

# Rådhuset i Bergen



## Betongfasadene Tilstand og mulige tiltak

Utført mellom høsten 2014 og våren 2015

Dato 08. juni 2015  
Revidert 08.07.2015

Betec AS  
Helleveien 136  
5039 Bergen  
Org.nr. 953 651 440  
Telefon: 920 33 228  
E-post: [post@betec.no](mailto:post@betec.no)

## INNHALDSFORTEGNELSE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Del 0 Sammendrag</b>  | <b>3</b>  |
| Bakgrunn   | 3         |
| Tilstand for fasadesøylene                                       | 3         |
| Resultat at pilotprosjektene                                     | 3         |
| Skadeutvikling og levetidsbetraktning                            | 4         |
| Kostnadsestimater  | 5         |
| Antikvariske vurderinger og bevaringskrav                        | 5         |
| <br>   |           |
| <b>Del 1 Litt historikk og bakgrunn</b>                          | <b>6</b>  |
| <br>   |           |
| <b>Del 2 Tilstand, mulige tiltak og levetidsbetraktning</b>      | <b>7</b>  |
| Tilstand   | 7         |
| Sammendrag av tilstand   | 7         |
| Mulige tiltak  | 10        |
| Levetidsbetraktninger.   | 12        |
| <br>   |           |
| <b>Del 3 Gjennomførte pilotprosjekt med ulike løsninger</b>      | <b>14</b> |
| Betingelser  | 14        |
| Gjennomføring av pilotprosjektene                                | 14        |
| Resultat og lærdom   | 15        |
| Katodisk korrosjonsbeskyttelse                                   | 16        |
| Katodisk beskyttelse av fasadesøyler på Rådhuset i Bergen        | 17        |
| Foreløpig konklusjon for det katodiske anleggene                 | 22        |
| <br>   |           |
| <b>Del 4 Kostnadsestimater reovering av sør og nord fasader</b>  |           |
| Alternativ 1. En beholder eksisterende betongoverflate i søylene | 24        |
| Alternativ 2 En tillater at søylene pusses til slette flater     | 25        |
| <br>   |           |
| Vedlegg 1 Bilder   | 26        |
| Vedlegg 2 Mulig soneinndeling for katodisk beskyttelse           | 35        |

## **Del 0 Sammendrag**

### **Bakgrunn**

Rådhuset i Bergen ble bygd i perioden 1971 til 1974 og er tegnet av Arkitekt Erling Viksjø (1910-1971), en av Norges aller fremste arkitekter i etterkrigstiden

Bygget er således 40 år gammelt. I løpet av de siste 5-6 årene har det utviklet seg synlige korrosjonsskader på søylene på sør- og nordfasaden.

I 2012 ble til laget en tilstandsrapport for fasadesøylene og byggherren har vært oppe på fasaden for å plukke ned betongstykker som er sprengt løs og sto i fare for å falle ned.

Betec AS har hatt i oppdrag å bistå byggherren med å velge mulige løsninger og gjennomføre pilotprosjekter for å finne ut om de valgte løsninger vil gi de ønskede effekter, samt om det var mulig å utføre reparasjoner og tiltak og samtidig gjenskape den originale overflaten.

Pilotarbeidene skulle så danne grunnlag for å velge, beskrive og gjennomføre tiltak på fasadene.

### **Tilstand for fasadesøylene**

Korrosjonstilstand for søylene er nå kommet så langt at tiltak bør settes inn innen 1-2 år, dersom en skal unngå å måtte gjennomføre sikringsarbeider ved enkelte søyler der skadene ser ut til å være ekstra omfattende.

Skadeutviklingen fra 2012 til 2015 har vært markert. Skadeomfanget og skadegraden i enkelte punkter nærmer seg nivåer som kan være alarmerende.

### **Resultat at pilotprosjektene**

Pilotprosjektene viser at det er teknisk mulig å renovere fasadesøylene slik at en kan utvide brukstiden for fasadesøylene (dvs hele bygget).

Målinger viser at en kan oppnå tilfredsstillende katodisk beskyttelse med begge de to typene anoder som er forsøkt, Sagtann anoder og durAnoder.

Pilotarbeidene viser også det er mulig å tilnærmet gjenskape eksisterende overflater.

Pilotarbeidene har også avdekket en del fallgruver som en må unngå når arbeidene starter på hele fasaden.

## Skadeutvikling og levetidsbetraktning

Utviklingen av skader i søylene går raskere enn det en kanskje forstilte seg tilbake 2012.

Skissen under kan illustrere forventet skadeutvikling med ulike tiltak eller mangel på tiltak.



Skissen over antyder at brukstiden for søylene kan settes til fram til 2022. Dette forutsetter at en sikrer de største enkeltskadene før dette.

En kan utføre omfattende mekaniske reparasjoner langs søylene og derved kunne anta en brukstid fra til ca. 2035. Det vil da trolig igjen være til dels omfattende korrosjonsskader og nye tiltak må settes inn.

En kan utføre mekaniske reparasjoner sammen med at en monterer katodisk beskyttelse langs søylene. En kan da trolig forlenge brukstiden for det eksisterende fasadesøylene fram til ca. 2050-60.

Begge løsningene vil likevel fordre at en går over fasadene med lift å plukker ned løse steiner før disse faller ned.

Katodisk beskyttelse vil også kreve at det står en likestrøm på andone i søylene. Det skal utføres jevnlig kontroll av det katodiske anlegget. Når et katodisk anlegg har vært i drift 1-2 år og det fungerer tilfredsstillende, vil det være tilstrekkelig å etterse et slikt anlegg 1-2 ganger pr. år.

## **Kostnadsestimater**

Kostnadsestimatene gjelder vedlikehold og renovering av nord og sør fasadene på Rådhuset i Bergen.

Kostnadsestimatet for renovering og montering av katodisk beskyttelse når en skal beholde dagens overflatestruktur på søylene er ca. kr. 30 millioner inkludert mva.

Dersom er tillater at betongflatene i søylene pusses ut til slette flater, er kostnadsestimatet ca. kr. 18 millioner inkludert mva.

Det er trolig mulig å redusere kostnadsestimatene noe dersom en prosjekterer med dette for øye og gjennomfører prosjektet med tanke på at omfanget av reparasjoner holdes til et minimum. Dette vil i så fall redusere levetiden for renoveringsarbeidene.

## **Antikvariske vurderinger og bevaringskrav**

Grunnlaget for denne rapporten er at en ønsker å opprettholde eksisterende overflate.

Fasade endinger vil gjøre vedlikeholdsarbeidene enklere og billigere å gjennomføre.

Antikvariske myndigheter må ta stilling til denne problemslittingen innen noen måneder

## Del 1 Litt historikk og bakgrunn

Rådhuset i Bergen ble bygd i perioden 1971 til 1974 og er tegnet av Arkitekt Erling Viksjø (1910-1971), en av Norges aller fremste arkitekter i etterkrigstiden, kjent blant annet for å ha tegnet store deler av regjeringskvartalet i Oslo, blant annet Høyblokka. Viksjø er spesielt kjent for sin egen, patenterte metode for fremstilling av betong, som han kalte naturbetong. Denne metoden er blant annet benyttet på rådhuset i Bergen.

Støpemetoden innebærer at forskalingen først blir fylt med tilslag av forskjellige typer singel og grus, som oftest rundslipt elvegrus. Deretter blir sementmørtel presset inn i forskalingen til alle hulrom mellom tilslagsmaterialet er fylt. Etter at støpen har herdet tilstrekkelig lenge blir forskalingen fjernet, og betongen blir sandblåst til steinen kommer tydelig fram i overflaten. Metoden skiller seg dermed fra tradisjonell betongproduksjon, hvor tilslaget blandes inn sammen med sand og sement før den blir støpt ut.

Betongen i rådhuset er et spesielt arkitektonisk virkemiddel, som det må tas høyde for under utbedringen av fasaden. Det arkitektoniske uttrykket er så spesielt at det blir en utfordrende jobb å rehabilitere.

**Dette var sitater fra litteratur som ligger på nettet.**

Denne rapporten omhandler de utvendige fasadene i bygget og spesielt søylene på fasade nord og sør.

Armeringsføringen i søylene er vist på armeringstegninger fra byggetiden

Betongfasadene er således blitt over 40 år gamle. Fasadene har ikke vært behandlet med noen form for maling eller impregnering.

Det ble for noen år siden avdekket at det pågår til dels omfattende korrosjon på søylearmeringen

## Del 2 Tilstand, mulige tiltak og levetidsbetraktning

### Tilstand

Det foreligger en tilstandsrapport for fasaden fra oktober 2012. Denne rapporten sier følgende:

### Sammendrag av tilstand

#### *Generelt*

Når armerte betongkonstruksjoner når en viss alder, er begynnende armeringskorrosjon et helt vanlig vedlikeholdsproblem.

Byggherren engasjerte våren 2012 et entreprenørfirma for å fjerne løs og dårlig betong fra fasaden for å unngå ukontrollert nedfall. Dette ble gjentatt igjen våren 2015 ettersom det nå var oppstått nye sprekker og riss med tilhørende fare for nedfall av betong.

Betongflatene i fasaden er såkalt "naturbetong" og er selvfølgelig et viktig element i byggets arkitektur, men er vanskelig å reparere med fint resultat.

**Forsøk med reparasjon av betongfasadene er nå utført med 2 ulike entreprenører.**

#### *Armeringsføring*

På grunn av skjøting av søylearmering og nedbøying av bjelkearmering i søyler ved etasjeskillene, samt at søylene er snevret inn mot fronten, er det svært tett med armering i ytre del av søylene ved etasjeskillene.

Under byggearbeidene hadde entreprenøren problemer med å plassere armeringen med tilstrekkelig overdekning og nøyaktighet.

Armeringstegningene angir at bøylar skal omslutte vertikalarmeringen med senteravstand 250mm. På grunn av store mengder armering, har en utelatt en del bøylar ved etasjeskillene. Ved etasjeskillene er søylene støpt sammen med brystningselementene som har horisontalarmering. En skal likevel huske at hovedarmeringen i søylene ikke er omsluttet av armering i området der vertikalarmeringen er skjøtet og kan komme ut fra fasaden ved overbelastning. Dette gjør at en ikke kan regne trykk-kapasitet i armeringen fra etasjeskillet og opp ca. 1meter.

Betongoverdekningen i søylene er liten ved etasjeskillene.

#### *Armeringskorrosjon*

Det er synlig skader etter korrosjon på armeringen og skadene er igjen konsentrert på vertikalarmeringen uten bøylar ved etasjeskillene.

Årsakene til at armeringen korroderer er ikke en generell karbonatiseringsprosess fra overflaten, men en kombinasjon av karbonatisering langs steinene og kloridinitert korrosjon i karbonatisert betong. Problemer med kloridinitert korrosjon er et sammensatt problem og kan ikke behandles lett.

EKP-målingene avdekker høyere korrosjonsaktivitet ved etasjeskillene, men viser forholdsvis små gradienter og høy elektrisk motstand, noe som tyder på en forholdsvis tørr betong rundt armeringen.

Korrosjonsformen ved etasjeskillene er dominert av flatetæring og i mindre grad av gropetæring (pitting).

En ser at tilgangen på oksygen til flatetæringen er god ettersom korrosjonsproduktene oksiderer og ekspanderer. Ekspansjon av korrosjonsproduktene vil gi omfattende skader på betongen før armeringstverrsnittet er nevneverdig redusert.



Bildet viser korrosjon på hovedarmeringen i søyle. Armeringen som kommer nedenfra er bøyet på skrå innover i søylen for å gi plass til søylearmeringen oppover i neste etasje. Bildet illustrer godt problemstillingen med søylene i fasadene. Vi ser også at det mangler bøylor

### ***Karbonatisering***

Den generelle karbonatiseringsdybden er liten, noen millimeter, men sementen langs steinene er karbonatisert og denne prosessen har flere steder nådd armeringen.

### ***Kloridinnhold***

Den målte kloridmengde er under antatte terskelverdier for initiering av korrosjon, men i karbonatisert betong er terskelverdien tilnærmet null. Selv små mengder kloridioner vil generere aktiv armeringskorrosjon i karbonatisert betong.



Bildet viser en bruddflate i betongen i en søyle langs fasaden. Flaten er påført en pH-indikator. De mørke fiolette områdene viser sement med høy pH-verdi (gir korrosjonsbeskyttelse). De rosa områdene viser stein (elvestein). De grønne områdene langs steinene viser at pH-verdien er ca. 8 (karbonatisert betong) som ikke lenger opprettholder



korrosjonsbeskyttelsen på armeringen. Selv små mengder kloridioner vil da føre til armeringskorrosjon.

### ***Betongens fasthet***

Vi kan ikke avdekke noen form for alvorlig svekkelse av betongfasthet.

Heftsonene mellom sure steiner og karbonatisert betong vil svekkes, men dette vil ikke bli et alvorlig problem i nær fremtid.

### ***Konsekvenser av pågående armeringskorrosjon***

Undersøkelser og utvikling av skader fra 2012 til 2015, illustrerer at det stadig utvikles nye korrosjonsskader og at pågående korrosjon forsetter å utvikle nye og større sprekker med påfølgende fare for nedfall av betong.

Skadene oppstår og utvikler seg litt raskere enn en antok tilbake i 2012.

Slik skadene nå har utviklet seg, må en ha i tankene at det kan oppstå lokale skader som er så alvorlige at mer omfattende statiske tiltak kan bli nødvendig.

## Mulige tiltak

### **Verneverdige og estetiske spørsmål**

Korrosjon på søylearmering i fasadene er et alvorlig problem for hele bygget ettersom det er fasadesøylene som utgjør bæringen i bygget.

En må ta stilling til følgende spørsmål:

- Bygget er tegnet av arkitekt Erling Viksjø, som var en anerkjent arkitekt.
- Er en villig til å bruke ekstra midler i vedlikehold for å opprettholde utseende på overflatene i fasaden?

Dersom svaret er ja, må reparasjon av alle korrosjonsskader avsluttes med å legge inn nye steiner i overflaten der en tilstreber at steinene har størrelse og fargevariasjoner i hh til tilstøtende områder, samt en tilstreber samme farge på mørtel.

Dersom en skal opprettholde eksisterende overflate, må en påregne at arbeidene vil ta lang tid og at en må opp på fasaden med jevne mellomrom, også i fremtiden, for å plukke ned løse stein.

Dersom en kan endre på fasadeflatene, vil en åpne for rimeligere tiltak nå og et rimeligere vedlikehold i fremtiden.

### **Høsten 2014 og våren 2015 er det utført pilotreparasjoner på noen søyler på fasade nord. Disse reparasjonene er utført med tanke på at en skal beholde strukturen i overflatene.**

Mulige tiltak på betongfasader der det pågår aktiv korrosjon på armering, forårsaket av en kombinasjon av karbonatisering og tilstedeværelse av kloridioner, er begrenset.

I grove trekk kan følgende tiltak utføres:

1. En kan fjerne og erstatte alle betong rundt armering der sementen er karbonisert og/eller har for høyt kloridinnhold.
2. En kan utføre elektrokjemiske metoder som realkalisering og kloriduttrekk som (i teorien) vil fjerne årsakene til at korrosjon pågår og gjenopprette dette basiske miljø rundt armeringen.
3. En kan montere anoder på og i betongflatene og sette opp en likerettet strøm mellom anodene og armeringen, slik at det løper en ionisk strøm fra anodene til armeringsoverflatene. Det vil oppstå en katodeprosess på ståloverflaten som vil føre til at det jernet ikke lenger frigis til Fe<sup>+</sup> og e<sup>-</sup> og det dannes en passivfilm på stål overflaten. Dette kan føre til at korrosjonshastigheten reduseres til et ubetydelig nivå.
4. En kan påføre betongflatene et helt tett belegg som vil stanse ny tilgang på oksygen slik at korrosjonsprosessen stanser. Dette kan ikke gjøres når en skal beholde overflatestrukturen. Det er også tvilsomt at en oppnår redusert korrosjonshastighet.
5. En kan påføre betongflatene et diffusjonsåpent belegg som (i teorien) kan tillate at vanddamp slipper ut av betongen og hindre at vann trenger inn i betongoverdekningen. Dette skal da kunne øke betongens ioniske ledningsevne og derved begrense korrosjonshastigheten. Dette kan gjøres med å impregnere flatene. Gamle teorier tilsier slike tiltak. En vet i dag at en impregnering av flatene ikke vil påvirke korrosjonshastigheten på den innstøpte armeringen nevneverdig.

Ettersom betongflatene skal ha samme struktur etter at flatene er renovert, faller tiltak nr. 4 og 5 bort.

Det ble besluttet at tiltak 2 «realkalisering og kloriduttrekk» ikke ble valgt på grunn av manglende dokumentasjon på hvordan slik behandling påvirker korrosjonsprosessene.

Mulige tiltak ble diskutert i noen grad i rapport av 2012 fra Betec AS.

Gjennom rapport og diskusjoner med byggherren, ble det besluttet at en skulle utføres pilotprosjekter ved gjennomføring av mekaniske reparasjoner, samt montere 2 typer anoder på søyler.

Hensiktene med pilotprosjektene var å avdekke om det er praktisk mulig å gjennomføre følgende arbeidsoperasjoner, samt få et bedre grunnlag for å beskrive arbeidene:

- Blottlegging av korroderende armering
- Utføre reparasjoner av betongen
- Montere katodisk beskyttelse med ulike anodetyper
- Montere referanseseller og armeringsforbindelser
- Trekke kabler og skjule kableføring
- Utføre reparasjoner med å legge inn nye elvestein i overflaten
- Utføre målinger på de 2 anodetyperne og se om disse fungerer i hh til kravene gitt i NS12696.
- Pilotprosjektet kan også brukes som grunnlag for en bedre kostnadskalkyle for å renovere begge fasadene.

### Levetidsbetraktninger.

Ettersom både karbonatisering og inntrenging av kloridioner er prosesser som starter på overflaten, som så trenger inn i betongen og til slutt når armeringen i form av at karbonatiseringsfronten når armeringen eller at kloridinnholdet i porevannet ved armeringen overskrider gitte grenser, kan en sette opp matematiske modeller for når en kan forvente at armeringen vil begynne å korrodere.

Karbonatiseringshastigheten fra overflaten og innover i betongen kan i de fleste tilfeller antas å følge formellen:  $d = b_0 + k\sqrt{t}$  der

d Nåværende karbonatiseringsdybde

$b_0$  Karbonatiseringsdybde innen ca. 1 år etter støping.

k Konstant for den gjeldende betong

t byggets alder i antall år.

En ser da at karbonatiserings hastigheten avtar med tiden.

Bilde 2 viser at karbonatiseringsprosessen ikke beveger seg inn i betongen som en front, men i striper langs tilslagssteinene. Dette er naturlig ettersom steinene ble lagt i formen før flytende sement så ble pumpet ned mellom steinene. Dette fører nødvendigvis til at sementen som renner inn i «blindsonen» av steinene ikke ville bli godt komprimert. Dette har så vist seg i og med at sementen langs steinene har tillatt  $\text{CO}_2$  å trekke inn i sementen og karbonatisere,

### Inntrengningshastighet for kloridioner.

Når det gjelder inntrenging av klorider fra overflaten og inn mot armeringen antar en at dette kan defineres som en diffusjon av ioner og at bevegelsen følger Fick's andre lov om diffusjon i tilfeller der konstruksjonen er neddykket i saltvann.

Over vann vil andre mekanismer tre i kraft i form av kapillærsug og ved sykluser av tørke og oppfukning, samt fordampning, kan kloridioner trenge inn i betong fortere enn ved ren diffusjon.

### Kritisk kloridinnhold eller grenseverdi for initiering av korrosjon.

Mange variable faktorer spiller inn og bestemmer når kloridinnholdet overskrider grenser for å bryte passivfilm og at gropetæring på armeringen kan starte.

Det er akseptert at det er de «frie kloridionene i porevannet» som inngår i nedbrytning av passivfilm og til korrosjon på armering.

I betong vil kloridioner delvis være kjemisk bundet i Friedelsalter, være fysisk absorbert i sementpasta og løst i porevannet. Det vil alltid være en likevekt mellom frie ioner og mengden av kloridioner som er bundet i strukturen. Mengden bundne kloridioner kalles materialets kloridbindingskapasitet. Kloridbindingskapasiteten bestemmes av ulike parametere som sementtyper, pH verdi (karbonatisering), mengde CSH og temperatur.

I en ikke karbonatisert betong antas ofte terskelverdier mellom 0,3 og 0,6% av sementvekten å kunne generere korrosjon på armering, men når pH-verdien går ned (karbonatisert betong), vil terskelverdien for at klorid skal initiere korrosjon gå mot null. Dvs at svært små mengder klorid vil fungere som katalysator for gropetæring i karbonatisert betong.

Når vi så ser på bilde 2 som viser at sementen som ligger inn mot steinene i sementen ofte er karbonatisert, vil det fort oppstå korrosjon på de delene av armering som ligger inn mot slike steiner og små mengder kloridioner vil akselerere korrosjonen. Kloridioner trenger vanligvis inn i betongoverdekningen med jevnt økende verdier innover fra overflaten. I dette

tilfellet kan en slik jevn økning ikke brukes til å forutsi fremtidig korrosjonsaktivitet. Dette fordi ulike kloridmengder gir forskjellige utslag på korrosjonsaktiviteten.

Forholdene ligger til rette for begynnende- og aktiv korrosjon i alle etasjeskillene på både nord- og sørfasaden. Det er derfor tilstrekkelig å se på utviklingen av synlige skader fra 2012 til 2015. Dette viser helt klart at skader i etasjeskillene på nord og sørfasader vil oppstå raskt de kommende årene. Skadene som oppstår viser også at omfaringsjernene for den vertikale ytterkantarmoring i søylene ikke fungerer, i og med at omfaringsområdet ikke omsluttet av bøylar.

Det at søyleskjøten omsluttet av brystningselementene, gjør at skadene som er vist i bilde ikke er umiddelbart kritiske. Spenningene som skulle gått gjennom søylene, kan her spres gjennom brystningselementet før spenningene igjen konsentreres i søylene under. Hverken søyler eller brystningelementene er armert for å overføre laster/spenninger på denne måten.

Skadene må/bør utbedres i nær fremtid (innen 1-2 år) for at bygget ikke skal bli statisk svekket.

Det vil ikke gi mening å foreta en levetidsvurdering basert beregning av fremtidig karboniseringshastighet eller fremtidig hastighet av kloridinntrenging og på denne bakgrunn.

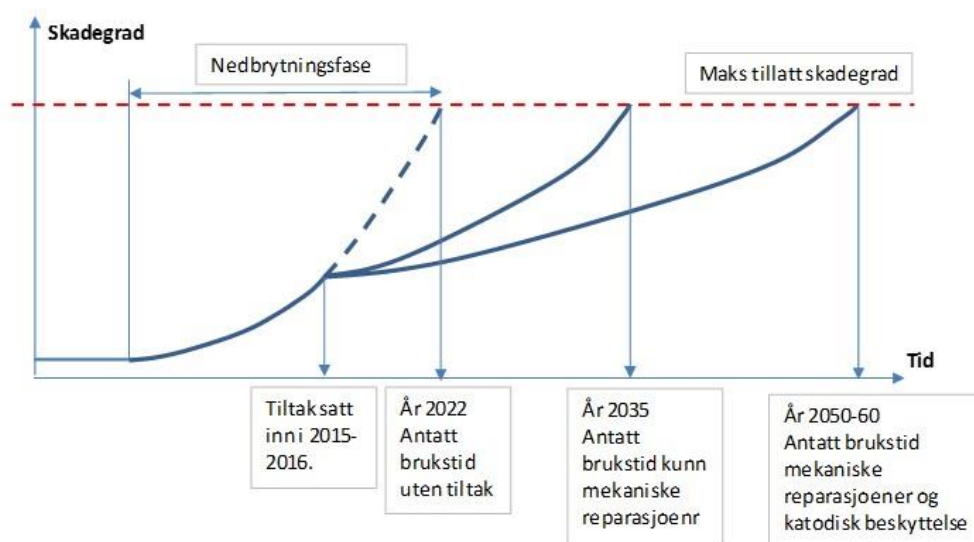
Pr. i dag ligger forholdene til rette for at det kan oppstå alvorlige skader i søylene. Fasadesøylene bærer dragere som spenner mellom fasadene, samt at søylene bærer alle overliggende etasjer og opptar vertikallaster fra vindkrefter. Store skader på søylene kan derfor svekke byggets statiske bæreevne.

## Anbefaling

Tiltak for å sikre søylene i etasjeskillene må settes inn så raskt som mulig.

## Skisse 1

Skissen illustrerer antatt videre nedbrytning av fasadesøylene ved ulike senario.



## Del 3 Gjennomførte pilotprosjekt med ulike løsninger

### Betingelser

Betingelsene for pilotprosjektene var at en ønsker å beholde overflaten som frilagt elvestein, også etter at nødvendige reparasjoner er utført.

I møter har vi diskutert muligheter for å plate søylene eller pusse søylene glatte ved en renovering. Dette ville i så fall gjøre arbeidene lettere å gjennomføre praksis og at slike muligheter ville ha en lenger levetid for søylene og derved for hele bygget, samt at innkledning med plater eller å kunne pusse søylene glatt, ville være rimeligere løsninger enn å gjenskape de eksisterende flatene.

Slike løsninger inngår ikke i pilotprosjektene ettersom dette ville innebære fasadeendringer.

### Gjennomføring av pilotprosjektene

Ettersom det ikke var gjennomført grundige tilstandsanalyser av fasadesøylene tidligere, fant en det riktig å sette opp stillas på en liten del av sør fasaden. Dette for å få en oversikt over oppbygging, tilstand og skader, samt få gjennomført en test for å se om det var mulig å gjenskape betongflatene etter at det var utført reparasjoner.

### Arbeidene med pilotanlegg er gjennomført som følger:

I august 2014 startet Bergen kommune en prosess for å komme videre med renovering av fasadene på Rådhuset.

I perioden fra midten av august til begynnelsen av oktober 2014 ble første del av pilotarbeidene utført:

- Stillas ble satt opp i to stillaslengder på fasade sør.
- Betec AS undersøkte søylene nærmere med EKP-målinger, måling av overdekning, karbonatisering og kloridinnhold.
- En forsøkt å få en oversikt over hvordan armeringen virkelig ligger og hvorfor det mangler bøylor ved etasjeskillene.
- Mur og Flisservice AS utførte reparasjoner på søylene som var forårsaket av armeringskorrosjon. De forsøkte også å mure overflatene tilbake til sitt opprinnelige uttrykk ved å bruke elvestein som kommunen skaffet til veie fra Modalen, der det opprinnelige tilslaget var hentet i 1973-75.

Undersøkelsene viste da at det var omfattende skader i fasaden, samt at skadene hadde utviklet seg raskere enn forventet fra 2012 til 2015.

På denne bakgrunn ble det derfor bestemt at en skulle gå videre i pilotprosjektet med å montere 2 typer katodisk beskyttelse i kombinasjon med mekaniske reparasjoner. Det var da viktig å montere katodisk beskyttelse på en slik måte at både montering og kabeltrekking ble minst mulig synlig på fasadene.

I denne delen av prosjektet ville en også prøver å dra litt lærdom av tidligere utførte mekaniske reparasjoner ved at en valgte litt større steiner når en skal bygge opp ny overflate, samt at en fant en pussmørtel som er litt nærmere i farge til den eksisterende sement.

Ukene midt i oktober 2014, ble brukt å presentere og planlegge bruk av katodisk beskyttelse på søylene.

Som entreprenør ble det denne gangen valgt Stoltz Entreprenør AS. Dette fordi disse allerede var inne i prosjektet med fasadene når det gjaldt å fjerne løs betong fra fasadene ved bruk av lift. Stoltz Entreprenør AS har også folk og erfaring med reparasjoner og noe erfaring med montering av katodisk beskyttelse.

### **Arbeidene med andre del av pilotprosjektet startet i november 2014.**

Pilotarbeidene skulle bestå av følgende:

- Mekaniske reparasjoner og tilbakeføring av overflatene ved å bruke litt større elvestein, samt bruke en litt mørkere reparasjonsmørtel for å lime elvestein inn den nye overflaten.
- Etter at meislingsarbeidene var ferdige, ble det utførte målinger for å se om det er elektrisk kontinuitet i armering internt i søyler og mellom søyler. Det viste seg at det var god elektrisk kontinuitet. (men må kontrolleres evt. ved senere montering av anoder).
- Det ble montert 2 typer anoder:
  1. Sagtann anoder.
  2. durAndoer med formotstander.
- Det ble montert 8 referanseseller av type MMO belagt titan innstøpt i sementmørtel.
- Det ble etablert 2 armeringsforbindelser
- Det ble trukket kabler til et felles punkt, der det ble boret hull gjennom brystningselement og inn til et kontor.
- På kontoret ble det satt opp en koblingsboks med plass til alle kablene til rekkeklemmer, samt plass til 2 likerettere som forsyner anodesonene med likestrøm.

### **Mekaniske reparasjoner**

De første mekaniske reparasjonene ble utført av Mur og Flisservice AS. Etter en del forstudier, ble det avdekket hvordan «naturbetongen» ble laget og hvor tilslagssteinene ble hentet tilbake i 1973-75. Steinene ble hentet som elvestein i Modalen nord for Bergen. Det ble derfor arrangert en tur til Modalen der det ble plukket stein i en størrelse en mente var passende for å bygge opp nye overflater.

Mur og Flisservice AS utførte en første test på reparasjon av 4 søyler.

Det ble valgt å utføre reparasjoner på søylepar 8 og 9 mellom 2. og 3. etasje på sørfasaden. En teller da endevegg mot vests som 1 og deretter søylepar 2, søylepar 3, osv.

- Sprukket og løs betong ble så fjernet og det ble meislet rundt jern til ca. 5 cm inn på ikke korroderende jern. Deretter ble jernet sandblåst.
- Det ble så boret inn huller for å nye bøylor i området med manglende bøylor.
- Nye bøylor, ø8mm, ble så bøyet i U-form og endene ble gyst fast inne i søylen slik at bøylene omsluttet den vertikale armeringen ved etasjeskillene.
- Skadene ble så pusset ut til ca. 40mm innenfor eksisterende overflate.
- Det ble så valgt en pussmørtel som ble lagt i sårflatene. Runde elvestein ble så lagt i denne mørtelen.

### **Resultat og lærdom**

Fra de første reparasjonene lærte vi følgende:

- Nye bøylor må være av syrefast rustfritt materiale og må kunne bøyes og tilpasses på stedet.
- En må stille krav til at det fjernes nok betong slik at det ikke blir liggende gravrust tilbake i overgangen armering/betong.
- En må sikre at nedstikkende omfatingsjern kan overføre vertikallaster til neste jern under.

- En må stille strenge krav til at blottlagt jern blir omsluttet av ny reparasjonsmørtel.
- Overflaten etter første påkast skal være ujevn for å gi god vedheft for neste sjikt.
- En må ha en spredning i steinstørrelser slik at en kan plassere stein tettere.
- En må velge en mørtel som blir tilsvarende eksisterende sementfarge.
- En må koste rundt de nye steinene slik at det ser ut som at sementen er fjernet etter at steinene er herdet i betongen.

Disse reparasjonene ble utført på 4 søyler der det var til dels store skader på grunn av pågående korrosjon.

Dersom det kun skal utføres mekaniske reparasjoner uten katodisk beskyttelse, setter NS-EN 3420 kapittel LY krav til omfang av meisling rundt korroderende armering. En ser at det i noen tilfeller kan føre til at alle jern i ytre del av søyle blir helt frilagt uten at disse er omsluttet av bøyler, samt at hovedjernene som er bøyet svakt innover i søyletverrsnittet kan korrodere langt inn i tverrsnittet. En reparasjon utført i hh til kravene til fjerning betong, vil kunne svekke søyletverrsnittet for mye.

En må derfor sette krav til utførende entreprenør at han ikke fjerner for mye av betongtverrsnittet i flere nabosøyler samtidig.

Problemstillingen underbygger behovet for at det monteres katodisk beskyttelse på søylene i forbindelse med reovering av fasadene.

De mekaniske reparasjonene som ble utført i forbindelse med montering av katodisk beskyttelse på søyleparene 6 og 7 fra vest, i 3. etasje, var mindre omfattende, men disse reparasjonene viser at det er mulig å oppnå en overflate som er mer lik den eksisterende.

I en fremtidig beskrivelse av reparasjonsarbeidene må en legge stor vekt på at entreprenøren forstår sin oppgave og at entreprenøren lager referansereparasjoner som skal være mal for alle øvrige reparasjoner.

### **Katodisk korrosjonsbeskyttelse**

Korrosjon på innstøpt armering vil fortsette dersom en ikke fjerner årsaken(e) til korrosjon, karbonatisert betong og kloridholdig betong.

I dette tilfellet, vil det bli for omfattende både statisk og økonomisk å blottlegge så mye jern av en unngår aktiv korrosjon på armering som ikke blir blottlagt.

I slike vurderinger, vil det ikke finnes entydige rette/gale svar. Vi bruker vår erfaring og kunnskap til å foreslå løsninger som er best innenfor rimelige økonomiske rammer, både på kort og lang sikt.

For fasadesøylene på nord og sør fasadene mener vi at det mest fornuftige vil være å utføre en kombinasjon av begrensede mekaniske reparasjon, forsterkning med nye supplerende bøyler og bruk av katodisk beskyttelse.

Katodisk beskyttelse av innstøpt stål vil redusere korrosjonshastigheten på det innstøpte stålet til et minimum. Utfordringen med katodisk beskyttelse av innstøpt armering over vann er å fordele den ioniske strømmen fra anoden til overflaten på den innstøpte armering. Den ioniske strømmen må ledes av porevannet i betongen. Betong er en dårlig leder og strømgjennomgangen går mot null når betongen tørker. En kan da si at jernet ikke har katodisk beskyttelse når betongen tørker ut, men en kan da også si at korrosjonshastigheten blir sterkt redusert når betongen tørker ut. Når betongen så igjen blir tilført fuktighet og korrosjonsprosessen tar seg opp, vil igjen anodestrømmen kunne gå og gi jernet katodisk beskyttelse.



Vi skal ikke forklare inngående hvorfor katodisk beskyttelse vil fungere, men kun gi en kort forklaring. Alle vet at stål i salt sjøvann korroderer. Alle båter med stålskrog korrosjonsbeskyttes ved at det sveises til Zink- eller Aluminiumsandoer til skroget. Zink og aluminium er mindre edlemetaller i forhold til jern og har et annet spenningspotensiale i spenningsrekken. Når zink og jern forbindes i en elektrolytt (sjøvann), vil zink felles ut og avgi sine elektroner til stålet ettersom sink har et potensiale i sjøvann tilsvarende ca. 1,3 volt, mens korroderende jern har et potensiale på 500-600 mV. Når jern så tilføres en likestrøm, vil potensialet på stålet presses ned mot 850-900 mV. Når potensialet på stål i sjøvann presses ned under ca. 850 mV mot kopper/koppersulfatsonde, kommer ståloverflaten ned i det «imune området» i hh til Paurbaix diagram og jern vil ikke lenger gå i oppløsning. Dvs at i sjøvann er det tilstrekkelig med en spenningsforskjell på (1,3 – 0,85 volt) ca. 0,5 volt til å drive en stor nok likestrøm til at jern blir katodisk beskyttet.

I betong vil porevannets ledningsevne være så lav at det ikke er tilstrekkelig med 0,5 volt mellom anode og armering til å drive en stor nok strøm til armeringsoverflaten. For katodisk beskyttelse av innstøpt armering, vil en måtte bruke fra 1,7 til 7 volt spenning mellom anode og stål for å drive gjennom tilstrekkelig strømmengde til at katodisk beskyttelse oppnås. Derfor må anoder monteres sprett på- og i betongen slik at anodestrømmen kan nå mest mulig av stålfatene som skal korrosjonsbeskyttes.

### **Katodisk beskyttelse av fasadesøyler på Rådhuset i Bergen**

For fasadesøyelen i Rådhuset skal det monteres anoder i betongoverdekningen som ikke er synlige etter at de er montert, samt at tilførselskabler til anoder, armeringsforbindelser og referanseseller ikke skal være synlig på fasaden.

Vi fant 2 anodetyper som var mest hensiktsmessige å forsøke når de skulle monteres i ytre del av fasadesøylene:

1. Sagtann anoder. Dette er et MMO-(mixed metal oksid) belagt titanbånd med bredde ca. 8mm og tykkelse ca. 0,3mm som er foldet som vist på vedlagte bilder og datablad. Sagtann anoden legges i slissede spor i betongoverdekningen og må ikke komme nær eller i kontakt med armeringen. Helst ikke nærmere enn 10-15mm.
2. durAnoder 4. Dette er punkt-anoder som monteres i borede hull med senteravstand ca. 25-30 cm eller mindre, disse monteres i serie langs en tilledertråd av titan. Hver anode har påmontert en elektrisk motstand i front, slik at dersom det skulle oppstå en overledning mot et armeringsjern til en anode, vil de andre anodene i samme krets likevel kunne fungere.

Begge disse anodetyper skal kunne monteres langs søylene slik at de blir minst mulig synlig i fasaden.

Referanseceller for å kunne kontrollere at det katodiske anlegget fungerer må monteres i søylene og kabler føres til et sted der en kan måle potensialendringer på stålet når en slår av og på strømmen samt måle depolarisering etter at strømmen blir avslått.

Når anlegget er i drift, vil målinger på referansecellene være hovedkontrollen på at armeringen har tilfredsstillende katodisk beskyttelse.

### **Kontroll av katodisk beskyttelse**

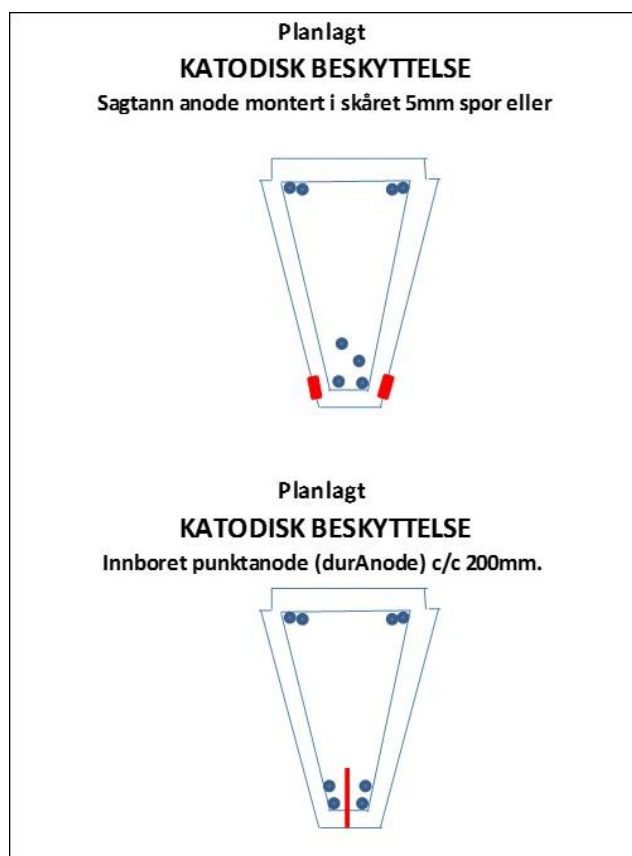
NS-EN 12696 angir at en struktur er tilfredsstillende katodisk beskyttet dersom ett av følgende kriterier er oppfylt:

- Instant off potensiale mer negativt enn  $-720\text{mV}$  mot Ag/AgCL/0,5M KCl referanseelektrode.
- **Depolarisering på minst  $100\text{mV}$  i løpet av 24 timer.**
- Kontinuerlig depolarisering på minst  $150\text{mV}$  fra instant off over en lang tidsperiode, typisk 24 timer eller lenger.
- I tillegg skal ikke potensialet på ståloverflaten være mer negativt enn  $-1100\text{mV}$  mot Ag/AgCL/0,5M KCl referanseelektrode

Kravet om  $100\text{mV}$  depolarisering er det vanligste kravet for å måle om anlegget fungerer tilfredsstillende. Det er dette kravet som er benyttet i denne rapporten for å se om anlegget fungerer.

### **Plassering av anoder**

Planlagt plassering armering i søyleverrsnittet og planlagt plassering av anodene er vist i skissene under.

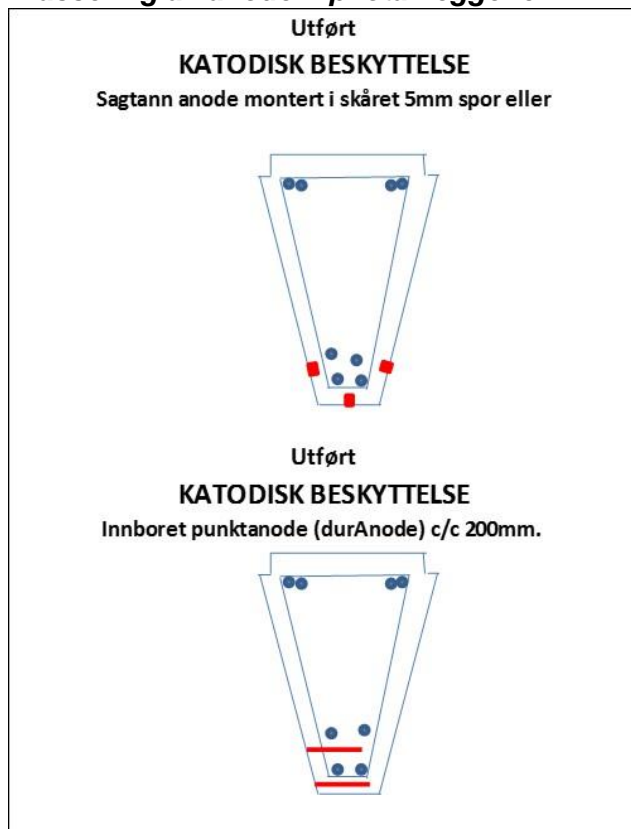


Når vi kom opp på stillaset og fikk avdekket at armering ofte ligger vilkårlig plassert i søyleverrsnittet, måtte vi revurdere anodeplassering. Det viste seg at armeringen i ytre del av søylene ikke var plassert som vist på tegning, spesielt ikke i omfangssoner ved etasjeskillene.

Det viste seg at det ikke var mulig å bore  $\varnothing 12\text{mm}$  huller inn fra fronten for å montere durAnoder som ville dekke også bølgearmeringen lenger inn mot vindusfeltet. DurAnodene måtte monteres fra siden som vist på skissen under og sagtann anoder ble montert på 3 sider i stedet for 2.

I praksis vil en komme bort i tilfeller der betongoverdekningen på en av sidene er for liten til av sagtann anoder kan monteres på denne siden.

### **Plassering av anoder i pilotanleggene.**



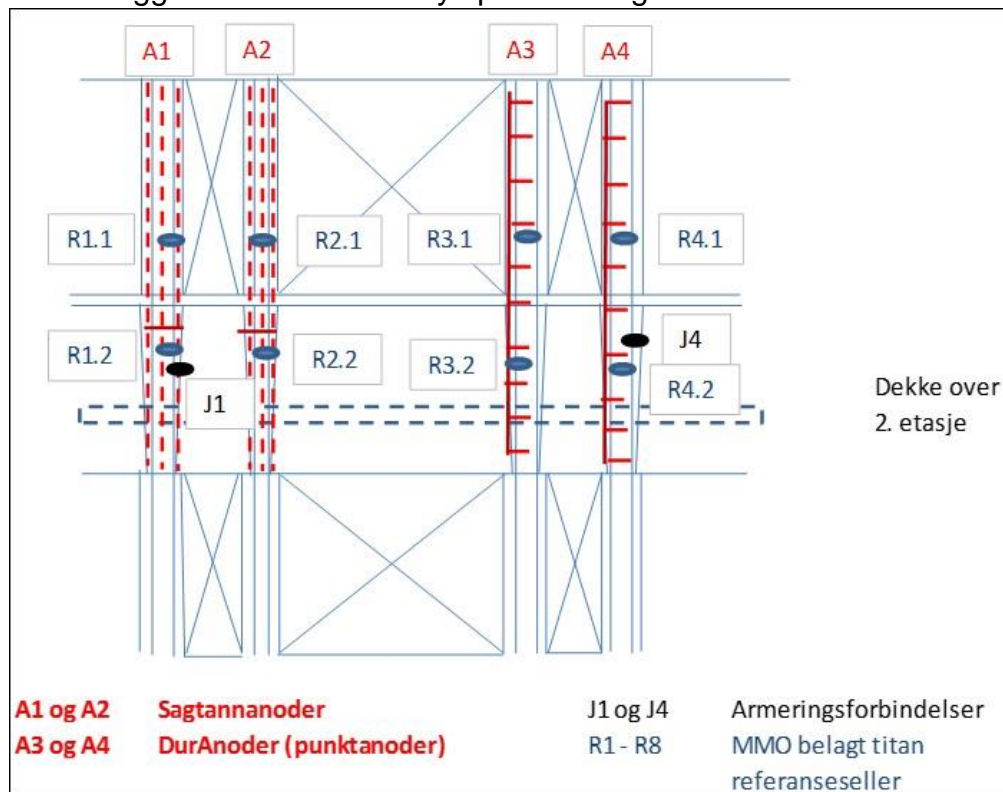
Den innbøyde hovedarmeringen i søylen fører til at en stedvis finner vertikal armering langt inne i søylene. Dette gjør at anodehullene for durAnoder må kontrolleres med hullcovermeter slik at anoder ikke kommer i kontakt med armeringen og lager overledning.

Inndeling av anodesoner og plassering av referanseseller og armeringsforbindelser er vist på skissen på neste side.

Kabler fra anoder, armeringsforbindelser og referanseseller er slisset inn i spor i betongflaten til opp under sålebensbeslag. På langs av bygget er kablene lagt i borede hull gjennom søylene fram til der det er boret hull gjennom fasadeelementet inn til innenforliggende kontor og koblingsboks.

### Anodesoner og plassering av referanseceller i pilotanleggene for Katodisk beskyttelse.

Pilotanleggene er montert i søyleparene 6 og 7 i området utenfor 3. etasje mot sør.



Bildet viser koblingskapet som er plassert under en kontorpult i 3. etasje. Bildet viser 2 likeretter som gir strøm til hhv anodesone 1 og 2, og til 3 og 4. På rekkeklemmen til høyre er alle kablene fra utsiden ført inn. Strømmen til de 4 anodesonene A1 til A4 er ført over 100 Ohm motstander. Ved å måle spenningsfallet over disse, kan en finne strømmen som går til hver sone.

### Kontroll av de katodiske anleggene.

Kontroll av de katodiske anleggene gjøres nå med manuelle målinger fra koblingsboksen inne kontoret i 3. etasje.

Som nevnt tidligere bruker en kriteriet om 100mV depolarisering i løpet av 24 timer som mål på om armeringen rundt referansecellen har oppnådd katodisk beskyttelse.

### Anodesonene ble strømsatt 22.12.14.

Tabellen under viser en del målinger som ble utført i forbindelse med oppstart og ved målinger utført 06.01.15.

Koblingsboks KB Rådhuset

| Nr. | Isolasjons farge | Kable dimensjon | Kabel inn | Kabel fra.       | lokalisering          | 22.12.14     |             |            | Kontroll 05.01.14 |                 |                             | Justert spenning |
|-----|------------------|-----------------|-----------|------------------|-----------------------|--------------|-------------|------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|
|     |                  |                 |           |                  |                       | Før spenning | Påsett volt | før juster | Før spenning      | Polar 2 min     | On pot                      |                  |
| 1   | Rød              | 2,5 mm2         |           | Likeretter 1     | laskes til 5 og 6     | 146          | 2,048       | 2,042      |                   |                 |                             | 3,077            |
| 2   | Rød              | 2,5 mm3         |           | Likeretter 2     | laskes til 7 og 8     | 47           | 2,033       | 2,025      |                   |                 |                             | 2,98             |
| 3   |                  |                 |           |                  |                       |              |             |            |                   |                 |                             |                  |
| 4   |                  |                 |           |                  |                       |              |             |            |                   |                 |                             |                  |
| 5   | Orange           | Ø 1,2mm         | A1        | Anodesone 1      | 100 Ohm               | 148          | 1,54        | 1,777      |                   |                 |                             | 2,5              |
| 6   | Orange           | Ø 1,2mm         | A2        | Anodesone 2      | 100 Ohm               | 148          | 1,57        | 1,807      |                   |                 |                             | 2,58             |
| 7   | Orange           | Ø 1,2mm         | A3        | Anodesone 3      | 100 Ohm               | 47           | 1,71        | 1,798      |                   |                 |                             | 2,54             |
| 8   | Orange           | Ø 1,2mm         | A4        | Anodesone 4      | 100 Ohm               | 47           | 1,65        | 1,767      |                   |                 |                             | 2,48             |
| 9   |                  |                 |           |                  |                       |              |             |            |                   |                 |                             |                  |
| 10  | Sort             | 2,5mm2          | J1        | anode sone 1     | Likerettere           |              |             |            |                   |                 |                             |                  |
| 11  | Sort             | 2,5mm2          | J4        | Anode sone 4     | Ref.måling mot 13-20. |              |             |            |                   |                 |                             |                  |
| 12  |                  |                 |           |                  |                       | Før spenning | Polar 2 min | On pot     | Inst. off         | On pot ny spenn | Diff. Før og inst off 1 uke |                  |
| 13  | Blå              | Ø1,2mm          | R1.1      | Anodesone 1 oppe |                       | 255          | 391         | 372        | 360               | 412             | -105                        |                  |
| 14  | Blå              | Ø1,2mm          | R1.2      | Anodesone 1 nede | Overledning           | 0            | 0           | 0          | 0                 | 0               | 0                           |                  |
| 15  | Blå              | Ø1,2mm          | R2.1      | Anodesone 2 oppe |                       | 177          | 409         | 480        | 450               | 563             | -273                        |                  |
| 16  | Blå              | Ø1,2mm          | R2.2      | Anodesone 2 nede |                       | 121          | 236         | 251        | 241               | 294             | -120                        |                  |
| 17  | Blå              | Ø1,2mm          | R3.1      | Anodesone 3 oppe |                       | 77           | 262         | 299        | 278               | 360             | -201                        |                  |
| 18  | Blå              | Ø1,2mm          | R3.2      | Anodesone 3 nede | Overledning           | 0            | 0           | 0          | 0                 | 0               | 0                           |                  |
| 19  | Blå              | Ø1,2mm          | R4.1      | Anodesone 4 oppe |                       | 101          | 208         | 243        | 241               | 271             | -140                        |                  |
| 20  | Blå              | Ø1,2mm          | R4.2      | Anodesone 4 nede |                       | 126          | 374         | 402        | 326               | 545             | -200                        |                  |

### Målinger utført 09.04.15

Koblingsboks KB Rådhuset

| Nr. | Isolasjons farge | Kable dimensjon | Kabel inn | Kabel fra.       | lokalisering          | 05.01.14         |           | 09.04.2015   |              | Inst. Off          | ny V         |
|-----|------------------|-----------------|-----------|------------------|-----------------------|------------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|--------------|
|     |                  |                 |           |                  |                       | Justert spenning | målt volt | med spenning | inst off     |                    |              |
| 1   | Rød              | 2,5 mm2         |           | Likeretter 1     | laskes til 5 og 6     | 3,077            | 3,08      |              |              |                    | 3,04         |
| 2   | Rød              | 2,5 mm3         |           | Likeretter 2     | laskes til 7 og 8     | 2,98             | avslått   | 2,97         |              |                    | 2,99         |
| 3   |                  |                 |           |                  |                       |                  |           |              |              |                    | Spenn.fall V |
| 4   |                  |                 |           |                  |                       |                  |           | Strøm I mA   |              |                    | o 100 Ohm    |
| 5   | Orange           | Ø 1,2mm         | A1        | Anodesone        | 100 Ohm               | 2,5              | 0,333     | 3,33         |              |                    | 0,418        |
| 6   | Orange           | Ø 1,2mm         | A2        | Anodesone        | 100 Ohm               | 2,58             | 0,267     | 2,67         |              |                    | 0,0339       |
| 7   | Orange           | Ø 1,2mm         | A3        | Anodesone        | 100 Ohm               | 2,54             | 0,404     | 4,04         |              |                    | 0,404        |
| 8   | Orange           | Ø 1,2mm         | A4        | Anodesone        | 100 Ohm               | 2,48             | 0,494     | 4,94         |              |                    | 0,515        |
| 9   |                  |                 |           |                  |                       |                  |           |              |              |                    |              |
| 10  | Sort             | 2,5mm2          | J1        | anode sone       | Likerettere           |                  |           |              |              |                    |              |
| 11  | Sort             | 2,5mm2          | J4        | Anode sone       | Ref.måling mot 13-20. |                  |           |              |              |                    |              |
| 12  |                  |                 |           |                  |                       | med spenning     | inst off  | 4 timer off  | 24 timer off | 24 timer Depolaris |              |
| 13  | Blå              | Ø1,2mm          | R1.1      | Anodesone 1 oppe |                       | 337              | 321       | 178          | 106          |                    | 215          |
| 14  | Blå              | Ø1,2mm          | R1.2      | Anodesone 1 nede | Overledning           | 0                | 0         | 0            | 0            |                    | 0            |
| 15  | Blå              | Ø1,2mm          | R2.1      | Anodesone 2 oppe |                       | 530              | 501       | 293          | 200          |                    | 301          |
| 16  | Blå              | Ø1,2mm          | R2.2      | Anodesone 2 nede |                       | 282              | 270       | 143          | 78           |                    | 192          |
| 17  | Blå              | Ø1,2mm          | R3.1      | Anodesone 3 oppe |                       | 274              | 310       | 276          | 91           |                    | 219          |
| 18  | Blå              | Ø1,2mm          | R3.2      | Anodesone 3 nede | Overledning           | 0                | 0         | 0            | 0            |                    | 0            |
| 19  | Blå              | Ø1,2mm          | R4.1      | Anodesone 4 oppe |                       | 217              | 282       | 279          | 96           |                    | 186          |
| 20  | Blå              | Ø1,2mm          | R4.2      | Anodesone 4 nede |                       | 495              | 558       | 420          | 110          |                    | 448          |

## Målinger utført 07.0515

Koblingsboks KB Rådhuset

| Nr. | Isolasjons farge | Kable dimensjon     | Kabel inn | Kabel fra.              | lokalisering      | 07.05.15         |           | 07.05.15  |         |          |       |       |            |
|-----|------------------|---------------------|-----------|-------------------------|-------------------|------------------|-----------|-----------|---------|----------|-------|-------|------------|
|     |                  |                     |           |                         |                   | Justert spenning | målt volt | Inst. Off |         |          |       |       |            |
| 1   | Rød              | 2,5 mm <sup>2</sup> |           | Likeretter 1            | laskes til 5 og 6 |                  | 3,049     |           |         |          |       |       |            |
| 2   | Rød              | 2,5 mm <sup>3</sup> |           | Likeretter 2            | laskes til 7 og 8 |                  | 2,991     |           |         |          |       |       |            |
| 3   |                  |                     |           |                         |                   |                  |           |           |         |          |       |       |            |
| 4   |                  |                     |           |                         |                   |                  |           |           |         |          |       |       | Strøm I mA |
| 5   | Orange           | Ø 1,2mm             | A1        | Anodesone               | 100 Ohm           |                  | 0,284     |           | 2,84    |          |       |       |            |
| 6   | Orange           | Ø 1,2mm             | A2        | Anodesone               | 100 Ohm           |                  | 0,225     |           | 2,25    |          |       |       |            |
| 7   | Orange           | Ø 1,2mm             | A3        | Anodesone               | 100 Ohm           |                  | 0,264     |           | 2,64    |          |       |       |            |
| 8   | Orange           | Ø 1,2mm             | A4        | Anodesone               | 100 Ohm           |                  | 0,324     |           | 3,24    |          |       |       |            |
| 9   |                  |                     |           |                         |                   |                  |           |           |         |          |       |       |            |
| 10  | Sort             | 2,5mm <sup>2</sup>  | J1        | anode sone              | Likerettere       | 09.04.2015       |           |           |         |          |       |       |            |
| 11  | Sort             | 2,5mm <sup>2</sup>  | J4        | Anode sone              | Ref.måling        |                  | med       | inst      | 4 timer | 24 timer | IR-   | 24 t  |            |
| 12  |                  |                     |           |                         | mot 13-20.        |                  | spenning  | off       | off     | off      | dropp | depol |            |
| 13  | Blå              | Ø1,2mm              | R1.1      | Anodesone 1 oppe        |                   |                  | 302       | 289       | 143     |          | 83    | 13    | 206        |
| 14  | Blå              | Ø1,2mm              | R1.2      | Anodesone 1 Overledning |                   |                  | 0         | 0         | 0       |          | 0     | 0     | 0          |
| 15  | Blå              | Ø1,2mm              | R2.1      | Anodesone 2 oppe        |                   |                  | 502       | 470       | 263     |          | 185   | 32    | 285        |
| 16  | Blå              | Ø1,2mm              | R2.2      | Anodesone 2 nede        |                   |                  | 251       | 243       | 120     |          | 67    | 8     | 176        |
| 17  | Blå              | Ø1,2mm              | R3.1      | Anodesone 3 oppe        |                   |                  | 286       | 253       | 131     |          | 101   | 33    | 152        |
| 18  | Blå              | Ø1,2mm              | R3.2      | Anodesone 3 Overledning |                   |                  | 0         | 0         | 0       |          | 0     | 0     | 0          |
| 19  | Blå              | Ø1,2mm              | R4.1      | Anodesone 4 oppe        |                   |                  | 248       | 246       | 100     |          | 73    | 2     | 173        |
| 20  | Blå              | Ø1,2mm              | R4.2      | Anodesone 4 nede        |                   |                  | 515       | 413       | 126     |          | 87    | 102   | 326        |

### Kommentarer til utførte målinger.

Målingene utført i skapet avdekker følgende:

- Referanssecellene R1.2 for anodesone A1 er montert med elektrisk forbindelse til armering og fungerer derfor ikke.
- Det samme gjelder for referansecelle R3.2 for anodesone A3. Denne fungerer heller ikke.
- Dette viser at kontrollen før innstøping av referanssecellene ikke var god nok. Dette underbygger viktigheten av at de som monterer og kontrollerer anoder og referanseseller får den nødvendige opplæring og ser viktigheten av praktiske kontroller og kontroller og kontroller.....
- Alle referanssecellene som fungerer viser at en oppnår en 24 timer depolarisering på over 100 mV med god margin, for begge anodetyperne

### Foreløpig konklusjon for det katodiske anleggene

Målingene viser at begge anodetyperne fungerer og gir tilfredsstillende katodisk beskyttelse til søylearmeringen.

Strømmen har stått på i 5 måneder. Et naturlig forløp når anoder strømsettes er at en skal starte med forholdvis lav spenning for å unngå at det går for mye strøm og at vann forsvinner rundt anoden.

En forventer at strømmengden er høy i starten og at strømmengden avtar over tid, inntil den stabiliseres med en så lav anodespenning som mulig der en fremdeles oppnår tilfredsstillende depolarisering.

Driften av anlegget fungerer fint nå, men en skal la anlegget stå i enda noen måneder før en konkluderer med at anlegget vil fungere like bra i fremtiden.

Vi har vært bort i at båndanoder lagt i tørrsprøytet betong har sluttet å lede strøm til armeringen etter ca. 1 år.

Vi er rimelig trygg på at durAnodene vil fortsette å gi strøm, men vi bør vente noen måneder før en konkluderer med at Sagtann anodene også vil fungere tilfredsstillende i fremtiden.

En ser at begge anodetyperne kan fungere på søylene. Sagtann anodene kan gi en god strømfordeling langs søylene, men er avhengig en overdekning større enn ca. 30mm fra ytterkant de frilagte steinene. Ved mindre overdekning kan en benytte punktanoder. Når en skal prosjektere katodisk system for søylene i hele fasaden, må en legge inn motstander i tilførselskabelen slik at begge systemene skal ha mest mulig lik spenning. En kan da koble de 2 systemene til samme anodesone.



## Del 4 Kostnadsestimater renovering av sør og nord fasader

Merk at disse kostnadsestimatene ikke omfatter gavlveggene.

Kostnadsestimatene satt opp under forutsetninger av at det katodiske anlegget skal fungere i hh til NS-EN 12696 og at renovering av skal utføres slik at betongflatene føres tilbake til sitt originale utseende eller at flatene i søylene pusses til fine filsede flate og malt.

### Det settes opp kostnadsestimater for 2 alternative løsninger:

1. Det legges til grunn av betongflatene skal føres tilbake til sitt originale utseende slik at flatene stort sett bevares slik arkitekt Viksjø prosjekterte sitt bygg.
2. Det legges til grunn av betongflatene i søylene kan renoveres med «grov hånd», men teknisk sett tilfredsstillende. Overflatene for søylene pusses ut slik at flatene i søylene blir slett. Dette vil endre utseende i fasaden, men reparasjoner og montering av katodisk beskyttelse vil bli mindre krevende og rimeligere å utføre, samt at fremtidig vedlikehold også vil bli lettere å utføre.

## Kostnadsestimater

### Atlerantiv 1. En beholder eksisterende betongoverflate i søylene

Estimert kostnad renovering av fasader når en skal beholde eksisterende overflatestruktur

| Post | Tekst  | Høyde | Bredde | Lengde | Antall | Enhet | Mengde | Enh.pris | Sum      | Kommentar                           |
|------|--|-------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|----------|-------------------------------------|
| 1    | Rigg og drift                                  |       |        |        |        | RS    |        |          | 1000000  |                                     |
| 2    | Stilla,s inkludert sikring                     | 43    | 50     | 1      | 1      | m2    | 2150   | 160      | 344000   |                                     |
| 3    | Mek.rep. Søyler                                | 11    | 1      | 1      | 40     | stk   | 440    | 13000    | 5720000  | 1mann 2,5 dager pr. skjøt           |
| 4    | Mek.rep. brystninger                           |       |        |        | 13     | stk   | 13     | 10000    | 130000   |                                     |
| 5    | Katodisk beskyttelse                           | 1     | 1      | 12     | 40     | stk   | 480    | 6000     | 2880000  | 1mann 1 dag pr. søyle pr. etg.      |
| 6    | Gjennomføring av kabler                        | 4     | 1      | 6      | 1      | stk   | 24     | 3000     | 72000    |                                     |
| 7    | Referanseseller                                | 4     | 1      | 1      | 40     |       | 160    | 1500     | 240000   |                                     |
| 8    | Understasjoner                                 | 1     | 1      | 1      | 16     | stk   | 16     | 10000    | 160000   | Ferdig montert                      |
| 9    | Com.kabel og hovedpc                           | 1     | 1      | 1      | 1      | stk   | 1      | 60000    | 60000    | Ferdig montert                      |
| 10   | Uforutsatt                                     |       |        |        |        |       |        |          | 200000   |                                     |
| 11   | Sum estimert entrep.kost pr. fasade            |       |        |        |        |       |        |          | 10806000 | eks.mva                             |
| 12   | Sum estimert entrep.kost pr. fasade            |       |        |        |        |       |        |          | 13507500 | inkl.mva                            |
| 13   |  |       |        |        |        |       |        |          |          |                                     |
| 14   | Prosjektering antas 5% av entreprenørkost      |       |        |        | 0,05   |       |        |          | 540300   |                                     |
| 15   | Oppfølging antas 10% av entreprenørkost        |       |        |        | 0,1    |       |        |          | 1080600  |                                     |
| 16   | Byggherrekost. forøvrig 10% av entreprenørkost |       |        |        | 0,1    |       |        |          | 1080600  |                                     |
| 17   | Sum byggeherre kostnader                       |       |        |        |        |       |        |          | 2701500  |                                     |
| 18   |  |       |        |        |        |       |        |          |          |                                     |
| 19   | Total estimat nord fasade, eks.mva             |       |        |        |        |       |        |          | 13507500 |                                     |
| 20   | Total estimat nord fasade, inkl.mva            |       |        |        |        |       |        |          | 16884375 |                                     |
| 21   |  |       |        |        |        |       |        |          |          |                                     |
| 22   | Total estimat nord og sør fasade eks mva       |       |        |        |        |       |        |          | 24313500 | Sørfasade estimeres til 80% av nord |
| 23   | Total estimat nord og sør fasade eks mva       |       |        |        |        |       |        |          | 30391875 | Sørfasade estimeres til 80% av nord |



## Alternativ 2 En tillater at søylene pusses til slette flater

Estimert kostnad renvoering av fasader når en skal beholde eksisterende overflatestruktur

| Post | Tekst   | Høyde | Bredde | Lengde | Antall | Enhet                               | Mengde | Enh.pris | Sum      | Kommentar                        |
|------|---|-------|--------|--------|--------|-------------------------------------|--------|----------|----------|----------------------------------|
| 1    | Rigg og drift                                 |       |        |        |        | rs                                  |        |          | 1000000  |                                  |
| 2    | Stilla,s inkludert sikring                    | 43    | 50     | 1      | 1      | m2                                  | 2150   | 160      | 344000   |                                  |
| 3    | Mek.rep. Søylar                               | 11    | 1      | 1      | 40     | stk                                 | 440    | 6000     | 2640000  | 1mann 1 dage pr. skjøt           |
| 4    | Mek.rep. brystninger                          |       |        |        | 13     | stk                                 | 13     | 10000    | 130000   |                                  |
| 5    | Katodisk beskyttelse                          | 1     | 1      | 12     | 40     | stk                                 | 480    | 4000     | 1920000  | 1mann 0,5 dag pr. søyle pr. etg. |
| 6    | Gjennomføring av kabler                       | 4     | 1      | 6      | 1      | stk                                 | 24     | 3000     | 72000    |                                  |
| 7    | Referanseseller                               | 4     | 1      | 1      | 40     |                                     | 160    | 1500     | 240000   |                                  |
| 8    | Understasjoner                                | 1     | 1      | 1      | 16     | stk                                 | 16     | 10000    | 160000   | Ferdig montert                   |
| 9    | Com.kabel og hovedpc                          | 1     | 1      | 1      | 1      | stk                                 | 1      | 60000    | 60000    | Ferdig montert                   |
| 10   | Uforutsatt                                    |       |        |        |        |                                     |        |          | 200000   |                                  |
| 11   | Sum estimert entrep.kost pr. fasade           |       |        |        |        |                                     |        |          | 6766000  | ek.s mva                         |
| 12   | Sum estimert entrep.kost pr. fasade           |       |        |        |        |                                     |        |          | 8457500  | ink.mva                          |
| 13   |   |       |        |        |        |                                     |        |          |          |                                  |
| 14   | Prosjektering antas 5% av entreprenørkost     |       |        |        | 0,05   |                                     |        |          | 338300   |                                  |
| 15   | Oppfølging anstas 7% av entreprenørkost       |       |        |        | 0,07   |                                     |        |          | 473620   |                                  |
| 16   | Byggherrekost. forøvig 10% av entreprenørkost |       |        |        | 0,1    |                                     |        |          | 676600   |                                  |
| 17   | Sum byggeherre kostnader                      |       |        |        |        |                                     |        |          | 1488520  |                                  |
| 18   |   |       |        |        |        |                                     |        |          |          |                                  |
| 19   | Total estimat eks.mva                         |       |        |        |        |                                     |        |          | 8254520  |                                  |
| 20   | Total estimat inkl.mva                        |       |        |        |        |                                     |        |          | 10318150 |                                  |
|      |   |       |        |        |        |                                     |        |          |          |                                  |
|      | Total estimat nord og sør fasade eks mva      |       |        |        |        | Sørfasade estimeres til 80% av nord |        |          | 14858136 |                                  |
|      | Total estimat nord og sør fasade eks mva      |       |        |        |        | Sørfasade estimeres til 80% av nord |        |          | 18572670 |                                  |

### Kommentar

Kostnadsestimatene gjelder vedlikehold og renovering av nord og sør fasadene på Rådhuset i Bergen. (ikke gavlveggene).

Kostnadsestimatet for renovering og montering av katodisk beskyttelse når en skal beholde dagens overflatestruktur på søylene er ca. kr. 30 millioner inkludert mva.

Dersom er tillater at betongflatene i søylene pusses ut til slette flater, er kostnadsestimatet ca. kr. 18 millioner inkludert mva.

Det er trolig mulig å redusere kostnadsestimatene noe, dersom en prosjekterer med dette for øye og gjennomfører prosjektet med tanke på at omfanget av reparasjoner holdes til et minimum. Dette vil i så fall gå ut over levetiden for renoveringsarbeidene. Dette er en avveing som kan gjøres.

## Vedlegg 1 Bilder



Bilde 1 Bilde viser nordfasaden



Bilde 2 Bildet viser sørfasaden



Bilde 3 Bildet viser en typisk skade der løs betong er fjernet. En ser at armeringen har korrodert lenge og det er generert store sprekker og riss som gjør at større betongstykker var i ferd med å løsne fra fasaden og falle ned.



Bilde 4 Bildet viser korrosjon på vertikal søylearmering i en skjøt ved etasjeskille. Legg merke til at jernene fra etasjen under blir bøyet inn og at omfaringsjernene videre opp i søylen i etasjen over ligger blottlagt. Ettersom trykkarmeringen ender i løse luften vil ikke denne armeringen overføre krefter/spenninger videre ned i underliggende søyle. Lastoverføring fra armering til betong og videre til armeringen under vil måtte starte høyere oppe. Dette vil i teorien svekke søylens kapasitet.



Bilde 5 Bildet viser synlig skader på fasade sør. Skadeomfanget har øket mye mellom 2012 og 2015.



Bilde 6 Bildet viser frilagt søylearmering. Før rengjøring av armering. Manglende bøyer



Bilde 7 Bildet viser at det er boret inn nye bøyer og det er ilagt første lag med reparasjonsmørtel.





Bilde 8 Viser hvordan nye bøyler er montert og første lag med reparasjonsmørtel er lagt. En ser luftlommer i reparasjonsmørtel. Det er viktig at reparasjonsmørtel omslutter armeringen. Slike hulrom skal ikke forekomme. Bildet viser også hvordan overflatene skal være mellom påkastene.



Bilde 9 Bildet viser oppbygging av nye overflate ved første forsøk. Forskaling mot eksisterende overflate vil bli flukte med denne overflaten. Forskalingen langs ytterkant av søyle kan brukes som rettesnor for reparasjoner på sidene og for ilegging av overflatestein på sidene. Når forskalingen ytterst fjernes, må en fjerne mørtel langs hjørnene slik at en kan legge inn mørtel i forkant og sette inn stein. Steinene skal så flukte med eksisterende overflate.



Bilde 10 Bildet viser at den første reparasjonene som ble utført. En ser at det ble lagt inn for lite stein og med for stor avstand. En ser også at steinene ikke må trykkes så langt inn i mørtelen. En ser også at det ble valgt en for lys mørtel for denne prøvereparasjonen.

### **Katodisk beskyttelse.**



Bilde 11 Viser sagtann anode innlagt i skårede spor i forkant og på hver side av søyle. Det brukes små kiler for å holde sagtann anoden på plass inne i sporet.



Bilde 12 Armeringsforbindelse. For å få tilførselskabel til armeringsforbindelse inn i hjørne mellom søyle og brystning, ble det boret et skrått hull fra forkant søyle, litt til siden av en bøyle og skrått inn mot innerhjørne. Gjengestag ble så stukket gjennom hullet og sveiset til bøylene i forkant søyle. Deretter kuttet gjengestaget og kabel festes til gjengestag med kabelsko. Kable kan så legges i skrått spor inne i hjørne.

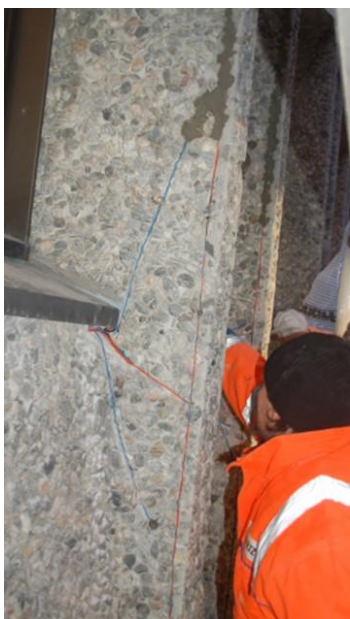


Bildet 13 Viser kabelsko beskyttet med krympestrømpe med lim før i støping for å skjule armeringsforbindelsen.





Bilde 14 Bildet viser orange tillederkabel til de 3 sagtann anodene. Tillederkabelen, en  $\varnothing 1,2\text{mm}$  isolert titantråd, legges i skårne spor i betongoverflaten. Sammenføyningen mellom anode og titantråd er en mekanisk forbindelse laget i titan der en teiter i mutter som presser tråden mot sagtann anoden. NB En må huske at forbindelser og tilledertråder fungerer som anoder. Disse må enten isoleres fullstendig eller lages av et inert materiale. (Stål, kobber, aluminium o.l. må ikke benyttes) Bildet viser også at det ble innlagt et plast, trekkerør inn under beslaget for vinduene for fremlegging av kabler. Røret må festes til betongen.



[Fang leserens oppmerksomhet med et bra sitat fra dokumentet, eller bruk denne plassen til å fremheve et viktig punkt. Du plasserer denne tekstboksen hvor som helst på siden ved å dra den.]

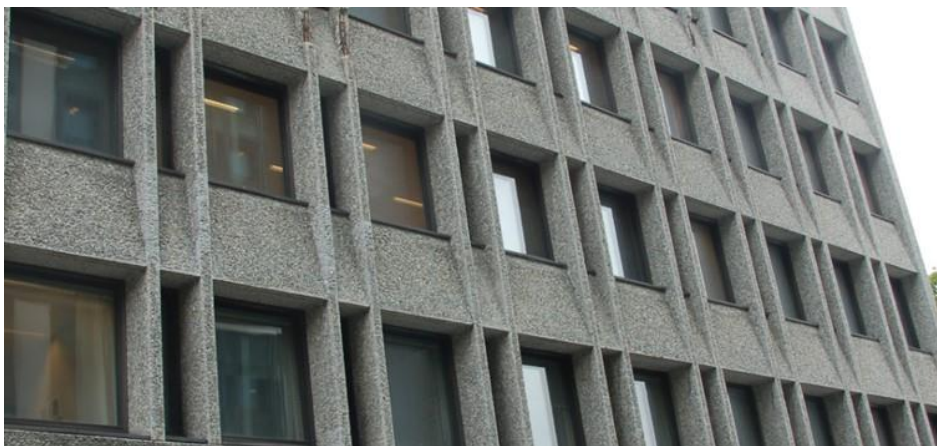
Bilde 15 Viser tillederkabler. Orange kabel til andoene og blå kabler til referanseseller. Referansesellene er støpt fast i borede huller som vist. Referansesellene må **ikke** ha elektrisk forbindelse til armering da de da ikke fungerer. Monteringen viser viktigheten av løpende kontroll under montering og at folkene som monterer får nødvendig opplæring. 2 av 8 referanseseller i pilotanlegget har



elektrisk forbindelse til armeringen og spenningsforskjellen blir derfor null og målingen har ingen verdi.



Bilde 16 Kableføring. Kabler ble lagt i trekkør under vindusbeslag. Forbi søyler ble det boret huller gjennom søylene, like under beslaget, slik at kablene kunne tres gjennom.  
For kableføring inn i bygget, ble det boret hull gjennom brystning, like under vindusbeslaget. Hullet kommet da ut på innsiden, bak vindtetting og isolasjon. Det må her legges trekkerør og så må det tettes rundt vindspærre på innsiden.



Bilde 17 I etasjeskille ved 8 og 9 ble de første testreparasjonene utført. Fra bakkenivå kan en se at mørtelen er litt for lys, samt at steinene i reparasjonen ligger med for stor avstand.  
I etasjeskille ved 6 og 7 ble det montert anoder for katodisk beskyttelse. På søyler i 7 ble det montert sagtann anoder og i 6 ble det montert punkt-anoder.



Bilde 18 Innvendige kabler og koblingsboks. Kabelene kom inn i kasse under vinduet. Kabelene ble så lagt ned mot gulvet og ut på vegg. Det ble montert et koblingsskap med innlagt 230 volt og plass til 2 stk sorte likerettere, samt rekkeklemme for armeringsforbindelser, 8 referanseller og 4 anodeforbindelser.



Bilde 19 Skap inne på kontor i 3 etasje. På kablene mellom øikeretter og de 4 anodekablene montert vi inn 100Ohm motstander slik at enkanmåle spenningsfallet over disse og derved kunne regne ut strømgjennomgangen til hver anodesone.  
 I dette skapet kan en utføre de nødvendige kontrollmålinger for anodesonene.  
 En kan måle- og justere spenning til anodesonene.  
 En kan måle strømgjennomgangen til hver anodesone.  
 En kan måle motstand og ledningsevne mellom anode og armering  
 En kan måle potensialforskjellen mellom referanseselle og armering.  
 En kan derved måle endring i potensiale på stålet når det setter på likestrøm mellom anode og armering.  
 En kan måle potensialendringer IR-drop og depolarisering ved å tenne og slukke for strømmen på likeretterne.

## Vedlegg 2 Mulig soneinndeling for katodisk beskyttelse

Skissen under er laget for at en lettere kan se hvordan arbeider på fasaden kan deles inn i soner.

