



Felteksonering og monitorering til forlængelse af anlægskonstruktioners levetid

v/Søren L. Poulsen, Teknologisk Institut

IFB Årsdag 2017

23. november 2017, Den Hvide By, Køge

Nyt projekt om felteksponering og monitorering af anlægskonstruktioner

Titel

- "Felteksponering og monitorering til forlængelse af anlægskonstruktioners levetid"

Varighed

- 3-årigt projekt: 1. nov. 2017 til 31. okt. 2020

Finansiering

- Projektet er bevilget af Uddannelses- og Forskningsministeriet (Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte) som del af en særlig GTS-indsat knyttet til Femern Bælt-forbindelsen.

Overordnet formål

- Skabe grundlaget for fremtidigt levetidsdesign af anlægskonstruktioner med endnu længere levetid.



Partnere i projektet



GTS-institutter

- Teknologisk Institut (prosjektleder)
- DHI



Udenlandsk partner

- Norges Teknisk-Naturvidenskabelige Universitet (NTNU)



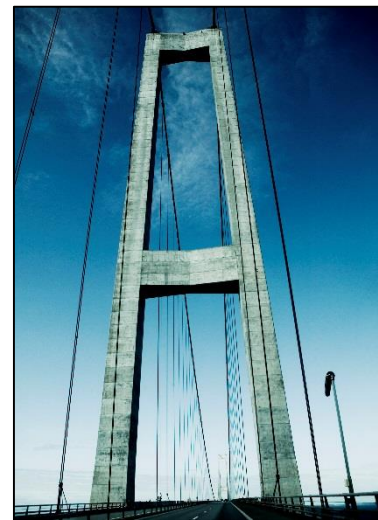
Baggrund for projektet

Store anlægskonstruktioner – springbræt for teknologiudvikling

- Femern-forbindelsen kan booste den teknologiske udvikling – er tidligere set med Storebælt- og Øresundsforbindelsen.
- Store samfundsmæssige gevinster i udvikling af ny teknologi til forlængelse af levetiden for anlægskonstruktioner.

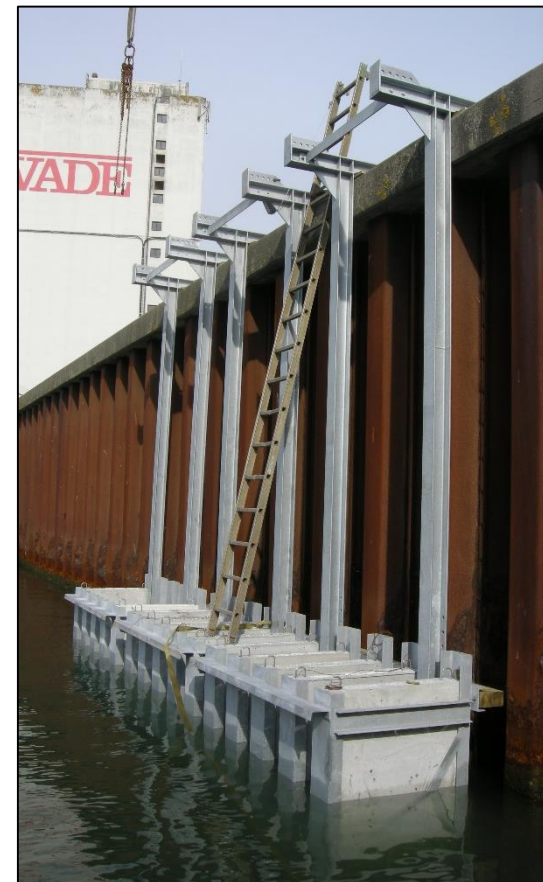
Behov for feltdata og ny teknologi

- Mangel på felteksponeringsdata til kalibrering af levetidsmodeller.
- Behov for udvikling af robuste monitoreringsløsninger til overvågning af anlægskonstruktioner.



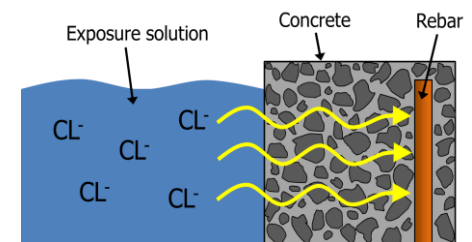
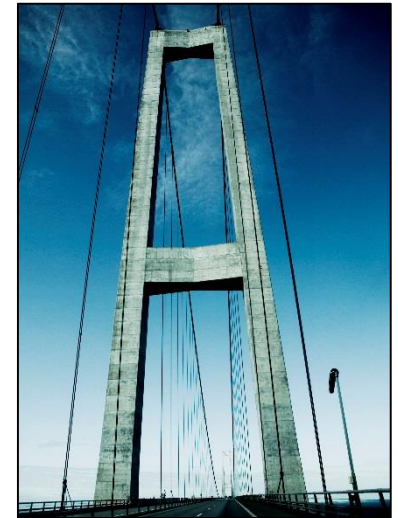
Femern A/S' eksponeringsplads i Rødbyhavn

- Marin felteksponeringsplads etableret i 2009.
- Centralt omdrejningspunkt for projektet.
- Drives af Teknologisk Institut.
- Unikke data vedr. betons holdbarhed i marint miljø.
- 15 betonblokke produceret (+ 7 instrumenterede blokke) i 2009/2010.
- Eksponeret for havvand i april 2010.



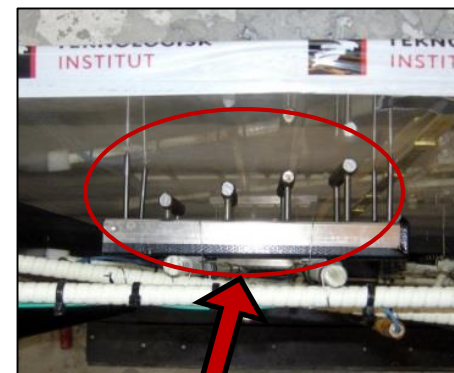
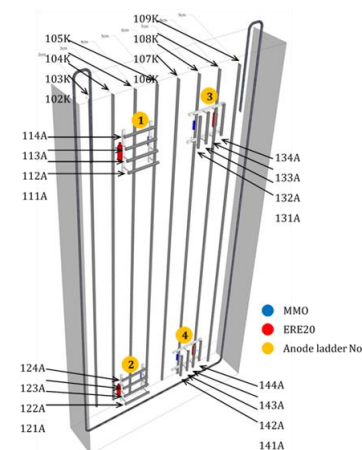
Lidt om levetid for betonkonstruktioner

- Typisk definition af levetid: *Varighed af perioden indtil det indstøbte armeringsjern begynder at ruste.*
- Hvilke faktorer har betydning for levetidens størrelse?
 - Eksponeringsmiljøets karakter.
 - Betonens kvalitet.
 - Tykkelse af beton-dæklaget over armeringsjernet.
 - Chloridtærskelværdien for den aktuelle beton.
- Hvad er chloridtærskelværdien?
 - Mængden af chlorid ved armeringsjernet der skal til for at igangsætte korrosion.
 - Vigtig inputparameter ved beregning af levetid for armerede betonkonstruktioner.
 - Små ændringer kan have stor betydning for størrelsen af den beregnede levetid.



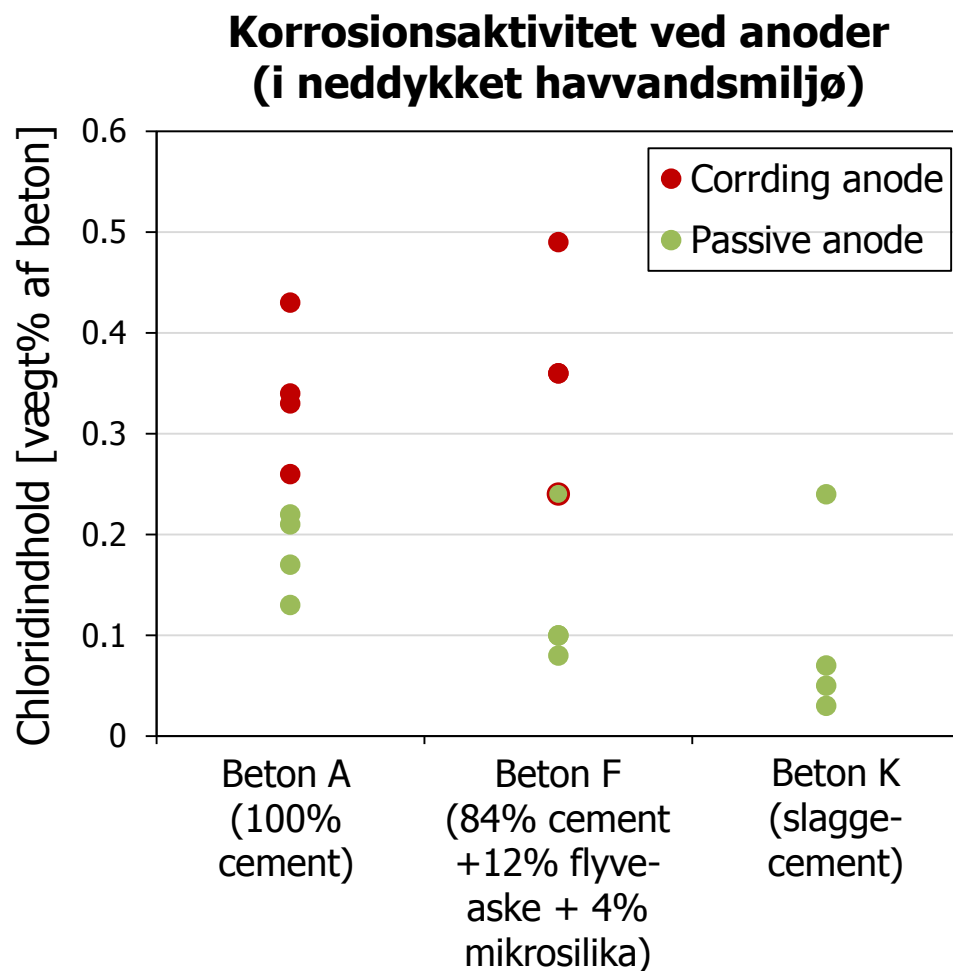
Måling af chloridtærskelværdier gennem feltforsøg

- Generel mangel på viden om chloridtærskelværdier – store variationer på værdier rapporteret i litteraturen.
- Tærskelværdien varierer fra beton til beton og afhænger af en lang række faktorer.
- Feltforsøg med måling af chloridtærskelværdier ved eksponeringspladsen i Rødbyhavn.
- Instrumenterede blokke med indstøbte "anode-trapper" til registrering af korrosionsstart.



Anode-trappe

Eksempel på målte chloridtærskelværdier fra instrumenterede blokke



Chloridtærskelværdier (vægt% Cl af beton):

- Beton A: $>0,22$ og $<0,26$
- Beton F: Ca. 0,24
- Beton K: $>0,24$

Beton	Chloridtærskelværdi (vægt% Cl af beton)	Estimeret levetid* (fib Model Code)
A	0,09 (standardværdi fra fib Model Code)	20
A	0,24 (målt værdi)	522
F	0,09 (standardværdi fra fib Model Code)	37
F	0,24 (målt værdi)	194

*Levetid beregnet for hypotetisk konstruktion i neddykket havvandsmiljø med 50 mm betondæklag over armeringsjern.

Hvorfor er monitorering af anlægskonstruktioner interessant?

- Hurtig udvikling inden for sensorer og anden måleteknik de seneste år.
- Udviklingen giver mulighed for nye trådløse løsninger.
- Store datamængder bliver lettere og lettere at håndtere.
- Løbende monitorering giver mulighed for optimeret planlægning af vedligehold og renovering.
- Effektiv monitorering kan have afgørende betydning for levetid og totaløkonomien af store anlægskonstruktioner.



Aktiviteter: Udvikling af ny monitorerings-løsning med trådløs teknologi



- Afprøvning af trådløse teknologier som databærer i monitoreringssystemer, f.eks. SIGFOX teknologi.
- Opbygning af trådløst system til online måling på sensorer i havvandseksponerede betonkonstruktioner.
- Installation af demo på betonblokke ved felteksponeringspladsen i Rødbyhavn.
- Udvikling af alarmmanager til overvågning af datatransmission – og avancerede analyser af måledata til realtid.



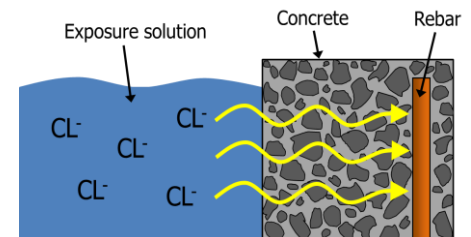
Aktiviteter: Udvikling af ny monitorerings-løsning med trådløs teknologi

- Udvikling af teknologi til udtræk, analyse og præsentation af data på smartphones, tablets, mm.
- Udvikling af en online, webbaseret løsning til præsentation af sensordata.



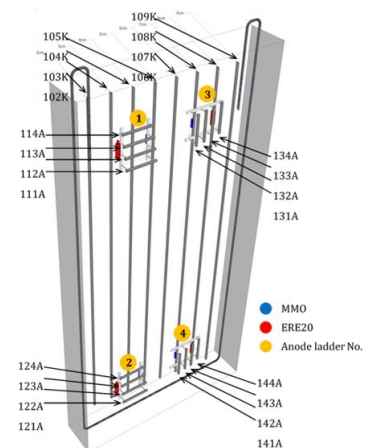
Aktiviteter: Indsamling og analyse af data fra felteksponeringspladser og holdbarhedsstudier

- Etablering af samarbejde mellem nordiske felteksponeringspladser.
- Indsamling og analyse af data fra felteksponeringspladser:
 - Opbygning af ny viden om betons holdbarhed.
 - Opbygning af forbedrede levetidsmodeller.
 - Dataanalyse gennem *machine learning*.
 - Undersøgelse af:
 - Betydningen af revner for armeringskorrosion.
 - Selv-healingspotentiale for revner i forskellige betontyper.



Aktiviteter: Indsamling og analyse af data fra felteksponeringspladser og holdbarhedsstudier

- Mange data fra tidligere og igangværende aktiviteter knyttet til felteksponeringspladsen i Rødbyhavn, fx:
 - Fremstilling af betonblokke til eksponeringspladsen.
 - Grundig dokumentation af alle betoner.
 - Undersøgelser efter 0.5, 2 og 5 års eksponering:
 - Måling af chloridindtrængning.
 - Mikroskopi-undersøgelser, inkl. SEM-analyser.
 - Løbende monitorering af instrumenterede blokke til måling af chloridtærskelværdier for armeringskorrosion.
 - Snart tilføjes nye blokke fremstillet af "grønne betoner" (Grøn Beton II-projektet).



Aktiviteter: Etablering af dansk-norsk samarbejde inden for holdbarhed og monitorering af betonkonstruktioner

Stor aktivitet i den norske anlægssektor

- "Ferjefri E39":
 - Anlægsprojekt til ca. 340 mia. NOK.
 - Færgefri forbindelse langs den norske vestkyst.
 - Ca. 50 tilknyttede ph.d.- og postdoc-projekter igangsat ved NTNU og andre universiteter og forskningsinstitutioner.
 - Statens Vegvesen etablerer marin felteksponeringsplads ved Austefjorden.
- Samarbejde med norske aktører skal sikre:
 - Videnoverførsel.
 - Koordinering af aktiviteter på felteksponeringspladser.



Norges Teknisk-Naturvidenskabelige
Universitet (NTNU)

Aktiviteter: Etablering af *Rødbyhavn Living Lab*

- Design og etablering af *Rødbyhavn Living Lab* (formidlingsrum) på Femern A/S Infocenter i Rødbyhavn.
- On-line streaming af data fra eksponeringspladsen i Rødbyhavn.
- Bred formidling omkring levetidsmodeller for betonkonstruktioner og betydningen af variationer i inputdata.



Aktiviteter: Videnspredning og –implementering

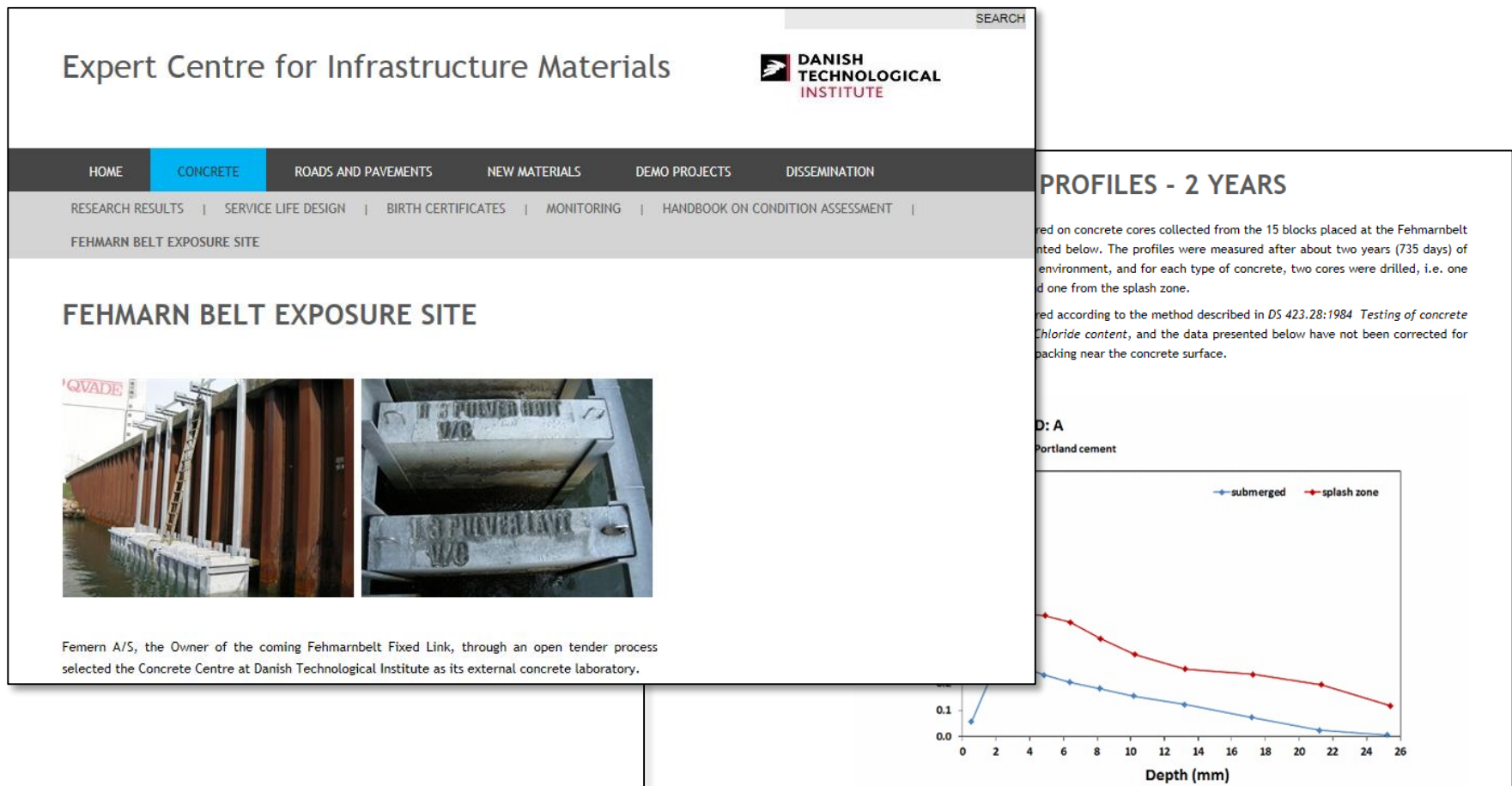


- Samarbejde med IFB og InnoByg om indlæg på medlemsmøder og faglige arrangementer.
- Tilknytning af studerende til udviklingsaktiviteterne og formidlingsaktiviteter i *Rødbyhavn Living Lab*.
- Eksamensprojekter for studerende på DTU.
- Etablering af ph.d- og postdoc-projekter i samarbejde med NTNU og DTU.
- Faglige workshops, f.eks. for brancheforeninger og studerende på erhvervsskoler.



Aktiviteter: Videnspredning og –implementering

- Præsentation af nye resultater gennem www.expertcentre.dk.



Koordinering med andre GTS-institutter



- FORCE og Alexandra Instituttet har beslægtet projekt:
 - "Smart monitoring af infrastruktur og miljø (DigiMON)"
- Koordinering af aktiviteter omkring sensorer, monitoreringsløsninger og datatransmission.
- Skal sikre synergi og forhindre dobbelt udviklingsarbejde.



Forbindelse med tidligere projekter

- Drager nytte af viden opbygget gennem tidligere resultatkontraktprojekter med fokus på anlægskonstruktioner:
 - "Dansk Ekspertcenter for Konstruktioner til Infrastrukturen" (2010-2012)
 - "Ny teknologi til anlægskonstruktioner" (2013-2015)
 - "Huller i vejen" (2016-2018)



Samarbejde med virksomheder

- Kvalificering af aktiviteterne indhold gennem dialog med relevante virksomheder og aktører.
- Der afholdes kick-off workshop for:
 - 1) Virksomheder som potentielt kan deltage i udviklingsarbejdet og som kan aftage den viden og teknologi, der bliver udviklet.
 - 2) Virksomheder som er direkte involveret i Femern Bælt-projektet og andre store infrastrukturprojekter i Danmark og Norge.

