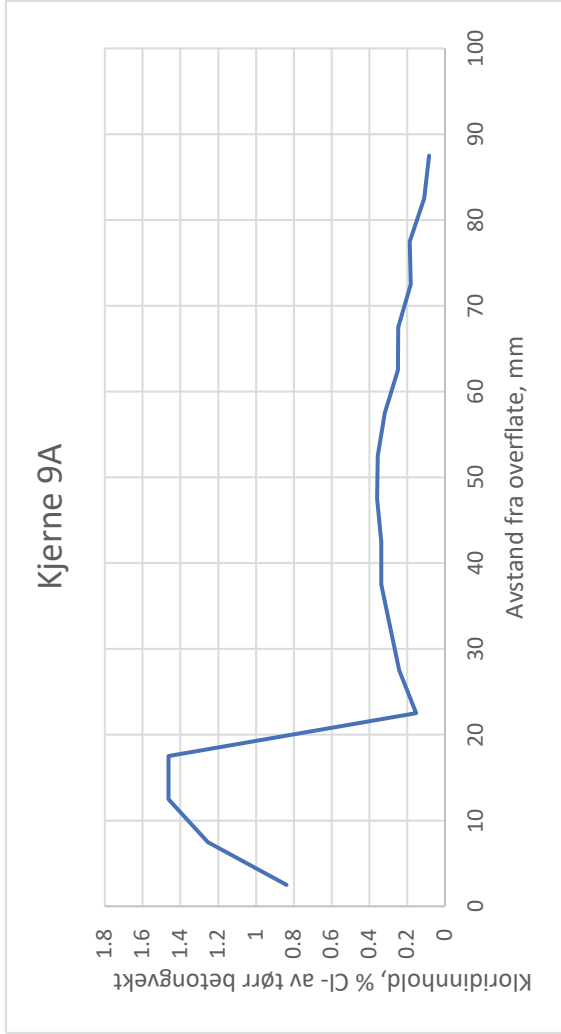




2.5	0.159
7.5	0.115
12.5	0.079
17.5	0.051
22.5	0.036
27.5	0.033
32.5	0.032
37.5	0.033
42.5	0.039
47.5	0.024
52.5	0.062
57.5	0.083
62.5	0.101
67.5	0.068
72.5	0.064
77.5	0.058
82.5	0.045
87.5	0.033
92.5	0.033
97.5	0.033
102.5	0.032
107.5	0.027

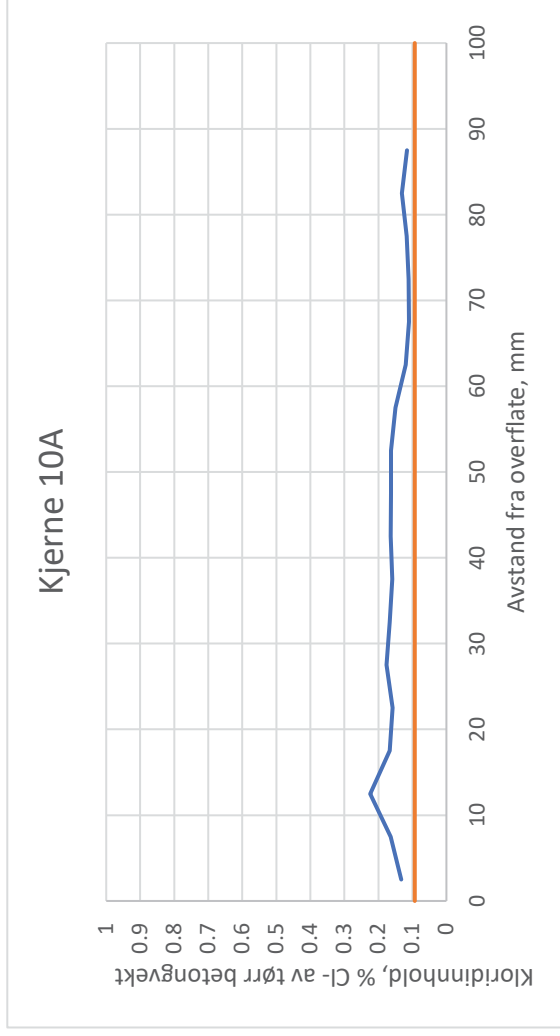
2.5	0.673
7.5	0.989
12.5	1.47
17.5	1.65
22.5	1.482
27.5	1.457
32.5	1.387
37.5	0.43
42.5	0.103
47.5	0.172
52.5	0.236
57.5	0.262
62.5	0.275
67.5	0.222
72.5	0.218
77.5	0.236
82.5	0.232
87.5	0.2



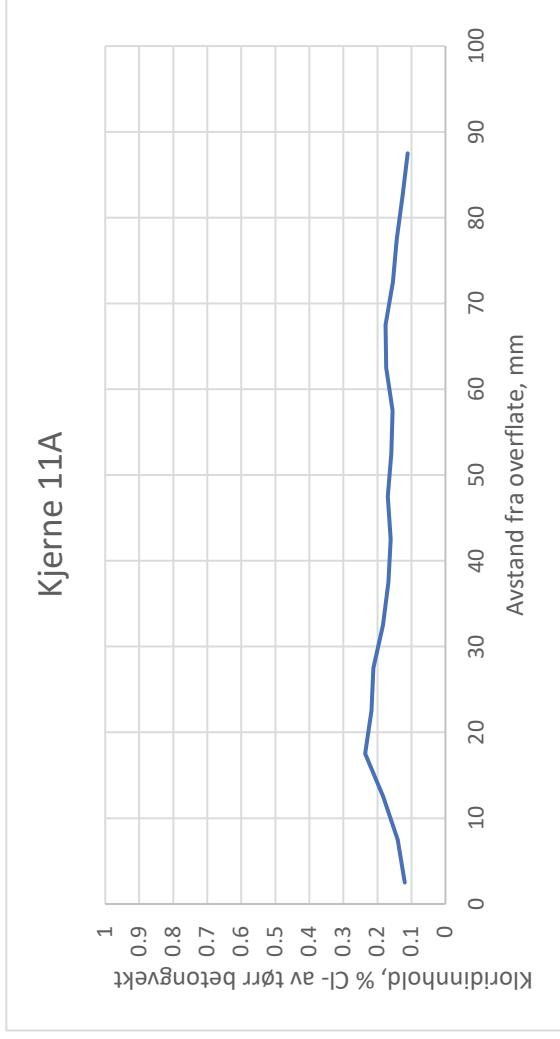


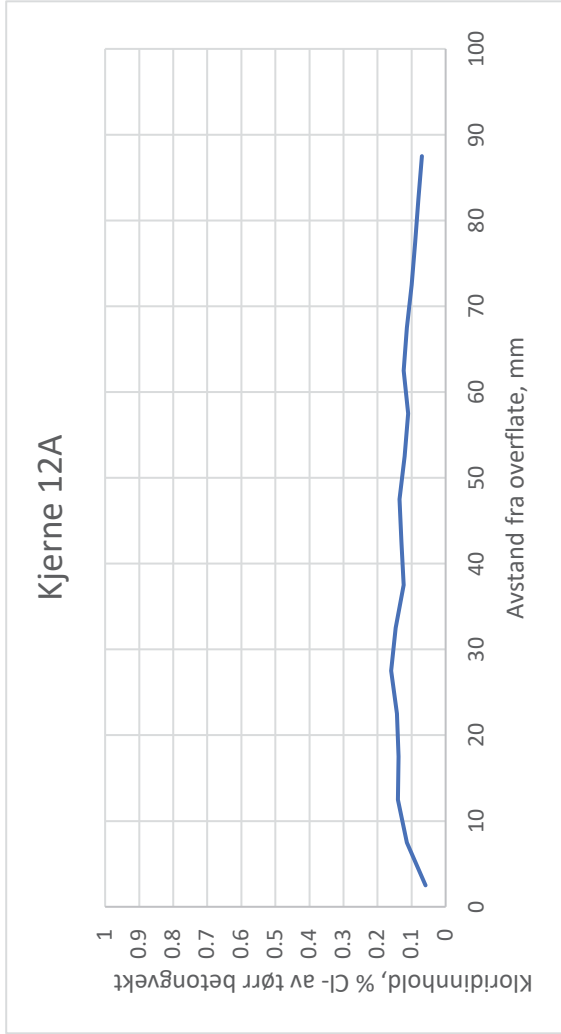
2.5	0.838
7.5	1.255
12.5	1.463
17.5	1.463
22.5	0.152
27.5	0.242
32.5	0.29
37.5	0.337
42.5	0.338
47.5	0.36
52.5	0.356
57.5	0.319
62.5	0.249
67.5	0.247
72.5	0.181
77.5	0.186
82.5	0.111
87.5	0.084

2.5	0.133
7.5	0.164
12.5	0.224
17.5	0.167
22.5	0.158
27.5	0.176
32.5	0.167
37.5	0.159
42.5	0.164
47.5	0.163
52.5	0.163
57.5	0.15
62.5	0.12
67.5	0.11
72.5	0.111
77.5	0.117
82.5	0.131
87.5	0.116
0	0.093
100	0.093



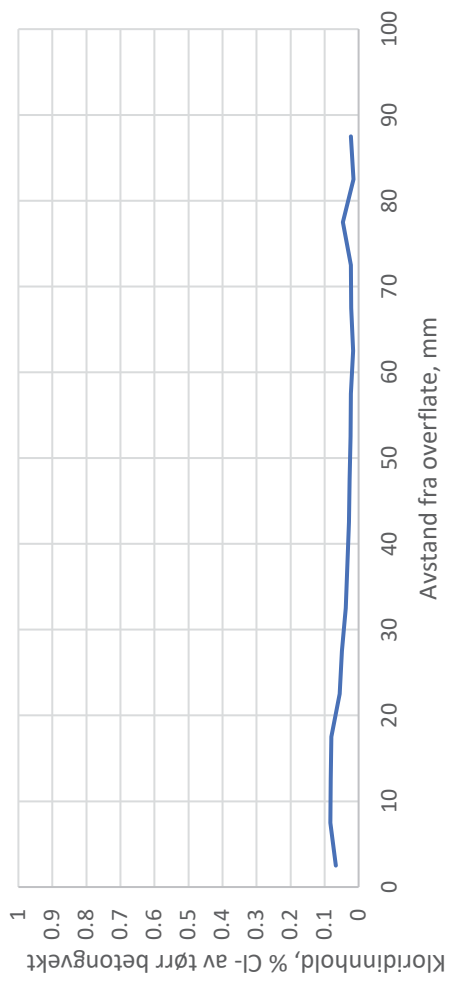
2.5	0.12
7.5	0.14
12.5	0.183
17.5	0.236
22.5	0.217
27.5	0.212
32.5	0.184
37.5	0.168
42.5	0.161
47.5	0.169
52.5	0.159
57.5	0.155
62.5	0.174
67.5	0.176
72.5	0.154
77.5	0.143
82.5	0.126
87.5	0.111





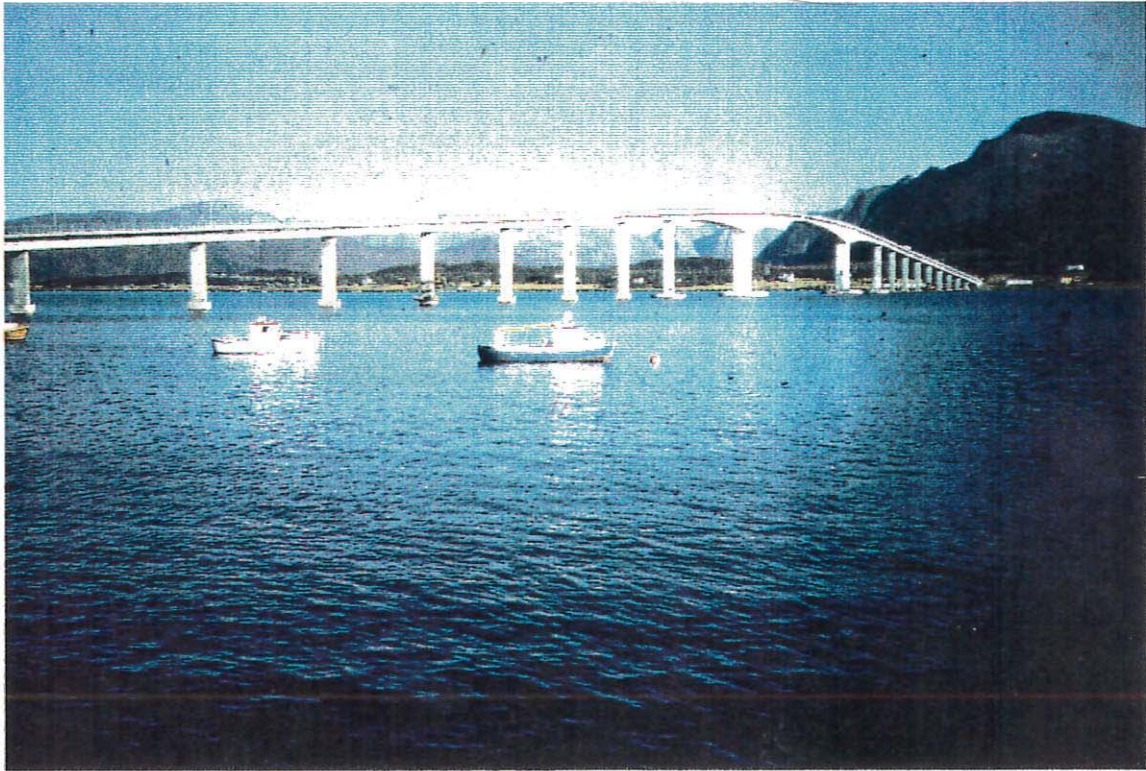
2.5	0.059
7.5	0.114
12.5	0.14
17.5	0.138
22.5	0.143
27.5	0.16
32.5	0.147
37.5	0.123
42.5	0.13
47.5	0.135
52.5	0.12
57.5	0.11
62.5	0.123
67.5	0.114
72.5	0.1
77.5	0.089
82.5	0.08
87.5	0.07

Kjerne 13A



2.5	0.067
7.5	0.083
12.5	0.082
17.5	0.08
22.5	0.056
27.5	0.049
32.5	0.038
37.5	0.033
42.5	0.028
47.5	0.026
52.5	0.024
57.5	0.023
62.5	0.016
67.5	0.022
72.5	0.023
77.5	0.046
82.5	0.015
87.5	0.023

Appendix G Sortland bru Nordland fylke
reparasjon med katodisk beskyttelse.
(Vegvesenet)



SORTLAND BRU
NORDLAND FYLKE

REPARASJON MED
KATODISK BESKYTTELSE
1990-91

Vegdir. bruavd.
Juni 1992

INNHOOLD

	Side
1. Konstruksjonstype	3
2. Bakgrunnsdata	3
3. Formelle data	3
4. Prosjektorganisering	3
5. Forundersøkelser	4
6. Valg av reparasjonsløsning	4
7. Reparasjon med KB	5
8. Kontroll og kvalitetssikring	12
9. Justering og innregulering	15
10. Drift av anlegget	16
11. Driftsresultater	17
12. Økonomi	17
13. Totalvurdering	18

1. KONSTRUKSJONSTYPE

Sortlandsbrua inngår i riksveg 19 og utgjør en del av Sortlandsregionens fastlandsforbindelse. Brua er 948 meter lang og består av totalt 21 spenn. Hovedspennet er 150 meter og er bygd etter fritt frambygg metoden. Brua har 4 søyler i hovedspenn og 16 søyler i de 2 sidespennene med tverrsnittsdimensjoner 500/3 000, 800/3 000 og 1 000/3 000. Søyelengdene varierer fra 5,7 meter til 24,6 meter. Undervannsfundamentene er fundamentert på fjell og morene med største vanndybde på 27 meter.

2. BAKGRUNNSDATA

Sortlandsbrua er bygd i perioden 1973-75 og er plassert i et meget værutsatt kystklima.

Data om betongen i søylene:

Kvalitet: B 350
 Sementlengde: 360 kg/m³
 Prosjektert v/c: 0,46
 v/c målt ved tynnslip: 0,35 - 0,60
 Sjøgrabba sand
 Overdekning: prosjektert til 50 mm
 målt ned til 30 mm

3. FORMELL DATA

Konsulenter tilknyttet prosjektet har på inspeksjonssiden vært:

Ringtek a/s, Narvik
 Betech a/s, Bergen
 COWIplan a/s, Oslo
 COWiconsult a/s, København

Konsulenter på prosjektering av reparasjonen:

COWIplan a/s, Oslo
 COWiconsult a/s, København
 BAC, København
 Aas-Jakobsen A/S, Oslo

Utførende entreprenør på prøvereparasjon (1990) og hovedreparasjon (1991) har vært:

Sortland entreprenørforretning a/s og
 EB-installasjon

4. PROSJEKTORGANISERING

Byggherre for Sortland bru er Statens vegvesen, vegkontoret i Nordland. Vegkontoret har stått for prosjektorganiseringen med faglig støtte fra Vegdirektoratets bruavdeling. Arbeidene er utført på entrepriser etter innhenting av anbud.

5. FORUNDERSØKELSER

Det ble i 1990 utført en grundig inspeksjon og tilstandsvurdering av Sortland bru.

Undersøkelsene har bestått av visuelle registreringer samt betongteknologiske undersøkelser:

- Kloridanalyser
- EKP-målinger
- Karbonatiseringsmålinger
- Laboratorieundersøkelser på utborede betongkjerner
- Opphugginger

Det er også utført statiske beregninger hvor bruas bæreevne og sikkerhet er vurdert.

Resultater

Skadene på Sortlandsbrua er stort sett begrenset til fundamentene i tidevannsonen og et stykke oppover pilarene. På fundamentene er det konstatert erroderete soner samt korrodert armering. Pilarene er på de nederste 5-6 meterene generelt skadet av kloridbasert armeringskorrosjon. Kloridinnholdet er i disse områdene til dels meget høyt (3-4 % av sem.vekt). En tydelig tendens i skadebildet er at det er pilarenes nord-side som er hardest skadet. Både det målte kloridinnhold og de synlige skadene er størst på denne siden. Dette skyldes trolig at pilarenes le-side ikke blir utsatt for regnvann som har en vaskende effekt på betongen.

6. VALG AV REPARASJONSLØSNING

Reparasjonsalternativ

Det ble sommeren 1990 utarbeidet en rapport om reparasjonsalternativ for brua. Vurderingene bestod av tekniske løsninger, levetidsvurderinger og kostnadsoverslag. For bruas underbygning ble følgende alternativ vurdert:

Pilarene

1. Overflatebeskyttelse
2. Sprøytebetongreparasjoner
3. Påstøp av betongkappe
4. Katodisk Beskyttelse

Fundamentene

1. Sprøytebetongreparasjoner over vannspeilet
2. Påstøp av betong betongkappe
3. Katodisk beskyttelse

Fendere

1. Påstøp av betongkappe totalt
2. Påstøp av betongkappe delvis
3. Overflatebeskyttelse

Prøvereparasjon

Ut fra vurderinger ble katodisk beskyttelse på fundamentene og pilarenes nederste områder ansett å være den sikreste metoden til å hindre fortsatt korrosjon.

På fenderene er spennkabelforankringene frilagt. Disse ble beskyttet med påstøpt betongkappe.

For å få erfaring med KB-anlegget ble det bestemt å utføre en prøveparasjon sommeren 1990. Prøvereparasjonens omfang:

- Katodisk beskyttelse på nederste del av pilar nr. 5, 12 og 16
- Katodisk beskyttelse av fundament nr. 5 og 16
- Betongkappe over kabelforankringer på fender nr. 9, 10, 11 og 12

Videre arbeider 1991

Ut fra resultatene fra prøveparasjonen ble det bestemt å sende reparasjonen av de resterende 17 pilarene ut på anbud.

Anbudet med arbeidsbeskrivelse for de 17 siste pilarene ble derfor beskrevet etter samme tekniske prinsipp.

Før arbeidene ble igangsatt ble det bestemt å velge ut 6 søyler som et FoU-prosjekt som har til målsetting å følge opp tre ulike typer rehabiliteringsløsninger. De tre rehabiliteringsløsninger som inngår i FoU-prosjektet er: KB med støpt betongoverdekning (pilar akse 1 og 2), KB med overdekning av sprøytebetong (pilar akse 3 og 4) og armert betongkappe med epoxybelagt armering (pilar i akse 15 og 17).

KB-løsningen som er valgt for pilar i akse 3 og 4 er den samme som er benyttet for de øvrige pilarene.

Omfanget av reparert overflate på søylene i 90/91 er ca. 1 400 m².

7. REPARASJON MED KATODISK BESKYTTELSE

Pilarer: coated anodenett med overdekning av sprøytebetong.

Det er blitt etablert katodisk beskyttelse fra kote +2.0 og i gjennomsnitt 6 meter opp på pilarene (kode +8.0). Hver pilar er inndelt i 3 anodesoner.

Coated anodenett er basert på et titannett som er belagt med edelmetall slik at det blir inert, men overflateaktivt. Ved innstøping i betong fungerer nettet som anode.

Anodenettet må innstøpes i en sementbasert påstøp som må tilfredsstillende følge følgende krav:

- God heft til konstruksjonsbetongen
- God elektrolyttisk kontakt mellom anode og armering
- Beskytte anodene mot fysiske skader

For at KB-anlegget skal fungere tilfredsstillende er i tillegg følgende viktig:

- God kontakt mellom armering og konstruksjonsbetong
- All armering som skal beskyttes er i innbyrdes elektrisk kontakt
- Nødvendig beskyttelsesstrøm er avhengig av klorid- og fuktinnholdet i betongen og totalt areal armering som skal beskyttes. Strømtettheten varierer fra 10 - 20 mA/m² armeringsoverflate ved igangsetting, til 2 - 8 mA/m² under normal drift.

Systembeskrivelse

Anode: Permagard Type 150 og 300
 Titannett belagt med edelmetalloksyd
 (Type 150): 16 mA/m², Type 300): 32 mA/m² bet)

Strømledere: Permagard strømtilledere produsert av titanbånd
 12,7 x 1,0 mm

Instrumentering: Referanseceller ERE 10 fra Korrosjonscentralen i Danmark. Ref.cellene er montert på frilagt armering og støpt inn i mørtel med og uten klorider.

Kabelspesifikasjoner

Alle kabler som skal benyttes i installasjonen skal være flertrådig fortinnet kobbertråd, isolert med PVC (VDE-DIN standard, 450/750 V). Kablene som skal ligge under betongpåstøpen (sprøytebetongen) skal være isolert med HDPE eller XLPE, ikke PVC.

Følgende fargekoder skal benyttes:

Rød: System positiv til alle soner (strømtilførsel til anoder fra T/L-enhet)

Svart: System negativ til alle soner (negativ forbindelse fra T/L-enhet til armering)

Blå: Instrument negativ til alle soner (negativ forbindelse fra referanseelektrode til armering)

Gul: Instrument positiv til alle soner (positiv forbindelse fra referanseelektrode til T/L-enhet)

Alle kabler skal være som spesifisert på de respektive tegninger og i hht. følgende krav:

System positiv:

- Rød 6 mm² enkjernet flertrådig kobbertråd, XLPE eller HDPE isolasjon.

System negativ:

- Svart 6 mm² enkjernet flertrådig kobbertråd, XLPE eller HDPE isolasjon.

Instrument negativ:

- Blå 2,5 mm² enkjernet flertrådig kobbertråd, XLPE eller HDPE isolasjon.

Instrument positiv:

- Gul 2,5 mm² enkjernet flertrådig kobbertråd, XLPE eller HDPE isolasjon.

Evt. endringer av ovenstående tillates kun etter godkjenning fra byggeledelsen.

Alle kabler som ikke er direkte innstøpt i sprøytebetong, dvs. ligger under anodenettet, skal gå i kabelkanaler utenpå pilarene.

Kabelføringer, -kanaler m.v.

Alle nødvendige kabler til KB-installasjonen skal gå i kabelkanaler. Under sprøytebetongen (fra kode + 2,0 og ca. 6 m opp) skal disse kabelkanaler monteres i utsparinger, evt. meislede spor (30 x 150 mm), på pilarenes østfasade. Jfr. tegning 90234-02. Over dette skal kablene gå i kabelkanaler montert utenpå pilarene.

Kabelkanalene i pilarene (under sprøytebetongen) skal være av ABS-plast mens kanalene utenpå skal være av PVC. Kabelkanalene utenpå pilarene må være av spesielt kraftig type, UV-bestandig, vanntett og beregnet for utvendig bruk.

Alle detaljer av det foreslåtte system skal framlegges byggeledelsen for godkjennelse før arbeidene settes i gang.

Strømforsyning:

Hver T/L-enhet skal monteres i et rustfritt og syrefast kabinnett i minimum kvalitet IP 65 og bestå av:

- transformator
- likeretter
- kretsløp for stabilisering og utglatting av spenningen
- kretsløp med sikring av likestrømsutgangen
- amperemeter med 4 mm testsokler
- voltmeter med 4 mm testsokler
- potmeter for regulering av strøm og spenning
- 220 V sikring og lynvernkretsløp

Alle potmeter skal være multiturn-typer for skrutrekkerjustering og med låsbar spindel.

T/L-enhetene skal designes slik at de muliggjør individuell strøm- og spenningsstyring av alle anodesoner. I tillegg skal det være uttak for signaler fra referanse-elektrodene og de negative forbindelsene i de respektive anodesoner. Disse uttak skal være i 4 mm pluggen på kontrollpanelet og være merket med graverte merker for tilkobling til bærbar voltmeter.

Innstøping av anode:

Følgende er gjeldende for sammensetning av sprøytebetong:

- miljøklasse MA
- v/c-tall max. 0,40
- betongstyrke 45 MPa
- bruk av akselerator er ikke tillatt
- for å holde vanntilsetningen på et rimelig nivå tillates bruk av plastifiseringsstoff

Sammensetning av betong

Det anvendte sprøytebetong må ikke inneholde tilsetningsstoffer som nedsetter betongens elektriske ledningsevne vesentlig. Enhver proporsjonering må forelegges byggeledelsen til uttalelse i god tid før arbeidet påbegynnes.

Kun organisk membranherder (med white spirit) tillates benyttet.

Betongen skal sammensettes slik at følgende funksjonskrav oppfylles:

- skal kunne påføres den eksisterende betong med god vedheft til denne
- skal kunne motstå de aktuelle/opptredende belastninger
- skal være tett og værbestandig
- skal imøtegå svinn optimalt

Dimensjoneringskriterier:

Det skal sikres en strømtetthet på 15 mA pr. m² ståloverflate til den armering som skal beskyttes. Strømtettheten i grenseflaten mellom anodenett og sprøytebetong, må ikke overskride 110 mA pr. m² anodeoverflate.

Krav til heftfasthet

Den eksisterende betongs aktuelle heftfasthet bestemmes etter rensing ved avtrekksforsøk med 5 prøver pr. pilar. Heftfastheten bør generelt ikke være mindre enn 1,5 N/mm².

Entreprenøren skal utføre prøvefelt (1 000 x 1 000 mm) med sprøytebetong på 1 utvalgt pilar etter nærmere avtale med byggeledelsen.

Til bestemmelse av sprøytebetongens heftfasthet, skal det i prøvefeltet utføres 5 avtrekksprøver hvor minimumsverdien ikke må være under $1,0 \text{ N/mm}^2$.

Ovennevnte verdier for heftfastheten refererer til verdier oppnådd på et min. \emptyset 75 mm stort prøvelegeme som avtrekkes med en konstant belastningstilvekst.

Type avtrekksinstrument samt avtrekksprosedyre skal forelegges byggeledelsen i god tid (min. 1 uke) før instrumentets anvendelse.

Kontroll og dokumentasjon påhviler entreprenøren.

Etablering av armeringskontinuitet

Før KB etableres, skal det sikres full elektrisk forbindelse (armerings-kontinuitet) mellom alle armeringsjern som inngår i de soner som skal beskyttes katodisk.

I tillegg skal alle metallgjenstander, som evt. er plassert på betongoverflaten nærmere enn 0,5 m fra anodenettet, inngå i systemet ved å være elektrisk forbundet med armeringen eller ved en separat negativ forbindelse.

Armeringens kontinuitet skal etableres som beskrevet nedenfor.

Armeringskontinuitet kan sikres ved at det foretas opphugninger inn til armeringen i smale vannrette og loddrette striper som følger:

1. Vannrett rundt hele pilaren ca. 0,5 m og ca. 5,0 m over fundamentoversiden
2. Loddrett på øst- og vestsiden av pilaren

I disse striper skal den utvendige overflate av alle frilagte armeringsjern renses og \emptyset 8 mm armeringsjern påsveises all frilagt armering. Det må kontrolleres at gammel armering er sveisbar.

Etter påsveising av armeringsjern skal kontinuiteten dokumenteres vha. motstandsmålinger. Det skal utføres motstandsmålinger på utvalgte deler av armeringen. Alle foretatte målinger skal inntegnes på tegninger hvor plasseringen av målepunktene framgår samt resultatene av målingene. Tegningene skal inngå i avleveringsrapporten. Resultatene skal godkjennes av byggeledelsen før installasjonen av KB-systemet påbegynnes.

Diskontinuitet i armeringen indikeres på følgende måter:

- Motstandsmålinger som langsomt beveger seg opp eller ned med en verdi $> 0,3 \text{ Ohm}$ på 15 sek.
- Motstandsmålinger som forandres mer enn $0,5 \text{ Ohm}$ når ledningsforbindelsene byttes om

- Ustabile motstandsmålinger samt uregelmessig variasjon i motstandsverdiene
- Motstandsverdier større enn 0,5 Ohm

Etablering av negative forbindelser

I alle områder hvor det skal etableres en negativ forbindelse til armeringen, må følgende prosedyrer følges:

1. I det aktuelle område må et hovedarmeringsjern eksponeres og renses til blankt stål framkommer i kontaktsnittet.
2. Den negative ledning/returkabel forbindes til armeringen enten med en kobberskrue/klemme, ved lodding eller ved sveising. Dersom sveising benyttes må kabelen ikke sveises direkte til armeringsjernet, men forbindes via en stållask. Entreprenøren må forevise detaljer av den påtenkte metode til byggeledelsen for godkjennelse.
3. Hele forbindelsen inndeckes i epoxy og det skal dokumenteres at motstanden er $< 0,3$ Ohm, og at den forblir konstant når kabelen beveges. Alle kabler under betongoverdekningen skal være HDPE eller XLPE kobberbaserte multiledere. Alle forbindelsespunkter skal godkjennes av byggeledelsen før disse inndeckes og forsegles.
4. Alle negative ledninger/returkabler må forbindes til fordelings- og hovedterminalene, og deretter inspiseres og testes.

Merk 1: Alle posisjoner til kabler og deres forbindelsespunkter, skal noteres og avmerkes på de endelige tegningene.

Merk 2: Dersom 2 armeringsforbindelser er påkrevd innenfor samme område, f.eks. til systemet og til referanse-elektrode, kan disse forbindes til det samme negative punkt på armeringen.

Merk 3: Alle ledninger må trekkes kontinuerlig mellom de respektive forbindelsespunkter. Skjøting er kun tillatt dersom det er spesifisert på leverandørens arbeidstegninger. Alle ledninger må festes og merkes, og dette må framkomme på de endelige tegningene.

Alle målinger skal registreres og godkjennes av byggeledelsen samt inngå i avleveringsrapporten.

Levering og montering av referanse-elektroder

Det skal minimum monteres 2 referanse-elektrode i hver anodesone. For pilarene betyr dette en på øst- og en på vestsiden for hver av sonene 1 og 2.

Entreprenøren må påregne at flere referanse-elektroder kan kreves montert etter at de supplerende undersøkelsene er gjennomført.

Alle elektroder skal overvåkes ved T/L-enheten. Tilkoblingspunktene for elektrodernes kabler, og dermed overvåkningspunktene, skal være inne i likeretterkabinettet på frontpanelet. Alle elektroder skal nummereres, og numrene skal klart framgå av graverte merker på T/L-enhetens frontpanel.

Det skal benyttes referanse-elektroder av type ERE 10, produsert av Korrosionscentralen ATV - Danmark. Til hver referanse-elektrode skal det foreligge et dokumentasjonsblad som viser:

1. Kalibreringsverdi ved måling i en mettet $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -oppløsning mot en mettet calomel-elektrode (SCE) ved ca. $20^\circ \pm 5^\circ \text{C}$. Detaljer om testmiljøet og betingelser ellers må klart framgå av papirene.
2. Referanse- eller identifikasjonsnummer, som også må være klart merket på kablene.
3. Produksjons- og testingsdato, samt hvem som har utført testen.

Dersom entreprenøren ønsker å benytte andre elektroder, må fullstendige datablader og referanselister (som skal vise til bruk i betong i minimum 4 år) legges fram for byggeledelsen for godkjenning.

Alle elektroder skal sendes, lagres og installeres i overensstemmelse med leverandørens anvisninger. Monteringsstedet og elektrodenummer skal noteres, og disse opplysninger skal framgå av de endelige tegninger.

Referanse-elektrodene skal monteres etter meislingsarbeidet er ferdig og før sprøytebetongsarbeidet utføres. Elektrodene plasseres på bakgrunn av de supplerende undersøkelsene.

Alle referanse-elektroder skal ha en negativ forbindelse til armeringen i nærheten av elektroden.

Referanse-elektrodene skal monteres i nivå med og parallelt med armeringen. Elektrodene skal innstøpes i en kloridholdig mørtel, 1 vekt-% Cl, og det må påses at det sikres god kontakt mellom elektroden og mørtelen.

Montering av anodenett

Anodenettene festes til betongoverflatene med festepinner/klips av plastikk. Disse skal være i samsvar med anodeproducentens spesifikasjoner og det skal anvendes minst 10-20 stk. pr. m^2 .

Alle deler av anodesystemet skal installeres i henhold til leverandørens anvisninger. Det må utvises forsiktighet ved kuttingen og monteringen av anodene. Under enhver omstendighet må en unngå kontakt mellom anodene og metall.

Anodenettet skal uten unntak monteres slik at en kan oppnå en strømtetthet på 20 mA pr. m² ståloverflate uten at strømtettheten overstiger 110 mA pr. m² anodeoverflate. I spesielle tilfeller kan det være behov for å øke anodestrømmen. Dette kan i så fall gjøres ved å ta i bruk tilleggsanoder lokalt etter behov, legge anodenettene dobbelt eller benytte anodenett med større strømkapasitet.

Anodenettene tilføres strøm ved montering av strømledere på nettene. Disse forbindes til anodenettene ved punktsveising eller tvinning.

Strømlederne monteres på anodenettene etter leverandørens henvisning og isoleres med en krympeslange før de føres til den aktuelle T/L-enhet. Dette forhindrer sjøvann i å tære på skjøten og avlaster dermed kabelen. Alle slike anodeforbindelser må plasseres lett tilgjengelig og deres plassering må framgå på de endelige tegningene.

Hvis det skulle oppstå behov for å skjøte sammen flere nett, må det være en overlapping på minimum 50 mm. Nettene gjøres elektrisk sammenhengende ved sveising eller tvinning.

Hele arealet skal nøye inspiseres og sjekkes, og det skal dokumenteres at det ikke er kontakt mellom anode og armering eller andre metallgjenstander etter at nettet er montert. Dette må gjøres før sprøytebetongen påføres.

Metode for kontroll av at det ikke er kontakt mellom anode og armering/metallgjenstander er beskrevet i det etterfølgende.

Måling av elektrisk kontakt mellom anode og armering/metallgjenstander

To grunnleggende metoder skal følges:

1. Før anodenettet festes til overflaten inspiseres betongoverflaten visuelt for å finne og fjerne evt. metallelementer (formjern e.l.).
2. Etter at anodenettet er installert, måles det om det er elektrisk kontakt mellom anode og katode.

8. KONTROLL OG KVALITETSSIKRING

Det er utført kvalitetskontroll i henhold til dette kapittel som er rapportert og nedfelt i en kontroll/driftsmanual.

Generelt

Entreprenøren skal utarbeide et kvalitetssikringssystem (KS-system) som skal være tilpasset entreprisen. KS-systemet skal oversendes byggeledelsen senest 3 uker etter kontraktsinngåelse for skriftlig godkjenning.

Entreprenørens kontroll og dokumentasjon

Entreprenøren skal dokumentere overfor byggherren at de kvalitetskrav som er fastlagt i anbudsmaterialet blir oppfylt.

Dette medfører at entreprenøren løpende skal gjennomføre en kvalitetskontroll av arbeidet og leveranser. Entreprenøren skal også tilveiebringe dokumentasjon på at kvalitetskontrollen er utført og de spesifiserte krav oppfylt.

Kontrollobjekter, -metoder og -omfang er sammenfattet i avsnitt "Kontrollplaner".

Manglende kontroll og/eller dokumentasjon blir betraktet som en mangel i entreprenørens arbeide og vil medføre tilbakeholdelse av akontoutbetalinger/sluttoppgjør inntil forholdet er brakt i orden.

Byggeledelsens kontroll

Uavhengig av entreprenørens kontroll vil byggeledelsen utføre stikkkontroll av arbeidet og av entreprenørens kontrolldokumentasjon.

Denne kontroll fritar ikke entreprenøren for det fulle ansvar for arbeidets korrekte utførelse, kontroll av dette og dokumentasjon av at kvalitetskravene er oppfylt.

Byggeledelsen skal ha fri adgang til entreprenørens lagre og produksjonssteder samt ha mulighet for å foreta den ønskede kontroll og gjennomgå entreprenørens kontrolldokumentasjon. Dette er også gjeldende for underentreprenører og leverandører.

Kontrollplaner

I det etterfølgende er det angitt hvordan entreprenørens enkelte ytelser skal kontrolleres og dokumenteres.

Alle utførelses- og kontrolldata skal registreres på egnede skjemaer, kontrollplaner, som er utarbeidet av entreprenøren. Kontrollplanene skal utarbeides i god tid før den aktuelle ytelse skal kontrolleres og de skal godkjennes av byggeledelsen.

Dersom enkelte ytelser er beskrevet i prosjektmaterialet ikke er kommet med i de nedenstående kontrollpunkter, fritar dette ikke entreprenøren for det fulle ansvar for å dokumentere at kvalitetskravene er oppfylt.

KONTROLL/DOKUMENTASJON			
Prosess nr.	Kontrollobjekt	Kontrollmetode	Kontrollomfang
87.19	1) Armeringens korrosjon tilstand	EKP-målinger	Det skal utføres EKP-målinger i samsvar med ASTM-C876.80, ref. C76.87. Det skal måles i nett på 500x500 mm på utvalgte deler av pilarene og fundamentene over vann.
	2) Pilarenes kloridinnhold	RCT eller titretning	Det skal tas kloridprøver på alle pilarer, 2 på øst- og 2 på vestfasadene. Analysene baseres på borrstøv tatt fra 3 dybdenivåer, 0-25, 25-50 og 50-75 mm fra overflaten.
	3) Betongens og armeringens generelle tilstand	Opphugninger	Det skal utføres opphugninger etter nærmere angivelse fra byggherren. Opphugningene skal dekke et areal på 250 x 250 mm ² og være 50 - 70 mm dype.
87.441	Betongoverflaten	Visuell inspeksjon Hammer	Alle betongoverflater hvor det skal monteres anodenett skal nøye gjennomgås for lamineringer og andre skader. Byggeledelsen skal varsles for å kontrollere meislingsarbeidet.
87.445	1) Eksisterende betongs heftfasthet	Avtrekksforsøk	Eksisterende betongs heftfasthet bestemmes ved avtrekksforsøk. Avtrekksforsøk utføres etter at betongoverflatene er renset. Det skal tas 5 prøver pr. pilar.
	2) Sprøytebetongens kvalitet	Skriftlig dokumentasjon Prøvestøping Avtrekksforsøk	Forslag til proporsjonering av sprøytebetong skal leveres byggeledelsen for godkjenning i god tid før arbeidsstart. Etter nærmere avtale med byggeledelsen skal entreprenøren utføre et prøvefelt med sprøytebetong på pilarene. Det skal tas 5 avtrekksprøver i prøvefeltet.
87.491	Etablering av armeringskontinuitet	Motstandsmålinger	Armeringskontinuitet skal kontrolleres i alle soner hvor KB skal etableres. Alle metallgjenstander, plassert på betongoverflaten nærmere enn 0,5 m fra anodenettet, skal være elektrisk forbundet med armeringen eller ved en separat negativ forbindelse.
87.492	Installasjon	Visuell inspeksjon Motstandsmålinger	Metode for etablering av negative forbindelser skal forevises byggeledelsen for godkjenning. Alle forbindelser skal godkjennes av byggeledelsen før disse forsegles. Det skal dokumenteres at motstanden i forbindelsespunktene er < 0,3 Ohm.
87.4921	Negative forbindelser		
	Negative ledninger/returkabler		Alle negative ledninger/returkabler skal inspiseres og testes og posisjoner noteres og avmerkes. Alle målinger skal godkjennes av byggeledelsen.
87.4922	Referanse-elektroder	Skriftlig dokumentasjon	Hver referanse-elektrode skal ha et dokumentasjonsblad som viser bl.a. -kalibreringsverdi -referanse- eller identifikasjonsnummer -produksjons- og testdato
87.4924	Anodenett	Visuell inspeksjon Motstandsmålinger	Før anodenettet festes til overflaten skal denne inspiseres nøye visuelt for å finne og fjerne evt. metallgjenstander. I hver anodesone skal det kontrolleres og dokumenteres at det ikke er elektrisk kontakt mellom anodenettet og armeringen/metallgjenstander.

KONTROLL/DOKUMENTASJON			
Prosess nr.	Kontrollobjekt	Kontrollmetode	Kontrollomfang
87.4925	T/L-enheter	Skriftlig dokumentasjon	Alle detaljer om foreslått system må forelegges byggeledelsen for godkjenning.
87.4931	Innregulering m.v	Skriftlig dokumentasjon	Forslag til design og spesifisering må forelegges byggeledelsen for godkjenning.
87.4932	Måleresultater og tegninger	Visuell inspeksjon	Kontroll av alle kabelføringer og -tilkoplinger, negative forbindelser, referanseelektroder og T/L-enheter.
		Motstandsmålinger	Elektrisk motstand mellom anode og katode (armering) registreres for representative punkter i hver anodesone.
		Potensialmålinger	Registrering av "initialpotensial" for alle anodesoner samt potensiale til alle referanse-elektroder. Måling av "instant-off" potensialet, 4 timers depolarisasjon og total depolarisasjon.
		Skriftlig dokumentasjon	Samtlige utførte kontroller og målinger skal nedfelles i en avleveringsrapport som skal utarbeides i 2 eksemplarer. Det skal også utarbeides tegninger over alle utførte installasjoner på brua.

9. JUSTERING OG INNREGULERING AV ANLEGGENE

Justering og innregulering av KB-anleggene skal utføres på et tidspunkt når overdekningen, som ble sist påført, har hatt mulighet til å herde i tilstrekkelig grad (minimum 28 modenhetsdøgn).

Nødvendige kontroller og inspeksjoner før igangsetting

Følgende kontroller og inspeksjoner skal være utført før strøm tilsluttes anleggene:

1. Kontroll av anodekontinuitet i de respektive anodesoner
2. Kontroll av alle negative forbindelser
3. Kontroll av at det ikke er elektrisk forbindelse mellom anodenett og katode (armering)
4. Kontroll av referanse-elektrodenes montering og funksjon
5. Kontroll av T/L-enheter mhp. montering og funksjon
6. Inspeksjon av alle kabler etter montering mhp. korrekt montering og merking

I tillegg skal følgende potensialer registreres og noteres:

7. "Initial-potensialet" for alle anodesoner. Potensialet framkommer som et resultat av den galvaniske koblingen mellom anoden og armeringen, normalt i området 0,1 - 1,5 V.

8. Potensialer til alle referanse-elektrodene

Alt utstyr som er påkrevet i forbindelse med igangsetting av anlegget skal besørges av entreprenøren.

Målinger ved igangsettelse

Ved igangsettelse av KB-anlegget, dvs. ved tilslutning av strøm, skal følgende målinger utføres 10 min., 3 t og 24 t etter at strøm er tilsluttet:

1. Strøm- og spenningsverdier til de respektive anodesoner
2. Potensialverdier til alle referanse-elektrodene

Alle resultater fra ovennevnte registreringer og kontroller må nøye noteres og inngå i avleveringsrapporten.

10. DRIFT AV ANLEGGET

Driftmanual

Det er for Sortlandsbrua utarbeidet driftmanual samt rapport (loggbok) fra utførelsen.

Stikkord for innhold i en driftmanual:

- Driftinstruksjon
- Måleprogram og måleskjemaer
- Prosjektdokumenter
- Rapport fra utførelsen/foto
- Tegninger
- Produktspesifikasjoner
- Forundersøkelser

Måleprogram

Måleprogrammet på Sortlandsbrua er delt opp i 5 forskjellige delprogram som skal utføres etter en gitt frekvens de første driftsårene.

A

1. Strøm- og spenningsoutput fra likeretterne
2. "On-potensialer" på ref.cellene
3. Temperatur- og værforhold (regn, vind, sol etc.)

B

1. Potensialmålinger på ref.cellene. "On"- og "instant off" potensialer og 4 timers depolariseringsmålinger

C

1. Eksterne potensialmålinger
EKP-målinger på overflaten utført som "on"-, "instant off" og 4 timers depolarisasjonsmålinger

D

1. Total depolarisasjon

E

1. Måling av heftfasthet
2. Registrering av surhetsgrad

11. DRIFTSRESULTATER

Prøveprosjekt akse 5, 12, 16

Det ble satt strøm på de 3 pilarene som deltok i prøveprosjektet i januar 1991. Etter 2 måneders drift ga samtlige innstøpte ref.celler (13 stk.) 4 timers depol-verdier på mellom 100-300 mV. Dette er tilfredsstillende i henhold til kravet for beskyttelseskriteriet. Dessverre foreligger det ikke flere måleresultater på anlegget pr. mai 1992.

Øvrige pilar utført 1991

Det er pr. 1. mai 1992 ikke koblet strøm på anlegget. Dette for å kartlegge evt. "bom soner" før strøm kobles til.

12. ØKONOMI

Det økonomiske bilde av reparasjonen på Sortland er trolig ikke representativt for reparasjon med KB. Dette fordi det var mye skadeutbedring på pilarene og samtidig at en del av pilarene er definert som FoU-prosjekt som har ført til en kostnadsøkning pga. økt instrumentering og spesiell utførelse.

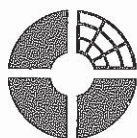
Enhetsprisene for prøve reparasjonen med KB på brua lå forøvrig på ca. 6 000,-/m².

13. TOTALVURDERING

Da det kun er prøvereparasjoner som er satt i drift pr. 1. mai 1992 er det kun denne jeg vil kommentere.

Prøvereparasjonen må anses som vellykket. Det problemet som vi må vurdere nærmere er problemer med noen delaminering på pilarene. Dette skyldes trolig dårlig rengjøring før påføring av sprøytebetong.

Appendix H Sortlandsbrua, tilsandskontroll
av søyler 1990. (Jan Østvik Ringtek)



RINGTEK AS
rådgivende ingeniører - M.R.I.F

Fagernesveien 1 - 8500 Narvik

RAPPORTNUMMER

9003

TILGJENGELIGHET

Fortrolig

RAPPORTENS TITTEL SORTLANDSBRUA Tilstandskontroll av søyler 1990	DATO 28.02.1990
	ANT. SIDER 20 + vedlegg
SAKSBEHANDLER/FORFATTER Ing. Jan M. Østvik	ANSV. SIGN.
	PROSJEKT NR. 9001
OPPDRAKSGIVER Vegkontoret i Nordland	REF. Avd. ing. A. Pettersen
EKSTRAKT <p>Det er gjennomført en detaljert visuell kontroll for nedre deler av søylene for Sortlandsbrua, Sortland kommune. Kontrollen omfatter kjerneboring og måling av kloridinnhold i pilarene. Kontrollen dekker området fra ok fundament på kote + 2,0 m og ca. 4,5 m opp.</p> <p>Det gis en generell beskrivelse av konstruksjonen. Registrerte skader behandles i detalj og dokumenteres med bilder, 68 stk.</p> <p>Det er tildels alvorlige korrosjonsangrep på pilarene 4, 5, 6, 7, 12, 14, 15 og 16. Disse skader er i hovedsak påvist på pilarens østre side.</p> <p>De utførte kloridmålinger viser svært høye verdier.</p>	

O. KONKLUSJON

Det er gjennomført en detaljert visuell kontroll av Sortlandsbrua, Sortland kommune. Kontrollen omfatter søylens nedre deler fra sokkelfundament og så høyt som vi når fra båt. Det er foretatt måling av kloridinnholdet i 16 av 20 piler. Videre er det boret ut kjerner i 9 av 20 piler. De utborede kjerner er overlevert Statene Vegvesen for videre behandling.

Det er registrert omfattende korrosjon på pilarene 4, 5, 6, 7, 12, 14, 15 og 16. Denne korrosjon er stort sett registrert på østre vegg. De utførte undersøkelser viser at skadene er forårsaket av klorider, trolig inntrengte klorider, i tilstrekkelige mengder til at en utbredt korrosjon har kunnet skje. Det fuktige miljøet og den reduserte betongoverdekningen er forhold som har bidratt til å aksellere denne prosess.

For å kartlegge hvor høyt kloridinntrengning skjer og har skjedd bør det utføres kloridmålinger høyere opp på søylene. Videre bør det bores ut kjerneprøver for prøving av trykkfasthet og densitet. Videre bør betongen kontrolleres med hensyn til frostbestandighet, ved at det utføres strukturanalyser for å fastslå porestruktur og v/c-tall.

1. INNLEDNING

Høsten 1988 ble det foretatt en generell visuell kontroll av pilarer i vann for Sortlandsbrua. Denne inspeksjonen avdekket relativt omfattende korrosjons-skader på pilarene 3, 4, 5, 6, 7 og 12. Skadene var konsentrert til de nederste 2 - 3 metrene av pilarene. Skadene bestod i hovedsak av opprissing, rustutslag og avskallinger. Ved opphugging av "bomme" områder ble det avdekket heftig armeringskorrosjon, både på vertikal- og horisontalarmeringen. Pilarens tilstand på inspeksjonsdagen er sammenfattet i brev av 11. oktober 1988.

I forbindelse med forberedelsene til planlegging av utbedringene og for å fremskaffe nødvendig underlag for valg av reparasjonsmetode ble Ringtek A.S. engasjert til å foreta en utvidet kontroll av samtlige pilarer for brua. Den utvidede kontrollen omfatter måling av karbonatiseringsdybder, kloridprofiler og kjerneboringer fra skadede pilarer. Kontrollen dekker søylene i fra kote +2,00 m og så høyt som mulig til ca. kote +6,50 m.

Denne rapporten oppsummerer resultatet fra den utvidede kontroll.

2. BESKRIVELSE AV BRUANLEGGET

2.1 Generelt

Sortlandsbrua inngår i riksvei 17 og utgjør en del av regionens fastlandsforbindelse. Brustedet ligger ved Sortland, Sortland kommune.

Brua er 948 m lang og 10 m bred inklusive gangbane på begge sider av brua. Brua er understøttet av 22 pilarer, hvorav 2 er landkar. Med unntak av landkarene er alle bruas pilarer fundamentert under laveste lavvann.

Bruanlegget ble påbegynt 1972 og var fullført høsten 1974. Utførende entreprenør var ing. F. Selmer A.S.

2.2 Generell karakteristik

Bæresystemet for sidefeltene er utført som en kontinuerlig betongbjelkebru over 9 felt på hver side. Spennvidden i sidefeltene er 36 m. Overbygningen er opplagt på søyler med varierende tverrsnitt, fra b/h = 500/3000 til 1500/3000. Tverrsnitt 500 x 3000 gjelder for pilarer i aksene 1, 2, 3, 18, 19 og 20. Tverrsnitt 800 x 3000 gjelder for pilarene i akse 4, 5, 6, 15, 16 og 17 mens pilarer i akse 7 og 13 har et tverrsnitt på 1000 x 3000. Pilarene 8 og 13 er utført med en b/h = 1500 x 3000. I hovedspennet som går over 3 felt har tverrsnittet form som en lukket kassebærer med tverrsnitt b/h 5400/8000 ved støtte og på midten er tverrsnittet 5400/2000 mm.

Det henvises generelt til tegningene nr. 927: -03, 10, 15, 16, 18, 32, 29, 30, 33, 35, 43, 44, 57 og 70.

2.3 Betong

Til søylene er det beskrevet betongkvalitet B350 NS427.A, og slumpmålet skal være mellom 70 og 100 mm. Videre er det angitt at det skal benyttes luftporedannende tilsetningsstoffer slik at en oppnår et porevolum på $4,5\% \pm 0,5\%$. Det fremgår ikke av det tilgjengelige materialet om det skal benyttes plastifiserende og vannreducerende tilsetningsstoffer. Så langt vi vet er det heller ikke stilt krav til maksimalt vann/sementforhold (v/c-tall). NS 3420 setter i dag krav til maksimalt v/c-tall = 0,45 for tilsvarende konstruksjoner. Dette for å tilfredsstille krav til tetthet og derved betongens evne til å motstå inntregning av klorider og kulldioksyd.

Vi har videre brakt på det rene at det er benyttet akselererende tilsetningsstoffer, hovedsakelig i den nedre delen av søylen. Dette for å redusere formtrykket under utstøping. Det ble trolig benyttet kalsiumklorid (CaCl_2). Doseringen er ikke kjent.

2.4 Armering

Armeringen som er anvendt i konstruksjonene er kamstål av kvalitet Ks 50 og Ks 40 S. Ks 50 er benyttet til lengdearmering, mens Ks 40 S er benyttet til bøyer.

Foreskrevet overdekning varierer og er som følger:

- søyler 50 mm
- bruplate ok 50 mm
- uk 30 mm

Ved inspeksjon av pilarene er overdekningen kontrollert på søylene. Overdekningen er målt med et Covermeter BS1881 levert av Geonor A.S.

3. BESKRIVELSE AV INSPEKSJONSSTEDET

3.1 Oppdragets art

Oppdraget består av en tilstandskontroll av søylene fra kote +2,0 m og så høyt som mulig. Det skal måles kloridinnhold i flere nivåer og det skal bores ut kjerner for kontroll av de målte kloridmengder. Kloridinnholdet skal måles etter RCT-metoden (Rapid-Chloride Test).

3.2 Observasjoner på brustedet

Feltarbeidet er utført i perioden 07.02-14.02.90. Feltarbeidet er utført av ingeniør Jan M. Østvik og Ulf R. Skavik. I den perioden feltarbeidene pågikk var værforholdene de aller beste og vi ble ikke påført forsinkelser av noen art.

Brustedet er meget sterkt påvirket av strøm. For å ligge i ro ved pilarene måtte vi la båten gå mot strømmen.

3.3 Utstyr

For å kunne gjennomføre feltarbeidene har følgende utstyr vært i bruk:

- 4,5 kW dieselaggregat
- Elektrisk kjerneboringsmaskin
- Elektrisk boremaskin Hilti TE-12S
- Stillbildekamera
- RCT-måleutstyr
- Covermeter
- Båt.

4. BESKRIVELSE AV SKADER

4.1 Generelt

En generell observasjon er at alle pilarenes østre side synes å være fuktigere enn pilarenes vestre side, se bildene 1 og 2. Det mørkere partiet varierer i høyde. I hovedsak er alle korrosjonsskader påvist på østre vegg og det er derfor rimelig å anta at det er sammenheng mellom korrosjon og de mørkere områdene på pilarene. Dette blir i en viss grad bekreftet av EKP-målingene.

Pilarnummereringen følger tegning nr. 927/03 utarbeidet av Dr.ing. A. Aas-Jakobsen A.S.

4.2 Beskrivelse av de enkelte pilarer.

4.2.1 Landkar i akse 0

Landkaret er ikke inspisert og inngår ikke i denne rapport.

4.2.2 Pilar i akse 1

Det er ikke registert skader på pilaren. Det er heller ikke foretatt RCT-målinger. Dette fordi vi ikke kunne fortøye båten ved pilaren. Båten var for høy til at vi kom under brua.

4.2.3 Pilar i akse 2 bilde 3 og 4

Det er ikke registert skader på pilaren, og den ser meget bra ut.

Overdekningen er målt og er funnet til å ligge mellom 38 og 43 mm.

4.2.4 Pilar i akse 3 bildene 5 - 7

Det er registrert skader på pilarens østre side. 300 mm nord for søndre hjørne er det påvist et avskallet område 600 mm bredt og 400 mm høyt. Armeringen er korrodert. Både horisontal- og vertikalarmeringen korroderer. Overdekningen i avskallingen er målt til 22 mm. Overdekningen på østre vegg synes å variere fra 20 - 28 mm målt på horisontalarmeringen. På vestre vegg er overdekningen målt til 23 - 43 mm, gjennomsnittlig ca. 30 mm. På søndre kortvegg er det påvist rustutslag fra fundament og 300 mm opp.

4.2.5 Pilar i akse 4 bilde 7 og 8

Det er registrert skader på østre og nordre vegg mens øvrige veggside ser meget bra ut. På østre vegg er det påvist store mengder korrosjonsprodukter i overflaten, se bilde nr. 8. Videre er det påvist riss og avskallinger over hele østre vegg fra ok fundament og 2-2,5 m opp på pilaren. "Bomme" områder er hugget opp og underliggende armering er meget sterkt korrodert. Disse områdene er lokalisert 1000 mm fra søndre og 700 mm over fundamenttopp, 1600 mm fra søndre hjørne og 1500 mm over fundamenttoppen. Avskallet flate er 400 mm bred og 300 mm høy. Overdekningen i avskallet flate er 23 mm. Overdekningen, målt med Covermeter, i den nederste meteren varierer mellom 23 og 34 mm.

4.2.6 Pilar i akse 5 bilde nr. 9 - 11

Det er påvist svært mye korrosjonsprodukter i betongoverflaten på østre vegg, se bilde nr. 9 og 10. Fra fundamenttopp og 2 m opp er det korrosjonsprodukter i overflaten. Videre er det påvist store avskallinger hvor både horisontal- og vertikalarmeringen er frilagt. Den frilagte armeringen er meget sterkt korrodert. På kote + 4,5 m ca. 1200 mm fra søndre hjørne er det påvist avskallinger og et riss fra avskallingen og frem til søndre hjørne. I dette område er betongen bom. Det er sikre indikasjonene på at underliggende armering ruster.

På det nordøstre hjørne er det påvist korrosjonsskader. betongen er misfarget av rust og det er påvist vertikalriss i hjørnet i en høyde av 3 - 4 m over fundamenttoppen. Videre er det registrert korrosjonsprodukter i overflaten på søndre vegg i tilknytning til det sydøstre

hjørne. Rustutslaget er synlig fra ok. fundament og 300 mm opp, se bilde nr. 9.

Overdekningen i avskallet område er målt til 20 mm på horisontalarmeringen. Betongoverdekning er målt med Covermeter. Denne varierer fra 30 - 40 mm på vestre vegg og fra 20 - 35 mm på østre vegg. Overdekningen er målt på horisontalarmeringen.

4.2.7 Pilar i akse 6 bilde nr. 12 - 13

Det er registrert skader på østre og søndre vegg. På østre vegg er det påvist rustutslag fra 0 - 800 mm opp på søylen, se bilde nr. 12. Videre er det registrert en utbedring i tilknytning til hjørnet. I denne utbedring er det funnet frilagt armering. Denne er i en sterk korrosiv tilstand. Forøvrig er det ikke registeret skader av betydning på søylen.

Overdekningen på horisontalarmeringen er målt til 25-31 mm på østre vegg og 30 - 40 mm på vestre vegg.

4.2.8 Pilar i akse 7 bilde 14 - 15

Det er påvist rustutslag og fellingsprodukter (CaCO_3) på østre side av pilaren. Fellingsproduktene er lokalisert til riss og betongen er "bom" i store områder. På det nordøstre hjørne er det påvist rustutslag og riss. Betongen i avfaset flate er risset opp i en høyde av 2,5 m over fundamenttoppen.

Øvrige flater på pilar 7 ser stort sett bra ut og det er ikke registrert skader av betydning.

4.2.9 Pilar i akse 8 bilde 16 -18

Pilaren ser meget bra ut og det er ikke registrert skader av betydning. Imidlertid er det påvist rustutslag i tilknytning til AZ-stag på nordre og søndre kortvegg, se bildene 16 og 17.

Overdekningen varierer mellom 27 og 33 mm på alle sider.

Ved boring av støv treffes armeringen i dybde av 30-45 mm.

4.2.10 Pilar i akse 9 bildene 19 - 21

Pilaren av første pilar i hovedspennet. Det er påvist mindre områder med rustutslag på nordre kortvegg og på det nordøstre hjørne av østre vegg, se bilde nr. 19 og 20. Videre er det påvist dårlig gjenstøping av utsparing i pilarfoten, se bilde. Det er registrert et vertikalt riss over en lengde på 500 mm. Risset er lokalisert til det nordvestre hjørne ca. på kote +6,5 m (4,5 m over fundamenttopp). I risset er det påvist korrosjonsprodukter. Overdekningen er målt og funnet til å variere mellom 48 og 60 mm. Overdekningen er trolig målt på et horisontaljern.

Videre er stort sett all betongen som skulle utgjøre beskyttelsen til den aktive forankring av spennkablene borte slik at kabelhodet er blottlagt, se bilde nr. 21. Kabelhodet er korrodert.

4.2.11 Pilar i akse 10 bildene 22 - 27

Pilaren er hovedfundamentet på Sortlandssiden. Det er ikke registrert skader av noen art på pilaren. På toppen av fenderkappen er stort sett de fleste av forankringsstagenes aktive forankring frilagt og korrodert, se bilde nr. 26 og 27.

På det sørvestre hjørne, ca. diagonalt ut fra hjørnet er det påvist en 1,2 x 1,5 m stor betonghelle, 50 - 80 mm tykk. Denne har ligget som et lokk over en sandpute, se bilde nr. 24. Inne i sanden er det funnet noe som trolig er injeksjonsslanger. Overdekningen er målt til 58 - 63 mm.

4.2.12 Pilar i akse 11 bilde nr. 28

Pilaren er hovedfundament på Strandsiden. Betongen i pilaroverflaten ser meget bra ut og det er ikke påvist skader av betydning. På vestre vegg er det ca. 3000 mm over fenderkappen, på kote + 5,0 m og 900 mm sør for nordre hjørne funnet et vertikalt riss. Rissvidden er 1 - 2 mm. Det er registrert fellingsprodukter i risset.

Toppen av fenderkappen er stort sett i samme tilstand som angitt på pilar 10. Overdekningen er målt med Covermeter til 55 - 61 mm.

4.2.13 Pilar i akse 12 bilde nr. 29 - 39

Det er registrert store mengder frilagt armering på pilarens nederste 400 mm. Det er særlig tilfelle på pilarens søndre kortvegg, se bilde nr. 32 og 33.

Betongen i dette område er meget grov og porøs. Den frilagte armeringen er meget sterkt korrodert - resttverrsnitt er trolig mindre enn 65%. Betongen bak armeringen kan lett plukkes ut med enkle redskaper. På de øvrige sidene er det funnet korrosjonsprodukter i overflaten i denne sonen, men i langt mindre omfang enn angitt for søndre side. Betongen over dette området er betydelig bedre og det er ikke registrert korrosjonsprodukter over kote + 3,00 m.

Overdekningen på pilaren er målt til 55 - 63 mm. Den frilagte armering ligger ca. 60 mm bak betongoverflaten.

På toppen av fenderkappen er alle kabelhodene frilagt, se bildene 36 - 39.

4.2.14 Pilar i akse 13 bildene 40 -42

Pilaren ser meget bra ut. Det er ikke registrert skader av betydning. På vestre vegg ca. 4,0 m over fundament-toppen er det påvist et mindre steinreir, se bilde nr. 42.

Overdekningen er målt med Covermeter og varierer fra 40 - 50 mm på østre vegg og nordre vegg, 60 - 70 mm på søndre og 50 - 60 mm på vestre vegg.

4.2.15 Pilar i akse 14, bildene nr. 43 - 45

Pilaren er utstyrt med sprengningskammer. Dette står uten lokk og er meget sterkt korrodert. På pilarens østre og vestre side 1800 mm over fundamenttoppen og 1000 mm nord for søndre hjørne er det påvist et \emptyset 12 mm

armeringsjern i betongoverflaten. Stålet er synlig over en lengde på 120 mm, se bildene 43 og 44. Det kan se ut som om det frilagte stålet tilhører røret som utgjør sprengningskammeret.

På det nordøstre hjørne er det funnet et vertikalt riss i en høyde av 2000 mm over fundamenttoppen. Det er ikke påvist rustutslag i risset. På nordre vegg ca. 200 mm over ok fundament er det rustutslag, se bilde nr. 45. Overdekningen er målt med Covermeter og er funnet å være 25 - 40 mm på østre vegg og 30 - 50 mm på vestre vegg. På pilarens østre side står det to AZ stag ut av veggen. Disse ligger 2000 mm over fundamentet, se bilde nr. 44.

4.2.16 Pilar i akse 15, bildene nr. 46 - 48

Pilaren er utstyrt med sprengningskammer. Dette står uten lokk og er sterkt korrodert. Pilarens vestre, søndre og nordre side ser stort sett bra ut. På østre vegg er det påvist rustutslag og avskallinger i tilknytning til en avstandskloss. Dette området er begrenset i omfang, men underliggende armering er korrodert. Videre er det påvist et vertikalt riss på det nordøstre hjørne. I tilknytning til risset er det påvist rustutslag og fellingsprodukter, se bilde nr. 48. Betongen i dette området er bom flere steder. Forøvrig ser pilarens østre side overveiende bra ut.

Overdekningen er målt med Covermeter og laveste verdi er funnet på østre vegg og er 20 mm. Forøvrig varierer overdekningen mellom 25 og 35 mm.

4.2.17 Pilar i akse 16, bildene 49 - 54

Pilarens nordre, vestre og søndre side ser tilsynelatende meget bra ut. Det er ikke påvist nevneverdige skader på disse veggflatene.

På østre vegg er det i området fra ok fundament og 4 - 5 m opp registrert flere rustutslag, avskallinger og riss. I rissene er det påvist fellingsprodukter, se bildene 50 og 51. På kote + 3,0 m er avskallet betong hugget bort. Denne er 700 mm bred 400 mm høy og går inn til armeringen. Frilagt armering er meget sterkt angrepet av korrosjon, se bildene 53 og 54. Overdekningen er målt til 20 mm i dette området.

Overdekningen målt med Covermeter viser samme verdi over hele østre vegg fra fundamentet og 1500 mm opp. På vestre vegg er overdekningen målt til 28 - 34 mm.

Armeringen på pilarens østre side synes å være i en korrosiv tilstand i en høyde av 4 - 5 m. Ved nedslåing av avskallet betong ble det konstatert sterkt forvitret betong bak et 10 - 15 mm hardt sjikt. Dette kan indikere at betongen i denne pilaren er frostskaadet. Dette bør undersøkes nærmere.

4.2.18 Pilar i akse 17, se bilde nr. 55 - 56

Pilaren ser rimelig bra ut. Det er ikke påvist skader av betydning på betongoverflaten. Men ved boring for støv til kloridmålingene på nivå 3300 mm over fundamenttoppen og 1300 mm sør for nordre hjørne ble det påvist et stort område med bom. Lamineringen ligger 10 - 15 mm bak overflaten. Nedenfor dette nivået virker betongen hel. Hvor høyt denne lamineringen strekker seg vet vi ikke. Dette kan kun bekreftes ved bruk av lift.

Overdekningen er målt til 29 mm på vestre vegg, målt på et horisontaljern. På østre vegg var det ikke mulig å få entydige resultater. Laveste målte verdi er 29 mm, dette er trolig for høyt.

4.2.19 Pilarer i akse 18, 19 20 og 21

Pilarene er ikke inspisert og inngår således ikke i denne rapport.

4.3 Kjerneboring

4.3.1 Generelt

Det er tatt ut kjerner av pilarene 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 2 stk., 12 og 16. I det etterfølgende vil det bli angitt hvor kjernene er boret, og det gis en kort beskrivelse av kjernene.

4.3.2 Kjerneboring i pilar 4 bilde 59

Kjerneprøven, merket 4.1 er boret tvers gjennom pilaren. Prøven er lokalisert 1100 mm over fundamenttoppen og 1400 mm nord for søndre hjørne. Den utborede prøven har en diameter på 56 mm. Kjernen viser god kvalitet med jevn og fin kornfordeling. Kjernen ble i våt tilstand påsprøytet 1% phenoftaleinløsning og betongen er karbonatisert i en dybde av 3 - 4 mm. Kjernen viser en vertikal laminering ca. 10 - 15 mm bak overflaten.

4.3.3 Kjerneboring pilar 5, bilde nr. 60

Kjerneprøve merket 5.1 er boret 860 mm sør for nordre hjørne og 890 mm over ok fundament. Prøven er boret inn 300 mm. Det er boret i en vertikalarmering \emptyset 25. Denne ligger ca. 53 mm innenfor betongoverflaten. Armeringen har sitt passiviserende belegg i behold og den viser ingen tegn på korrosjon. Kjernen viser jevn kornfordeling og porefordeling. Den utborede prøven viser en vertikal laminering 8 - 12 mm bak overflaten.

4.3.4 Kjerneboring pilar 6, bilde nr. 61

Kjerneprøve, merket 6.1 er boret inn 295 mm. Prøven er boret på østre vegg 1400 mm over ok fundament og 890 mm nord for søndre hjørne. Den utborede prøven viser dårlig betong i en dybde av 120 mm. Det er boret gjennom en del av horisontalarmeringen. Denne har ikke det passiviserende belegg og er i en korrosiv tilstand. De ytre delene av betongkjernen er så dårlige at kjernen ikke holdes sammen. Dette kan indikere at betongen er frostskaadet. Dette bør undersøkes nærmere.

Ved inspeksjon av de ytre deler av kjernehullet viser det seg at betongen er laminert i to sjikt. Den ytterste laminering ligger 10 - 12 mm innenfor overflaten og den innerste lamineringen ligger 25 - 32 mm inn. De innerste 170 mm av betongkjernen viser betong av jevnt god kvalitet.

4.3.5 Kjerneboring pilar 7, bilde nr. 62

Prøven er merket 7.1 og er lokalisert til østre vegg 800 mm nord for søndre hjørne og 1234 mm over ok fundament. Betongen i kjernen viser noe ujevn kornfordeling og synes å være noe porøs. Kjernen er delt 27 - 31 mm innenfor overflaten. Inspeksjon av hullet bekrefter dette. Det er registrert en vertikal laminering i liv med armeringen 27 - 30 mm innenfor overflaten.

4.3.6 Kjerneboring pilar 8, bilde nr. 63

Det er boret en prøve merket 8.1. Kjerneprøven er boret på østre side 900 mm over ok fundament og 750 mm nord for søndre hjørne, se bilde nr. 18. Kjernen viser betong med jevn kornfordeling og porestruktur.

4.3.7 Kjerneboring pilar 9, bilde nr. 64

Det er boret en kjerneprøve merket 9.1 av pilaren. Prøven er lokalisert til vestre vegg 1050 mm over fundamentkappen og 360 mm sør for nordre hjørne. Betongen i kjernen er av god kvalitet, med jevn kornfordeling. Prøven ble påsprøytet phenoftalein og viser en karbonatiseringsdybde på mindre enn 5 mm.

4.3.8 Kjerneboring pilar 11, bildene 65 - 66

Det er boret to kjerneprøver av pilaren. Prøvene er merket 11.1 og 11.2. Prøve 11.1 er lokalisert til østre vegg 1120 mm fra nordre hjørne og 1050 mm over fenderkappen. Prøve merket 11.2 er boret på vestre vegg 1060 mm over fenderkappen og 1130 mm nord for søndre hjørne, se bildene 20 og 21. Betongen i begge kjernene viser jevnt over god kvalitet med jevn kornfordeling og porefordeling.

4.3.9 Kjerneboring pilar 12, bilde 67

Det er boret ut en kjerneprøve merket 12.1. Prøven er boret inn 565 mm og er lokalisert til vestre vegg ca. 900 mm over fenderkappa og 1050 mm sør for nordre hjørne. Kjerneprøven viser dårlig betong i en dybde av

0 - 105 mm. Deretter viser betongkjernen jevn og god kvalitet. Kjernen brakk i høyde med vertikalarmeringen, dette kan indikere en vertikal laminering. Det er boret et stykke av vertikalarmeringen. På denne ståldelen er det passiviserende sjikt brutt ned og armeringen er i en aktiv tilstand med hensyn på korrosjon.

4.3.10 Kjerneboring Pilar 16, bilde n. 68

Prøven er merket 16.1 og den er boret gjennom pilaren. Prøven er boret på østre vegg og er lokalisert 1170 mm nord for søndre hjørne og 1280 mm over fundamentet. Kjernen viser to vertikale lamineringer. En ligger 10-12 mm innenfor overflaten og den andre ligger 35 - 40 mm inn i pilaren. Forøvrig er kjernen av god kvalitet. Kjernen inneholder en del av et armeringsstål (vertikal-armering) 60 mm innenfor betongoverflaten. På denne stålbiten er det passiviserende belegget intakt. Stålet er beskyttet, og korroderer ikke.

4.3.11 Kjerneprøvene

De utborede kjerneprøvene er overlevert Vegkontoret i Nordland representert ved Vegstasjonen på Sortland for videre bearbeiding og prøving.

4.4 Kloridmålinger

4.4.1 Generelt

Kloridinnholdet i betongen er målt etter RCT-metoden. Denne kan i korthet beskrives slik: Det bores ut støv ca. 20 g for å få en representativ prøve. Til selve prøven medgår det 1,5 g støv som helles i en prøveampulle. Etter en tid måles potensialet i prøveampullen med et millivoltmeter. Kloridinnholdet i vekt-% av betongvekten avleses på et logaritmisk diagram kalibrert med væsker med kjent kloridinnhold. Støv taes ut ved å bore 4 stk. ø 15 mm hull på horisontal rekke. Dybden sikres ved bruk av borstopper. Borestøvet samles opp ved hjelp av en støvsamler. Det er boret ut støvprøve til en dybde av 90 mm. Ved boring av støvprøver blir hullene rengjort før boring av ny støvprøve.

4.4.2 Grenseverdier

Det er ingen klare grenser for kloridterskelen, men følgende grenser kan anvendes:

Cl-ioner i % av sementvekt	Korrosjonsfare
< 0,4 %	Neglisjerbar
0,4 - 1,0 %	Mulig korrosjon
1,0 - 2,0 %	Sannsynlig korrosjon
> 2,0 %	Sikker korrosjon

NS 3420 setter en maksimalgrense for kloridinnhold på 0,4 masseprosent av sementvekta.

4.4.3 Sementinnhold i betongen

Foreskrevet betongfasthet i søylene er B350. Dette innebærer at sementinnholdet trolig ligger mellom 350-400 kg/m³. Vi antar at sementinnhold på 375 kg/m³. Dette innebærer at det målte kloridinnhold i masseprosent av betongvekten skal multipliseres med en faktor $2400/375 = 6,4$ for å få kloridinnholdet i masseprosent av sementvekten.

4.4.4 Kloridprofiler Pilar 2, Diagram 4.4.1

Det er foretatt kloridmålinger i 3 prøveserier på pilaren. Prøvene er merket 2.1, 2.2 og 2.3. Prøve 2.1 er lokalisert til vestre vegg 360 mm over fundamenttoppen og 820 mm nord for søndre hjørne. Prøve 2.2 og 2.3 er lokalisert til østre vegg henholdsvis 380 og 1300 mm over fundamentet og 1360 mm nord for søndre hjørne. Resultatet av målingene og kloridprofilene er vist på diagram 4.4.1. Det er påvist en klar forskjell i kloridinnholdet på vestre og østre vegg. Profilene på vestre vegg viser ca. 1,0 % Cl-ioner i nivå 0 - 15 mm mens det på østre side er hele 2,6 % Cl-ioner i nivå 0 - 15 mm. For ytterligere informasjon henvises det til diagram 4.4.1.

4.4.5 Kloridprofiler Pilar 3, Diagram 4.4.2

Det er utført kloridmålinger i 4 prøveserier, tre på vestre vegg og en på østre vegg. Prøveseriene er merket 3.1, 3.2, 3.3 og 3.4. Prøvene 3.1 - 3.3 er boret på vestre vegg 1200 mm fra søndre hjørne i nivå 350, 1000 og 1500. Prøve 3.4 er tatt på østre vegg. Resultatet av målingene er sammenfattet i diagram 4.4.2. Det er målt kloridinnhold på opp mot 2,5 % av sementvekten.

4.4.6 Kloridprofiler Pilar 4, Diagram 4.4.3

Det er boret 3 prøveserier på pilaren. Prøvene er merket 4.1, 4.2 og 4.3. Alle prøvene er boret på østre vegg 1650 mm fra søndre hjørne i nivå + 550 mm, 1250 mm og 3000 mm over fundamentet. Resultatet av målingene og kloridprofiler er sammenfattet i diagram 4.4.3. Det er målt kloridinnhold >2 % av sementvekten inn til en dybde av 0 - 30 mm.

4.4.7 Kloridprofiler Pilar 5, Diagram 4.4.

Det er boret 3 prøveserier på pilaren. Prøvene er merket 5.1, 5.2 og 5.3. Alle prøvene er boret på østre vegg 860 mm nord for søndre vegg i nivå 500, 1500 og 3100 mm over fundamentet. Resultatet av målingene er sammenfattet i diagram 4.4.4. Det er målt kloridinnhold på 4,8 % av sementvekten og alle prøvene viser kloridinnhold $> 0,8$ %. Det er kun en prøve som viser lavere kloridinnhold en 1%. Totalt er det utført 15 kloridmålinger og av disse 15 viser kun tre prøve mindre en 1,5 % Cl⁻ioner.

4.4.8 Kloridprofiler Pilar 6, Diagram 4.4.5

Det er boret 3 prøveserier på pilaren. Prøvene er merket 6.1, 6.2 og 6.3. Alle prøvene er boret på østre vegg i nivå 500, 1500 og 3600. Resultatet av målingene er sammenfattet i diagram 4.4.5. Det er målt kloridinnhold på 2,0 - 2,5 % i 4 av 14 prøver. I 11 av prøvene er kloridinnholdet > 1 % .

4.4.9 Kloridprofiler Pilar 7, Diagram 4.4.6

Det er boret 3 prøveserier på pilarens østre side 1200 mm nord for søndre hjørne i nivå 1200, 2000 og 3600 mm over fundamentet. Prøvene er merket 7.1, 7.2 og 7.3. Det er målt kloridinnhold på 2 - 2,7 % i 5 av 15 prøver, det er kun en prøve som viser lavere kloridinnhold enn 1 %. Resultatet er sammenfattet i diagram 4.4.6.

4.4.10 Kloridprofiler Pilar 8, Diagram 4.4.7

Det er boret 3 prøveserier på pilarens østre side 1200 og 1400 mm fra søndre hjørne i nivå 500, 1500 og 2500. Prøvene er merket 3.1 - 3.3. resultatet av målingene er sammenfattet i diagram 4.4.7.

4.4.11 Kloridprofiler Pilar 9, Diagram 4.4.8

Det er boret 3 prøveserier på pilarens nordre vegg 600 mm fra vestre hjørne. Prøvene er boret på nivå 500, 1000 og 3000. Det er målt 1,0 - 1,5 % klorider i de ytterste 15 mm for alle tre prøveseriene. Resultatet av målingene er sammenfattet i diagram 4.4.8.

4.4.12 Kloridprofiler Pilar 10, Diagram 4.4.9

Det er boret 3 prøveserier midt på nordre vegg. Prøvene er merket 10.1 - 10.3. Prøveseriene er boret i nivå 500, 1500 og 3000 mm over fenderkappen. Resultatet av målingene er sammenfattet i diagram 4.4.9. Høyeste målte verdi er 1,08 % målt på prøve 10.1 dybde 15 - 30 mm. De øvrige verdiene er lavere enn 1 %.

4.4.13 Kloridprofiler Pilar 11 øst, Diagram 4.4.10

Det er boret 3 prøveserier på pilar 11 øst. Prøvene er merket 11.1 - 11.3 og er boret 1120 mm sør for nordre hjørne i nivå 400, 1000 og 1800 mm over fenderkappen. Resultatet er sammenfattet i diagram 4.4.10. Det er målt høye verdier, over 3 % på prøve 11.3 helt inn til 30 mm dybde. I denne prøven er innholdet av Cl⁻-ioner 1,8 % i

nivå 45 - 60. På prøve 11.2 i dybde 45 - 60 mm er kloridinnholdet 0,29 %. Det henvises generelt til diagram 4.4.10.

4.4.14 Kloridprofiler pilar 11 sør, Diagram 4.4.11

Det er boret 3 prøveserier på pilar 11 sør i nivå 400, 1000 og 1800 mm. Prøvene er boret ca. 700 mm vest for østre hjørne. Prøvene er merket 11.7 - 11.9. Det er målt et kloridinnhold på 1,4 % i nivå 0 - 15 mm på prøve 11.7 og 11.8. Resultatet av målingene er sammenfattet i diagram 4.4.11.

4.4.15 Kloridprofiler Pilar 11 vest - Diagram 4.4.12

Det er boret 3 prøver på vestre vegg ca. midt på veggen. Prøvene er boret i nivå 4000, 2000 og 1000 henholdsvis for 11.10, 11.11 og 11.12. Resultatet av målingene er sammenfattet i diagram 4.4.12. Høyeste verdi er 1,28 % Cl⁻ioner i prøve 11.12 i dybde 0 - 15 mm.

4.4.16 Kloridprofiler Pilar 12 øst og sør, Diagram 4.4.13

Det er boret 3 prøver på østre vegg 1050 mm fra nordre hjørne. Prøvene er merket 12.1, 12.2 og 12.3 og er boret i nivå 450 mm, 1050 mm og 1800 mm. Prøve merket 12.4 er boret på søndre vegg 700 mm vest for østre hjørne 500 mm over fenderkappen. Resultatet er sammenfattet i diagram 4.4.13. På prøve 12.1 og 12.2 er det målt et kloridinnhold på 2,8 % i en dybde av 30 - 45 mm, mens det i nivå 0 - 15 mm er målt 1,92 % .

4.4.17 Kloridprofiler Pilar 12 vest, Diagram 4.4.14

Det er boret 3 prøveserier på vestre vegg 1500 mm nord for søndre hjørne i nivå 1000, 3000 og 4000 mm. Prøveseriene er merket 12.5, 12.6 og 12.7. Resultatet er sammenfattet i diagram 4.4.14. Det er målt et Cl⁻innhold på 1,0 % i 12.5 og 12.6. Dette er klart lavere enn tilsvarende prøver på østre vegg.

4.4.18 Kloridprofiler Pilar 13 - Diagram 4.4.15

Det er boret 3 prøveserier på vestre vegg 1100 mm fra søndre hjørne. Prøveserien er merket 13.1, 13.2 og 13.3 i nivå 500, 1500 og 3500 mm. Resultatet er sammenfattet i diagram 4.4.15. Det er målt kloridinnhold på 1,45 % på prøve 13.1 i 15 - 30 mm dybde.

4.4.19 Kloridprofiler Pilar 14 vest, Diagram 4.4.16

Det er boret 3 prøveserier på pilarens østre vegg i nivå 500, 2000 og 3600 mm. Prøvene merket 14.1, 14.2 og 14.3 er boret 1000 mm nord for søndre hjørne. Høyeste kloridinnhold er målt i prøve 14.1 i 15 - 30 mm dybde og viser et kloridinnhold på over 2,0 % for alle tre prøvene.

4.4.20 Kloridprofil Pilar 15, Diagram 4.4.17

Det er boret 3 prøveserier på østre side 960 mm sør for nordre hjørne. Prøvene er merket 15.1, 15.2 og 15.3 og er boret i nivå 1000, 2000 og 34900 mm over fundamentkappen. Resultatet er sammenfattet i diagram 4.4.17. Største kloridinnhold er målt i prøve 15.2 dybde 0 - 15 mm, og denne er 1,8 % .

4.4.21 Kloridprofiler Pilar 16, Diagram 4.4.18

Det er boret 3 prøveserier på østre vegg 1000 mm fra nordre hjørne i nivå 1000, 2000 og 3200 mm over fundamenttoppen. Prøvene er merket 16.1, 16.2 og 16.3. Det er målt høye verdier av klorider på prøve 16.2 i dybde 0 - 15 og 15 - 30 er kloridinnholdet over 3 % av sementmengden og i dybde med armeringen er kloridinnholdet 2,4 og 1,9 % . Resultatet er sammenfattet i diagram 4.4.18.

4.4.22 Kloridprofiler Pilar 17, Diagram 4.4.19

Det er boret en prøveserie på østre vegg 1300 mm fra nordre hjørne. Prøven er kalt 17.3 og er tatt i nivå 3300 mm over fundamentet. Prøven viser et kloridinnhold på 2,7 % i 0 - 15 og 2,0 % i dybde av 30 - 45 mm.

Resultatet er sammenfattet i diagram 4.4.19.

4.5 Vurderinger

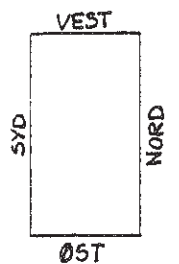
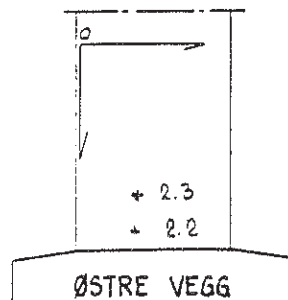
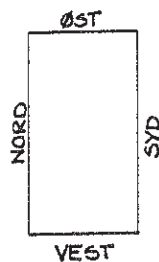
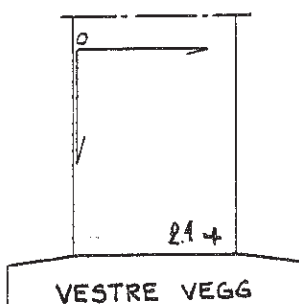
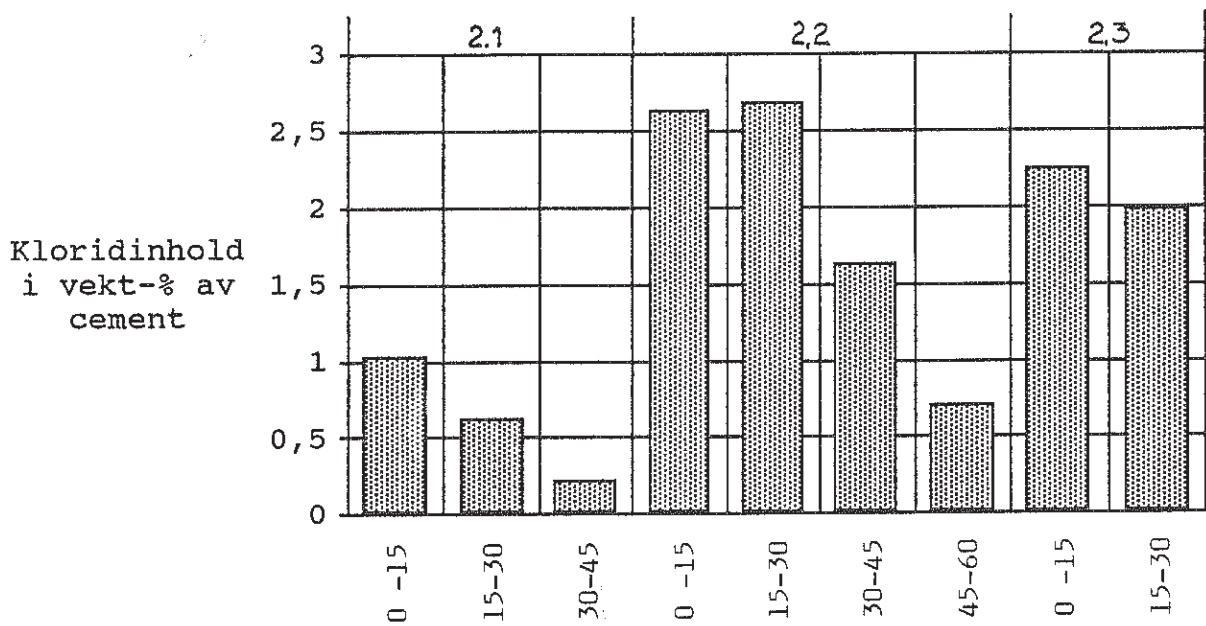
Det er målt svært høye verdier for klorider på søylene, helt opp mot 5 % i overflaten og over 2 masseprosent av sementvekten i dybde 45 - 60 mm. 2 % er en kloridterskel som skiller sannsynlig korrosjon. Alle steder på østre vegg hvor det er foretatt måling av kloridinnholdet er verdiene høye. Dette gir anledning til bekymring vedrørende armeringens generelle tilstand.

Den relativt raske inntrengning av klorider i så store mengder kan indikere en relativt inhomogen betong med høy porøsitet.

Videre er det påvist skader som kan være forårsaket av frost. På de søylene hvor dette ble konstatert ble det målt høye kloridinnhold. Dette bør undersøkes nærmere.

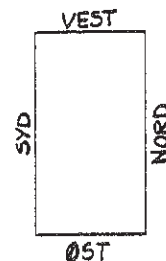
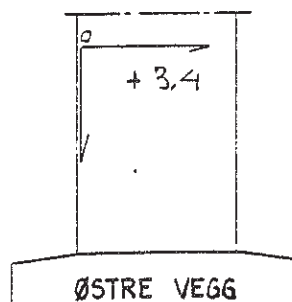
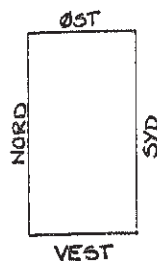
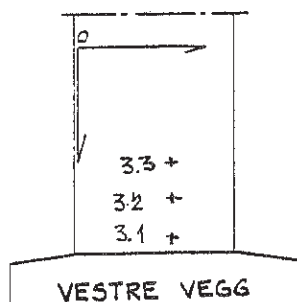
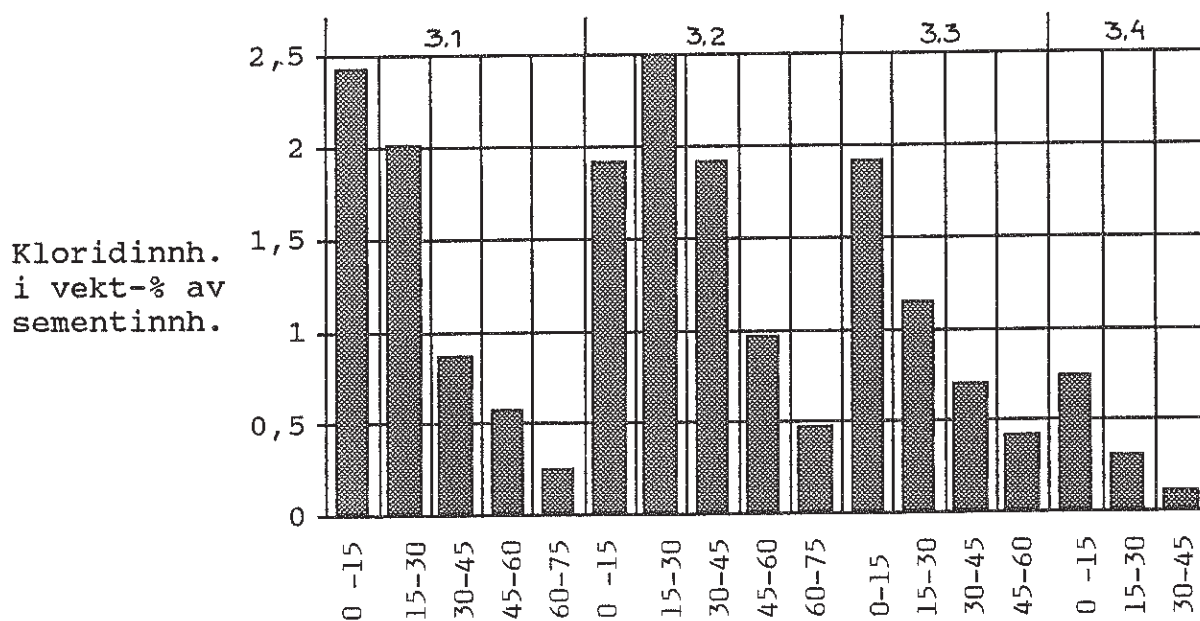
RCT- MÅLINGER			Pilar nr. 2					
Nivå mm	Prøve	Dybde mm	mV	Cl-innh vekt% bet	Faktor	Cl-innh i vekt-% av sement		
360	2,1	0-15	24	0,16	6,40	1,024	Vest vegg	
		15-30	36	0,098	6,4	0,6272		
		30-45	61	0,035	6,4	0,224		
380	2,2	0-15	2	0,41	6,4	2,624	Østre vegg	
		15-30	1	0,42	6,4	2,688		
		30-45	13	0,255	6,4	1,632		
		45-60	33	0,11	6,4	0,704		
1300	2,3	0-15	6	0,35	6,4	2,24	Østre vegg	
	2,3	15-30	8	0,31	6,4	1,984		

Kloridprofil pilar 2 vest og øst



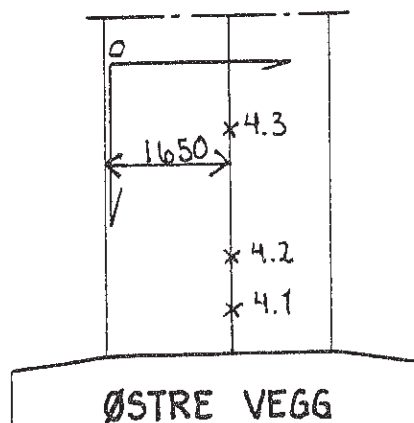
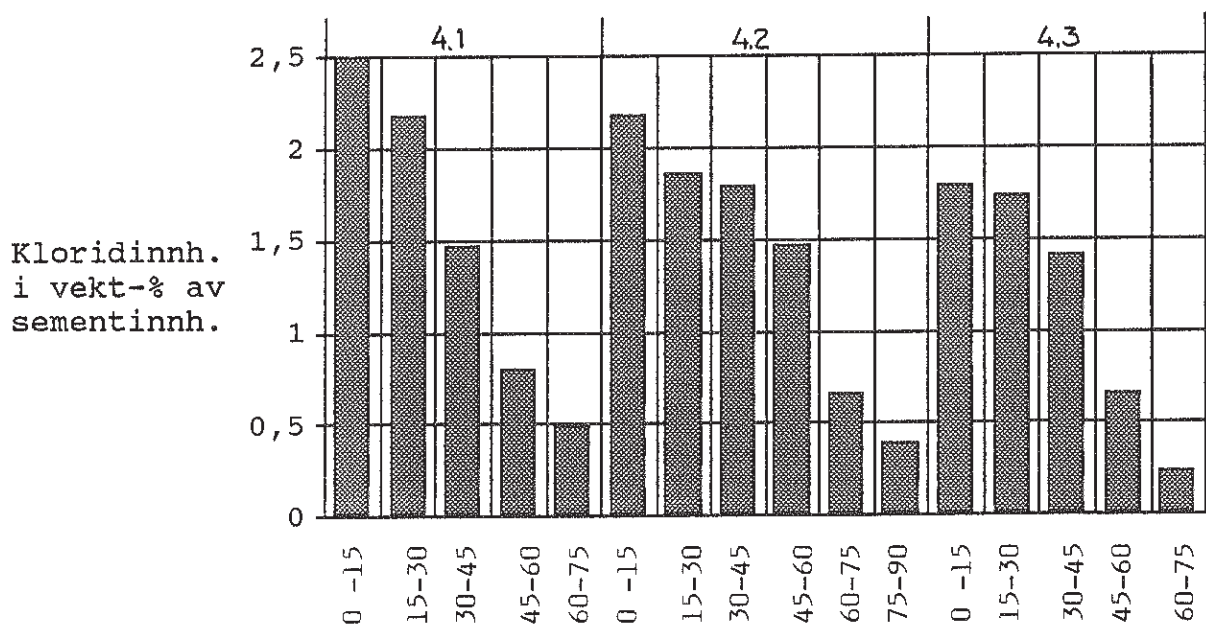
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 3				
Nivå mm	Prøve	Dybde mm	mV	CL-innh vekt% bet	Faktor	Kloridinnhold i vekt-% av sement
350	3,1	0-15	4	0,38	6,4	2,432
	3,1	15-30	8	0,315	6,4	2,016
	3,1	30-45	28	0,135	6,4	0,864
	3,1	45-60	38	0,09	6,4	0,576
	3,1	60-75	57	0,04	6,4	0,256
1000	3,2	0-15	9	0,3	6,4	1,92
	3,2	15-30	3	0,39	6,4	2,496
	3,2	30-45	9	0,3	6,4	1,92
	3,2	45-60	26	0,15	6,4	0,96
	3,2	60-75	43	0,074	6,4	0,4736
1500	3,3	0-15	9	0,3	6,4	1,92
	3,3	15-30	22	0,18	6,4	1,152
	3,3	30-45	33	0,11	6,4	0,704
	3,3	45-60	46	0,066	6,4	0,4224
3750	3,4	0-15	32	0,115	6,4	0,736
	3,4	15-30	53	0,048	6,4	0,3072
	3,4	30-45	74	0,018	6,4	0,1152

Kloridprofil pilar 3 vest



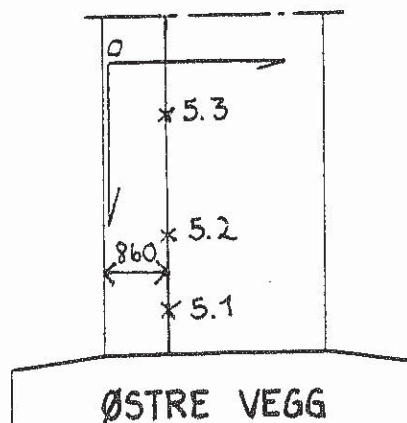
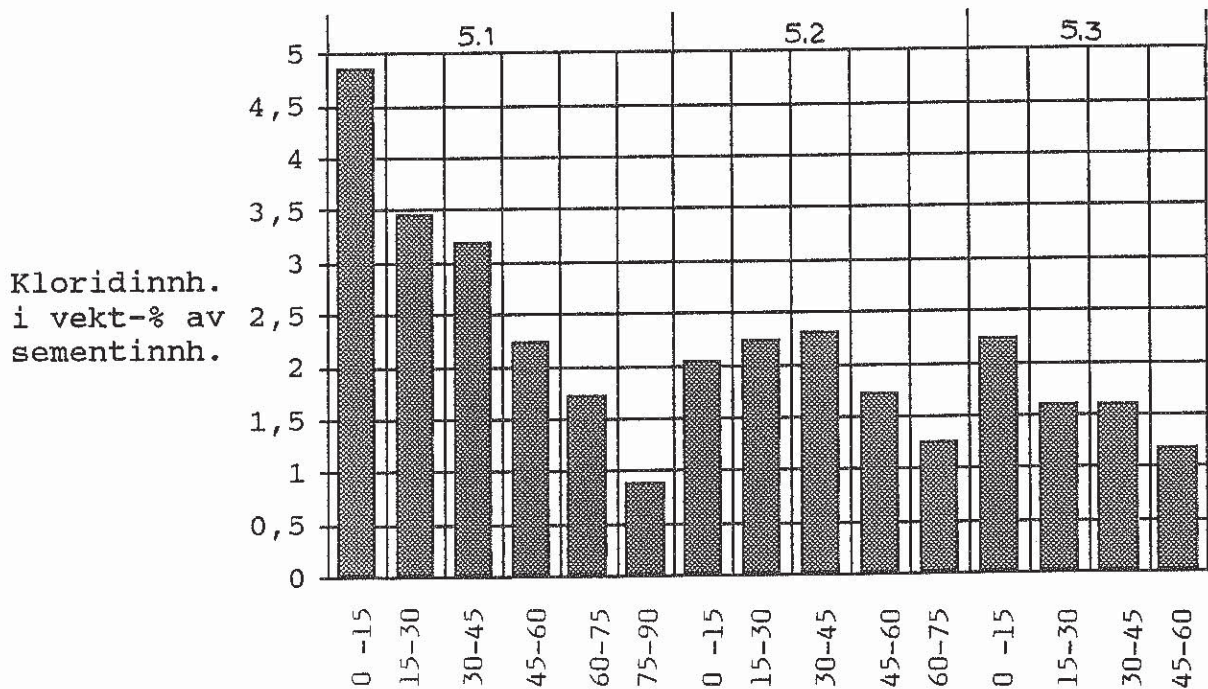
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 4					
	Pröve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold	
Nivå mm	mm	mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
550	4,1	0-15	3	0,39	6,4	2,496	Östre vegg
	4,1	15-30	6	0,34	6,4	2,176	
	4,1	30-45	16	0,23	6,4	1,472	
	4,1	45-60	30	0,125	6,4	0,8	
	4,1	60-75	42	0,076	6,4	0,4864	
1250	4,2	0-15	6	0,34	6,4	2,176	Östre vegg
	4,2	15-30	10	0,29	6,4	1,856	
	4,2	30-45	11	0,28	6,4	1,792	
	4,2	45-60	16	0,23	6,4	1,472	
	4,2	60-75	35	0,102	6,4	0,6528	
3000	4,3	0-15	11	0,28	6,4	1,792	Östre vegg
	4,3	15-30	12	0,27	6,4	1,728	
	4,3	30-45	17	0,22	6,4	1,408	
	4,3	45-60	35	0,102	6,4	0,6528	
	4,3	60-75	53	0,038	6,4	0,2432	

Kloridprofil pilar 4 öst



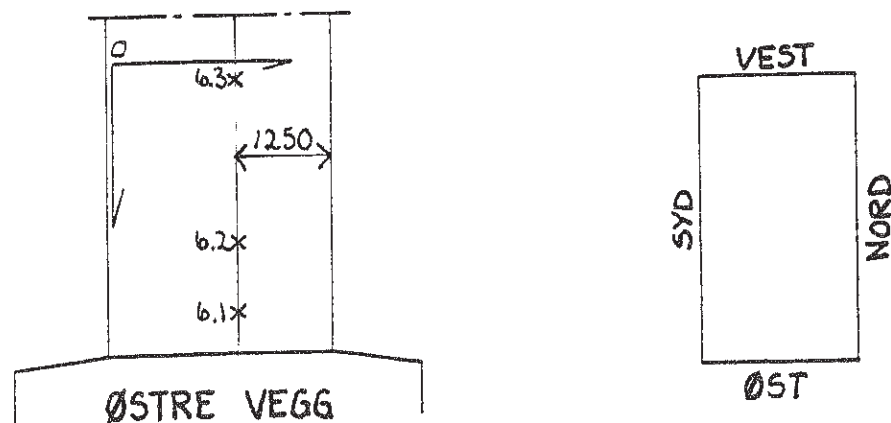
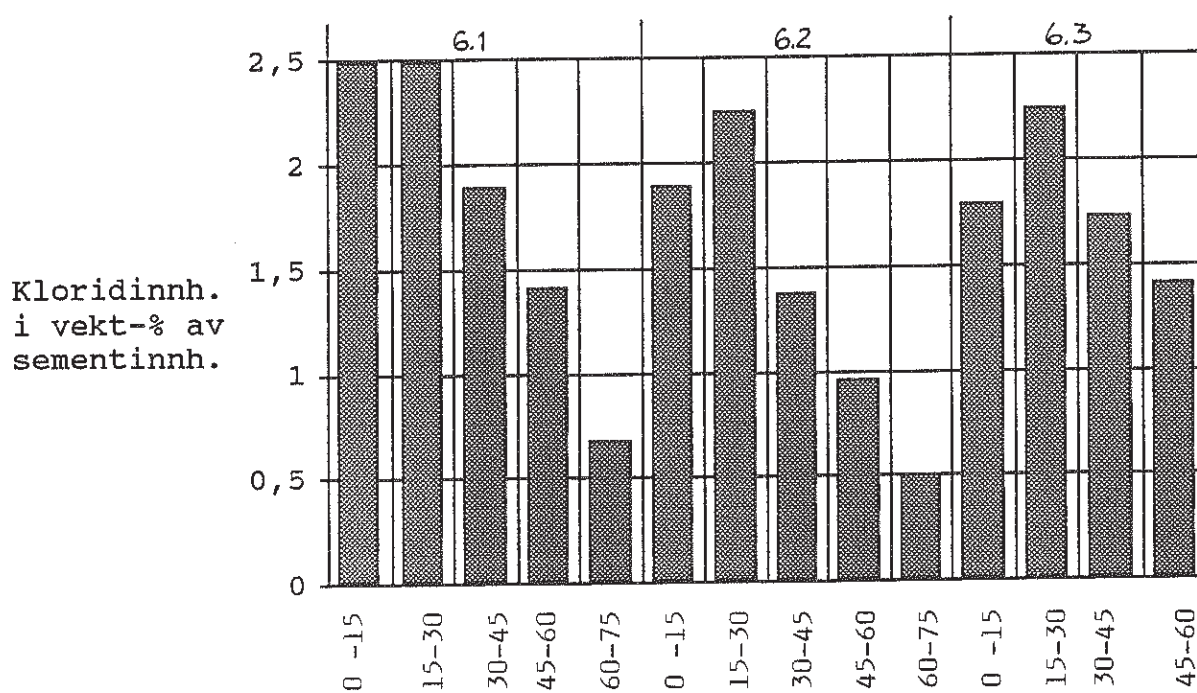
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 5					
	Pröve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold	
Nivå mm		mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
500	5,1	0-15	-13	0,76	6,4	4,864	Östre vegg
	5,1	15-30	-5	0,54	6,4	3,456	
	5,1	30-45	-3	0,5	6,4	3,2	
	5,1	45-60	6	0,35	6,4	2,24	
	5,1	60-75	12	0,27	6,4	1,728	
	5,1	75-90	28	0,138	6,4	0,8832	
1500	5,2	0-15	7	0,32	6,4	2,048	Östre vegg
	5,2	15-30	6	0,35	6,4	2,24	
	5,2	30-45	5	0,36	6,4	2,304	
	5,2	45-60	12	0,27	6,4	1,728	
	5,2	60-75	20	0,195	6,4	1,248	
	5,2	75-90	20	0,195	6,4	1,248	
3100	5,3	0-15	6	0,35	6,4	2,24	Östre vegg
	5,3	15-30	15	0,25	6,4	1,6	
	5,3	30-45	15	0,25	6,4	1,6	
	5,3	45-60	20	0,186	6,4	1,1904	

Kloridprofil pilar 5 öst



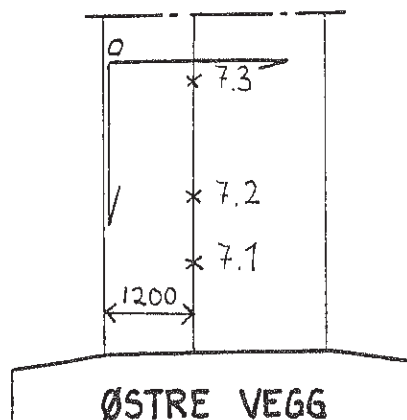
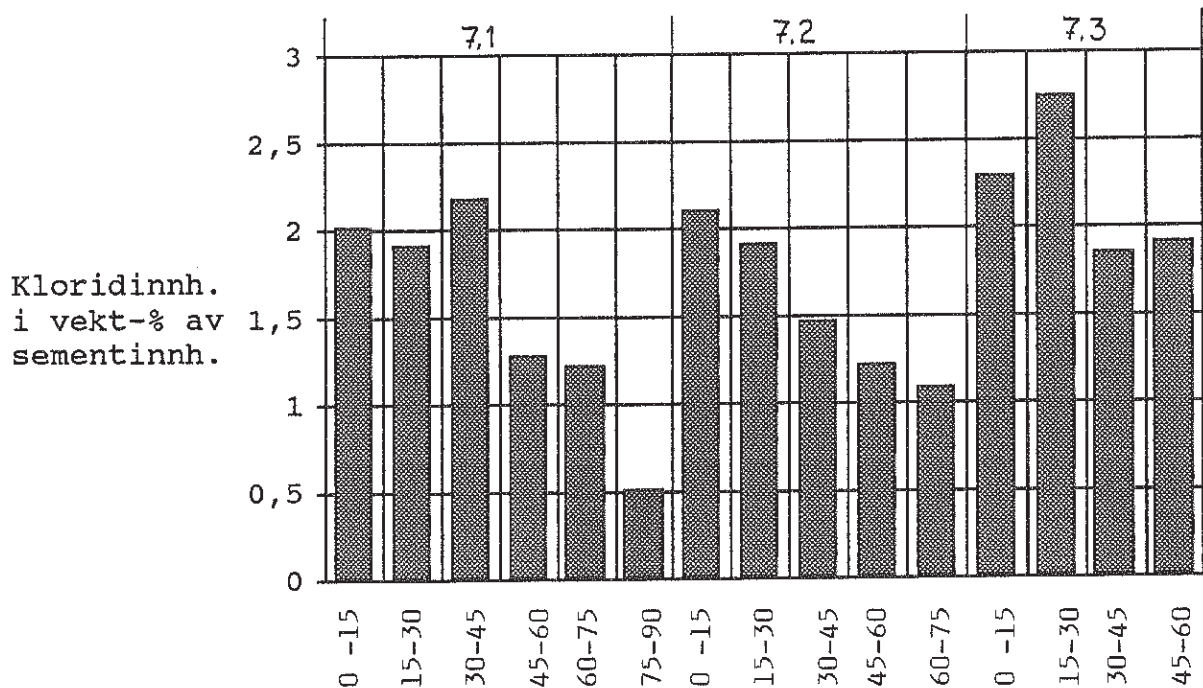
RCT- MÅLINGER			Pilar nr. 6				
	Pröve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnehold	
Nivå mm		mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
500	6,1	0-15	4	0,39	6,4	2,496	Östre vegg
	6,1	15-30	4	0,39	6,4	2,496	
	6,1	30-45	10	0,295	6,4	1,888	
	6,1	45-60	17	0,22	6,4	1,408	
	6,1	60-75	34	0,105	6,4	0,672	
1500	6,2	0-15	10	0,295	6,4	1,888	Östre vegg
	6,2	15-30	5	0,35	6,4	2,24	
	6,2	30-45	17	0,215	6,4	1,376	
	6,2	45-60	26	0,15	6,4	0,96	
	6,2	60-75	42	0,078	6,4	0,4992	
3600	6,3	0-15	11	0,28	6,4	1,792	Östre vegg
	6,3	15-30	6	0,35	6,4	2,24	
	6,3	30-45	12	0,27	6,4	1,728	
	6,3	45-60	17	0,22	6,4	1,408	

Kloridprofil pilar 6 öst



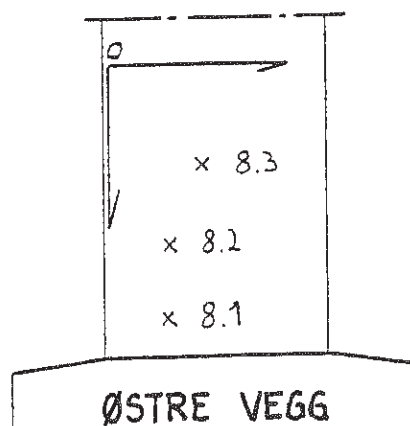
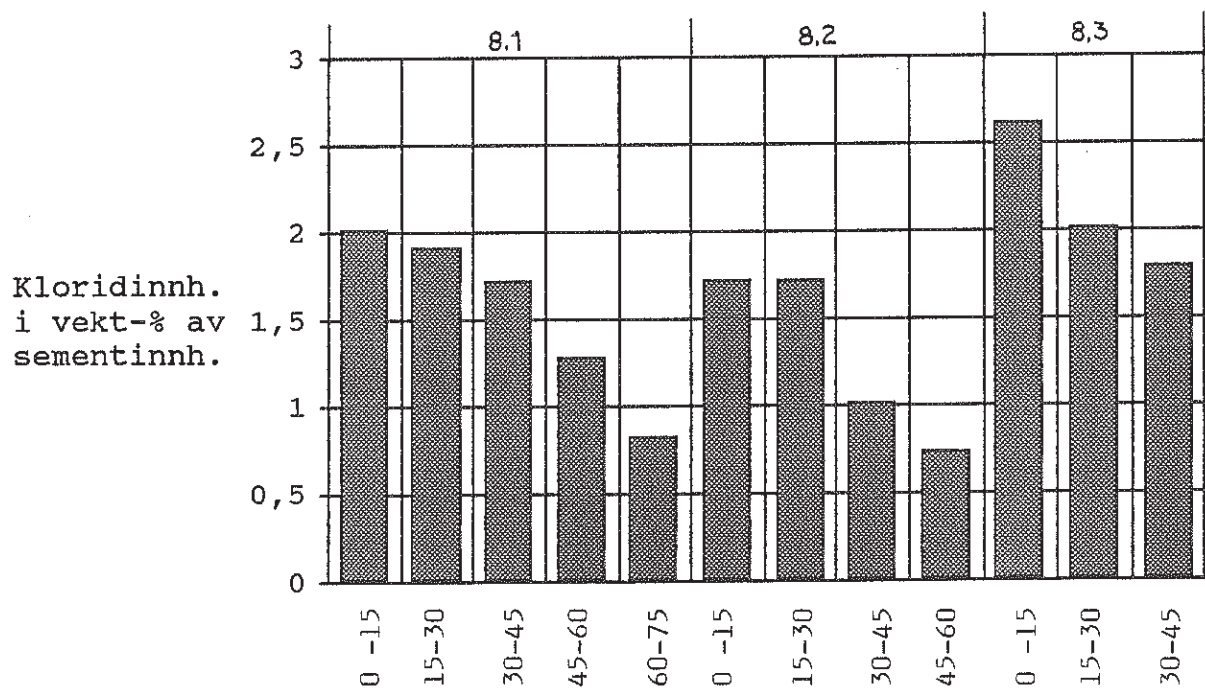
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 7					
	Pröve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold	
Nivå mm	mm	mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
1200	7,1	0-15	8	0,315	6,4	2,016	
	7,1	15-30	9	0,3	6,4	1,92	
	7,1	30-45	6	0,34	6,4	2,176	
	7,1	45-60	19	0,2	6,4	1,28	
	7,1	60-75	20	0,19	6,4	1,216	
	7,1	75-90	41	0,08	6,4	0,512	
2000	7,2	0-15	7	0,33	6,4	2,112	Østre vegg
	7,2	15-30	9	0,3	6,4	1,92	
	7,2	30-45	15	0,23	6,4	1,472	
	7,2	45-60	20	0,19	6,4	1,216	
	7,2	60-75	23	0,17	6,4	1,088	
3600	7,3	0-15	5	0,36	6,4	2,304	
	7,3	15-30	1	0,43	6,4	2,752	
	7,3	30-45	10	0,29	6,4	1,856	
	7,3	45-60	9	0,3	6,4	1,92	

Kloridprofil pilar 7 øst



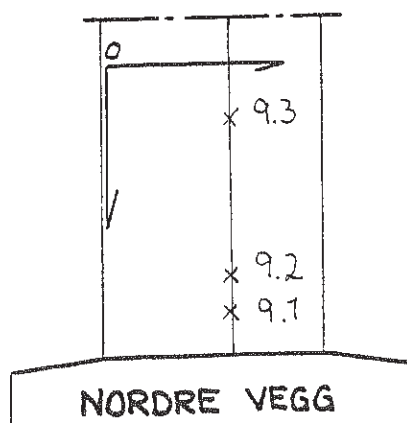
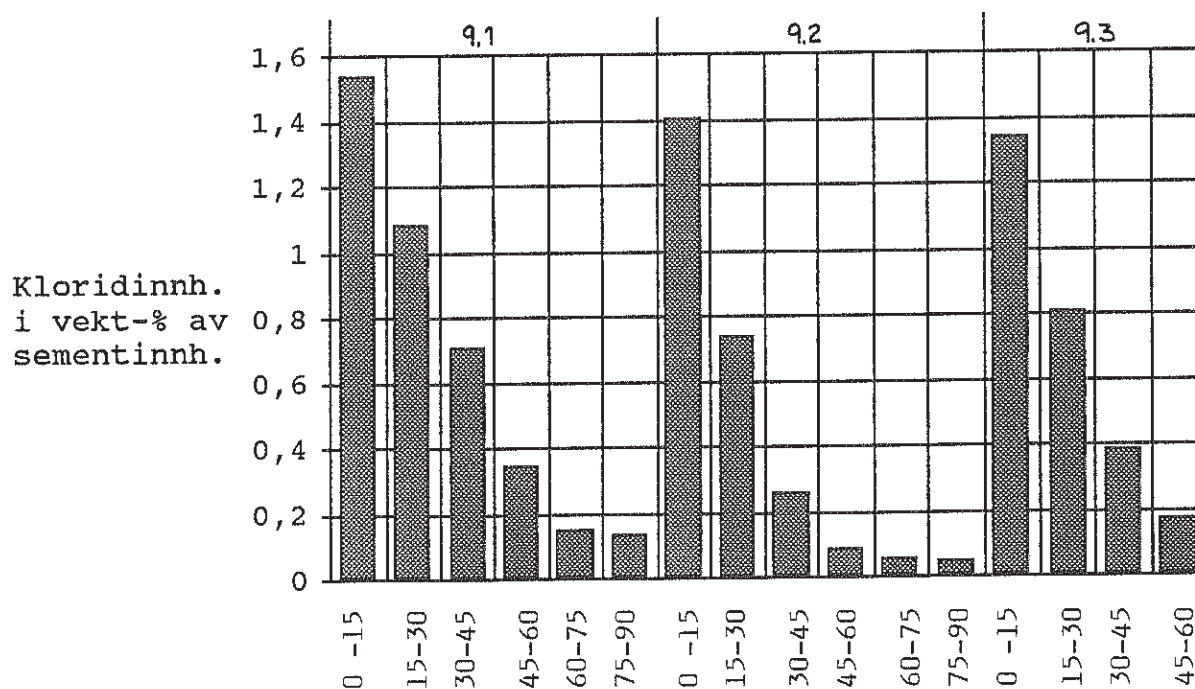
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 8						
	Pröve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold		
Nivå mm		mm		vekt% bet		i vekt-% av sement		
500	8,1	0-15	8	0,315	6,4	2,016	Östre vegg	
	8,1	15-30	9	0,3	6,4	1,92		
	8,1	30-45	12	0,27	6,4	1,728		
	8,1	45-60	19	0,2	6,4	1,28		
	8,1	60-75	29	0,13	6,4	0,832		
1500	8,2	0-15	12	0,27	6,4	1,728	Östre vegg	
	8,2	15-30	12	0,27	6,4	1,728		
	8,2	30-45	24	0,16	6,4	1,024		
	8,2	45-60	32	0,115	6,4	0,736		
2500	8,3	0-15	2	0,41	6,4	2,624	Östre vegg	
	8,3	15-30	8	0,315	6,4	2,016		
	8,3	30-45	11	0,28	6,4	1,792		

Kloridprofil pilar 8 öst



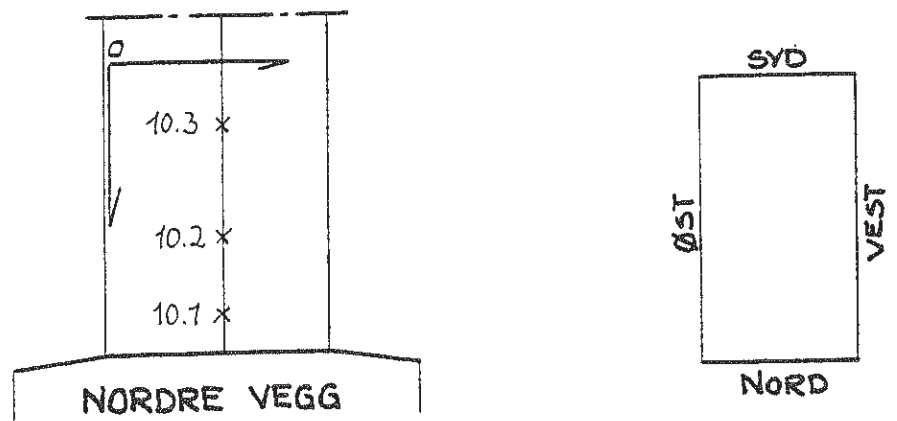
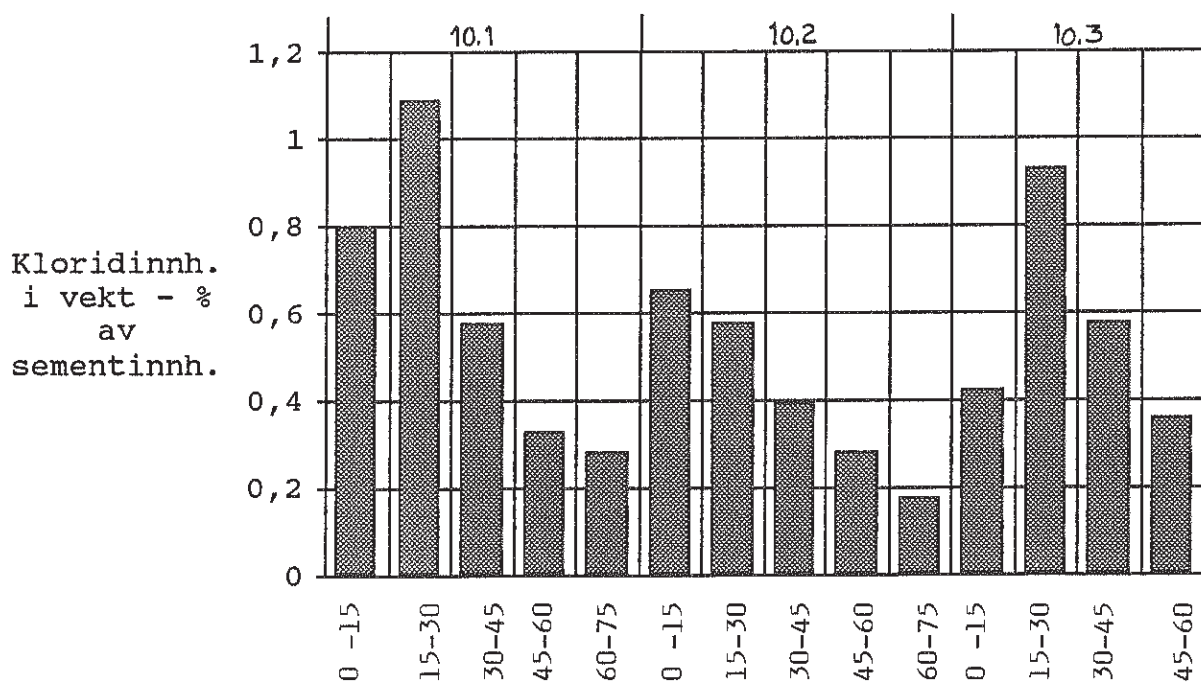
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 9				
Nivå mm	Prøve	Dybde mm	mV	CL-innh vekt% bet	Faktor	Kloridinnhold i vekt-% av sement
500	9,1	0-15	15	0,24	6,4	1,536
	9,1	15-30	23	0,17	6,4	1,088
	9,1	30-45	33	0,11	6,4	0,704
	9,1	45-60	50	0,054	6,4	0,3456
	9,1	60-75	68	0,024	6,4	0,1536
	9,1	75-90	71	0,021	6,4	0,1344
1000	9,2	0-15	17	0,22	6,4	1,408
	9,2	15-30	32	0,115	6,4	0,736
	9,2	30-45	57	0,04	6,4	0,256
	9,2	45-60	79	0,014	6,4	0,0896
	9,2	60-75	86	0,0086	6,4	0,05504
	9,2	75-90	87	0,008	6,4	0,0512
3000	9,3	0-15	18	0,21	6,4	1,344
	9,3	15-30	30	0,126	6,4	0,8064
	9,3	30-45	48	0,06	6,4	0,384
	9,3	45-60	67	0,027	6,4	0,1728

Kloridprofil pilar 9 nord



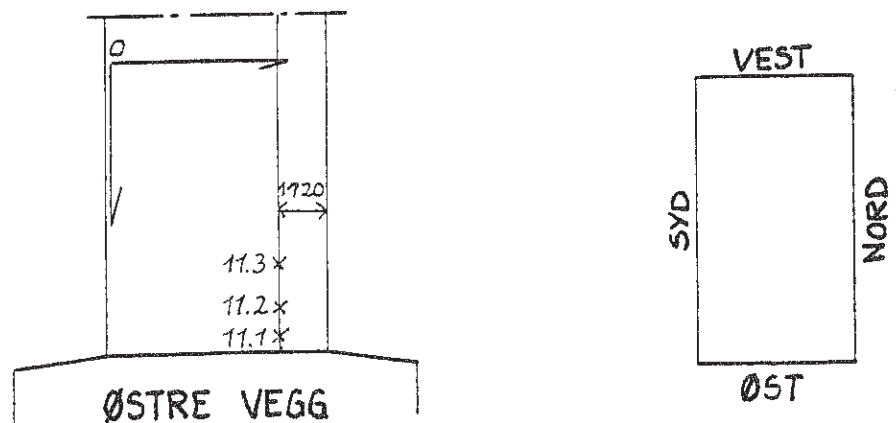
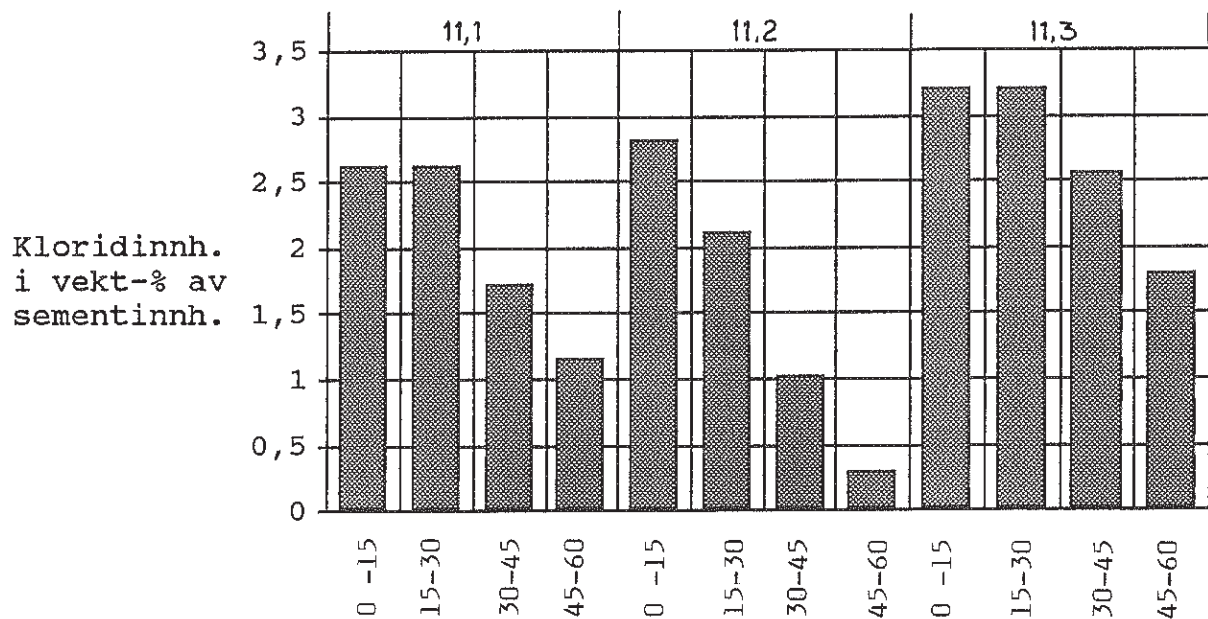
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 10						
	Prøve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold		
Nivå mm		mm		vekt% bet		i vekt-% av sement		
500	10,1	0-15	30	0,125	6,4	0,8	Nordre vegg	
	10,1	15-30	23	0,17	6,4	1,088		
	10,1	30-45	38	0,09	6,4	0,576		
	10,1	45-60	51	0,052	6,4	0,3328		
	10,1	60-75	55	0,044	6,4	0,2816		
1500	10,2	0-15	35	0,102	6,4	0,6528	Nordre vegg	
	10,2	15-30	38	0,09	6,4	0,576		
	10,2	30-45	47	0,062	6,4	0,3968		
	10,2	45-60	55	0,044	6,4	0,2816		
	10,2	60-75	65	0,028	6,4	0,1792		
3000	10,3	0-15	46	0,066	6,4	0,4224	Nordre vegg	
	10,3	15-30	27	0,145	6,4	0,928		
	10,3	30-45	38	0,09	6,4	0,576		
	10,3	45-60	50	0,056	6,4	0,3584		

Kloridprofil pilar 10 nord



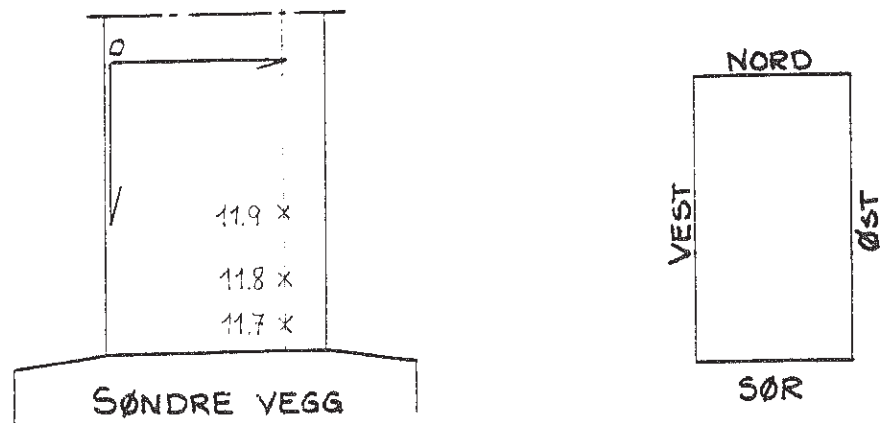
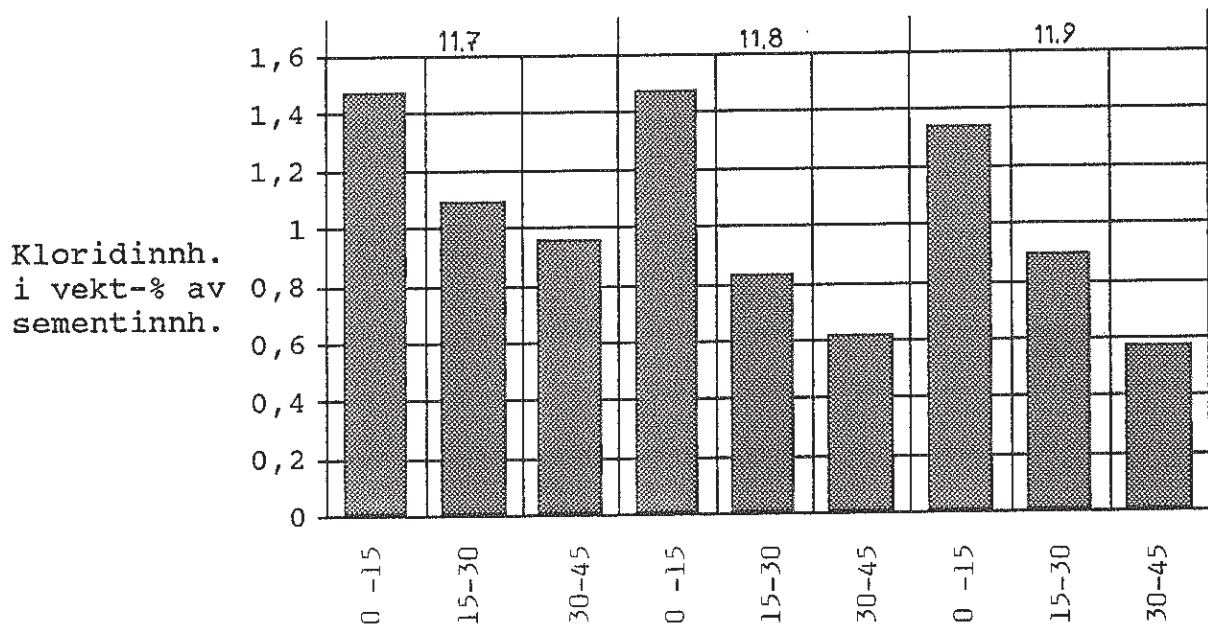
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 11 öst					
	Pröve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold	
Nivå mm		mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
400	11,1	0-15	3	0,41	6,4	2,624	Östre vegg
	11,1	15-30	3	0,41	6,4	2,624	
	11,1	30-45	12	0,27	6,4	1,728	
	11,1	45-60	20	0,18	6,4	1,152	
1000	11,2	0-15	0	0,44	6,4	2,816	Östre vegg
	11,2	15-30	7	0,33	6,4	2,112	
	11,2	30-45	24	0,16	6,4	1,024	
	11,2	45-60	54	0,046	6,4	0,2944	
1800	11,3	0-15	-3	0,5	6,4	3,2	Östre vegg
	11,3	15-30	-3	0,5	6,4	3,2	
	11,3	30-45	2	0,4	6,4	2,56	
	11,3	45-60	11	0,28	6,4	1,792	

Kloridprofil pilar 11 öst 1-3



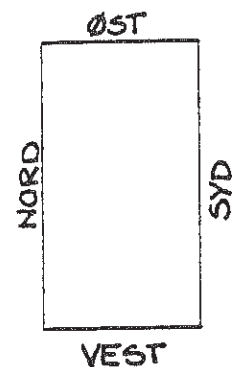
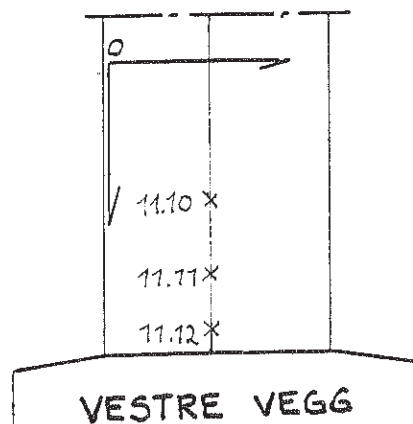
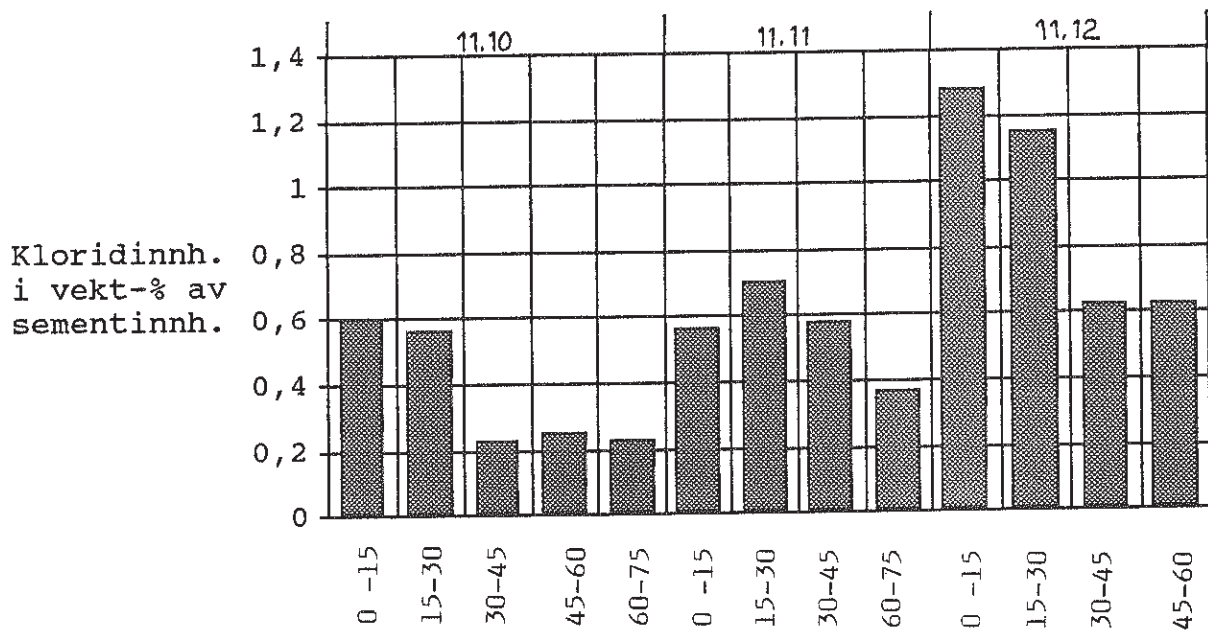
RCT- MÅLINGER			Pilar nr. 11 sør				
	Pröve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold	
Nivå mm	mm	mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
400	11,7	0-15	16	0,23	6,4	1,472	Søndre vegg
	11,7	15-30	20	0,17	6,4	1,088	
	11,7	30-45	26	0,15	6,4	0,96	
1000	11,8	0-15	16	0,23	6,4	1,472	Søndre vegg
	11,8	15-30	29	0,13	6,4	0,832	
	11,8	30-45	37	0,096	6,4	0,6144	
1800	11,9	0-15	18	0,21	6,4	1,344	Søndre vegg
	11,9	15-30	27	0,14	6,4	0,896	
	11,9	30-45	38	0,09	6,4	0,576	

Kloridprofil pilar 11 sør 7-9



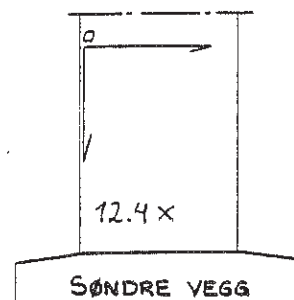
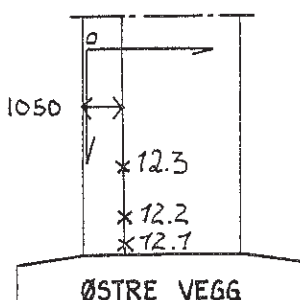
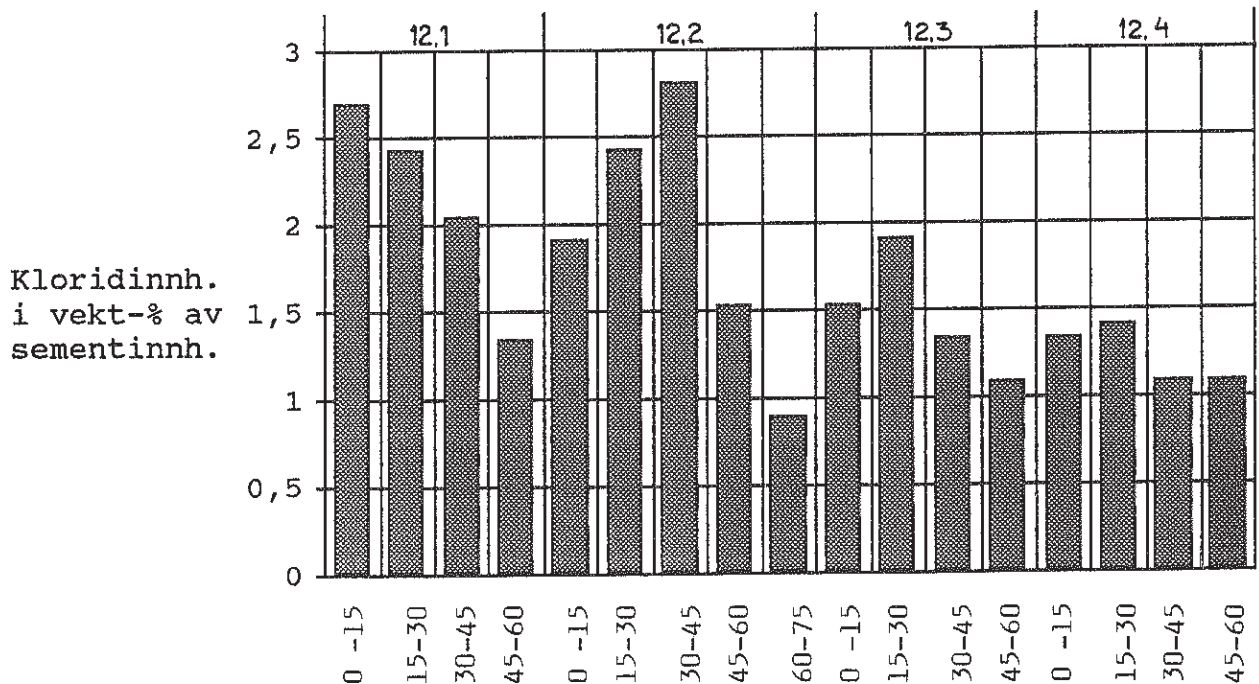
RCT- MÅLINGER			Pilar nr. 11 vest			
Nivå mm	Prøve	Dybde mm	mV	CL-innh vekt% bet	Faktor	Kloridinnhold i vekt-% av sement
4000	11;10	0-15	37	0,094	6,4	0,6016
	11;10	15-30	39	0,088	6,4	0,5632
	11;10	30-45	60	0,036	6,4	0,2304
	11;10	45-60	58	0,039	6,4	0,2496
	11;10	60-75	60	0,036	6,4	0,2304
2000	11,11	0-15	39	0,088	6,4	0,5632
	11,11	15-30	34	0,11	6,4	0,704
	11,11	30-45	38	0,09	6,4	0,576
	11,11	60-75	48	0,058	6,4	0,3712
1000	11,12	0-15	18	0,2	6,4	1,28
	11,12	15-30	22	0,18	6,4	1,152
	11,12	30-45	36	0,098	6,4	0,6272
	11,12	45-60	36	0,098	6,4	0,6272

Kloridprofil pilar 11 vest 10-12



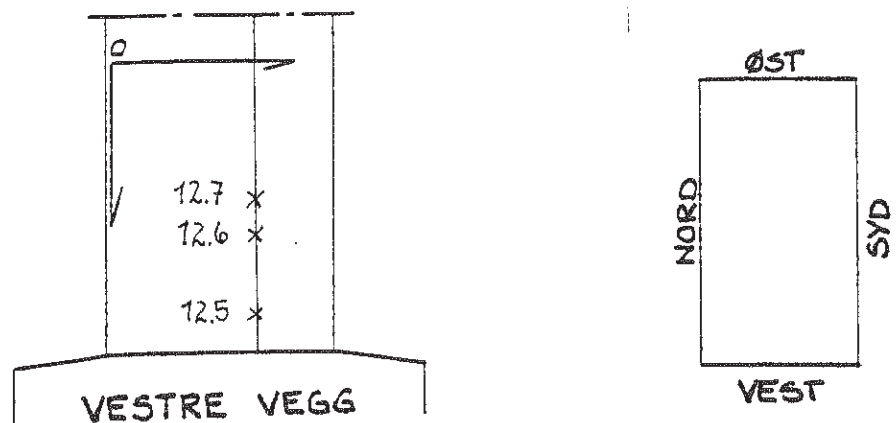
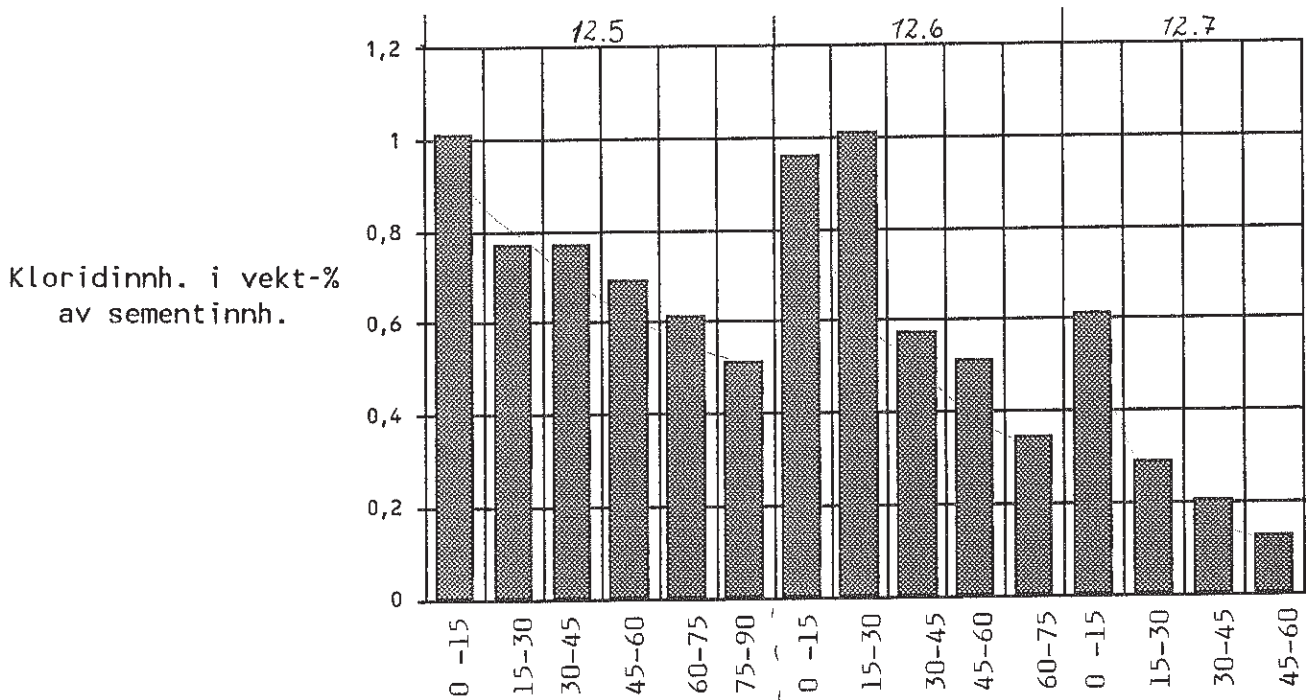
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 12					
Nivå mm	Pröve	Dybde mm	mV	CL-innh vekt% bet	Faktor	Kloridinnhold i vekt-% av sement	
450	12,1	0-15	-1	0,42	6,4	2,688	Östre vegg
	12,1	15-30	1	0,38	6,4	2,432	
	12,1	30-45	5	0,32	6,4	2,048	
	12,1	45-60	15	0,21	6,4	1,344	
1050	12,2	0-15	7	0,3	6,4	1,92	Östre vegg
	12,2	15-30	1	0,38	6,4	2,432	
	12,2	30-45	2	0,44	6,4	2,816	
	12,2	45-60	12	0,24	6,4	1,536	
	12,2	60-75	25	0,14	6,4	0,896	
1800	12,3	0-15	12	0,24	6,4	1,536	Östre vegg
	12,3	15-30	7	0,3	6,4	1,92	
	12,3	30-45	15	0,21	6,4	1,344	
	12,3	45-60	20	0,17	6,4	1,088	
500	12,4	0-15	18	0,21	6,4	1,344	Søndre vegg
	12,4	15-30	17	0,22	6,4	1,408	
	12,4	30-45	20	0,17	6,4	1,088	
	12,4	45-60	20	0,17	6,4	1,088	

Kloridprofil pilar 12 öst og sør 1-4



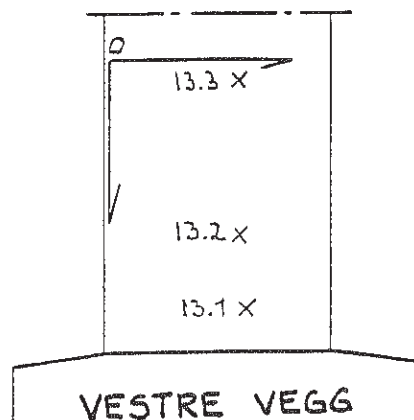
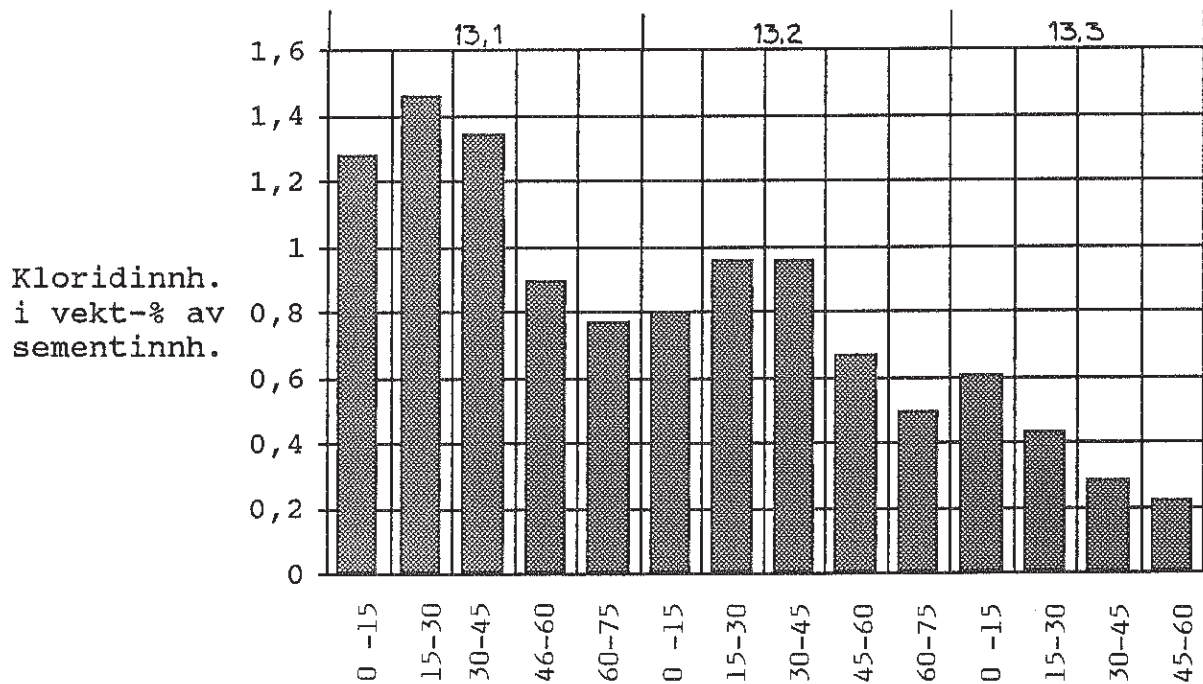
RCT- MÅLINGER			Pilar nr. 12				
Nivå mm	Prøve mm	Dybde mm	mV	CL-innh vekt% bet	Faktor	Kloridinnhold i vekt-% av sement	
1000	12,5	0-15	26	0,158	6,4	1,0112	Vestre vegg
	12,5	15-30	31	0,12	6,4	0,768	
	12,5	30-45	31	0,12	6,4	0,768	
	12,5	45-60	34	0,108	6,4	0,6912	
	12,5	60-75	37	0,096	6,4	0,6144	
	12,5	75-90	41	0,08	6,4	0,512	
3000	12,6	0-15	25	0,15	6,4	0,96	Vestre vegg
	12,6	15-30	26	0,158	6,4	1,0112	
	12,6	30-45	38	0,09	6,4	0,576	
	12,6	45-60	41	0,08	6,4	0,512	
	12,6	60-75	51	0,054	6,4	0,3456	
4000	12,7	0-15	37	0,096	6,4	0,6144	Vestre vegg
	12,7	15-30	55	0,045	6,4	0,288	
	12,7	30-45	63	0,032	6,4	0,2048	
	12,7	45-60	73	0,02	6,4	0,128	

Kloridprofil pilar 12 vest 5-7



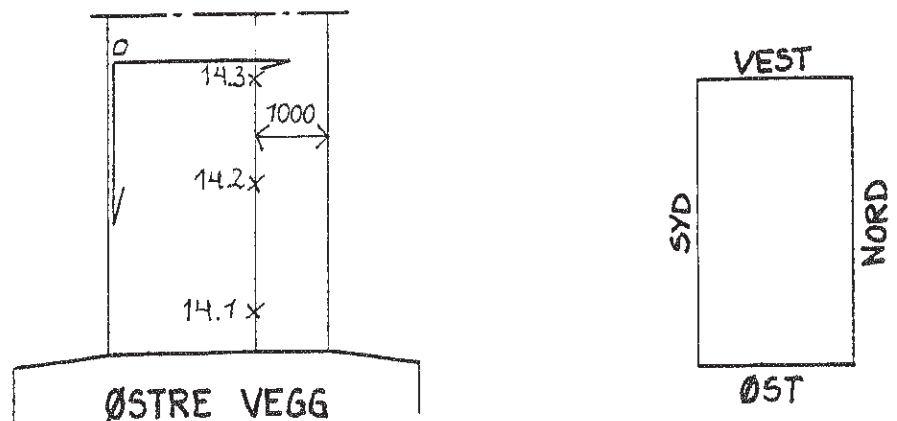
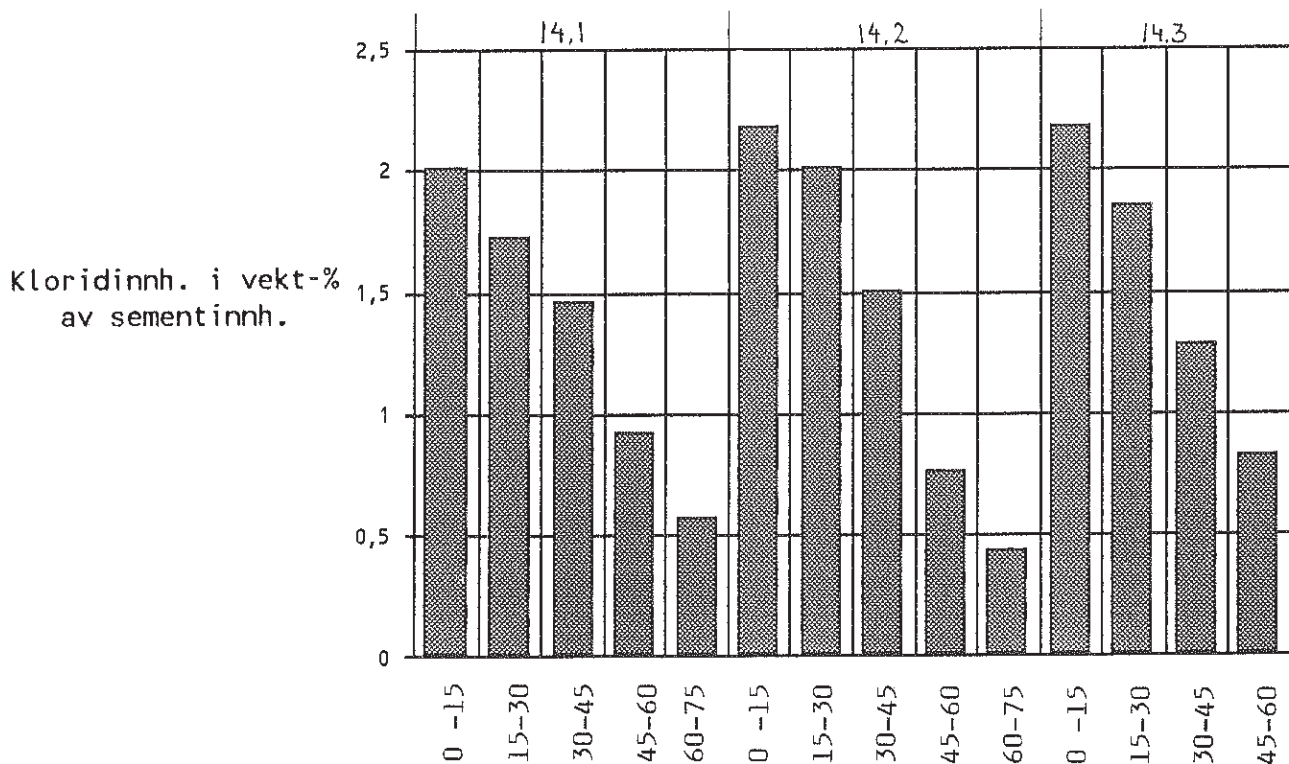
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 13					
Nivå mm	Prøve	Dybde mm	mV	CL-innh vekt% bet	Faktor	Kloridinnhold i vekt-% av sement	
500	13,1	0-15	19	0,2	6,4	1,28	Vestre vegg
	13,1	15-30	16	0,228	6,4	1,4592	
	13,1	30-45	18	0,21	6,4	1,344	
	13,1	46-60	28	0,14	6,4	0,896	
	13,1	60-75	31	0,12	6,4	0,768	
1500	13,2	0-15	30	0,125	6,4	0,8	Vestre vegg
	13,2	15-30	26	0,15	6,4	0,96	
	13,2	30-45	26	0,15	6,4	0,96	
	13,2	45-60	35	0,104	6,4	0,6656	
	13,2	60-75	42	0,078	6,4	0,4992	
3500	13,3	0-15	37	0,095	6,4	0,608	Vestre vegg
	13,3	15-30	45	0,068	6,4	0,4352	
	13,3	30-45	55	0,044	6,4	0,2816	
	13,3	45-60	60	0,035	6,4	0,224	

Kloridprofil pilar 13



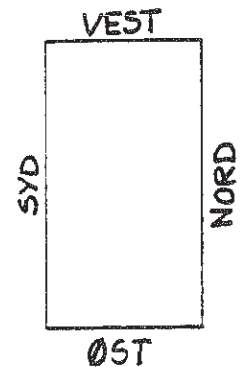
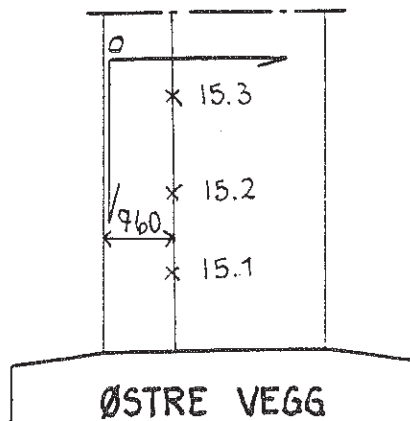
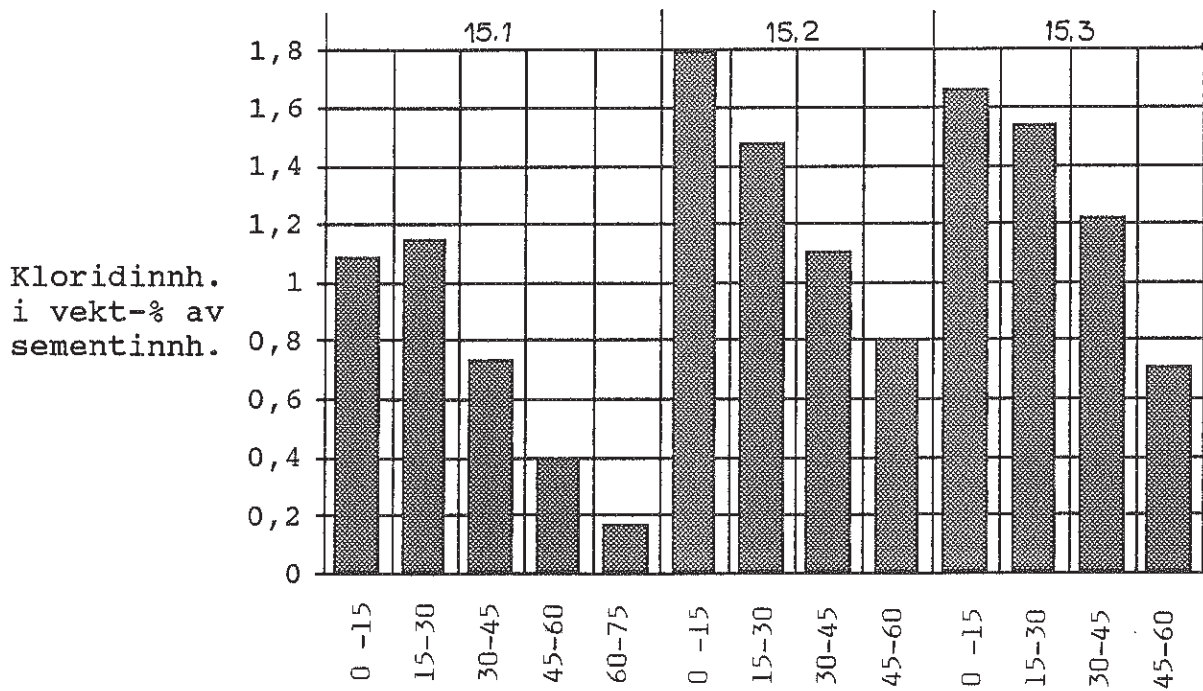
RCT- MÄLINGER		Pilar nr. 14					
	Pröve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold	
Nivå mm		mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
500	14,1	0-15	8	0,315	6,4	2,016	Östre vegg
	14,1	15-30	12	0,27	6,4	1,728	
	14,1	30-45	16	0,228	6,4	1,4592	
	14,1	45-60	27	0,145	6,4	0,928	
	14,1	60-75	37	0,09	6,4	0,576	
2000	14,2	0-15	6	0,34	6,4	2,176	Östre vegg
	14,2	15-30	8	0,315	6,4	2,016	
	14,2	30-45	15	0,235	6,4	1,504	
	14,2	45-60	31	0,12	6,4	0,768	
	14,2	60-75	45	0,068	6,4	0,4352	
3600	14,3	0-15	6	0,34	6,4	2,176	Östre vegg
	14,3	15-30	10	0,29	6,4	1,856	
	14,3	30-45	19	0,2	6,4	1,28	
	14,3	45-60	29	0,13	6,4	0,832	

Kloridprofil pilar 14



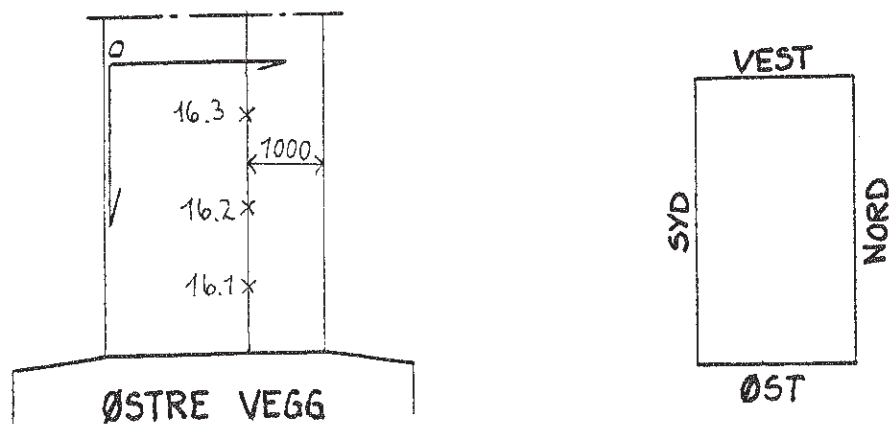
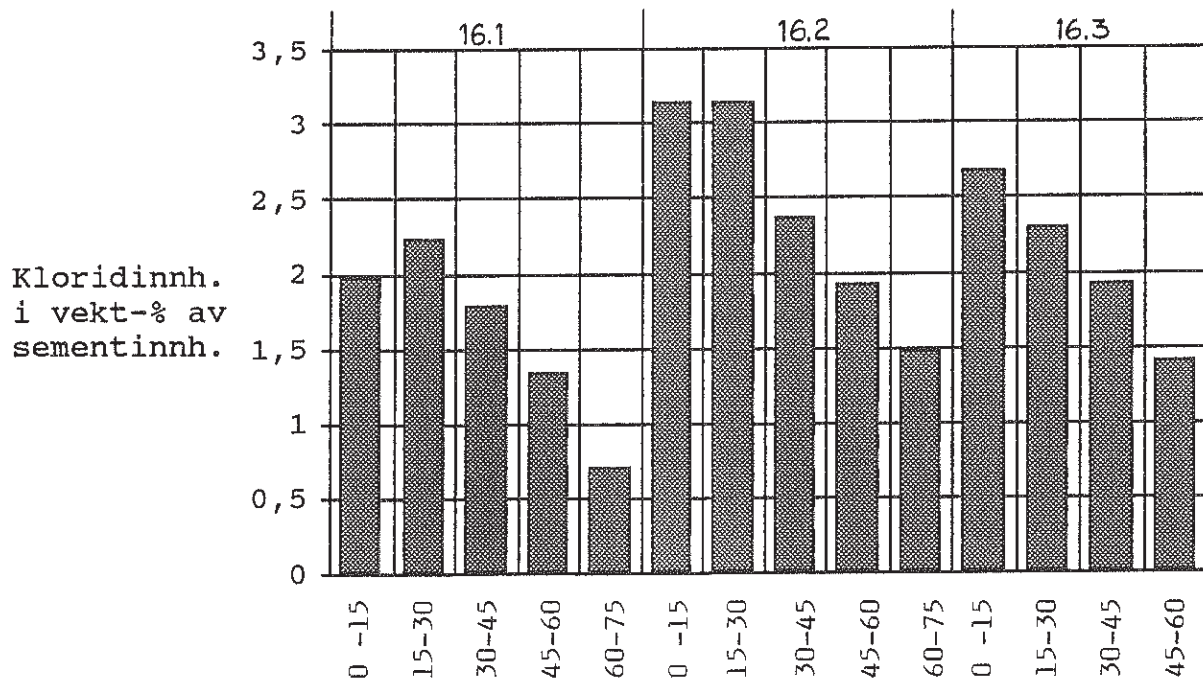
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 15					
	Prøve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold	
Nivå mm	mm	mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
1000	15,1	0-15	23	0,17	6,4	1,088	Østre vegg
	15,1	15-30	24	0,18	6,4	1,152	
	15,1	30-45	34	0,115	6,4	0,736	
	15,1	45-60	48	0,062	6,4	0,3968	
	15,1	60-75	68	0,026	6,4	0,1664	
2000	15,2	0-15	11	0,28	6,4	1,792	Østre vegg
	15,2	15-30	16	0,23	6,4	1,472	
	15,2	30-45	26	0,172	6,4	1,1008	
	15,2	45-60	31	0,126	6,4	0,8064	
3400	15,3	0-15	13	0,26	6,4	1,664	Østre vegg
	15,3	15-30	15	0,24	6,4	1,536	
	15,3	30-45	21	0,19	6,4	1,216	
	15,3	45-60	36	0,11	6,4	0,704	

Kloridprofil pilar 15



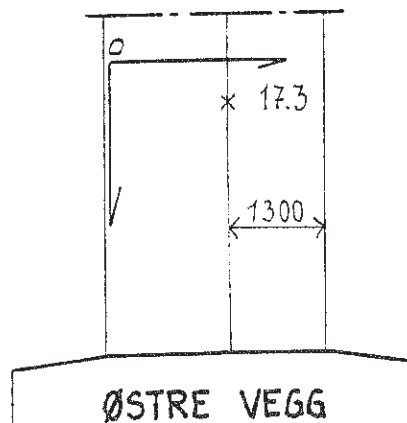
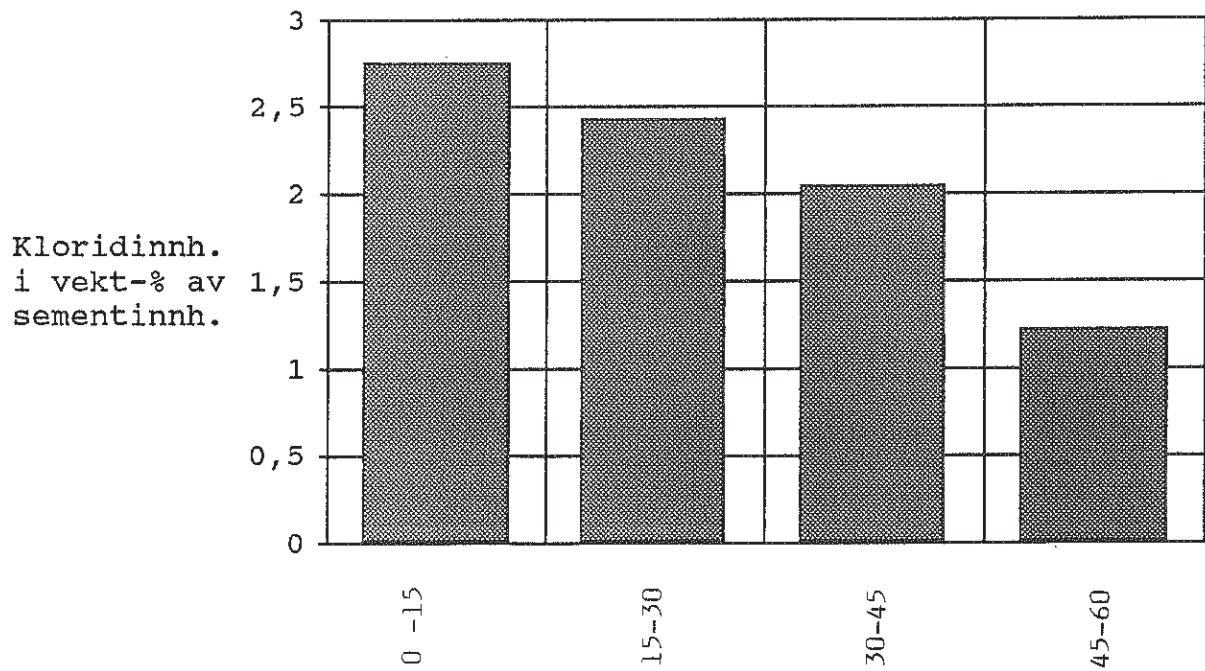
RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 16						
	Prøve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold		
Nivå mm	mm	mm		vekt% bet		i vekt-% av sement		
1000	16,1	0-15	8	0,31	6,4	1,984	Østre vegg	
	16,1	15-30	5	0,35	6,4	2,24		
	16,1	30-45	10	0,28	6,4	1,792		
	16,1	45-60	18	0,21	6,4	1,344		
	16,1	60-75	34	0,11	6,4	0,704		
2000	16,2	0-15	-3	0,49	6,4	3,136	Østre vegg	
	16,2	15-30	3	0,49	6,4	3,136		
	16,2	30-45	4	0,37	6,4	2,368		
	16,2	45-60	9	0,3	6,4	1,92		
	16,2	60-75	16	0,23	6,4	1,472		
3200	16,3	0-15	1	0,42	6,4	2,688	Østre vegg	
	16,3	15-30	6	0,36	6,4	2,304		
	16,3	30-45	9	0,3	6,4	1,92		
	16,3	45-60	17	0,22	6,4	1,408		

Kloridprofil pilar 16



RCT- MÅLINGER		Pilar nr. 17					
	Prøve	Dybde	mV	CL-innh	Faktor	Kloridinnhold	
Nivå mm	mm	mm		vekt% bet		i vekt-% av sement	
3300	17,3	0-15	0	0,43	6,4	2,752	Østre vegg
	17,3	15-30	3	0,38	6,4	2,432	
	17,3	30-45	17	0,32	6,4	2,048	
	17,3	45-60	21	0,19	6,4	1,216	

Kloridprofil pilar 17



1.

Østre side av pilarene - fargenyanser



2.

Østre side pilar 6-9 - fargenyanser



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: 074) 80 811 - 7300 ORKANGER

3.

Pilar 2 vestre og nordre side - de mørke
fletene er fra EKP-målingene



4.

Pilar 2 søndre og østre vegg



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 811 — 7300 ORKANGER

5.

Pilar 3 nordre og vestre vegg



6.

Pilar 3.



ROSENVIK PRODUKTER
Trafikant: 0749 80 31 1 - 7300 ORKANGER

1988

7.

Pilar 4 nordre og vestre vegg



8.

Pilar 4 søndre og østre vegg.



9.

Pilar 5 østre og søndre vegg



10. Pilar 5

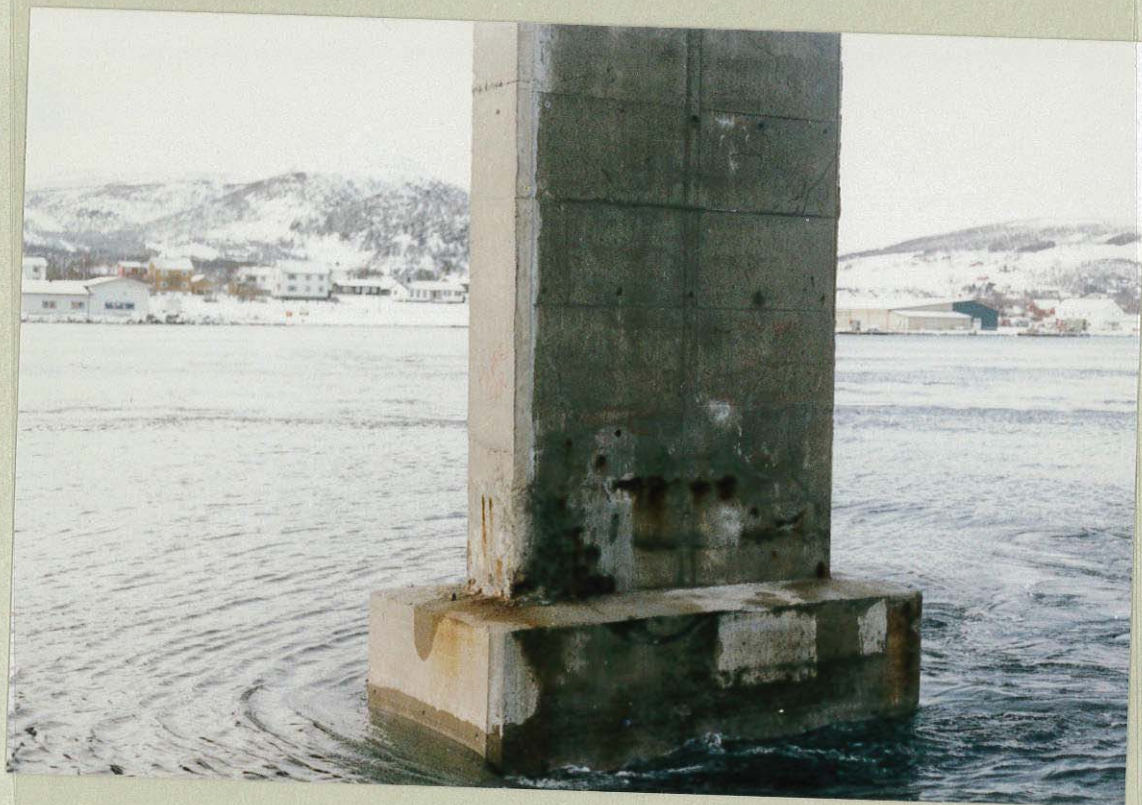
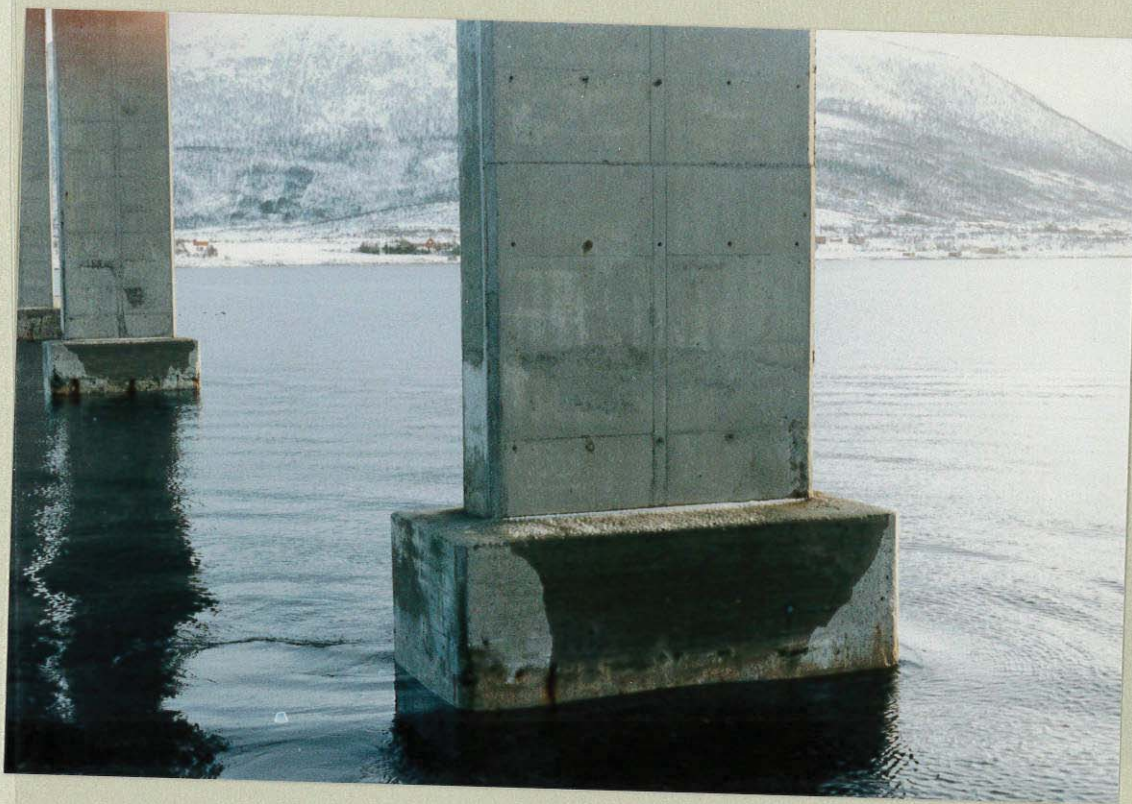
Avskalling, kjerneboring hull 5.1.



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 811 — 7300 ORKANGER

11.

Pilar 5, vestre og nordre vegg



12.

Pilar 6 østre vegg, kjerneboring 6.1. vises

ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 811 - 7300 ORKANGER



13.

Pilar 6 nordre og vestre vegg



14.

Pilar 7 søndre og østre vegg



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 811 - 7300 ORKANGER

15.

Pilar 7 søndre og østre vegg.



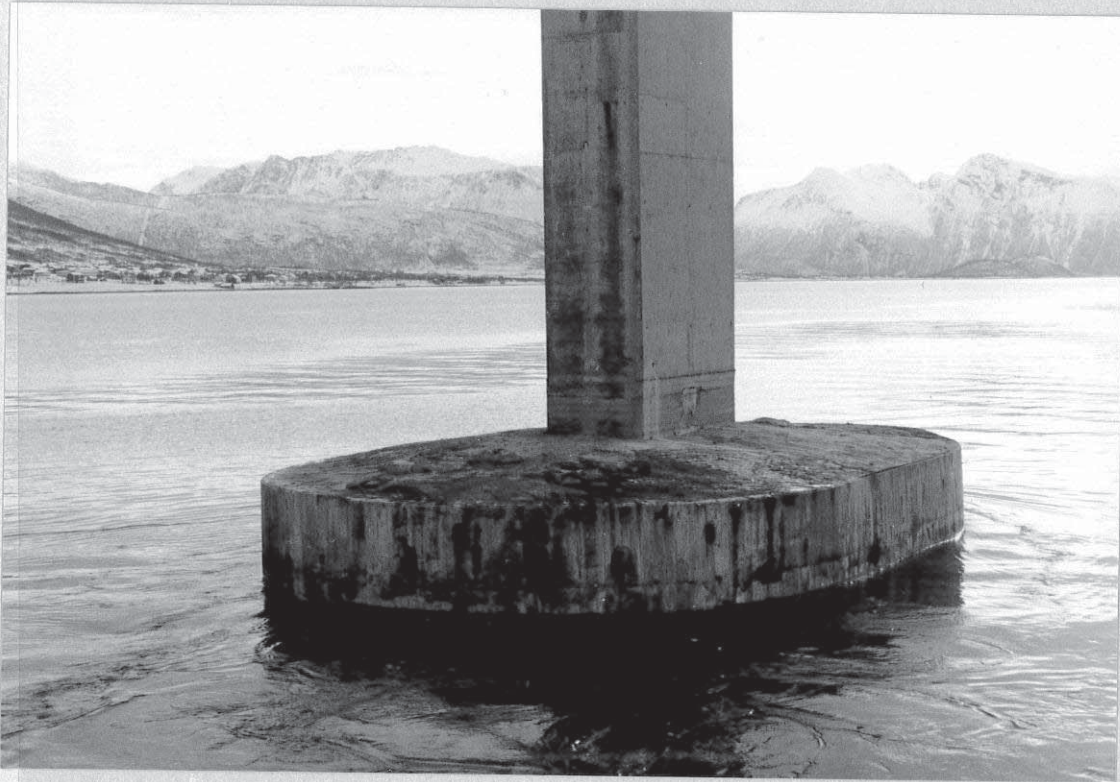
16.

Pilar 8 østre og nordre vegg



19.

Pilar 9 - nordre og vestre vegg. Til venstre sees kjerneboringssted, kabelforankringene er frilagt.



20.

Pilar 9, nordvestre hjørne - restutslag

17.

Pilar nr. 8 - søndre og vestre side



18.

Pilar 8 - østre vegg



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 90 811 - 7300 ORKÅNGER

21.

Pilar 9 søndre og østre vegg - Kabel-
forankringene er frilagt og korrodert.



22.

Pilar 10 - Søndre og østre vegg - Ser



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: 0749 80 811 - 7300 ORKANGER

23.

Pilar 10 - nordre og vestre vegg.



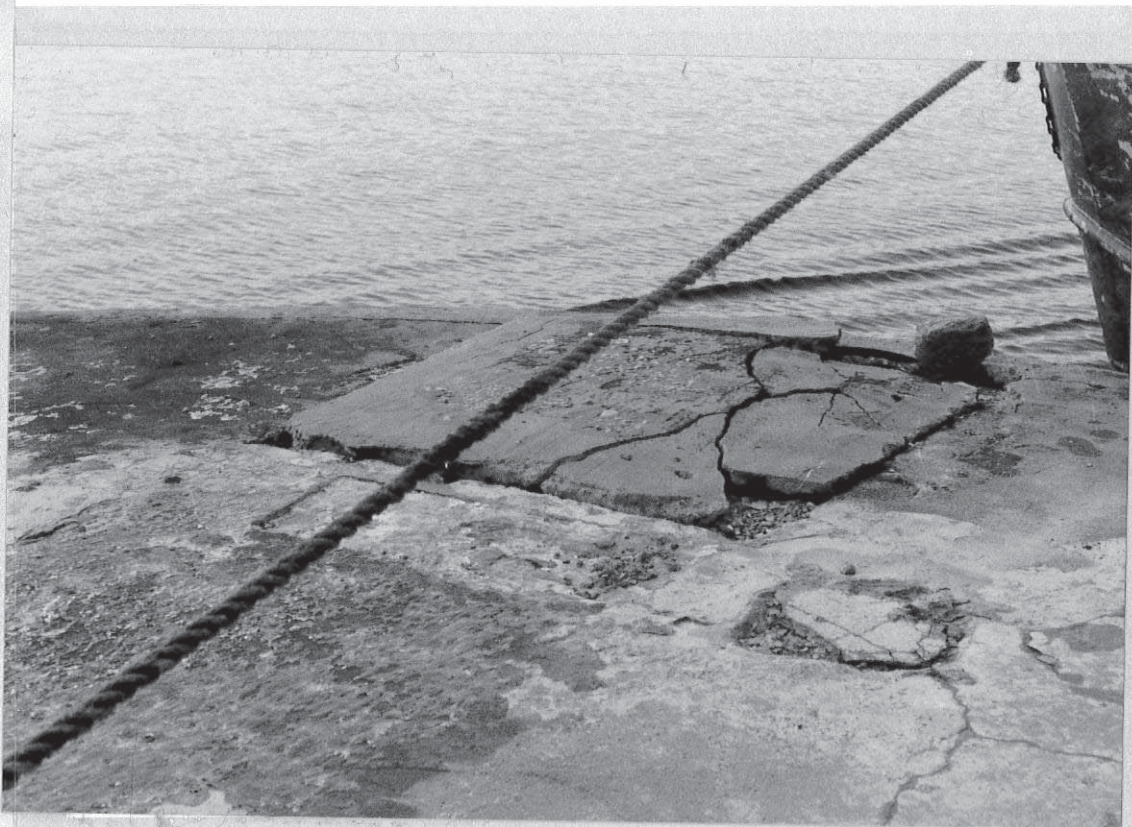
24.

Pilar 10 o.k. fenderkappe på det



25.

Pilar 10 o.k. fenderkappe



26.

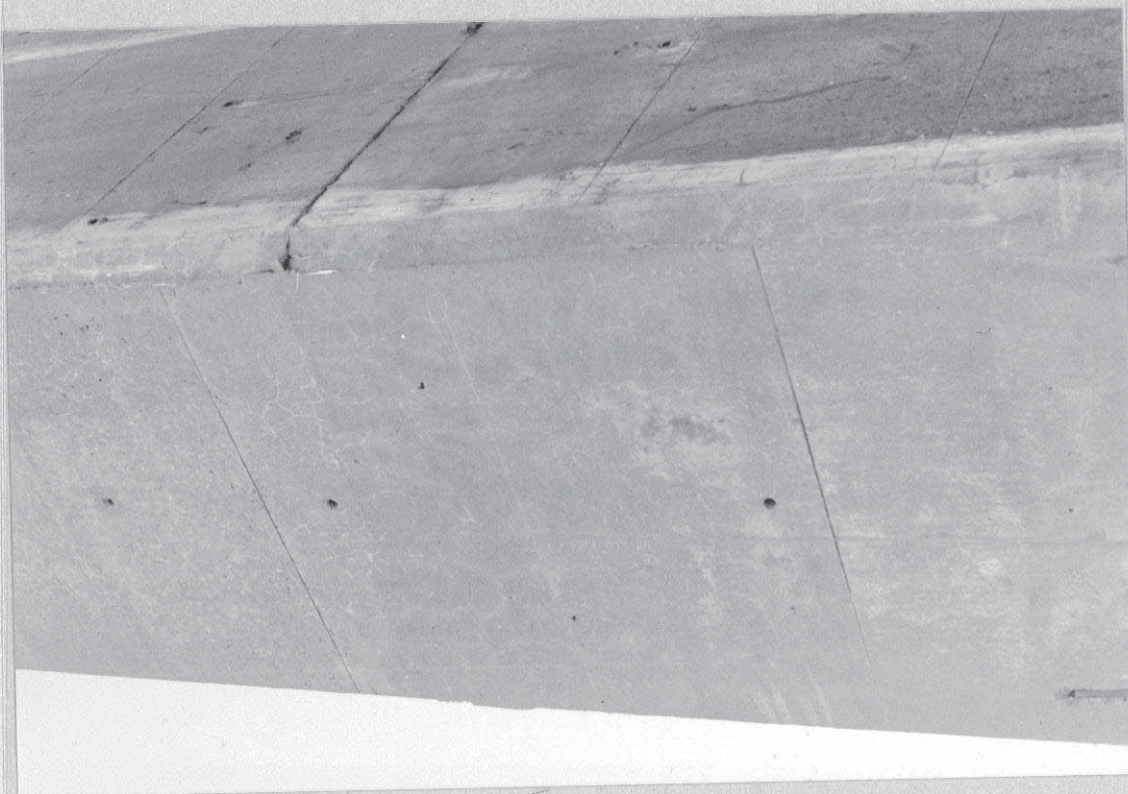
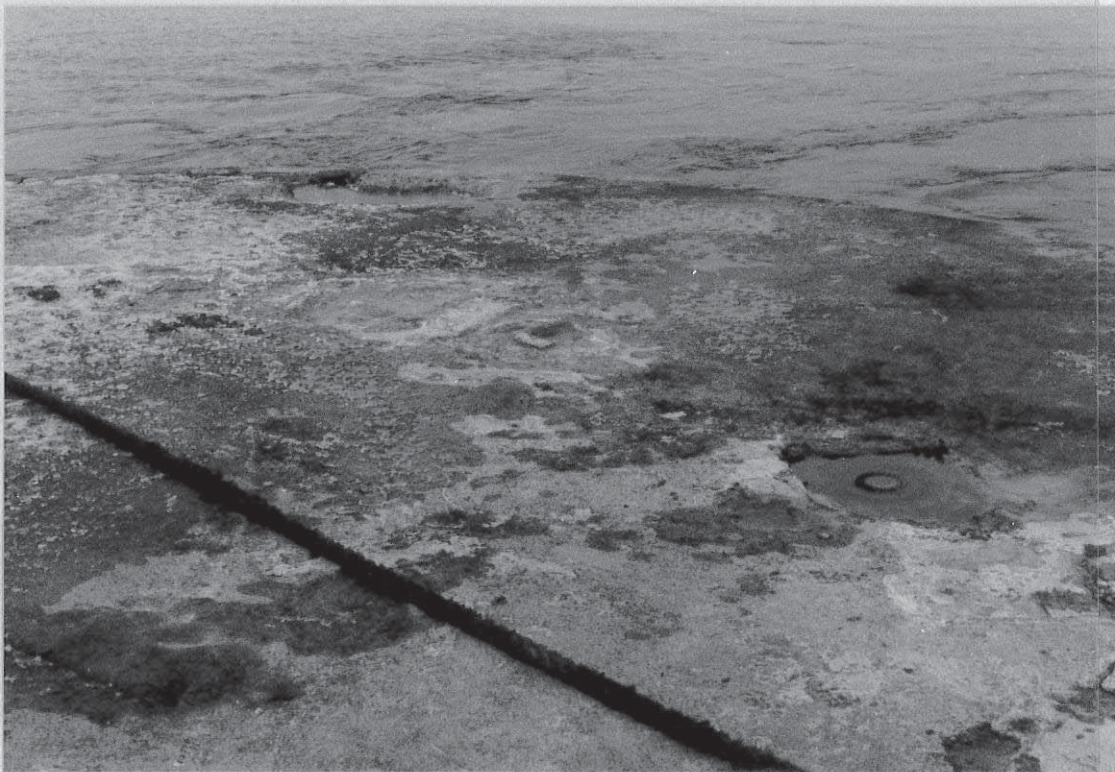
Pilar 10 forankringen er tilagt



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 30 314 - 1300 ØRSKANGER

27.

Som foregående



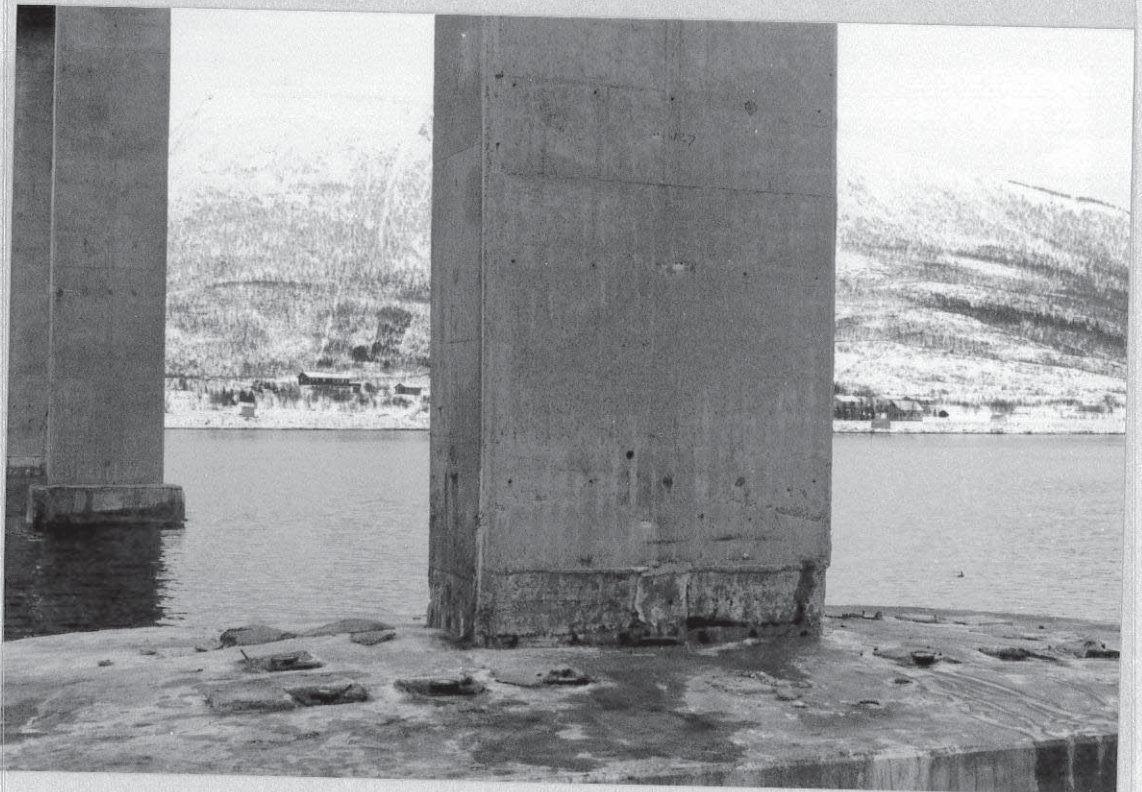
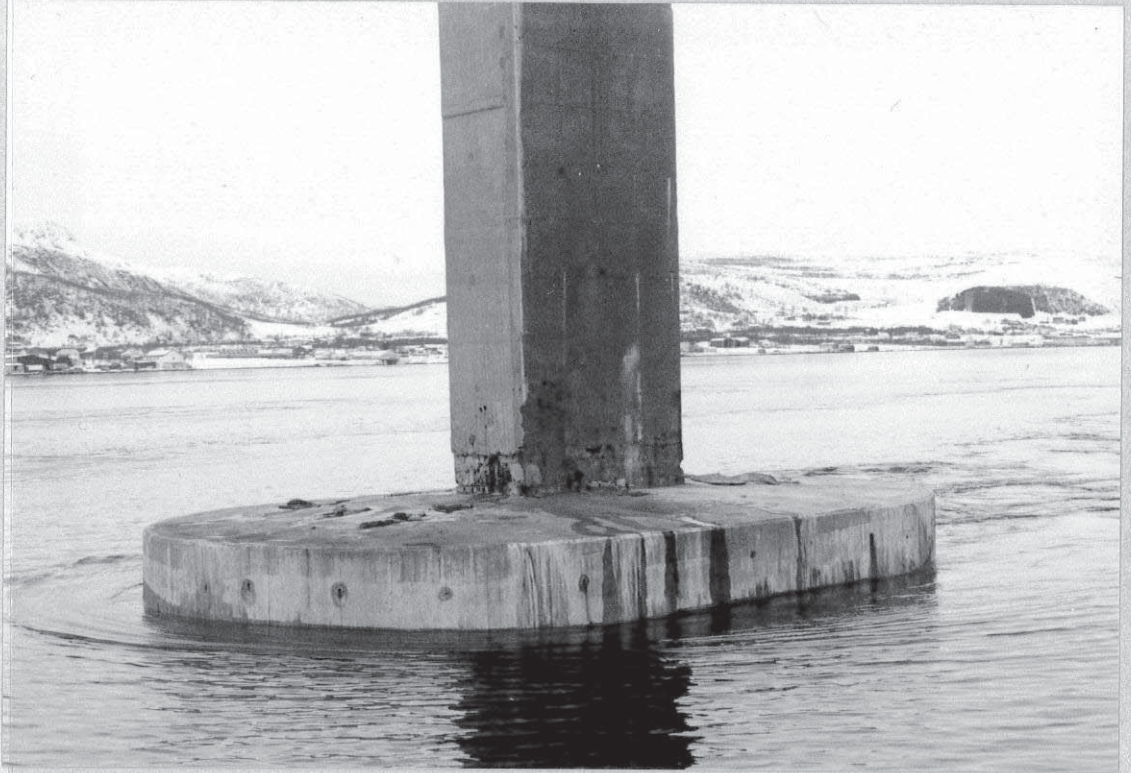
28.

Pilar II.



Bilde nr. 29.

Pilar 12 søndre og østre vegg.



30.

Pilar 12 nordre og vestre vegg

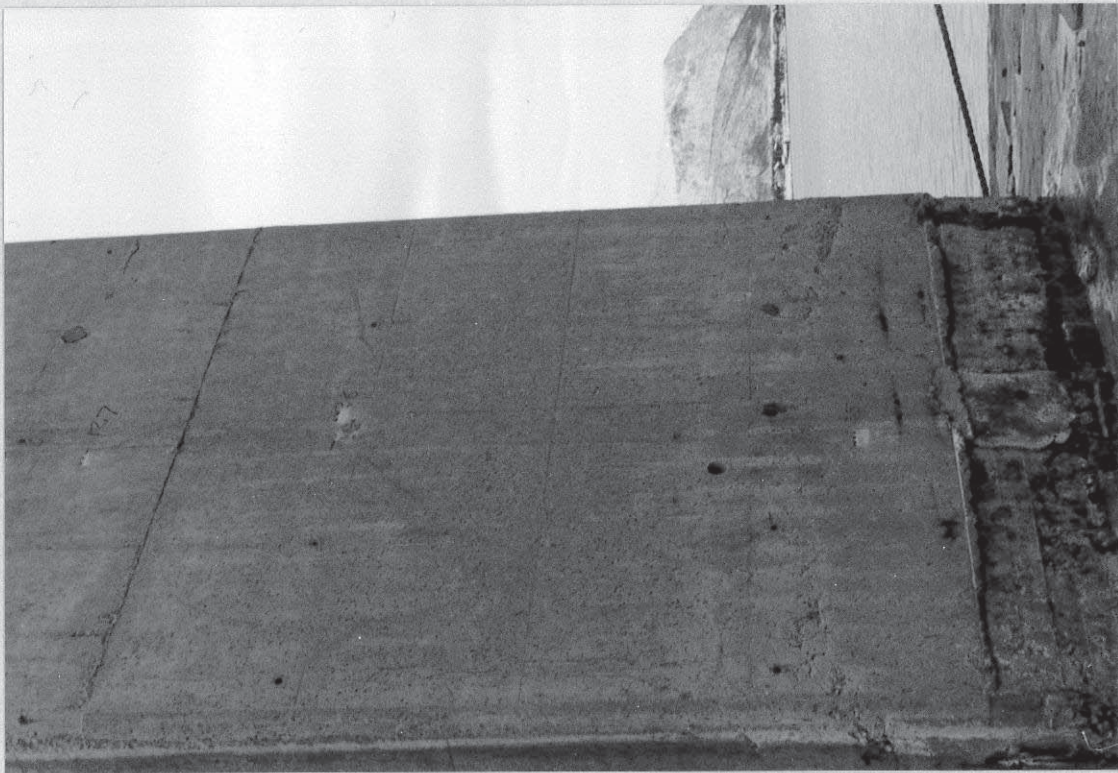


ROSENIK-PRODUKTER

Telefon: 0743 30 6111 - 7300 ORKANGER

31.

Pilar 12, østre vegg.



PROSPEKT
10 x 15

32.

Pilar 12 søndre vegg - betongen bak



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: 0750 8051

33.

Pilar 12 vestre og søndre vegg.



34.

Pilar 12 vestre vegg.



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 8111 - 7300 ORKANGER

35.

Pilar 12 sørøstre hjørne i en høyde av
300 til 2000 mm.



36.

Pilar 12 Frilagte armeringsklosser -



37.

Pilar 12 kabelforankringer er frilagt
sydvestre side



38.

Pilar 12, Frilagte kabelforankringer



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 811 - 7300 ORKANGER

39.

Pilar 12, Betongen er rundt en kabelforankring
er sterkt misfarget og er i ferd med å ødelyses



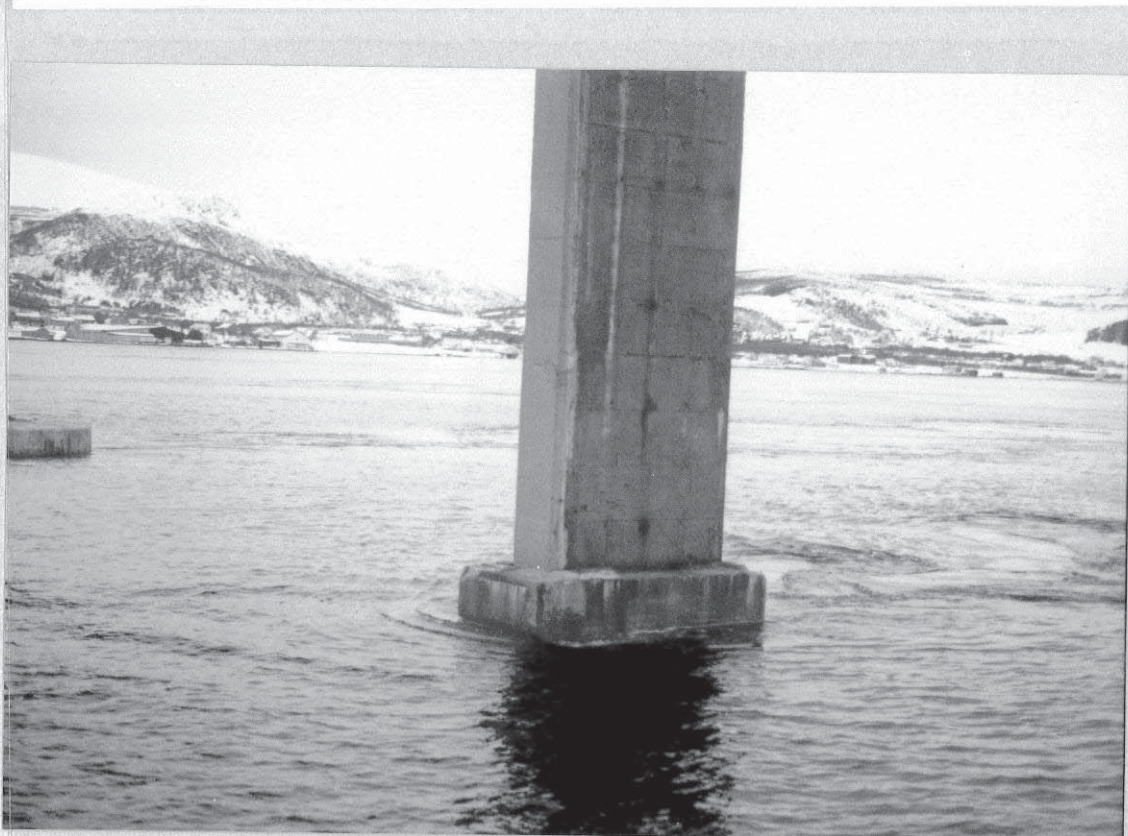
40.

Pilar 13 nordre og østre vegg.



41.

Pilar 13 søndre og østre vegg



42.

Pilar 13 søndre og vestre vegg



ROSENVIK PRODUKTER
Tafelberg 1070 1010
5700 DRANGEN

1988

43.

Pilar 14 nordre og vestre vegg.



44.

Pilar 14 østre og søndre vegg

45.

Pilar 14, vestre og nordre side.



46.

Pilar 15 østre



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: 1074 80 811 — 7300 ØRNÅNGER

47.

Pilar 15 vestre og nordre side



48.

Pilar 15 østre side kote + 2500-3000 mm

49.

Pilar 16, vestre og nordre side



50.

Pilar 16 østre side



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 90 8111 - 7300 ORKANGER

51.

Pilar 16 østre og søndre side



52.

Pilar 16 øst avskalling på kote +3000



ROSSEVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 811 — 7300 ORKANGER

53.

Pilar 16 øst - samme som foregående, men
etter nedslåing av avstalling.



54.

Pilar 16 øst - heftig korrosjon på nivå +2000



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 81 1 - 7300 ORKANGER

55.

Pilar 17 vestre og nordre side



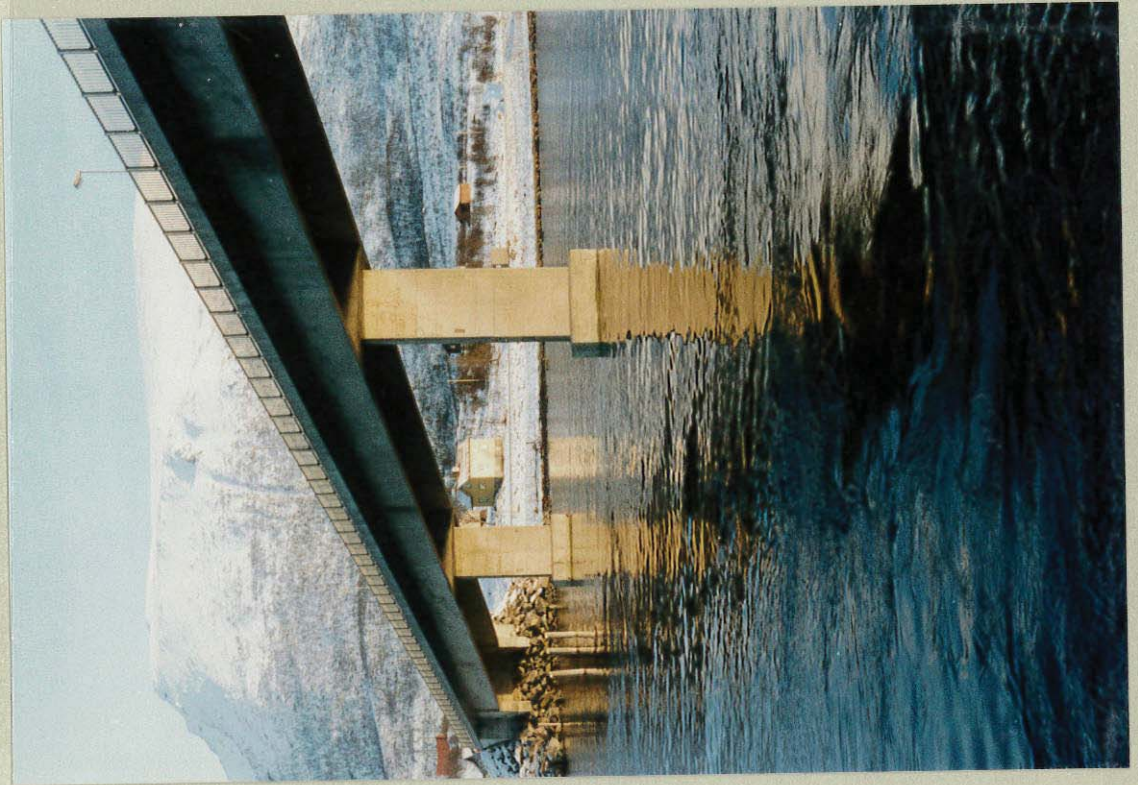
56.

Pilar 17 østre og søndre vegg.



57.

Pilarene 19 og 20 vestre side



58.

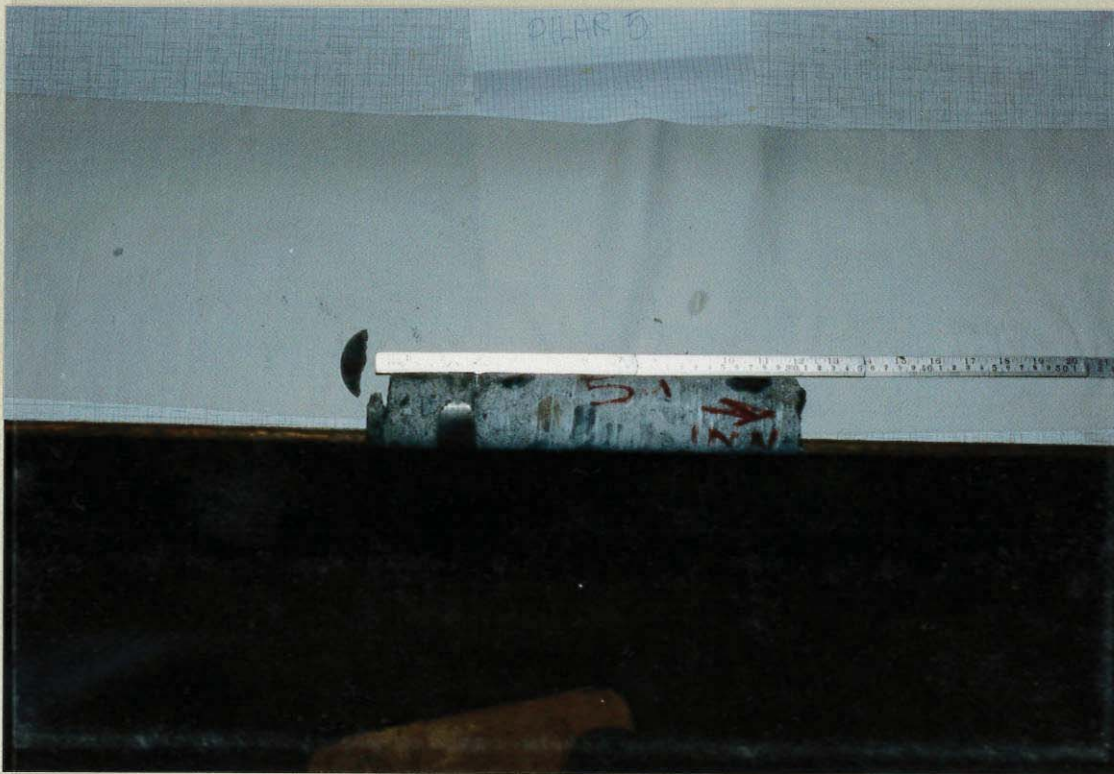
Vestre side av pilarene 15-20



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: (074) 80 811 - 7300 ORKANGER

59.

Kjerne fra pilar 4 - boret gjennom pilaren



60.

Kjerne fra pilar 5.



65.

Kjerneprøve 11.1 fra pilar 11.



66.

Kjerneprøve 11.2 fra pilar 11.



ROSENVIK-PRODUKTER
Telefon: 074 80 811 - 7300 OKANÇEP

67.

Kjerneprøve fra pilar 12.



68.

Kjerneprøve fra pilar 16.



63.

Kjerne fra pilar 8.



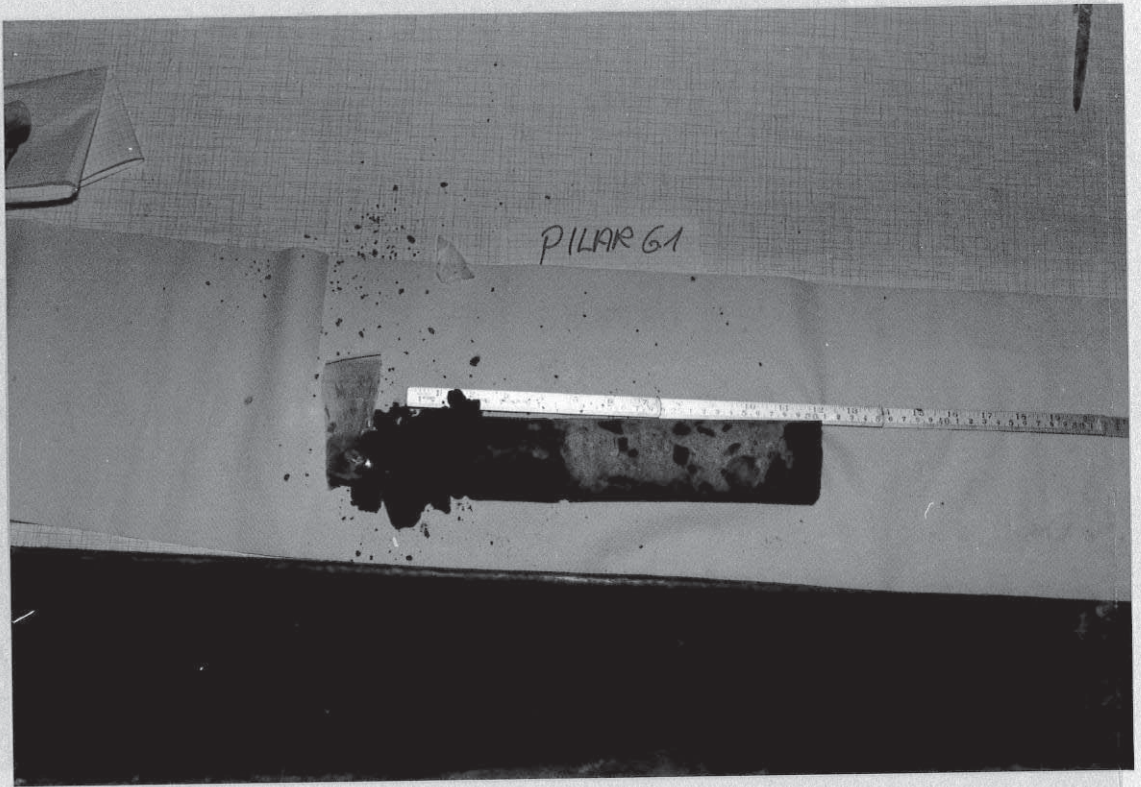
64.

Kjerneprøve fra pilar 9.



61.

Kjerneprøve fra pilar 6.



62.

Kjerneprøve fra pilar 7



ROSENLYST PRODUKTER
Telfon: 074-2301 - 500 DRANGEN

